

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



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

**INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD Y LA TEMPERATURA DEL AIRE
DE SECADO EN LA OBTENCIÓN DE HARINA DE SACHA
CULANTRO (*Eryngium foetidum* L.), PROVENIENTE DE MICHINA,
PROVINCIA RODRÍGUEZ DE MENDOZA, AMAZONAS**

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

AUTORES

Br. KARINA JANET VELA VARGAS

Br. IRMA HOYOS GRÁNDEZ

ASESOR

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN



CHACHAPOYAS – PERÚ

27 NOV 2015

2015

UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS



FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD Y LA TEMPERATURA DEL AIRE
DE SECADO EN LA OBTENCIÓN DE HARINA DE SACHA
CULANTRO (*Eryngium foetidum* L.), PROVENIENTE DE MICHINA,
PROVINCIA RODRÍGUEZ DE MENDOZA, AMAZONAS

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

AUTORES

Br. KARINA JANET VELA VARGAS

Br. IRMA HOYOS GRÁNDEZ

ASESOR

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN



CHACHAPOYAS - AMAZONAS

2015

27 NOV 2015

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre Cecilia Vargas Quintana por ser el pilar más importante y brindarme su cariño y apoyo incondicional en cada momento de mi vida. A mis hermanos Bernabé, Mary, Jhimy y David por ser mi más grande motivación, inspiración y felicidad.

KARINA VELA V.

A Dios por estar conmigo y regir mis metas a su voluntad, a mis padres José Elías Hoyos Arista y Rosa Eudilia Grández Quintana, pilares fundamentales en mi formación, quienes están pendientes de mi bienestar y educación, infundiendo en mí valores éticos y morales que me ayudarán a ser una gran profesional y persona. A mi hermano Elvin Hoyos Grández, y seres queridos por brindarme su apoyo para emprender y finalizar todos los retos y desafíos que se presentan en mi vida.

IRMA HOYOS G.

AGRADECIMIENTO

A Dios por iluminar nuestro camino y dirigirnos hasta donde estamos ahora. Por permitirnos terminar el presente trabajo de investigación, y cumplir una de nuestras metas propuestas.

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 educativa que nos entregaron en nuestro periodo de formación profesional.

A nuestro asesor, el Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón, Docente 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.

Al personal técnico de los laboratorios de Ingeniería, Tecnología Agroindustrial y Microbiología de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza; y a todos los catedráticos, compañeros y amigos quienes contribuyeron a la realización de la presente investigación.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Ph. D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA

Rector (e)

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

Vicerrector Académico (e)

Dra. MARÍA NELLY LUJÁN ESPINOZA

Vicerrectora de investigación (e)

Ing. GUILLERMO IDROGO VASQUEZ

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 VELOCIDAD Y LA TEMPERATURA DEL AIRE DE SECADO EN LA OBTENCIÓN DE HARINA DE SACHA CULANTRO (*Eryngium foetidum* L.), PROVENIENTE DE MICHINA, PROVINCIA RODRÍGUEZ DE MENDOZA, AMAZONAS”**, presentada por la bachiller **VELA VARGAS KARINA JANET** y la bachiller **HOYOS GRANDEZ IRMA**, Egresadas de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, Escuela 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.



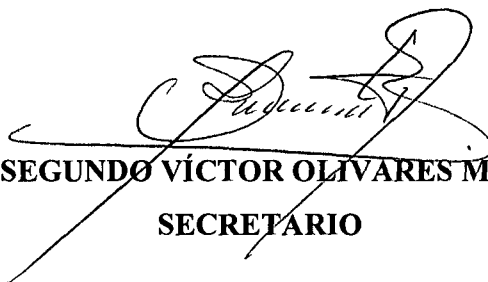
Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

Profesor Principal de la UNTRM-Amazonas

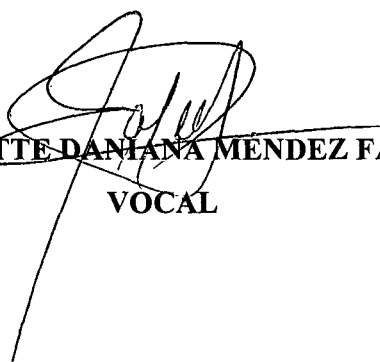
JURADO EVALUADOR



**Ing. ERICK ALDO AUQUIÑIVÍN SILVA
PRESIDENTE**



**Ing. SEGUNDO VÍCTOR OLIVARES MUÑOZ
SECRETARIO**



**Ing. LIZETTE DANIANA MENDEZ FASABI
VOCAL**



UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

FACULTAD DE: INGENIERÍA Y CIENCIAS AERARIAS

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Chachapoyas, el día 07 de abril del año 2015, siendo las 11:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado conformado por:

Presidente: Ing. Erick Aldo Auquinivia Silva

Secretario: Ing. Segundo Víctor Olivares Muñoz

Vocal: Ing. Lizette Daniana Méndez Fasabi

para evaluar la sustentación del informe de Tesis presentando por el(la) bachiller,

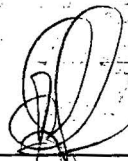
don(ña) Karina Janet Vela Vargas


titulado Influencia de la velocidad y la temperatura del aire de secado en la obtención de harina de sachaculantro (*Eryngium foetidum*) proveniente de Michina Rodríguez de Mendoza, Amazonas

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

Siendo las 12:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación del informe de Tesis.


SECRETARIO


PRESIDENTE


VOCAL

Form 6-T



UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

FACULTAD DE: INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Chachapoyas, el día 07 de abril del año 2015, siendo las 11:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado conformado por:

Presidente: Ing. Erick Aldo Aquinivia Silva

Secretario: Ing. Segundo Victor Olivares Muñoz

Vocal: Ing. Lizette Dariana Mendez Fasabi

para evaluar la sustentación del informe de Tesis presentando por el(la) bachiller,

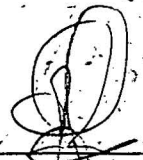
don(ña) Irma Hoyos Grande

titulado Influencia de la velocidad y la temperatura del aire de secado en la obtención de harina de sachá culantro (*Eryngium foetidum*) proveniente de Miching, provincia Rodríguez de Mendoza, Amazonas

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

Siendo las 12:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación del informe de Tesis.


SECRETARIO


PRESIDENTE


VOCAL

Form 6-T

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
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
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1.Generalidades del sachá culantro (<i>Eryngium foetidum L.</i>).....	3
1.1.1. Taxonomía del <i>Eryngium foetidum L.</i>	4
1.1.2. Descripción botánica.....	5
1.1.3. Datos ambientales.	6
1.1.4. Cultivo.	6
1.1.5. Cosecha y conservación.....	7
1.1.6. Manejo post-cosecha.....	7
1.1.7. Componentes químicos.....	7
1.1.8. Distribución geográfica.....	8
1.1.9. Usos.	8
1.2. Hiervas aromáticas y especias	9

1.2.1. Hiervas aromáticas.....	10
1.2.2. Especias.	10
1.3. Secado de productos alimentación.....	11
1.3.1. Secado.....	11
1.3.2. Tipos de secado.....	12
1.3.2.1. Secado natural.....	12
1.3.2.1. Secado mecánico.....	13
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	21
2.1. Materia prima.....	21
2.2. Caracterización biométrica de la materia prima	21
2.3. Análisis físico de la materia prima	21
2.4. Procedimientos de secado de hojas de sachá culantro.....	21
2.5. Obtención de harina de hojas de sachá culantro	23
2.6. Análisis organoléptico de harina de sachá culantro.....	26
2.7. Análisis fisicoquímico de harina de sachá culantro.....	26
2.8. Análisis microbiológico de harina de sachá cuatro	27
2.8.1. Recuento de mohos y levaduras.....	27
2.9. Metodología Experimental	27
2.10. Análisis estadístico de datos	28
III. RESULTADOS	30
3.1. Características biométricas y físicas de hojas de sachá culantro	30
3.2. Características fisicoquímicas de hojas frescas de sachá culantro	30
3.3. Evaluación sensorial de harina de sachá culantro	31

3.4. Cinética de secado de hojas de sachá culantro	32
3.5. Modelo matemático de la cinética de secado de hojas de sachá culantro	34
3.6. Rendimiento en el proceso de obtención de harina de sachá culantro.....	36
3.7. Características fisicoquímicas de harina de hoja sachá culantro	36
3.8. Análisis microbiológico de harina de sachá cuatro	36
IV. DISCUSIÓN	38
V. CONCLUSIONES	42
VI. RECOMENDACIONES	43
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
ANEXOS	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química en 100g de muestra seca de hojas de sachaculantro	7
Tabla 2. Valor nutricional en 100g de hojas secas de sachaculantro.....	8
Tabla 3. Diseño en bloques completamente al azar (DBCA).....	28
Tabla 4. Características biométricas y físicas de hojas de sachaculantro	30
Tabla 5. Características fisicoquímicas de hojas frescas de sachaculantro	30
Tabla 6. Análisis sensorial del sabor, color y olor de harina de sachaculantro obtenida.....	31
Tabla 7. Parámetros cinéticos y 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.....	35
Tabla 8. Características fisicoquímicas de harina de sachaculantro obtenida a 40°C y 3.5 m/s de velocidad del aire de secado.....	36
Tabla 9. Análisis microbiológico de la harina de sachaculantro por secado con aire a 40 °C y velocidad de 3,5 m/s	37
Tabla 10. Datos biométricos de hojas de sachaculantro	51
Tabla 11. Análisis sensorial de sabor de harina de sachaculantro.	60
Tabla 12. Cuadro ANOVA para sabor de harina de sachaculantro.	61
Tabla 13. Comparación de los tratamientos del factor A (temperatura del aire de secado) y factor B (velocidad del aire de secado), nivel de significancia de 0,05 (Tukey).....	62
Tabla 14. Representación de los grupos homogéneos	64
Tabla 15. Análisis sensorial de color de harina de sachaculantro.....	65
Tabla 16. Cuadro ANOVA para color de harina de sachaculantro.....	66
Tabla 17. Comparación de los tratamientos del factor A (temperatura del aire de	

secado) y factor B (velocidad del aire de secado), nivel de significancia de 0,05 (Tukey).....	67
Tabla 18. Representación de los grupos homogéneos	69
Tabla 19. Análisis sensorial de olor de harina de sachá culantro	70
Tabla 20. Cuadro ANOVA para color de sachá culantro	71
Tabla 21. Comparación de los tratamientos del factor A (temperatura del aire de secado) y factor B (velocidad del aire de secado), nivel de significancia de 0,05 (Tukey).....	72
Tabla 22. Representación de los grupos homogéneos	74
Tabla 23. Datos experimentales de la operación de secado de hojas de sachá culantro, en secador de bandejas con flujo de aire a 40 °C y velocidad de 2,5 m/s.....	75
Tabla 24. Datos experimentales de la operación de secado de hojas de sachá culantro en secador de bandejas con flujo de aire a 40°C y velocidad de 3,0 m/s.....	77
Tabla 25. Datos experimentales de la operación de secado de hojas de sachá culantro en secador de bandejas con flujo de aire a 40 °C y velocidad de 3,5 m/s.....	79
Tabla 26. Resumen del modelo de regresión lineal (T1 = 40 °C; V1 = 2,5 m/s).....	82
Tabla 27. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal	82
Tabla 28. Coeficientes de la ecuación lineal (T1 = 40 °C; V1 = 2,5 m/s)	83
Tabla 29. Resumen del modelo de regresión exponencial (T1 = 40 °C; V1 = 2,5 m/s) .	83
Tabla 30. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T1 = 40 °C; V1 = 2,5 m/s)	84
Tabla 31. Coeficientes de la ecuación exponencial (T1 = 40 °C; V1 = 2,5 m/s).....	84
Tabla 32. Resumen del modelo de regresión lineal (T1 = 40 °C; V2 = 3,0 m/s).....	85
Tabla 33. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal	85
Tabla 34. Coeficientes de la ecuación lineal (T1 = 40 °C; V2 = 3,0 m/s)	85

Tabla 35. Resumen del modelo de regresión exponencial ($T1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V2 = 3,0\text{ m/s}$) .	86
Tabla 36. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial ($T1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V2 = 3,0\text{ m/s}$)	86
Tabla 37. Coeficientes de la ecuación exponencial ($T1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V2 = 3,0\text{ m/s}$)	87
Tabla 38. Resumen del modelo de regresión lineal ($T1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V3 = 3,5\text{ m/s}$)	88
Tabla 39. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ($T1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V3 = 3,5\text{ m/s}$)	88
Tabla 40. Coeficientes de la ecuación lineal ($T1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V3 = 3,5\text{ m/s}$)	88
Tabla 41. Resumen del modelo de regresión exponencial ($T1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V3 = 3,5\text{ m/s}$) .	89
Tabla 42. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial ($T1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V3 = 3,5\text{ m/s}$)	89
Tabla 43. Coeficientes de la ecuación exponencial ($T1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V3 = 3,5\text{ m/s}$)	90
Tabla 44. Datos experimentales de la operación de secado de sachá culantro, en secador de bandejas con flujo de aire a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y velocidad de $2,5\text{ m/s}$	91
Tabla 45. Datos experimentales de la operación de secado de hojas de sachá culantro, en secador de bandejas con flujo de aire a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y velocidad de $3,0\text{ m/s}$	94
Tabla 46. Datos experimentales de la operación de secado de hojas de sachá culantro, en secador de bandejas con flujo de aire a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y velocidad de $3,5\text{ m/s}$	96
Tabla 47. Resumen del modelo de regresión lineal ($T2 = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V1 = 2,5\text{ m/s}$)	98
Tabla 48. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal	98
Tabla 49. Coeficientes de la ecuación lineal ($T2 = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V1 = 2,5\text{ m/s}$)	99
Tabla 50. Resumen del modelo de regresión exponencial ($T2 = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V1 = 2,5\text{ m/s}$) .	99
Tabla 51. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial ($T2 = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V1 = 2,5\text{ m/s}$)	100
Tabla 52. Coeficientes de la ecuación exponencial ($T2 = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V1 = 2,5\text{ m/s}$)	100

Tabla 53. Resumen del modelo de regresión lineal ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_2 = 3,0\text{ m/s}$).....	101
Tabla 54. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal	101
Tabla 55. Coeficientes de la ecuación lineal ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_2 = 3,0\text{ m/s}$)	101
Tabla 56. Resumen del modelo de regresión exponencial ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_2 = 3,0\text{ m/s}$) .	102
Tabla 57. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_2 = 3,0\text{ m/s}$).....	102
Tabla 58. Coeficientes de la ecuación exponencial ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_2 = 3,0\text{ m/s}$).....	103
Tabla 59. Resumen del modelo de regresión lineal ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_3 = 3,5\text{ m/s}$).....	104
Tabla 60. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_3 = 3,5\text{ m/s}$).....	104
Tabla 61. Coeficientes de la ecuación lineal ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_3 = 3,5\text{ m/s}$)	104
Tabla 62. Resumen del modelo de regresión exponencial ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_3 = 3,5\text{ m/s}$) .	105
Tabla 63. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_3 = 3,5\text{ m/s}$).....	105
Tabla 64. Coeficientes de la ecuación exponencial ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_3 = 3,5\text{ m/s}$).....	106
Tabla 65. Datos experimentales de la operación de secado de hojas de sachaculantro, en secador de bandejas con flujo de aire a $60\text{ }^\circ\text{C}$ y velocidad de $2,5\text{ m/s}$	107
Tabla 66. Datos experimentales de la operación de secado de hojas de sachaculantro, en secador de bandejas con flujo de aire a $60\text{ }^\circ\text{C}$ y velocidad de $3,0\text{ m/s}$	108
Tabla 67. Datos experimentales de la operación de secado de hojas de sachaculantro, en secador de bandejas con flujo de aire a $60\text{ }^\circ\text{C}$ y velocidad de $3,5\text{ m/s}$	109
Tabla 68. Resumen del modelo de regresión lineal ($T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$; $V_1 = 2,5\text{ m/s}$).....	111
Tabla 69. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal	111
Tabla 70. Coeficientes de la ecuación lineal ($T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$; $V_1 = 2,5\text{ m/s}$)	112
Tabla 71. Resumen del modelo de regresión exponencial ($T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$; $V_1 = 2,5\text{ m/s}$) .	112

Tabla 72. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T3 = 60 °C; V1 = 2,5 m/s).....	113
Tabla 73. Coeficientes de la ecuación exponencial (T3 = 60 °C; V1 = 2,5 m/s).....	113
Tabla 74. Resumen del modelo de regresión lineal (T3 = 60 °C; V2 = 3,0 m/s).....	114
Tabla 75. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T3 = 60°C; V2 = 3,0 m/s).....	114
Tabla 76. Coeficientes de la ecuación lineal (T3 = 60 °C; V2 = 3,0 m/s).....	114
Tabla 77. Resumen del modelo de regresión exponencial (T3 = 60 °C; V2 = 3,0 m/s) .	115
Tabla 78. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T3 = 60 °C; V2 = 3,0 m/s).....	115
Tabla 79. Coeficientes de la ecuación exponencial (T3 = 60 °C; V2 = 3,0 m/s).....	116
Tabla 80. Resumen del modelo de regresión lineal (T3 = 60 °C; V3 = 3,5 m/s).....	117
Tabla 81. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T3 = 60 °C; V3 = 3,5 m/s).....	117
Tabla 82. Coeficientes de la ecuación lineal (T3 = 60 °C; V3 = 3,5 m/s).....	117
Tabla 83. Resumen del modelo de regresión exponencial (T3 = 60 °C; V3 = 3,5 m/s) .	118
Tabla 84. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T3 = 60 °C; V3 = 3,5 m/s).....	118
Tabla 85. Coeficientes de la ecuación exponencial (T3 = 60 °C; V3 = 3,5 m/s).....	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Influencia de la velocidad del aire sobre la operación de secado ($V_3 > V_2 > V_1$; donde V: velocidad).....	17
Figura 2. Graficas típicas del contenido de humedad vs tiempo	19
Figura 3. Plan experimental, a cada temperatura se evaluarán tres velocidades del aire de secado.....	24
Figura 4. Flujograma para la obtención de harina de hoja de sachá culantro.....	25
Figura 5. Metodología experimental para analizar el efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado sobre las características organolépticas, microbiológicas y fisicoquímicas.....	27
Figura 6. Humedad residual en función del tiempo con aire a 40 °C y velocidades de 2,5; 3,0 y 3,5 m/s.....	33
Figura 7. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ($T_1 = 40\text{ °C}$; $V = 2,5; 3,0$ y $3,5\text{ m/s}$).....	34
Figura 8. Balance de materia para la obtención de 1000 g de harina de sachá culantro	54
Figura 9. Humedad residual en función del tiempo con aire a 40 °C y velocidades de 2,5; 3,0 y 3,5 m/s.....	81
Figura 10. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ($T_1 = 40\text{ °C}$; $V = 2,5; 3,0$ y $3,5\text{ m/s}$).....	82
Figura 11. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. ($T_1 = 40\text{ °C}$; $V_1 = 2,5\text{ m/s}$).....	83
Figura 12. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. ($T_1 = 40\text{ °C}$; $V_1 = 2,5\text{ m/s}$).....	84
Figura 13. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-)	

generada por el SPSS. (T1 = 40 °C; V2 = 3,0 m/s).....	86
Figura 14. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. (T1 = 40 °C; V2 = 3,0 m/s).....	87
Figura 15. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T1 = 40 °C; V3 = 3,5 m/s).....	89
Figura 16. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. (T1 = 40 °C; V3 = 3,5 m/s).....	90
Figura 17. Humedad residual en función del tiempo (T2 = 50 °C; V1 = 2,5 m/s; V2 = 3,0 m/s; V3 = 3,5 m/s.	96
Figura 18. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio (T2 = 50 °C; V = 2,5; 3,0 y 3,5m/s).....	97
Figura 19. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; V1 = 2,5 m/s).....	98
Figura 20. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; V1 = 2,5 m/s).....	99
Figura 21. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; V2 = 3,0 m/s).....	101
Figura 22. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; V2 = 3,0 m/s).....	102
Figura 23. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; V3 = 3,5 m/s).....	104
Figura 24. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; V3 = 3,5 m/s). ..	105
Figura 25. Humedad residual en función del tiempo (T3 = 60 °C; V1 = 2,5 m/s; V2 = 3,0 m/s; V3 = 3,5 m/s).....	109

Figura 26. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ($T_3 = 60\text{ °C}$; $V = 2,5; 3,0$ y $3,5\text{ m/s}$).....	110
Figura 27. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. ($T_3 = 60\text{ °C}$; $V_1 = 2,5\text{ m/s}$).....	111
Figura 28. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. ($T_3 = 60\text{ °C}$; $V_1 = 2,5\text{ m/s}$).....	112
Figura 29. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. ($T_3 = 60\text{ °C}$; $V_2 = 3,0\text{ m/s}$).....	114
Figura 30. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. ($T_3 = 60\text{ °C}$; $V_2 = 3,0\text{ m/s}$).....	115
Figura 31. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. ($T_3 = 60\text{ °C}$; $V_3 = 3,5\text{ m/s}$).....	117
Figura 32. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. ($T_3 = 60\text{ °C}$; $V_3 = 3,5\text{ m/s}$).....	118

RESUMEN

En la presente investigación se estudió la influencia de la temperatura y velocidad del aire de secado para la obtención de harina de sachá culantro (*Eryngium foetidum* L.), proveniente de Michina, provincia Rodríguez de Mendoza, Región Amazonas, para lo cual se hicieron ensayos con tres temperaturas (40; 50 y 60°C) y tres velocidades del aire: 2,5; 3,0 y 3,5 m/s en el secador de bandejas. Para ello se utilizó hojas frescas, en su madurez fisiológica, las que se colocaron ordenadamente en las cuatro bandejas del secador. Empleando una temperatura de 40°C y 3,5 m/s del aire de secado se obtuvo un tiempo crítico de secado de 35 minutos, humedad crítica (Y_c) de 3,19 g de agua/g hoja seca, humedad de equilibrio (Y_{eq}) de 0,13 g de agua/g hoja seca y velocidad de secado de 0,1 g agua/g hoja seca. Minuto; además permitió la conservación de sabor, color y olor de la hoja, atributos que fueron evaluados por nueve panelistas semientrenados mediante una escala hedónica de 5 niveles, para el análisis sensorial se utilizó un experimento factorial del tipo 3A x 3B bajo un diseño en bloques completamente al azar (DBCA) y se compararon las medias con la prueba Tukey al 95% de nivel de confianza. La presencia de mohos y levaduras fue menor al rango permisible en la harina con mayor aceptabilidad organoléptica luego de haberse conservado a medio ambiente durante 30 días. Las características fisicoquímicas de esta harina la hacen apta para su uso como alimento. Para obtener la ecuación representativa de la parte recta y de la curva de la gráfica de la humedad residual vs tiempo, los resultados experimentales se procesaron con SPSS 15.0, esas ecuaciones son el modelo matemático correspondiente; la curva de velocidad de secado decreciente se representa mejor por una ecuación exponencial.

Palabras claves: Sachá culantro, harina, especias, cinética.

ABSTRACT

In the present study the influence of temperature and air velocity drying to obtain flour sacha coriander (*Eryngium foetidum* L.), from Michina, Rodriguez de Mendoza province, Amazonas region, was studied for which they were tested three temperatures (40, 50 and 60 °C) and three air velocities: 2,5; 3.0 and 3,5 m/s in the tray dryer. For this fresh leaf was used in physiological maturity, which are sequentially placed in the four trays dryer. By employing a temperature of 40 °C and 3,5 m/s air drying critical 35 minutes of drying time, critical moisture (Y_c) of 3.19 g water/g dry sheet, equilibrium moisture content was obtained (Y_{eq}) 0.13 g water/g dry sheet and drying rate of 0.1 g water/g dry leaf. Minute; also allowed the preservation of taste, color and odor of the leaf, attributes that were evaluated for nine panelists semi-trained using a hedonic scale of 5 levels, sensory analysis a factorial experiment of type 3A x 3B on a design used complete block random (DBCA) and half with the Tukey test at 95% confidence level were compared. The presence of molds and yeasts was lower than the allowable range in flour with greater organoleptic acceptability after having preserved environment for 30 days. The physicochemical characteristics of this flour make it suitable for use as food. For the representative equation of the straight part of the curve of the graph of residual moisture vs. time, experimental results were processed with SPSS 15.0, these equations are the corresponding mathematical model; curve falling rate drying is best represented by an exponential equation.

Keywords: Sacha coriander, flour, spices, kinetics.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú es un país privilegiado por su naturaleza y belleza extraordinaria, su compleja geografía y variedad de climas se han combinado para producir una asombrosa diversidad natural, considerado dentro del selecto grupo de ocho países con megadiversidad, se estima que dentro de su territorio es posible hallar 84 de las 104 zonas de vida existentes en el mundo, lo que origina la existencia de 40 mil a 50 mil especies vegetales importantes; por otro lado, es reconocido como uno de los 12 principales centros de origen de plantas alimenticias, medicinales y aromáticas del mundo; sin embargo estos recursos son mal aprovechados por desconocimiento de sus propiedades y por la escasa investigación sobre estos (Vega, 2001).

Una de estas especies es el sachá culantro, el cual tiene un alto valor nutricional (tabla 2) y crece en las zonas tropicales del país como la provincia de Rodríguez de Mendoza, Región Amazonas, no se conocen cifras de su producción puesto que su cultivo es a nivel de huerto familiar y se ha limitado al autoconsumo.

Como en nuestro país el comercio de las especias es poco tecnificado ya que estas se consumen casi en la totalidad en forma fresca, molida o sin ningún tratamiento previo, pese a tener una gran aceptación en el mercado de condimentos y especias convencionales, el sachá culantro en la localidad de Michina no ha sido cultivado a gran escala por desconocimiento de sus propiedades y por la escasa e inexistente promoción e investigación sobre sus posibilidades en la agroindustria y se consumen en su totalidad en forma fresca; por ello se crea la importancia de determinar los parámetros de secado para el procesamiento de este producto que podría tener grandes intereses comerciales debido que a partir de 1995 el mercado ha evolucionado ampliamente dándoles mayor

uso y aumentando una fuerte demanda en países como Panamá, Colombia, Nicaragua, República Dominicana y Venezuela (Torres, y Gill. 2012).

Se busca ampliar el aprovechamiento del sachá culantro mediante el consumo de las hojas en forma de especia molida y envasada en sobres para una mayor durabilidad, esta es una opción para dar mayor valor agregado y aprovechar el aporte nutricional del sachá culantro, cuya inclusión en los alimentos para consumo humano es una buena alternativa de explotación agroindustrial.

Por ello, en esta investigación se pretende realizar el estudio de las variables independientes (velocidad y temperatura del aire de secado) que influyen sobre la elaboración y aceptabilidad de harina de *Eryngium foetidum* L. “sachá culantro”, ofreciendo una alternativa de especia en polvo diferente a las ya existentes en el mercado, con un producto que pueda reemplazar de algún modo el consumo en fresco del culantro u otros.

En Michina, existe disponibilidad de sachá culantro durante todo el año, además, por ser un cultivo fácil de obtener, las amas de casa pueden realizar la siembra y recolección contando de esta manera con mano de obra y materia prima disponible, así mismo la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza cuenta con los equipos necesarios para la obtención de harina de *Eryngium foetidum* L.

Esta investigación beneficiará a los productores de Michina de la provincia de Rodríguez de Mendoza y a los interesados en obtener productos innovadores, generando de esta manera una alternativa de negocio.

1.1. Generalidades del sachá culantro (*Eryngium foetidum* L.)

El sachá culantro es una planta herbácea perenne, todas las partes de este producen aceites esenciales que le imparten su fuerte aroma; habita en suelos inundables y de altura, también en huertos hortícolas, en campo abierto como también en sombreado, siendo tolerante a la inundación. Las partes aprovechables de esta planta son el tallo, hojas y frutos. Sus raíces son gruesas y se extienden generalmente a menos de 31 cm de distancia del tallo. El tallo es muy corto durante la etapa de crecimiento vegetativo de la planta, pero llega a 61 cm de alto en la etapa de producción de flores y semillas. Las hojas aparecen formando una roseta alrededor de la base del tallo, son alargadas, y cuando se cultivan de manera tecnificada generalmente presentan entre 13 a 31 cm de largo, de 3 a 5 cm de ancho, con los bordes aserrados y un peso promedio de 2g. En su etapa adulta la planta tiene de siete a diez hojas, comienzan a florecer aproximadamente a los 3 meses después de la siembra, siendo más tempranas las plantas que crecen a pleno sol o las que crecen en días cálidos, mientras que son más tardías las que crecen con 60-70% de sombra. Las flores son pequeñas y blancuzcas, y salen en grupos en las puntas de ramas del tallo, sobre estructuras en forma de cabezuelas o cilindros de hasta 1.3 cm de largo y 0.5 cm de diámetro. Las semillas son pequeñísimas y livianas de aproximadamente 66,000 a 78,500 semillas por onza. (Torres y Gill, 2012). Es originaria de la amazonia occidental y cultivada en toda América tropical. En el Perú está ampliamente distribuida en Loreto, San Martín y Ucayali. El sabor y aroma que tiene es muy similar al del *Coriandrum sativum* “culantro”, siendo utilizada por su aromaticidad en una amplia gama culinaria.

Debido a su fácil adaptabilidad se ha ido distribuyendo por diversos lugares del mundo; es por ello la gran variedad de nombres con los que se identifica (Vega, 2001):

Colombia	: Culantro cimarrón.
Costa Rica	: Culantro coyote.
Cuba	: Culantro o chicoria.
Ecuador	: Chillangua.
El Salvador	: Alcapate, culantro coyote.
España	: Orégano de Cartagena, cilantro habanero.
Guatemala	: Zamate.
Honduras	: Culantro de pata.
México	: Cilantro mexicano, cilantro habanero.
Nicaragua y Panamá	: Culantro o chicoria.
Perú	: Sacha culantro.
Puerto Rico	: Recao.
República Dominicana	: Cilantro ancho.

1.1.1. Taxonomía del *Eryngium foetidum* L.

La taxonomía de *Eryngium foetidum* L. fue descrita por Carlos Linneo y publicado en *Species Plantarum* en mayo de 1753:

Nombre común	: Sacha culantro
Nombre científico	: <i>Eryngium foetidum</i> L.
Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida

Sub clase	: Rosidae
Orden	: Apiales
Familia	: Apiaceae
Subfamilia	: Saniculoideae
Tribu	: Saniculeae
Género	: Eryngium
Especie	: E. foetidum L.

1.1.2. Descripción botánica

Planta herbácea erecta con olor característico, de hasta 60 cm de alto, presenta raíz carnosa y roseta basal de hojas angostamente abobadas, obtusas, dentadas y con espinas. Flores en densas cabezuelas de color verde, rodeadas por brácteas espinosas. Inflorescencia terminal, generalmente muy ramificada, con numerosas cabezuelas cilíndricas, verde amarillentos, que en su base presentan 5 o 6 brácteas lanceoladas, puntiagudas, con los márgenes enteros o espinuloso-aserrados. Flores pequeñas, blancas a azules o moradas; cáliz tubo (cubierto por grandes escamas) que en el ápice se dividen en cinco lóbulos lanceolados a triangulares, la corola de cinco pétalos libres, caedizos, elíptico-oblongo, con el ápice largo y curvado hacia el centro de la flor, ovario ínfero. Fruto globoso, lateralmente comprimido, cubierto por abundantes vesículas globosas amarillentas; en la madurez el fruto se separa en 2 frutillos (mericarpios), con una semilla (Torres y Gill, 2012).

1.1.3. Datos ambientales

El *Eryngium foetidum* L. crece en un clima tropical, cálido con alta precipitación pluvial y elevada humedad relativa. En general, se desarrolla bien en lugares con temperaturas entre 16 y 30°C, húmedos y en sombra parcial. Los suelos pueden variar desde arcilloso a areno-arcilloso con bajo a elevado contenido de materia orgánica deben tener buen drenaje y retención de humedad, con un pH neutro o ligeramente ácido, para evitar deficiencias nutricionales. No se debe sembrar en suelos arenosos, ya que la poca retención de agua en estos suelos puede afectar la producción de hojas y hacer que florezca prematuramente (Instituto de investigaciones fundamentales en agricultura tropical, 1996).

1.1.4. Cultivo

- Época de siembra: Preferentemente en los períodos lluviosos.
- Distanciamientos: De 0,20m x 0.15m y 0,20m x 0,20m.
- Labores de cultivo: Abonos orgánicos mensuales y deshierbe frecuente.
- Plagas principales: Es atacado por insectos fitófagos y hongos.
- Propuesta de asociación de cultivos: Puede ocupar el piso bajo de un sistema de producción en restinga o suelos de buena calidad en zonas no inundables. Se puede asociar con cultivos alimenticios plátano, yuca, y hortalizas diversas; excepto las que pertenezcan a la misma familia; por ejemplo el apio, perejil, culantro y otros.

- Propagación: Por semillas sexuales que germinan aproximadamente después de siete días de sembradas. También se propaga por secciones de base del tallo (Instituto de investigaciones fundamentales en agricultura tropical, 1996).

1.1.5. Cosecha y conservación

- Cosecha: Se realiza manualmente a partir de los tres meses después de la siembra y se inicia con las hojas inferiores (Díaz y Trelles 2014).
- Manejo post-cosecha: Es aprovechada generalmente en estado fresco, procediéndose a su desecamiento bajo sombra para su conservación.

1.1.6. Componentes químicos

Las hojas de sachá culantro están compuestas por 86,7% de agua quedando solo un 13,3% de los componentes restantes tales como: proteínas, lípidos, carbohidratos, calcio, caroteno, tiamina, riboflavina, niacina y ácido ascórbico.

Tabla 1. Composición química en 100g de muestra fresca de hojas de sachá culantro.

Proteínas	0,7 g
Lípidos	0,2 g
Carbohidratos	6,4 g
Calcio	6,0 mg
Caroteno	1,0 mg
Tiamina	0,03 mg
Riboflavina	0,04 mg
Niacina	0,4 mg
ácido ascórbico	5,7 mg

Fuente: Rodríguez, 2014

Tabla 2. Valor nutricional en 100g de hojas frescas de sachaculantro.

Valor energético	38,0 cal
Proteínas	1,9 g
Lípidos	0,5 g
Carbohidratos	8,1 g
Fibra	2,1 g
Calcio	195,0 mg
Fierro	4,9 mg
Caroteno	0,76 mg
Tiamina	0,06 mg
Riboflavina	0,22 mg
Niacina	1,00 mg
Ácido ascórbico	0,70 mg

Fuente: Collazos, 1975

1.1.7. Distribución geográfica

Originaria de la Amazonía occidental. Cultivada en toda América tropical. En el Perú ampliamente distribuida en Loreto, San Martín, Ucayali (Atalaya), también en la Región Amazonas pero en escasa cantidad (IIAP, 2001).

1.1.8. Usos (IIAP, 2001):

- **Alimentación**

Por su olor fuerte y agradable se emplea como sazonador en las comidas, especialmente las que son a base de pescados; pero eso no le quita méritos suficientes para ser utilizado en platos de diversas regiones del Perú como en juanes, sopa, plátano api con puspoporoto, nina juane, etc.

Contiene betacaroteno, pigmento que al convertirse en Vitamina A tiende a actuar como un antioxidante y además ayuda a disminuir el riesgo de

enfermedades del corazón. Las hojas contienen cantidades considerables de las vitaminas A, B1, B2 y C, riboflavina, carotenos, calcio y hierro.

- **Medicinal**

Acelerador del parto: Tomar un cocimiento de 7 hojas, bien caliente, cuando la mujer está con los dolores del parto.

Dolor de estómago: Tomar la infusión de las hojas.

Espasmos: Tomar la infusión de las hojas.

Fiebre: Aplicar sobre el cuerpo las hojas estrujadas en forma de frotaciones; también se puede tomar el cocimiento de las hojas.

Flatulencia: Tomar el cocimiento de las hojas y tallo.

Gripe y Resfrío: Tomar el cocimiento de las hojas.

Insomnio: Ingerir los frutos verdes mezclados con los alimentos.

Vómito: Tomar la infusión de la planta. Además estimula el apetito.

1.2. Hierbas aromáticas y especias

1.2.1. Hierbas aromáticas

Las hierbas aromáticas son plantas que poseen la característica de aromatizar o condimentar los alimentos, mediante la incorporación de sus hojas; con el objetivo de potenciar y resaltar los sabores a nuestros platos, son cultivadas en huertos de diferente extensión. Estas plantas frescas o secas los utilizamos en la cocina (cuando se encuentran molidas y secas las podemos considerar

como especias) su utilización preferiblemente debe ser en fresco, manteniéndolas en agua o envueltas en papel (Quintero, 2010).

1.2.2. Especias

Las especias se definen como cualquiera de los diversos productos vegetales naturales aromáticos, sin materias extrañas, utilizados enteros o en polvo para condimentar, dar sabor, aroma y/o color a los alimentos y bebidas. Para obtenerlas se utilizan distintas partes de las plantas, como: hojas, bulbo, semillas, fruto, corteza, tallo, botones florales o raíces. Tras el cultivo de las especias éstas se recolectan y son sometidas a diferentes tratamientos. El más frecuentemente utilizado es la deshidratación, de esta forma se consigue un mantenimiento de sus propiedades durante un tiempo prolongado. A lo largo de la producción de especias deben implementarse prácticas agrícolas y de manufactura para evitar la contaminación de las mismas. Iniciando por el cuidado del suelo en donde se siembran las plantas, la protección del cultivo y el control del agua de riego, incluyendo el proceso de limpieza, envasado y transporte.

En esta cadena de producción, los riesgos son muchos, y en la mayoría de los casos, la exposición de las especias al medio ambiente durante su producción y transporte, y las prácticas de higiene deficientes son las principales causas de su contaminación con material extraña, e incluso microorganismos patógenos, los cuales siguen siendo causa de brotes de enfermedades alrededor del mundo (Aliza, 2011).

Las especias deben conservarse en lugares secos y envasarse en recipientes herméticamente cerrados preferiblemente bajo gases inertes, como el nitrógeno, o al vacío, con el fin de retardar el posible crecimiento de mohos; de esta manera se evitara la pérdida de aroma y que se contaminen entre sí (Quintero, 2010). Cuando sea necesario para reducir el riesgo, las especias y hierbas aromáticas desecadas deben ser sometidas a un tratamiento válido de reducción microbiana, antes de estar a la disposición del consumidor; los métodos comúnmente utilizados involucran la aplicación de: vapor, fumigación o radiación (Codex Alimentarius).

Las hierbas aromáticas pueden ser utilizadas frescas o secas, las hierbas frescas poseen aromas más suaves y un sabor más delicado que las secas, lamentablemente solo pueden ser utilizadas durante un periodo de tiempo limitado, dado que la mayoría de ellas se deterioran en un corto tiempo y no están disponibles a lo largo de todo el año, si bien existe un recurso de congelarlos y descongelarlos cuando sea necesario pero después de un tiempo también se deterioran es por ello que surge la necesidad de determinar los parámetros óptimos de secado y de esta manera alargar su tiempo de vida útil y tenerlo a disposición durante todo el año.

1.3. Secado de productos alimenticios

El secado es un proceso en el cual se elimina la humedad de un producto alimentario para reforzar su estabilidad, sabor y textura (Lomas, 2002).

Es uno de los métodos de conservación de alimentos más empleados. Durante el secado se elimina agua del alimento, disminuyendo su disponibilidad para participar en aquellos procesos de deterioro en los que

intervienen (reacciones enzimáticas, desarrollo microbiano, etc.). Lo que se reduce es el valor de la actividad del agua, y de esta manera las velocidades de los procesos de deterioro. Otros objetivos del secado son las reducciones del peso y volumen, obtención de nuevos productos para aumentar el mercado de los alimentos frescos, formulación de nuevos alimentos, etc. Durante el proceso de secado hay que aportar energía para poder eliminar el agua, bien por evaporación si está en fase líquida, bien por sublimación si está en forma de hielo (Ibarz *et al.*, 2000).

1.3.1. Tipos de secado

1.3.1.1. Secado natural.- Requiere poco gasto y es sencillo de realizar, si se cuenta con condiciones climáticas adecuadas, baja humedad relativa y temperatura elevada.

- **Secado natural pasivo**

Se puede realizar colocando el material sobre el suelo, al sol y removiendo cada cierto tiempo, pero así se obtendrá un producto de mala calidad, contaminado y de bajo valor comercial. Es conveniente disponer las hierbas en capas delgadas sobre tarimas que se exponen al aire libre durante algunos días, teniendo la precaución de removerlos frecuentemente y de cubrirlos o guardarlos bajo techo durante la noche para evitar que el rocío ennegrezca el producto. En la producción casera, de pequeña cantidad, las hierbas pueden ser colgadas en manojos con los extremos de los tallos hacia abajo, el tiempo de secado dependerá de las condiciones climáticas y de la naturaleza del material a secar.

Una hierba, compuesta por hojas y delgados tallos leñosos, en condiciones apropiadas, demorará alrededor de 3 ó 4 días en alcanzar condiciones de humedad tales que pueda ser almacenada.

El principal inconveniente del secado natural es que no se pueden controlar las condiciones climáticas y así, al momento de cosechar nos puede tocar días de alta humedad, lluvia, baja temperatura, etc. que no permitirán un buen secado y por ende, una buena conservación.

- **Secado natural activo**

En zonas donde se dispone de energía solar abundante y la humedad relativa del aire es baja, una inversión económica muy conveniente es la instalación de plantas de secado en las que un volumen grande de aire es recogido y calentado previamente a ser dirigido a las hierbas. Se consiguen así altas calidades de producto a costos reducidos. Combina las ventajas del secado mecánico (control de variables, velocidad de secado, limpieza del producto, etc.) con el cuidado del ambiente y de costos (Calzavara, 2014).

1.3.1.2. Secado mecánico

El secado mecánico determina mayores gastos pero tiene ventajas, pues al controlarse las variables del tratamiento, en el lapso de unas horas, es posible obtener un producto homogéneo y de excelente calidad comercial.

Hay diversos métodos para deshidratar las hierbas, que pueden clasificarse, entre otras formas, de la siguiente manera.

- Desecación por aire caliente.

- Desecación por contacto directo con una superficie caliente.
- Desecación por aporte de energía de una fuente radiante de microondas o dieléctrica.
- Liofilización.

De ellos, el más utilizado es la aplicación de una corriente de aire caliente; para este método se utiliza el secador de bandejas:

- **Secador de bandejas**

Secador de bandejas, es un equipo totalmente cerrado y aislado en el cual los sólidos se colocan sobre bandejas perforadas o de malla metálica. La transmisión de calor es directa del aire a los sólidos, utilizando la circulación de grandes volúmenes de aire caliente (Perry y Chilton, 1982). El funcionamiento satisfactorio de los secadores de bandejas depende de mantener una temperatura constante y una velocidad de aire uniforme sobre todo el material que se esté secando. Conviene tener una circulación de aire con velocidades de 1 a 10 m/s para mejorar el coeficiente de transferencia de calor en la superficie y con el propósito de eliminar bolsas de aire estancado. La corriente de aire no uniforme es uno de los problemas más graves que se presentan en el funcionamiento de los secadores de bandejas (Perry y Chilton, 1982; Vernon, 2000; Barbosa, 2000).

El secado en bandeja es la técnica más común porque no requiere el uso de equipo altamente especializado como ocurre con el secado por atomización o en la liofilización. La podemos definir de la siguiente forma: es una operación unitaria en la que el agua que contiene un sólido

o una disolución se transfiere a una masa de aire gracias a los gradientes de humedad producidos en ambas fases (Ibarz *et al.*, 2000). Por este procedimiento tienen lugar simultáneamente los siguientes fenómenos de transporte:

- Transmisión de calor (necesario para evaporar el agua) desde el aire al sólido y a través de este.
- Transferencia de materia desde el interior del sólido hasta su superficie (mayormente agua) y desde ésta hasta el seno del aire (vapor de agua).
- Transporte de cantidad de movimiento, como consecuencia de los gradientes de velocidad que se establecen al circular el aire a través del sólido.

La velocidad con que se seca el producto depende, normalmente, de la rapidez con que se desarrolla la transmisión de calor y la transferencia de materia. El transporte de cantidad de movimiento está relacionado con las características de los ventiladores que han de impulsar el aire de secado (Ibarz *et al.*, 2000).

El aire se hace circular por medio de ventiladores de hélice o centrífugos; por lo común, el ventilador se monta dentro o directamente arriba del secador. 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 desecación de evaporación rápida (Vernon, 2000).

Los términos que se utilizan para describir el contenido de humedad de las sustancias se definen a continuación (Ocón y Tojo, 1980; Perry y Chilton, 1982; Vernon, 2000; Barbosa, 2000).

a) Contenido de humedad en base seca (Ys), es la que expresa la humedad de un material como porcentaje del peso del sólido seco.

Se define como:

$$\% Y_s = \frac{[W_{\text{material a secar}} - W_{\text{material seco}}]}{W_{\text{material seco}}} * 100$$

Dónde:

W = masa

b) Contenido de humedad en base húmeda (H), es la que expresa la humedad de un material como porcentaje del peso del sólido mojado.

Se define como:

$$\% H = \frac{[W_{\text{material a secar}} - W_{\text{material seco}}]}{W_{\text{material a secar}}} * 100$$

Relación entre la humedad en base seca (Ys) y humedad en base húmeda (H)

$$\% Y_s = \frac{\% H}{100 - \% H} * 100$$

$$\% H = \frac{\% Y_s}{100 + \% Y_s} * 100$$

- c) **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. Se expresa en Kg H₂O/kg sólido seco o g H₂O/g sólido seco. 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 3).
- d) **Contenido crítico de humedad (Y_c)**, es el contenido de humedad promedio cuando concluye el periodo de velocidad constante.
- e) **Contenido de humedad libre (Y_l) o humedad residual (Y_r)**, es el líquido que se puede separar a una temperatura y humedad dadas. Este valor llega a incluir tanto la humedad ocluida como la no ocluida (retenida). Si m es el peso del sólido húmedo (agua más sólido seco) en kg, y S es el peso del sólido seco en kg: $Y_r = (m - S) / S$. Se expresa en kg agua/kg ss o g agua/g ss.

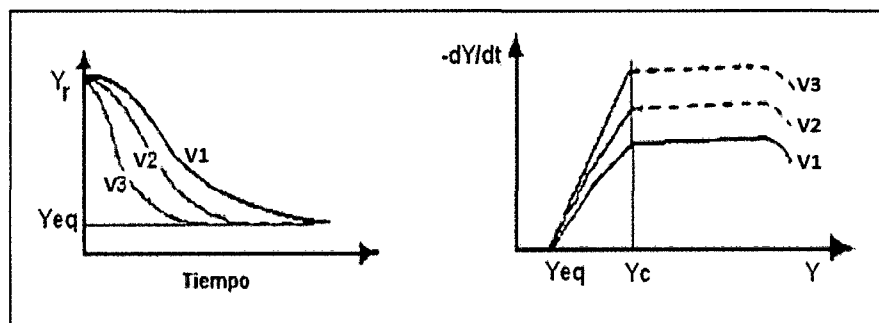


Figura 1. Influencia de la velocidad del aire sobre la operación de secado. ($V_3 > V_2 > V_1$; donde V : velocidad). (Fuente: Vernon, 2000).

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.

f) **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.

g) **Periodos de secado**

Periodo de inducción, comprende la primera etapa del proceso de secado (Zona A-B en la Figura 2). Se produce un calentamiento del producto, adaptándose el material a las condiciones del secado. Dado que su duración es muy corta (en comparación con el tiempo total de secado), no suele tenerse en cuenta a la hora del cálculo y diseño de los secadores industriales.

Periodo de velocidad de secado constante, comprende la segunda etapa del proceso de secado (Zona B-C en la Figura 2). Durante este periodo la velocidad con que se elimina agua de la superficie del producto es igual a la velocidad con que llega desde el interior del mismo, de esta manera la superficie del material se mantiene constantemente mojada, y se comporta como una masa de líquido. Si la transmisión de calor tiene lugar solamente por convección, la temperatura de la superficie del sólido permanece constante e igual a la temperatura de humedad del aire de secado. Esta temperatura puede determinarse mediante un diagrama psicométrico del aire

húmedo. La velocidad de secado permanecerá constante mientras exista agua libre en la totalidad de la superficie del alimento.

Periodo de velocidad de secado decreciente, comprende la tercera etapa del proceso de secado (Zona C-D en la Figura 2). Durante este periodo la velocidad de secado disminuye con la humedad del producto. Abarca el proceso de secado desde contenidos en humedad igual a la humedad crítica hasta el punto final del secado, la humedad final mínima posible es la humedad de equilibrio del producto para las condiciones del aire de secado. Si el flujo de calor sigue siendo el mismo, parte del calor que llega al sólido se invierte en calentarlo. En este periodo la velocidad de secado depende del contenido en humedad del sólido.

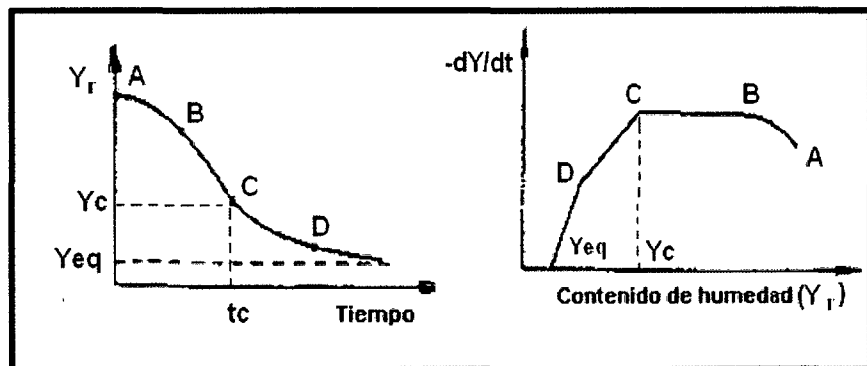


Figura 2. Graficas típicas del contenido de humedad vs tiempo.

(Fuente: Vernon, 2000).

Para reducir el contenido de humedad de diversos materiales, se debe evaluar experimentalmente las diferentes condiciones de velocidad y temperatura del aire empleado, y el tiempo requerido para lograr el grado de secado deseado. Las mediciones de velocidad del secado por lotes se

obtienen a partir de datos experimentales y proporcionan mucha información para la operación por lotes (Ocón y Tojo, 1980).

En la presente investigación, se propone una alternativa para el aprovechamiento industrial de hojas de sachá culantro, secado en un secador de bandejas y su posterior elaboración de harina, lo cual incrementará su vida útil e incentivará su producción ya que además se dará a conocer la importancia nutricional de dicho producto. Para ello se plantearon los siguientes objetivos:

- Realizar la caracterización biométrica y análisis fisicoquímico de hojas frescas de sachá culantro.
- Determinar la temperatura y velocidad del aire de secado que permita obtener harina de hoja de sachá culantro con la mayor aceptación organoléptica.
- Determinar gráficamente los parámetros cinéticos de secado de hojas de sachá culantro para elaboración de harina: Tiempo crítico de secado, humedad crítica y humedad de equilibrio.
- Modelar la cinética de secado de hojas de sachá culantro para elaboración de harina.
- Determinar el rendimiento de la harina de hoja de sachá culantro.
- Realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de harina de hoja de sachá culantro con la mayor aceptación organoléptica.

II. MATERIAL Y METODOS

2.1. Materia prima

Como material de estudio para esta investigación se utilizó las hojas de *Eryngium foetidum* L. “sacha culantro”, la cual fue obtenida de la localidad de Michina, provincia de Rodríguez de Mendoza, Región Amazonas. Para la recolección se tuvo en cuenta a las hojas inferiores de la planta por ser las más maduras.

Los análisis microbiológicos y fisicoquímicos se realizaron en los laboratorios de Ingeniería, Tecnología y Microbiología de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas y en CERPER S.A. de Lima - Callao (laboratorio acreditado por INDECOPI)

2.2. Caracterización biométrica de la materia prima

Se empleó de 10 hojas de sachá culantro para medir su largo y ancho. Con una balanza digital se pesó dichas hojas.

2.3. Análisis fisicoquímico de la materia prima

Se realizó para determinar humedad, proteínas, grasa, cenizas, carbohidratos, calorías, calcio y hierro. Cuyos análisis fueron realizados por CERPER S.A. (laboratorio acreditado por INDECOPI).

2.4. Procedimiento de secado de hojas de sachá culantro

Se utilizó un secador de bandejas que contiene un soplador de aire, este permite regular las velocidades del aire de secado ($V_1 = 2,5$; $v_2 = 3,0$; $V_3 = 3,5$ m/s) las que al pasar por un ducto con cuatro resistencias eléctricas se calientan a cada una de las temperaturas de trabajo reguladas mediante un termostato ($T_1 = 40^\circ\text{C}$, $T_2 = 50^\circ\text{C}$ y $T_3 = 60^\circ\text{C}$) y finalmente pasan a la cámara de secado; donde se midieron tanto la velocidad como la temperatura del aire de secado con un anemómetro

digital (Control Compact, Modelo Anemo-Thermometer), todo esto se realizó mediante el siguiente procedimiento.

1. Se encendió el soplador del secador de bandejas y se giró la perilla de control de velocidad hasta la velocidad deseada.
2. Se encendió las resistencias eléctricas y se reguló la temperatura de trabajo (40°C, 50°C o 60°C) en el termostato del secador.
3. Se midió la temperatura a la entrada y a la salida de la cámara de secado (con termómetro digital) verificando que en la cámara de secado se alcance la temperatura deseada (40°C, 50°C o 60°C).
4. Se pesó el sistema de soporte y bandejas. La suma de estos pesos se registraron como **PB** (Peso de bandejas).
5. Se colocó uniformemente las hojas de sachá culantro en cada una de las bandejas del secador. El peso de las cuatro bandejas, el soporte y la muestra colocada en ella se midió y se registró como **P1**.
6. Se midió la temperatura y velocidad del aire (con el anemómetro digital) cada 5 minutos, para verificar que el secado se realice a condiciones estacionarias.
7. Se pesó el sistema de cuatro bandejas, soporte y hojas de sachá culantro; cada cinco minutos (**P1** al tiempo t).
8. Se apagó el secador de bandejas cuando la diferencia entre los pesos de mediciones consecutivas fue muy pequeña. Finalmente se trasladó las bandejas con su contenido a la estufa para secar completamente las hojas, es decir hasta peso constante y determinar el peso seco (**S**).
9. Se calculó el peso de las hojas de sachá culantro secas al tiempo t:
$$(P2 = P1 - PB)$$
10. Humedad residual: $Y_r = (P2 - S)/S$

11. Velocidad de secado: $-dY/dt = (Y_i - Y_{i+1}) / (T_i - T_{i+1})$

12. Humedad promedio: $Y_m = (Y_i + Y_{i+1}) / 2$

13. Se graficó la humedad residual (Y_r) vs tiempo.

14. Se determinó gráficamente el tiempo crítico de secado, humedad crítica (Y_c)
humedad de equilibrio (Y_{eq}).

15. Se graficó la velocidad de secado ($-dY/dt$) vs humedad promedio (Y_m)

2.5. Obtención de harina de hojas de sachaculantro

En la presente investigación se siguió el flujograma mostrado en la Figura 4, cuyas etapas se describen a continuación.

Recepción: Las hojas utilizadas estuvieron sanas, no presentaron daños biológicos y fueron recolectadas cuidadosamente para no sufrir daños mecánicos.

Selección y clasificación: Se seleccionó las hojas frescas de color verde y tamaño uniforme.

Lavado y desinfección: Se lavó las hojas con abundante agua y luego se desinfectó con hipoclorito de sodio al 0,5%, para eliminar microorganismos patógenos y sustancias extrañas.

Oreado: Se distribuyó uniformemente las hojas lavadas y desinfectadas sobre papel toalla por un aproximado de 15 a 20 minutos para eliminar el exceso de agua.

Secado: Se realizó en el secador de bandejas con flujo de aire caliente a diferentes temperaturas (40°C, 50°C, 60°C) y velocidades (2,5 m/s; 3.0 m/s; 3,5 m/s), de acuerdo a la figura 3, hasta alcanzar la humedad de equilibrio dentro de la cámara de secado.



Al inicio de cada corrida experimental se verificó las condiciones de operación del secador de bandejas: temperatura y velocidad del aire de secado con un anemómetro digital (en la salida de aire de la cámara de secado). Se realizaron pesadas cada 5 minutos para su registro y monitoreo, este procedimiento se aplicó para cada tratamiento.

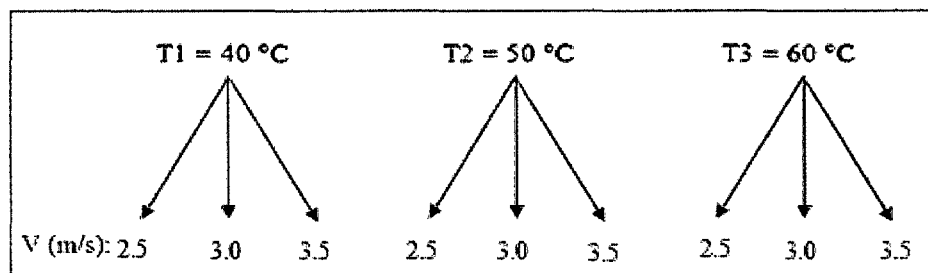


Figura 3. Plan experimental, a cada temperatura se evaluarán tres velocidades del aire de secado.

Molido: Las hojas secas de sachá culantro se muelen utilizando un molino manual de tornillo sin fin; esta operación se hizo lo más rápido posible para evitar la absorción de humedad del medio ambiente.

Tamizado: Se empleó el tamiz vibratorio con la zaranda de malla 50, con lo que se logró obtener una harina homogénea.

Envasado: Se pesó la harina en una balanza digital y se envasó en bolsitas de polietileno selladas con una selladora eléctrica.

Almacenado: Las muestras de harina de hoja de sachá culantro se almacenaron en un lugar seco, libre de olores y radiación solar, a temperatura ambiente, para su posterior evaluación organoléptica y otros análisis.

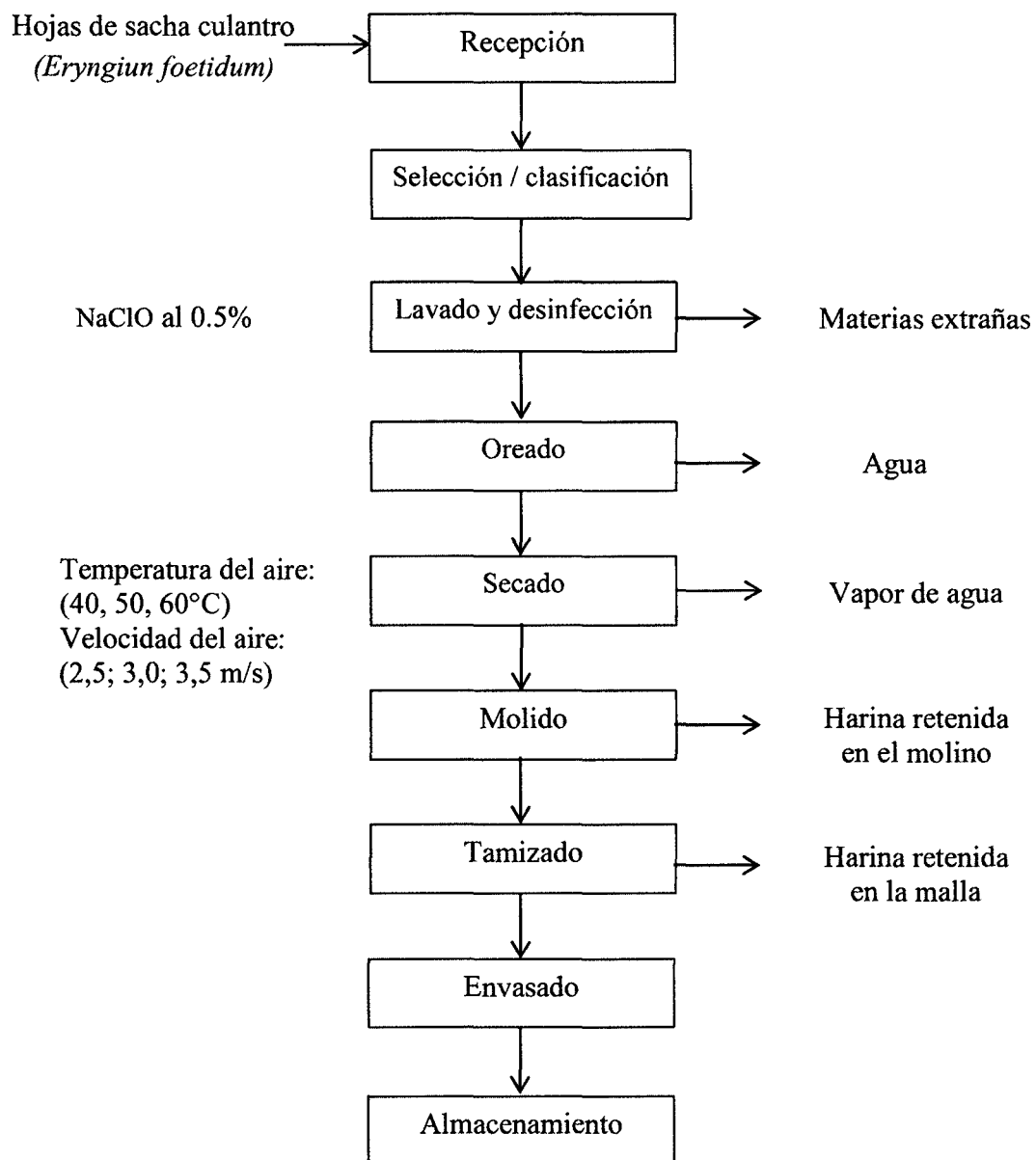


Figura 4. Flujograma para la obtención de harina de hoja de sachá culantro.

2.6. Análisis organoléptico de harina de sachá culantro

Nueve panelistas semientrenados evaluaron sabor, color y olor empleando una escala hedónica de cinco niveles:

Me gusta mucho (5)

Me gusta moderadamente (4)

No me gusta ni me disgusta (3)

Me disgusta moderadamente (2)

Me disgusta mucho (1)

- **sabor**

Se preparó un caldo de pollo, utilizando la siguiente formulación:

Agua (1000 ml) + pollo (10 g) + sal (3.3g)
--

Cada panelista evaluó las nueve muestras de harina de sachá culantro obtenidas. Se adicionó 0.08 g de harina de sachá culantro por cada 90 ml de caldo de pollo.

- **Color y olor**

Para evaluar estas características organolépticas se colocó 5 g de harina de sachá culantro en envases transparentes tal como se muestra en la fotografía 13 (Anexo 1).

El test de escala hedónica para evaluar sabor, color y olor de harina de sachá culantro se muestra en el Anexo 6.

2.7. Análisis fisicoquímico de harina de sachá culantro

Se realizó en el laboratorio CERPER S.A. acreditado por INDECOPI siguiendo los métodos oficiales para determinar: humedad, proteína, grasa, cenizas, carbohidratos, calorías, hierro y calcio.

2.8. Análisis microbiológico de harina de sachá cuatro

Se realizó a la harina con mayor aceptación organoléptica.

2.8.1. Recuento de mohos y levaduras

Se realizó de acuerdo al “procedimiento de recuento de mohos y levaduras en alimentos norma ISO 7954”. Se utilizó el medio Agar Extracto de Malta y la diferenciación se realizó por los caracteres macroscópicos de las colonias (morfología, color y consistencia) y por la demostración microscópica de los órganos fructíferos, esporas, conidios, etc. El procedimiento se explica en el Anexo 5.

2.9. Metodología Experimental

El esquema experimental de la investigación se muestra en la Figura 5, el cual se describe el desarrollo de las actividades para evaluar el efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado sobre las características organolépticas, microbiológicas y fisicoquímicas de la harina de sachá culantro.

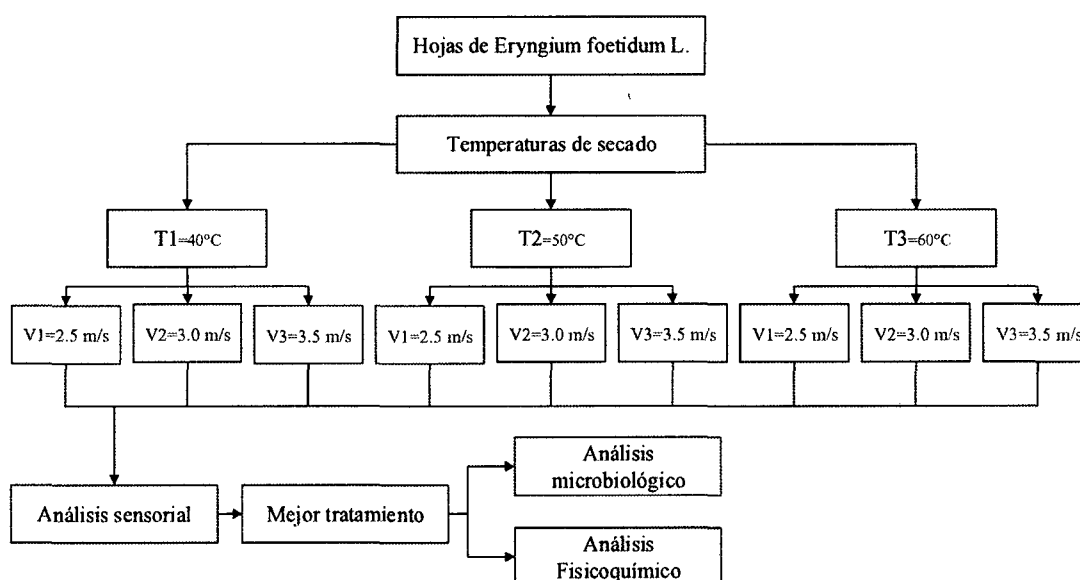


Figura 5. Metodología experimental.

2.10. Análisis estadístico de datos

Para el análisis de datos y determinar el efecto de la velocidad y la temperatura de secado sobre las características organolépticas de la harina de sachá culantro se empleó un experimento factorial del tipo 3A x 3B bajo un Diseño en Bloques Completo al Azar (DBCA). Los resultados obtenidos fueron procesados empleando el software SPSS 15.0 para Windows.

Factores:	Niveles	
A. Temperatura	a ₁	:40°C
	a ₂	:50°C
	a ₃	:60°C
B. Velocidad del aire	b ₁	: 2,5 m/s
	b ₂	: 3,0 m/s
	b ₃	: 3,5 m/s

Variable respuesta: características organolépticas de harina de sachá culantro.

Tabla 3. Diseño en bloques completamente al azar (DBCA).

BLOQUES (panelista)	a1			a2			a3		
	b1	b2	b3	b1	b2	b3	b1	b2	b3
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									

Fuente: Elaboración propia

Modelo aditivo lineal.

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + C_k + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

- $i = 1, 2, 3$ (Nivel del factor A)
- $j = 1, 2, 3$ (Nivel del factor B)
- $k = 1, 2, 3$ (panelistas)

Además:

Y_{ijk} : Puntuación de las características organolépticas de harina de sachaculantro obtenida con la i -ésima temperatura del aire, j -ésima velocidad del aire y k -ésimo panelista.

μ : Efecto de la media general.

A_i : Efecto de la i -ésima temperatura del aire.

B_j : Efecto de la j -ésima velocidad del aire.

$(AB)_{ij}$: Efecto de la interacción en la i -ésima temperatura del aire y j -ésima velocidad del aire.

C_k : Efecto del k -ésimo bloque (panelista)

ε_{ijk} : Error experimental.

Nivel de significación: 5 % = 0,05

Comparaciones múltiples

Para evaluar las diferencias entre las medias de los tratamientos, se empleó la prueba Tukey al 95% de nivel confianza.

III. RESULTADOS

3.1. Características biométricas y físicas de hojas de sachá culantro

El análisis biométrico y físico de hojas de sachá culantro se realizó a partir de 10 hojas (Anexo 2), siendo el resultado el promedio del total de datos evaluados; tal como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Características biométricas y físicas de hojas de sachá culantro

Característica	Valores promedios
Largo (cm)	11,6
Ancho (cm)	5,06
Peso (g)	1,30

Fuente: Elaboración propia

3.2. Características fisicoquímicas de hojas frescas de sachá culantro

En la Tabla 5, se muestra los análisis que se realizaron a las hojas frescas de sachá culantro, cuyos análisis fueron realizados por CERPER S.A. (laboratorio acreditado por INDECOPI)

Tabla 5. Características

Característica	Hojas de sachá culantro
Humedad	89,57 g
Proteína	1,97 g
Grasa	0,46 g
Cenizas	1,71 g
Carbohidratos	6,29 g
Calorías	37,18 Kcal
Calcio	75.016 mg
Hierro	0.939 mg

fisicoquímicas en 100 g de hojas frescas de sachá culantro

Fuente: CERPER S.A.

3.3. Evaluación sensorial de harina de sachá culantro

Los resultados de la evaluación sensorial (sabor, olor y color) de la harina de sachá culantro se muestran en la Tabla 6, donde se observa que el T3 si obtuvo significancia estadística en cuanto al sabor y olor, determinado según la prueba Tukey al 95% de nivel de confianza (Anexo 7).

Respecto al color no se obtuvo significación estadística en ninguno de los tratamientos evaluados; en la Tabla 18 (Anexo 7) se observa un solo subconjunto homogéneo; sin embargo, el tratamiento T3 obtuvo una mayor calificación (4,22).

Tabla 6. Análisis sensorial del sabor, color y olor de harina de sachá culantro obtenida.

Tratamientos	Proceso de secado		Sabor	Color	Olor
	Temperatura (°C)	Velocidad (m/s)			
T1	40	2,5	2,78	4,00	2,78
T2	40	2,5	3,33	4,11	3,33
T3	40	2,5	4,67*	4,22	4,67*
T4	50	3,0	3,00	4,11	3,00
T5	50	3,0	2,44	4,11	2,44
T6	50	3,0	2,56	3,89	2,56
T7	60	3,5	2,44	3,78	2,44
T8	60	3,5	3,11	3,78	3,11
T9	60	3,5	2,89	3,78	2,89

* Significancia con prueba Tukey al 95% de nivel de confianza.

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Cinética de secado de hojas de sachá culantro

En la Figura 6, se muestran los resultados de las corridas experimentales de secado de hojas de sachá culantro realizadas con aire a 40 °C y velocidades de 2,5; 3,0 y 3,5 m/s (los datos experimentales se presenta en el Anexo 8); donde se aprecia que la humedad crítica (Y_c) fue 3,19 g agua/g hojas secas y la humedad de equilibrio (Y_{eq}) fue 0,13 g agua/g hoja seca, valores que no experimentaron variación a pesar de haber empleado diferentes velocidades del aire de secado, manteniendo constante la temperatura. El tiempo crítico (t_c) de secado disminuyó conforme aumentó la velocidad del aire de secado. Se presentan las curvas en una sola figura para visualizar la diferencia entre ellas. Por otra parte, la humedad crítica y la humedad de equilibrio se mantuvieron constantes mientras el tiempo crítico disminuye con el aumento de la velocidad de secado. La harina de hojas de sachá culantro con mayor aceptación organoléptica fue obtenida secando con aire a 40 °C y velocidad de 3,5 m/s (tratamiento T3) cuyo tiempo crítico (t_c) fue de 35 minutos.

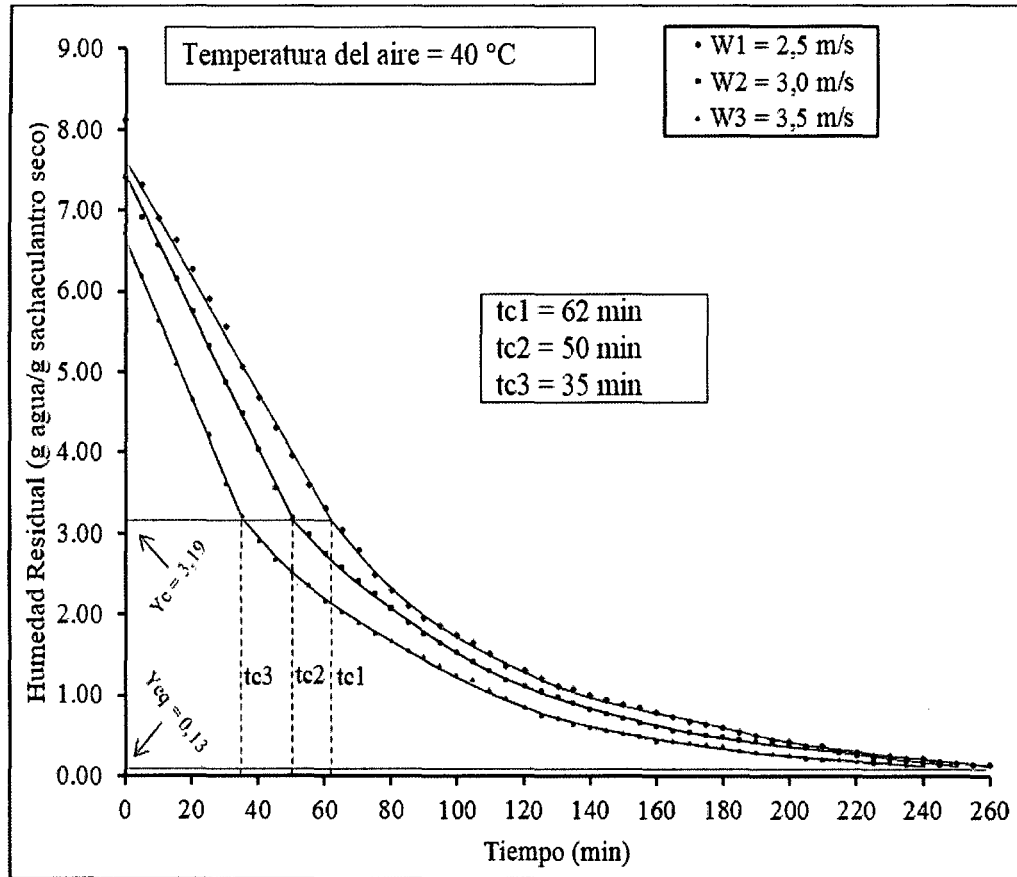


Figura 6. Humedad residual en función del tiempo con aire a 40°C y velocidades de 2,5; 3,0 y 3,5 m/s.

La Figura 7, corresponde a las gráficas de velocidad de secado (dY/dt) vs humedad residual promedio (Y_m), para la temperatura de aire de 40 °C y velocidades de 2,5; 3,0 y 3,5 m/s (datos experimentales en el Anexo 8). Puede observarse que los valores de los parámetros cinéticos Y_c y Y_{eq} leídos de la Figura 7, concuerdan con los leídos en la Figura 8. A 40 °C y 3,5 m/s la velocidad de secado fue de 0,1g agua/g hoja seca.minuto. Los datos de las corridas experimentales a 50 °C y velocidades 2,5; 3,0 y 3,5 m/s se muestran en el Anexo 8, y sus gráficas en las Figuras 18 y 19 del mismo Anexo; los datos de las corridas experimentales a 60 °C y velocidades de 2,5; 3,0 y 3,5 m/s se muestran en el Anexo8, y sus gráficas en las Figuras 26 y 27 del mismo Anexo.

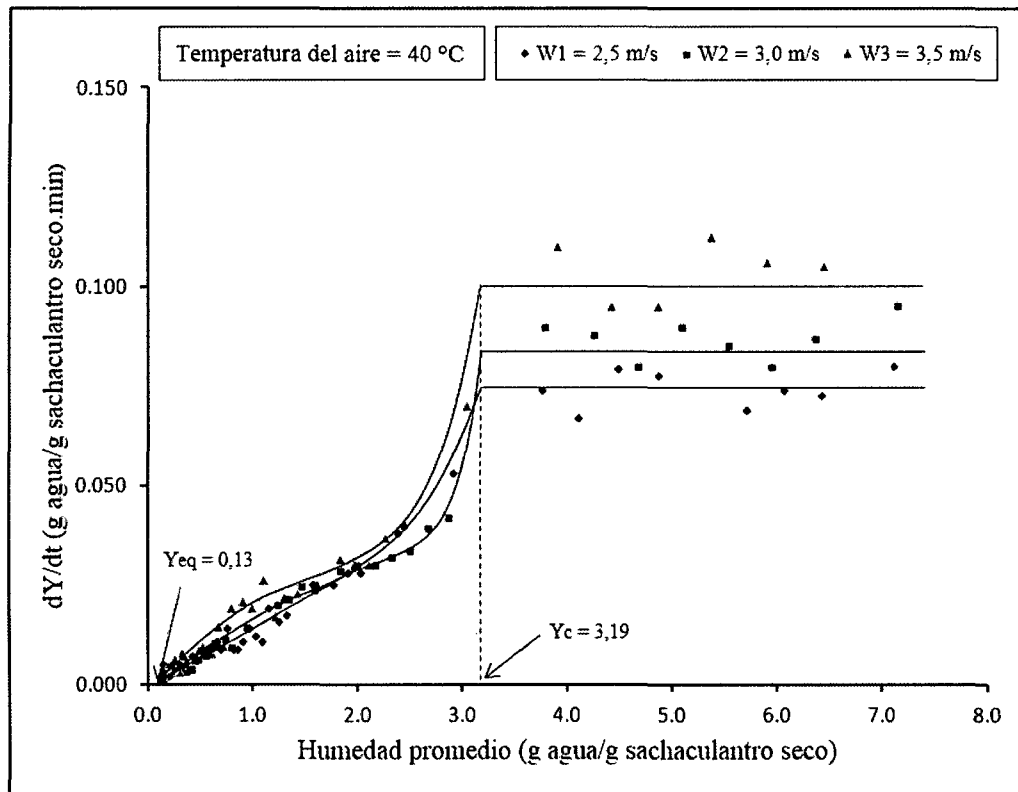


Figura 7. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ($T_1 = 40\text{ °C}$; $V = 2,5; 3,0$ y $3,5$ m/s).

3.6. Modelo matemático de la cinética de secado de hojas de sachaculantro

Para obtener las ecuaciones correspondientes a la parte lineal y a la exponencial de cada una de las curvas de secado obtenidas en el presente trabajo de investigación, los resultados experimentales fueron procesados con el software estadístico SPSS 15.0 para Windows. En la Tabla 7, se muestran dichas ecuaciones, las cuales se constituyen en el modelo matemático de la cinética del secado de hojas de sachaculantro a cada una de las temperaturas y velocidades del aire de secado ensayadas. Los análisis de regresión se presentan en el Anexo 8.

Ecuación de la parte lineal: $Y = m X + b$

Ecuación de la parte no lineal (exponencial): $Y = a e^{(b X)}$

Tabla 7. Parámetros cinéticos y 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.

Temperatura del aire (°C)	Velocidad del aire (m/s)	Ecuación de la parte recta	R ²	Tiempo crítico (min)	Humedad crítica (g agua/g hoja seca)	Ecuación de la parte curva	R ²	Humedad de equilibrio (g agua/g hoja seca)
40	2,5	$y = -0,075x + 7,711$	0,999	62	3,19	$y = 8,365e^{(-0,015x)}$	0,993	0,13
	3,0	$y = -0,084x + 7,406$	0,999	50		$y = 7,284e^{(-0,016x)}$	0,989	
	3,5	$y = -0,1x + 6,667$	0,998	35		$y = 5,616e^{(-0,016x)}$	0,998	
50	2,5	$y = -0,077x + 7,271$	0,999	50	3,38	$y = 8,663e^{(-0,019x)}$	0,996	0,13
	3,0	$y = -0,098x + 6,819$	0,999	35		$y = 5,448e^{(-0,018x)}$	0,992	
	3,5	$y = -0,184x + 8,790$	0,996	30		$y = 6,789e^{(-0,026x)}$	0,996	
60	2,5	$y = -0,142x + 8$	0,999	30	3,72	$y = 9,591e^{(-0,031x)}$	0,997	0,13
	3,0	$y = -0,160x + 7,696$	1,00	25		$y = 8,873e^{(-0,034x)}$	0,997	
	3,5	$y = -0,286x + 8,852$	0,998	18		$y = 7,524e^{(-0,037x)}$	0,988	

Dónde:

Y = Humedad residual de las hojas

X = Tiempo de secado de las hojas

3.7. Rendimiento en el proceso de obtención de harina de sachaculantro

El rendimiento de la obtención de harina a partir de hojas frescas de sachaculantro fue del 14,36 %, el balance de materia se muestra en el Anexo 4.

3.8. Características fisicoquímicas de harina de hoja sachaculantro

A temperatura de 40°C y velocidad de 3,5 m/s de aire de secado (T3), se obtiene harina de sachaculantro con mayor aceptación organoléptica, a ésta harina se hizo el análisis fisicoquímico en el laboratorio de CERPER S.A. (laboratorio acreditado por INDECOPI), cuyos resultados se muestran en la Tabla 8 (Anexo 3).

Tabla 8. Características fisicoquímicas en 100 g de harina de sachaculantro

Característica	Harina de sachaculantro
Humedad	9,09 g
Proteína	20,00 g
Grasa total	3,90 g
Cenizas	13,95 g
Carbohidratos	60,42 g
Calorías	362,54 Kcal
Calcio	916,96 mg
Hierro	9,614 mg

obtenida a 40°C y 3,5 m/s de velocidad del aire de secado.

Fuente: CERPER S.A.

3.9. Análisis microbiológico de harina de sachaculantro

El análisis microbiológico se realizó a la harina de hoja de sachaculantro de mayor aceptabilidad organoléptica. La muestra se almacenó por 30 días y luego se

sembró por incorporación en doce placas (diluciones desde 10^{-1} hasta 10^{-6} , por duplicado). En agar extracto de malta. Los resultados se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Análisis microbiológico de la harina de sachá culantro de mayor aceptación organoléptica.

Muestra	Mohos	Levaduras
Harina de sachá culantro	$1,2 \times 10^2$ ufc/g	$1,6 \times 10^2$ ufc/g

Fuente: Elaboración propia.

Los microorganismos encontrados con mayor incidencia en la harina, fueron mohos menores a $1,2 \times 10^2$ ufc/g y levaduras en una cantidad de $1,6 \times 10^2$ ufc/g, valores menores al rango permisible según Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano (RM N° 615-2003 SA/DM). Que son 10^3 a 10^4 ufc/g para mohos y levaduras. También en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 532:2010 “especias y condimentos. Requisitos” (Anexo 5) se puede apreciar los mismos requisitos de calidad microbiológica para especias y condimentos.

IV. DISCUSIÓN

En la caracterización biométrica se determinó que las medidas promedio de las hojas de sachá culantro son: largo 11,16cm y ancho 5,06 cm, con un peso de 1,3 g; valores cercanos al rango que mencionan Torres y Gill (2012), que las hojas son alargadas y cuando se cultivan de manera tecnificada generalmente presentan entre 13 a 31 cm de largo, y de 3 a 5 cm de ancho, con los bordes aserrados y un peso promedio de 2g. Las hojas de sachá culantro utilizadas en la presente investigación son más pequeñas en consecuencia también tienen un menor peso debido a que crecen de manera silvestre.

Uno de los aspectos fundamentales en el procesamiento de hierbas aromáticas es el secado de las mismas. De nada sirve producir material de excelente calidad en campo si en el periodo de secado se pierden sus propiedades aromáticas. Como regla general, Ocampo y Valverde (2000), recomiendan una temperatura de 30 a 60°C para el secado de rizomas, cortezas y raíces; estas deben tener una humedad final de 12%; para hojas y flores recomiendan una temperatura entre 20 y 40°C y una humedad final de 5 a 10%; esto concuerda con los resultados de la presente investigación donde la harina de sachá culantro con mayor aceptación organoléptica es la obtenida a temperatura de 40°C con humedad final de 9,09%; cumpliéndose también con lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 532:2010. Que la humedad máxima debe ser de 10,0 %.

Tonguillo (2008) al deshidratar *Mentha piperita* L. y *Oreganum vulgare* L. y evaluar las variables color, aroma y sabor que realizó al primer día y a los 30 días de elaborado el producto, determinó que el mejor tratamiento fue T1 (40 °C y 3 cm de espesor de las hojas) por un tiempo de 13 horas. En la presente investigación, la mejor temperatura de secado si concuerda con este autor; pero en cuanto al tiempo, las hojas de sachá culantro

se secaron en 4 horas debido a que las hojas tienen un espesor mínimo y fueron distribuidas en una sola capa sobre las bandejas del secador.

En base a la Figura 6, a mayor velocidad del aire de secado, menor tiempo de secado, en consecuencia también menor tiempo crítico; esto se debe a que una mayor masa de aire permite el rápido retiro de la humedad. La humedad crítica ($Y_c = 3,19$ g de agua/g hoja seca) y humedad de equilibrio ($Y_{eq} = 0,13$ g de agua/g hoja seca) no varían con el incremento de la velocidad, como se observa en la Figura 6 y 7. Esto concuerda con lo citado por Vernon (2000), Tonguillo (2008) y Ocampo y Valverde (2000). Para la temperatura de aire de $40\text{ }^\circ\text{C}$ y velocidad de $3,5$ m/s (mejor tratamiento), el tiempo crítico fue de 35 minutos y para alcanzar la humedad de equilibrio (Y_{eq}) transcurrió 240 min.

En la Figura 7, el tramo recto horizontal corresponde al período de velocidad constante de secado, y está asociado a la eliminación del agua no ligada a las hojas de sachaculantro. Al inicio, la superficie de cada hoja se encuentra muy húmeda, el agua eliminada en la superficie es compensada por el flujo de agua desde el interior de la hoja. 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; ya no llega suficiente agua a la superficie para mantener la máxima evaporación. En este momento puede que se esté empezando a eliminar el agua ligada. El sólido aumenta de temperatura y la velocidad de secado desciende tendiendo a hacerse cero conforme nos acercamos a la humedad de equilibrio. 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 (Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2000).

En la Tabla 7, se muestra que para cada una de las temperaturas ensayadas y los diferentes valores de velocidad del aire evaluado, las curvas de secado tienen función lineal en el periodo de velocidad constante, esta etapa está asociada a la eliminación de agua ligada; y en el periodo de velocidad decreciente es mejor representada por una ecuación exponencial, similar a lo encontrado por Montoya y Reis (2013), quienes realizaron la cinética de secado de hojas de *Leucaena leucocephala* en secador de bandejas con calefacción a biogas.

Los resultados fisicoquímicos realizados en 100 g de hoja fresca de sachá culantro se muestran en la Tabla 5, donde la humedad fue 89,57 g; proteína 1,97 g; grasa 0,46 g; carbohidratos 6,29 g; calorías 37,18 g; calcio 75,016 mg y hierro 0,939 mg. Según Rodríguez (2014) las hojas frescas de sachá culantro están compuestas por 86,7% de agua; proteínas 0,7 g; grasa 0,2 g; carbohidratos 6,4 g; calcio 6,0 mg; mientras que para Collazos (1975), las hojas de sachá culantro tienen la siguiente composición nutricional: valor energético 38,0 Kcal; proteínas 1,9 g; grasa 0,5 g; carbohidratos 8,1 g; calcio 195,0 mg y fierro 4,9 mg; por lo tanto se observa que los resultados obtenidos de la composición fisicoquímica de las hojas frescas utilizadas en la presente investigación son similares a lo mencionado por Rodríguez (2014) y Collazos (1975).

Los análisis fisicoquímicos realizados a la harina de hojas de sachá culantro se muestran en la Tabla 8, siendo la humedad de 9,09 %, y cenizas de 13,95 %. Para comparar estos resultados se tomó como referencia la Norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 532:2010 “especies y condimentos. Requisitos”, que establece que para el *Coriandrum sativum* (culantro) la humedad no debe ser mayor que 10,0% y las cenizas no deben ser mayores a 7,0%. En consecuencia, los datos obtenidos en la presente investigación para

la humedad se encuentra dentro del rango establecido por esta norma; mientras que para cenizas es superior a lo establecido debido a que se está tomando como referencia a una hierba aromática diferente, esto puede deberse a que el sachá culantro tiene una nervadura principal más gruesa, la cual no fue separada.

En la Tabla 9, se muestra los resultados de los análisis microbiológicos para mohos y levaduras, en la que se ha obtenido $1,2 \times 10^2$ ufc de mohos/g y $9,6 \times 10^2$ ufc de levaduras/g, según la Norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 532:2010 los límites máximos permisibles microbiológicos para especias puras y condimentos en polvo; no deben exceder el rango de 10^3 y 10^4 ufc/g; en consecuencia la harina de sachá culantro obtenida aplicando una temperatura de 40°C y 3.5m/s del aire de secado, y conservada por 30 días es apta para consumo humano. Se considera que esta contaminación microbiológica mínima se debió a las condiciones de los equipos y también a los microorganismos procedentes del medio ambiente durante el proceso; el Código de Prácticas de Higiene para Especies y Plantas Aromáticas Desecadas recomienda que para reducir el riesgo, las especias y hierbas aromáticas desecadas deben ser sometidas a un tratamiento válido de reducción microbiana, antes de estar a la disposición del consumidor; los métodos comúnmente utilizados involucran la aplicación de vapor, fumigación o radiación; mientras que para Quintero (2010), las especias deben conservarse en lugares secos y envasarse en recipientes herméticamente cerrados preferiblemente bajo gases inertes, como el nitrógeno, o al vacío, con el fin de retardar el posible crecimiento de mohos; de esta manera se evitará la pérdida de aroma y que se contaminen entre sí; actividades que no se realizaron antes del envasado de la harina de sachá culantro por esta razón presenta mohos y levaduras pero menor al rango permisible. Por lo tanto, la harina de sachá culantro se puede emplear en la industria de alimentos, porque no representa ningún riesgo para la salud humana.

V. CONCLUSIONES

- Las hojas de sachá culantro frescas tienen las siguientes características biométricas: largo 11.16cm, ancho 5.06 cm y peso 1,3 g.
- A mayor velocidad y mayor temperatura del aire en la operación del secador de bandejas, reduce el tiempo de secado y las temperaturas muy altas afectan la calidad de harina de sachá culantro (sabor y olor).
- Es suficiente secar las hojas de sachá culantro durante 240 minutos en el secador de bandejas, con una temperatura de aire de secado a 40°C y velocidad 3,5 m/s, para obtener una harina de sachá culantro con humedad de 9,09% lo que facilita su molienda y conservación.
- Al secar las hojas de sachá culantro en un secador de bandejas a una temperatura de 40 °C y velocidad de aire de 3,5 m/s se obtiene harina de sachá culantro con mayor aceptación organoléptica, para el cual nos da un tiempo crítico de secado de 35 min, humedad crítica de 3,19 g agua/g hoja seca, humedad de equilibrio de 0,13 g agua/g hoja seca y velocidad de secado de 0,100 g agua/g sachá culantro seco.minuto; cuyos valores corresponden a los parámetros cinéticos del secado de hojas de sachá culantro en el secador de bandejas.
- Las curvas de secado tienen función lineal en el periodo de velocidad constante para cada una de las temperaturas y los diferentes valores de velocidad del aire de secado evaluados sin embargo; el periodo de secado a velocidad decreciente es mejor representarlo por ecuaciones exponenciales.
- El rendimiento de harina de sachá culantro fue de 14.36%.

VI. RECOMENDACIONES

- Aplicar los parámetros cinéticos determinados y la secuencia de trabajo descrita en la presente investigación para la industrialización de hojas de *Eryngium foetidum* L. dándole así un valor agregado como harina, la cual se puede utilizar como especia en la preparación de diversos productos alimenticios.
- Realizar una investigación para la elaboración de filtrantes de *Eryngium foetidum* L., puesto que contiene diversas bondades nutritivas y medicinales.
- Realizar investigaciones que permitan formular proyectos productivos para el cultivo tecnificado de sachá culantro, que abarque la producción, transformación y comercialización de diversos productos que se puede obtener.
- Para el secado de las hojas extraer la nervadura principal.
- La harina de sachá culantro envasar en envases herméticos preferiblemente bajo gases inertes.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aliza G. 2011 Cocine con hierbas aromáticas y especias. Editorial Ediciones Robinbook, S.L. pg. 368.
- Barbosa-Cánovas, S. y Vega –Mercado, H. 2000. Deshidratación de alimentos. Editorial ACRIBIA S.A., España.
- Collazos C., R. Hans S.1975. La composición de los alimentos peruanos. Instituto de Nutrición. Ministerio de Salud. Lima. 35 p.
- Cac/rcp 42.1995. Código de prácticas de higiene para especias y plantas aromáticas desecadas.
- Calzavara, M. 2013. Herbotecnia: Poscosecha desecado de hierbas. Editorial Santos. Santa Fé -Argentina
- Díaz R., A., Z. Trelles S., 2014. Manual de Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de culantro coyote. San José, Costa Rica.
- IIAP - Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. 1997. Plantas medicinales de la amazonia peruana estudio de su uso y cultivo. Disponible:<http://www.iiap.org.pe/publicaciones/CDs/plantas%20medicinales/iiap2/Presentacion.htm>. Consultado el 03 de enero del 2015.
- IIAP - Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. 2001 Aprovechamiento sostenible de la biodiversidad. Informe técnico plantas medicinales y Biocidas de la amazonia peruana.

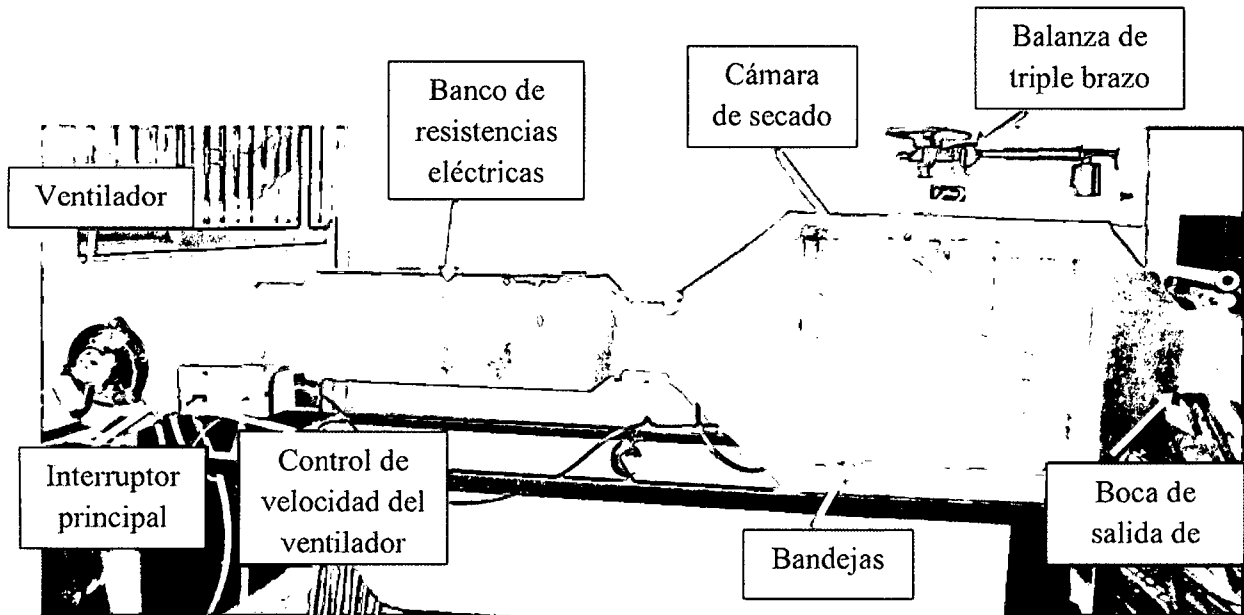
- Instituto de investigaciones fundamentales en agricultura tropical "Alejandro De Humboldt", 1996. La germinación del culantro (*Eryngium foetidum* L.)
- Ibarz R., A., G.V. Barbosa-Cánovas, S. Garza G. y V. Gimeno A. 2000. Métodos Experimentales en la Ingeniería Alimentaria. Editorial ACRIBIA S.A. Zaragoza, España.
- Instituto Ecuatoriano de normalización. Norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 532: 2010 "especias y condimentos. Requisitos". 1ra edición. Quito – Ecuador.
- Lomas, E., M. C. 2002. Introducción al cálculo de los procesos tecnológicos de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza – España.
- Montoya A., Z.O., J.R. Reis V. 2013. Cinética de secado de hojas de *Leucaena leucocephala* en secador de bandejas con calefacción a biogás. Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial. Perú: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Norma ISO 7954. 2008. Procedimiento recuento mohos y levaduras en alimentos.
- Ocón G., J. y G. Tojo B. 1980. Problemas de Ingeniería Química. Tomo II. Editorial Aguilar S.A. 5ta. Reimpresión. España.
- Pinedo P. y E. Rengifo. 1997. Plantas medicinales de la amazonia peruana estudio de su uso y cultivo. Edición. Anna María Lauro. Iquitos-Perú.
- Perry, J. y C. Chilton. 1982. Manual del Ingeniero Químico. Editorial McGraw-Hill. 2da. Edición. Bogotá.
- Quintero R., M. 2010. Especias y condimentos. Editorial. Montecillo. México. Pág. 57.

- Rodríguez J. 2014. Estructura química y actividad antioxidante invitro del aceite esencial de *Eryngium foetidum* L. “sacha culantro”. Lima-Perú. Facultad de farmacia y bioquímica unidad de posgrado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Pág. 8.
- Torres, W. y J. Gill. 2012. Culantro orgánico: cultivos y ciencias agroambientales. Memorias de la 2da Jornada Científica. Colegio de Ciencias Agrícolas, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez.
- Tonguillo, M. 2011. Determinación de las condiciones óptimas para la deshidratación de dos plantas aromáticas; menta (*Mentha piperital*) y oegano (*Origanum vulgare* L.). Tesis para obtener el título de Ingeniero agroindustrial. Universidad Tecnológica del Norte. Mexico.
- Vega, M. 2001. Etnobotánica de la amazonía peruana. Ediciones Abya – Yalta. Quito. Ecuador. Pág.6.
- Vernon C., J. 2000. Laboratorio de Operaciones Unitarias. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México.

ANEXOS

ANEXO 1

Secuencia fotográfica de la elaboración de harina de sachaculantro



Fotografía 1. Secador de bandejas de la UNTRM-A



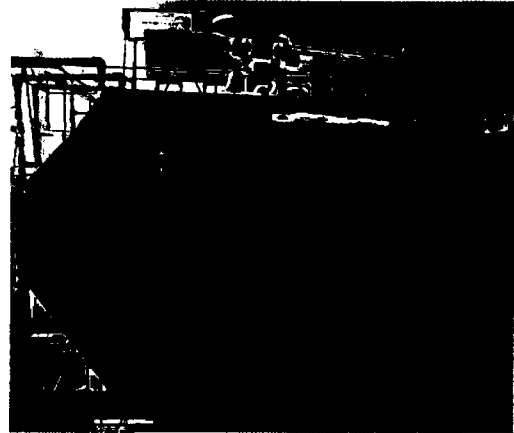
Fotografía 2. Selección y limpieza de hojas de sachaculantro.



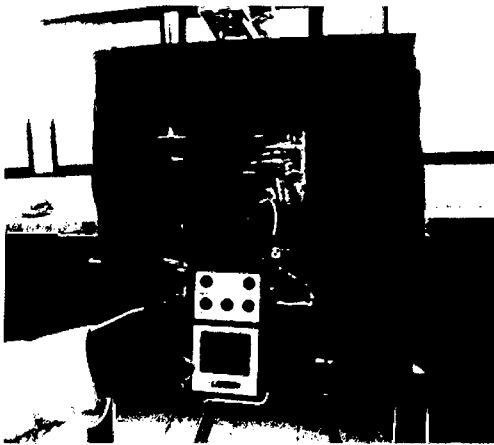
Fotografía 3. Oreado de hojas de sachaculantro.



Fotografía 4. Distribución de las hojas de sachá culantro en la bandeja.



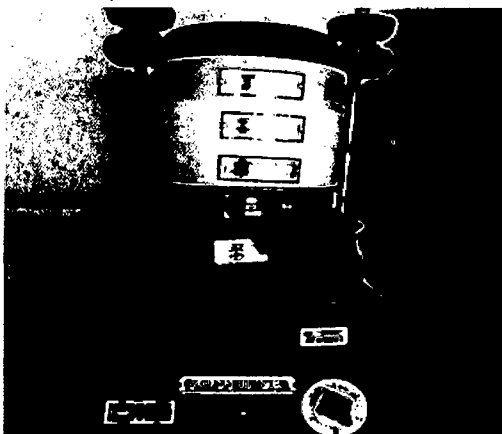
Fotografía 5. Secado de la materia prima utilizando el secador de bandejas.



Fotografía 6. Verificación con el anemómetro digital de la velocidad y temperatura del aire de secado.



Fotografía 7. Molido del sachá culantro.



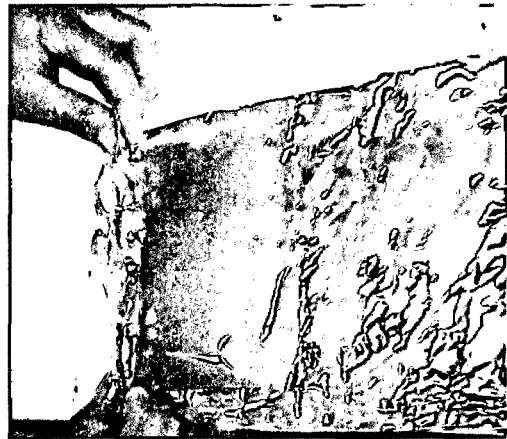
Fotografía 8. Tamizado de la harina de sachá culantro.



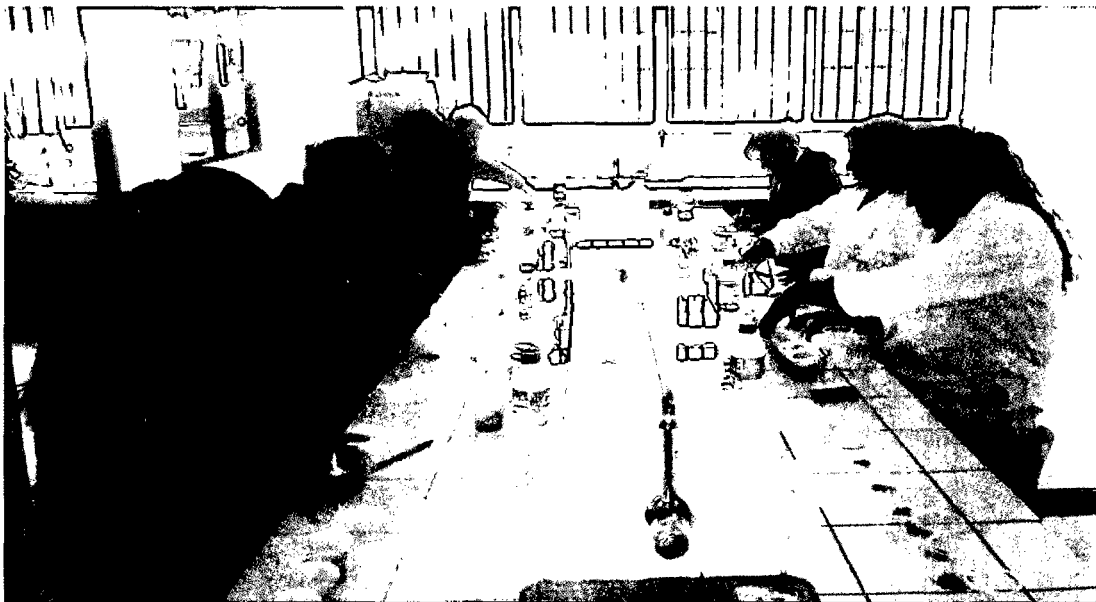
Fotografía 9. Envasado y sellado de harina de sachá culantro.



Fotografía 10. Producto final.



Fotografía 11. Almacenamiento del producto final.



Fotografía 12. Evaluación sensorial: Sabor.



Fotografía 13. Evaluación sensorial: color y olor.



Fotografía 14. Análisis microbiológico de harina de sachá culantro con mayor aceptación organoléptica.

ANEXO 2

Tabla 10: Datos biométricos de hojas de sachá culantro

Repetición	Largo (cm)	Ancho (cm)	Peso (g)
1	13.00	5.50	1.60
2	13.70	6.00	1.80
3	13.20	5.00	1.82
4	9.80	4.60	1.07
5	8.40	5.00	1.04
6	9.60	4.70	0.99
7	9.60	4.50	1.00
8	13.00	5.50	1.45
9	9.90	5.50	1.04
10	11.40	4.30	1.20
Promedio	11.16	5.06	1.30

Fuente. Elaboración propia

ANEXO 3

2.1. Resultados fisicoquímicos de la hoja de sachá culantro



INFORME DE ENSAYO N° 3-01335/15

Pág. 1/1

Solicitante	: HOYOS GRANDEZ, IRMA
Domicilio Legal	: Jr. Unión N° 794 Barrio La Laguna – Chachapoyas – Chachapoyas – Amazonas
Producto Declarado	: HOJAS DE SACHA CULANTRO
Cantidad de muestra para ensayo	: 01 muestra x 260 g. Muestra proporcionada por el solicitante
Forma de Presentación	: En bolsa de polietileno cerrada.
Fecha de Recepción	: 2015 – 02 – 18
Fecha de Inicio del ensayo	: 2015 – 02 – 20
Fecha de Término del ensayo	: 2015 – 02 – 23
Ensayo realizado en	: Laboratorio de Físico Química
Identificado con	: H/S 15002246 (02395)
Validez del documento	: Este Documento es válido solo para la muestra descrita.

Ensayos	Resultados
Proteínas (g/100g) (N x 6.25)	1,97
Grasa (g/100g)	0,46
Humedad (g/100g)	89,57
Ceniza (g/100g)	1,71
Hierro (mg/kg) (LC: 0,14 mg/kg)	9,39
Calcio (mg/kg) (LC = 41,27 mg/kg)	750,16
Carbohidratos (g/100g)	6,29
Calorías (Kcal/100g)	37,18
Calorías proveniente de las Proteínas (Kcal/100g)	7,88
Calorías proveniente de las Grasas (Kcal/100g)	4,14
Calorías proveniente de los Carbohidratos (Kcal/100g)	25,16

LC: Límite de cuantificación

Métodos:


Proteínas: AOAC 978.04, c3, 19 Th Ed. 2012. Nitrogen (total) (crude protein) in plants. Kjeldahl methods.
 Grasa: NTP- 205.041.1976.(Revisada 2010). Harinas. Determinación del contenido de grasa
 Humedad: AOAC. 930.04, c3, 19th Ed.2012. Loss on Drying (Moisture) in plants.
 Cenizas: AOAC 930.05, c3, 19 Th Ed 2012. Ash of plants
 Carbohidratos, Calorías, Calorías proveniente de las Proteínas, Grasas y Carbohidratos: Por cálculo.
 Hierro: NOM – 117 – SSA1 – 1994. Bienes y servicios. Métodos de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, hierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica
 Calcio: AOAC 975.03, c3,19 th Ed. 2012. Metals in Plants and Pet Foods. Atomic Absorption Spectrophotometric Method.

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 25 de Febrero de 2015
 AM

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.


ING. ROSA PALOMINO LOO
 C.I.P. N° 40302
 JEFE DE COORDINACIÓN DE LABORATORIOS

CALLAO
 Oficina Principal
 Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
 T. (511) 319 9000 F: (511) 420 4128
 info@cerper.com - www.cerper.com

CHIMBOTE
 Av. José Carlos Mariátegui s/n Centro Cívico
 Urb. Buenos Aires, Nuevo Chimbote
 T. (043) 311 048 F: (043) 314 620
 info@cerper.com - www.cerper.com

PIURA
 Urb. Angamos A - 2 - Piura
 T. (073) 322 908 / 9975 63161
 info@cerper.com - www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

2.2. Resultados fisicoquímicos de la harina de sachá culantro



INFORME DE ENSAYO N° 3-01334/15

Pág. 1/1

Solicitante : HOYOS GRANDEZ, IRMA
 Domicilio Legal : Jr. Unión N° 794 Barrio La Laguna – Chachapoyas – Chachapoyas – Amazonas
 Producto Declarado : HARINA DE SACHA CULANTRO
 Cantidad de muestra para ensayo : 01 muestra x 270 g.
 Muestra proporcionada por el solicitante
 Forma de Presentación : En bolsa de polietileno sellada.
 Fecha de Recepción : 2015 – 02 – 18
 Fecha de Inicio del ensayo : 2015 – 02 – 20
 Fecha de Término del ensayo : 2015 – 02 – 23
 Ensayo realizado en : Laboratorio de Físico Química
 Identificado con : H/S 15002246 (02395)
 Validez del documento : Este Documento es válido solo para la muestra descrita.

Ensayos	Resultados
Proteínas (g/100g) (N x 6,25)	20,00
Grasa (En base al 15% de humedad) (g/100g)	3,90
Humedad (g/100g)	9,09
Ceniza (g/100g)	13,95
Hierro (mg/kg) (LC: 0,14 mg/kg)	96,14
Calcio (mg/kg) (LC = 41,27 mg/kg)	9169,60
Carbohidratos (g/100g)	60,42
Calorías (Kcal/100g)	362,54
Calorías proveniente de las Proteínas (Kcal/100g)	80,00
Calorías proveniente de las Grasas (Kcal/100g)	40,86
Calorías proveniente de los Carbohidratos (Kcal/100g)	241,68

LC: Límite de cuantificación

Métodos:

Proteínas: AOAC 978.04, c3, 19 Th Ed. 2012. Nitrogen (total) (crude protein) in plants. Kjeldahl methods.

Grasa: NTP. 205.041.1976.(Revisada 2010). Harinas. Determinación del contenido de grasa

Humedad: AOAC. 930.04, c3, 19th Ed. 2012. Loss on Drying (Moisture) in plants.

Cenizas: AOAC 930.05, c3, 19 Th Ed 2012. Ash of plants

Carbohidratos, Calorías, Calorías proveniente de las Proteínas, Grasas y Carbohidratos: Por cálculo.

Hierro: NOM – 117 – SSA1 – 1994. Bienes y servicios. Métodos de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, hierro,

zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica

Calcio: AOAC 975.03, c3, 19 Th Ed. 2012. Metals in Plants and Pet Foods. Atomic Absorption Spectrophotometric Method.

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 25 de Febrero de 2015
AM

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

ING. ROSA PALOMINO LOO
C.I.P. N° 40302
JEFE DE COORDINACIÓN DE LABORATORIOS

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000 F: (511) 420 4128
info@cerper.com - www.cerper.com

CHIMBOTE
Av. José Carlos Mariátegui s/n Centro Cívico
Urb. Buenos Aires, Nuevo Chimbote
T. (043) 311 048 F: (043) 314 620
info@cerper.com - www.cerper.com

PIURA
Urb. Angamos A - 2 - Piura
T. (073) 322 908 / 9975 63161
info@cerper.com - www.cerper.com

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE

ANEXO 4

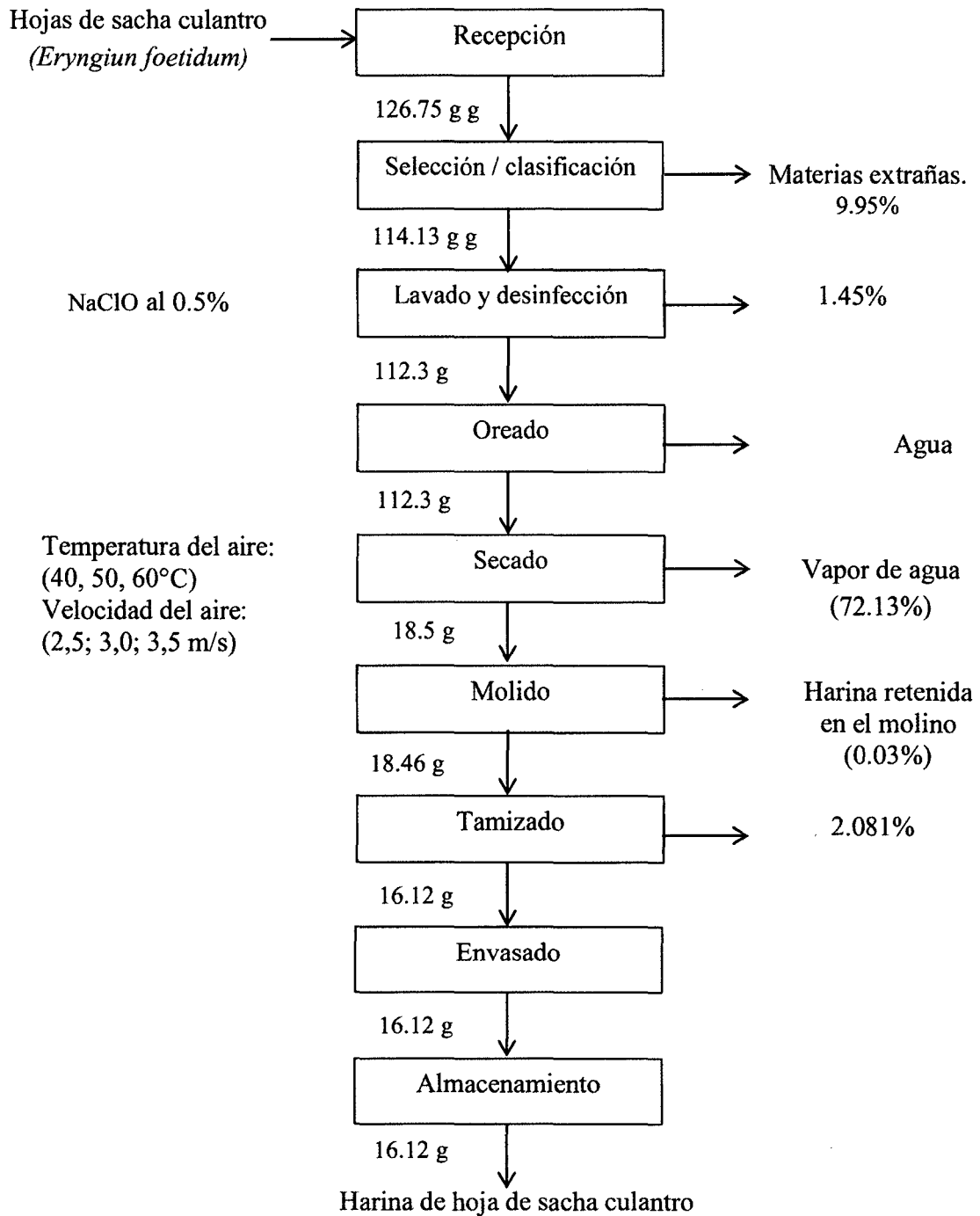


Figura 8. Balance de materia para la obtención de 16.12 g de harina de sachá culantro.

ANEXO 5

1. Norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 532:2010 “especias y condimentos. Requisitos”.

Esta norma adopta las siguientes definiciones:

Especias: La denominación de "especias" comprende a plantas o partes de ellas (raíces, rizomas, bulbos, hojas, cortezas, flores, frutos y semillas) desecadas, que contienen sustancias aromáticas, sápidas o excitantes, o sus principios activos, empleadas para dar sabor, color y aroma a los alimentos; pueden ser enteras, troceadas o molidas.

Condimentos (aliños, sazonador, adobo). Son productos constituidos por una o más especias u oleoresinas de especias, mezcladas con otras sustancias alimenticias, para mejorar y realzar el sabor, color y aroma de los alimentos

Sal con especias: Son mezclas de sal para consumo humano, con especias.

- Las especias deben estar limpias y exentas de materia extraña y de sustancias que modifiquen la naturaleza del producto (colorantes, edulcorantes, antioxidantes, aceites minerales, almidón entre otras).
- Las especias molidas o en polvo deben, corresponder taxonómicamente a la especie declarada, ser inocuas y presentar las características macroscópicas y microscópicas que les son propias.

a. Requisitos microbiológicos para especias puras y condimentos en polvo:

Los límites permisibles para mohos y levaduras, UFC/g deben ser:

$m=10^3$ y $M=10^4$ (método de ensayo: NTE INEN 1529-10).

b. Requisitos físico-químicos para culantro (*Coriandrum sativum*)

Humedad (NTE INEN 1114): Max 10,0 %

Extracto etéreo fijo (ISO 1108): Min 12,0 %

Cenizas totales (NTE INNEN 1117): Max 7,0 %

2. Procedimiento para determinar presencia de mohos y levaduras

Se realizó con el procedimiento de recuento mohos y levaduras en alimentos norma ISO 7954. Además se utilizó harina de Sacha culantro a los 30 días de almacenada.

a. Materiales

- Tubos 16x160 mm.
- Placas de Petri
- Micropipetas de 1 mL

b. Equipos

- Autoclave
- Balanza digital

c. Medio de cultivo y reactivos

- Agar Extracto de Malta
- Agua de dilución: Solución de agua peptonada al 0,1 %
- Reactivos Tinción de Gram o Reactivos para Tinción Simple.

d. Preparación de la muestra

- Se pesó 10 g de harina de sacha culantro en una caja petri estéril
- Se transfirió la muestra a un Erlenmeyer que contenía 90 mL de solución de agua peptonada a 0,1%
- Se agitó hasta obtener una muestra homogénea

- Posteriormente se hicieron diluciones seriadas de las cuales se emplearon las diluciones 10^{-1} a 10^{-6}

e. Siembra

- Se pipeteó por duplicado a placas Petri estériles alícuotas de 1 mL de la muestra que fue un producto líquido.
- Se sembró dos diluciones consecutivas por duplicado.
- Se agregó 15 mL de agar fundido y temperado a $47^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- El tiempo transcurrido entre la preparación de la suspensión inicial y el momento de agregar el agar no se excedió de los 15 min.
- Se mezcló el inóculo con el medio fundido, inclinando y girando las placas. La forma adecuada y se llevó a cabo esta operación de la siguiente manera: moviendo la placa con movimientos de vaivén 5 veces en una dirección, haciéndola girar 5 veces en el sentido de las agujas del reloj, con movimientos de vaivén en una dirección que formó ángulo recto con la primera y haciéndola girar 5 veces en el sentido contrario a las agujas del reloj.
- Una vez solidificado el agar no se invirtió las placas.
- Se incubó a temperatura ambiente durante 3 a 10 días.
- Se Realizó controles de ambiente.

f. Lectura

- Se tomó todas las precauciones necesarias al manipular las placas Petri, para evitar la contaminación del área de trabajo. Las esporas de los mohos se dispersan con gran facilidad.
- Se usó un contador de colonias.
- Se contó colonias de mohos las que se presentan bajo una forma filamentosa característica (micelio) de color variable. Estas se desarrollan más tardíamente que las levaduras.
- Se contó las colonias de levadura por separado.
- Las colonias de levaduras se presentaron en forma de colonias opacas, blancas.
- Se realizó Tinción de Gram a las colonias sospechosas de levaduras para confirmar su presencia.

ANEXO 6

**TEST DE ESCALA HEDÓNICA PARA EVALUAR SABOR, COLOR
Y OLOR DE HARINA DE SACHACULANTRO.**

Nombres y apellidos:

Fecha: 30/12/2014

INDICACIONES: Por favor deguste y observe cada una de las muestras y califique (Sabor, color y olor) de acuerdo a la siguiente escala.

ESCALA	
Me gusta mucho	5
Me gusta moderadamente	4
No me gusta ni me disgusta	3
Me disgusta moderadamente	2
Me disgusta mucho	1

VARIABLE	CÓDIGO								
	357	267	167	247	157	367	257	147	347
SABOR									
COLOR									
OLOR									

Observaciones:.....

¡Gracias!

ANEXO 7

7.1. Análisis estadístico de datos para sabor

Para el análisis estadístico se utilizó el software SPSS 15.0 para Windows

Tabla 11. Análisis sensorial de sabor de harina de sacha culantro.

PANELISTAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
1	4	5	5	4	4	4	4	4	3
2	3	3	5	2	2	3	3	4	4
3	3	3	4	3	2	4	3	2	3
4	2	2	4	3	4	2	2	3	4
5	2	2	5	2	2	2	1	3	2
6	4	5	5	4	3	4	4	2	3
7	5	3	5	2	4	3	4	4	3
8	3	3	4	2	2	3	3	2	4
9	3	3	5	5	2	4	3	4	2
PROMEDIO	3.22	3.22	4.67	3.00	2.78	3.22	3.00	3.11	3.11

7.1.1. Análisis de varianza

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Sabor

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	43,111(a)	16	2,694	4,264	0,000
Intersección	860,444	1	860,444	1361,582	0,000
Tratamientos	21,556	8	2,694	4,264	0,000
Bloques	21,556	8	2,694	4,264	0,000
Error	40,444	64	0,632		
Total	944,000	81			
Total corregida	83,556	80			

a R cuadrado = 0,516 (R cuadrado corregida = ,395)

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Sabor

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo Corregido	36,370(a)	12	3,031	4,368	0,000
Intersección	860,444	1	860,444	1240,013	0,000
Bloques	21,556	8	2,694	3,883	0,001
A	8,074	2	4,037	5,818	0,005
B	6,741	2	3,370	4,857	0,011
A * B	6,741	4	1,685	1,957	0,110
Error	47,185	68	0,694		
Total	944,000	81			
Total corregida	83,556	80			

a R cuadrado = ,435 (R cuadrado corregida = 0,336)

Reuniendo ambos resultados tenemos

Tabla 12. Cuadro ANOVA para sabor de harina de sachaculantro.

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Tratamientos	21,556	8	2,694	4,264	0,000
Bloques	21,556	8	2,694	3,883	0,001
A	8,074	2	4,037	5,818	0,005
B	6,741	2	3,370	4,857	0,011
A * B	6,741	4	1,685	1,957	0,110
Error	40,444	64	0,632		
Total corregida	83,556	80			

$\alpha = 5 \%$

Variable dependiente: Sabor de harina de sachaculantro

7.1.2. Prueba comparación múltiple de tukey

Tabla 13. Comparación de los tratamientos del factor A (temperatura del aire de secado) y factor B (velocidad del aire de secado), nivel de significancia de 0,05 (Tukey).

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación	Intervalo de confianza al 95%.	
		Límite inferior	Límite superior	Límite inferior	Límite superior	Límite inferior
T1	T2	0,0000	0,43744	1,000	-1,3990	1,3990
	T3	-1,4444(*)	0,43744	0,038	-2,8434	-0,0455
	T4	0,2222	0,43744	1,000	-1,1767	1,6212
	T5	0,4444	0,43744	0,983	-0,9545	1,8434
	T6	0,0000	0,43744	1,000	-1,3990	1,3990
	T7	0,2222	0,43744	1,000	-1,1767	1,6212
	T8	0,1111	0,43744	1,000	-1,2879	1,5101
	T9	0,1111	0,43744	1,000	-1,2879	1,5101
	T2	T1	0,0000	0,43744	1,000	-1,3990
T3		-1,4444(*)	0,43744	0,038	-2,8434	-0,0455
T4		0,2222	0,43744	1,000	-1,1767	1,6212
T5		0,4444	0,43744	0,983	-0,9545	1,8434
T6		0,0000	0,43744	1,000	-1,3990	1,3990
T7		0,2222	0,43744	1,000	-1,1767	1,6212
T8		0,1111	0,43744	1,000	-1,2879	1,5101
T9		0,1111	0,43744	1,000	-1,2879	1,5101
T3		T1	1,4444(*)	0,43744	0,038	0,0455
	T2	1,4444(*)	0,43744	0,038	0,0455	2,8434
	T4	1,6667(*)	0,43744	0,008	0,2677	3,0656
	T5	1,8889(*)	0,43744	0,002	0,4899	3,2879
	T6	1,4444(*)	0,43744	0,038	0,0455	2,8434
	T7	1,6667(*)	0,43744	0,008	0,2677	3,0656
	T8	1,5556(*)	0,43744	0,018	0,1566	2,9545
	T9	1,5556(*)	0,43744	0,018	0,1566	2,9545
	T4	T1	-0,2222	0,43744	1,000	-1,6212
T2		-0,2222	0,43744	1,000	-1,6212	1,1767
T3		-1,6667(*)	0,43744	0,008	-3,0656	-0,2677
T5		0,2222	0,43744	1,000	-1,1767	1,6212
T6		-0,2222	0,43744	1,000	-1,6212	1,1767
T7		0,0000	0,43744	1,000	-1,3990	1,3990
T8		-0,1111	0,43744	1,000	-1,5101	1,2879
T9		-0,1111	0,43744	1,000	-1,5101	1,2879
T5		T1	-0,4444	0,43744	0,983	-1,8434
	T2	0,4444	0,43744	0,983	-1,8434	0,9545
	T3	-1,8889(*)	0,43744	0,002	-3,2879	-0,4899
	T4	-0,2222	0,43744	1,000	-1,6212	1,1767
	T6	-0,4444	0,43744	0,983	-1,8434	0,9545

T6	T7	-0,2222	0,43744	1,000	-1,6212	1,1767
	T8	-0,3333	0,43744	0,998	-1,7323	1,0656
	T9	-0,3333	0,43744	0,998	-1,7323	1,0656
	T1	0,0000	0,43744	1,000	-1,3990	1,3990
	T2	0,0000	0,43744	1,000	-1,3990	1,3990
	T3	-1,4444(*)	0,43744	0,038	-2,8434	-0,0455
	T4	0,2222	0,43744	1,000	-1,1767	1,6212
	T5	0,4444	0,43744	0,983	-0,9545	1,8434
	T7	0,2222	0,43744	1,000	-1,1767	1,6212
T7	T8	0,1111	0,43744	1,000	-1,2879	1,5101
	T9	0,1111	0,43744	1,000	-1,2879	1,5101
	T1	-0,2222	0,43744	1,000	-1,6212	1,1767
	T2	-0,2222	0,43744	1,000	-1,6212	1,1767
	T3	-1,6667(*)	0,43744	0,008	-3,0656	-0,2677
	T4	0,0000	0,43744	1,000	-1,3990	1,3990
	T5	0,2222	0,43744	1,000	-1,1767	1,6212
	T6	-0,2222	0,43744	1,000	-1,6212	1,1767
	T8	-0,1111	0,43744	1,000	-1,5101	1,2879
T8	T9	-0,1111	0,43744	1,000	-1,5101	1,2879
	T1	-0,1111	0,43744	1,000	-1,5101	1,2879
	T2	-0,1111	0,43744	1,000	-1,5101	1,2879
	T3	-1,5556(*)	0,43744	0,018	-2,9545	-0,1566
	T4	0,1111	0,43744	1,000	-1,2879	1,5101
	T5	0,3333	0,43744	0,998	-1,0656	1,7323
	T6	-0,1111	0,43744	1,000	-1,5101	1,2879
	T7	0,1111	0,43744	1,000	-1,2879	1,5101
	T9	0,0000	0,43744	1,000	-1,3990	1,3990
T9	T1	-0,1111	0,43744	1,000	-1,5101	1,2879
	T2	-0,1111	0,43744	1,000	-1,5101	1,2879
	T3	-1,5556(*)	0,43744	0,018	-2,9545	-0,1566
	T4	0,1111	0,43744	1,000	-1,2879	1,5101
	T5	0,3333	0,43744	,998	-1,0656	1,7323
	T6	-0,1111	0,43744	1,000	-1,5101	1,2879
	T7	0,1111	0,43744	1,000	-1,2879	1,5101
	T8	0,0000	0,43744	1,000	-1,3990	1,3990

Basado en las medias observadas.

* La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

Variable dependiente: Sabor de harina de sachaculantro

7.1.3. Representación de los grupos homogéneos

Tabla 14. Representación de los grupos homogéneos

Tratamientos	N	Subconjunto	
		2	1
T5	9	2,7778	
T4	9	3,0000	
T7	9	3,0000	
T8	9	3,1111	
T9	9	3,1111	
T1	9	3,2222	
T6	9	3,2222	
T2	9	3,2222	
T3	9		4,6667
Significación		0,983	1,000

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = 0,861.

Usa el tamaño muestral de la media armónica = 9,000

Alfa = 0,05.

7.2. Análisis estadístico de datos para color

Tabla 15. Análisis sensorial de color de harina de sachaculantro.

PANELISTAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
1	3	4	4	4	4	3	3	4	4
2	4	3	4	4	4	3	4	4	4
3	5	5	5	5	5	5	5	5	5
4	5	5	5	5	4	5	4	4	4
5	4	4	4	4	4	4	3	3	3
6	4	5	4	5	4	3	4	4	4
7	4	4	4	4	5	5	4	5	4
8	3	3	4	2	3	3	3	3	4
9	4	4	4	4	4	4	4	5	5
PROMEDIO	4.00	4.11	4.22	4.11	4.11	3.89	3.78	4.11	4.11

7.2.1. Análisis de varianza

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Color

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	24,049(a)	16	1,503	6,107	0,000
Intersección	1328,198	1	1328,198	5396,063	0,000
Bloques	22,691	8	2,836	11,524	0,000
Tratamientos	1,358	8	0,170	0,690	0,699
Error	15,753	64	0,246		
Total	1368,000	81			
Total corregida	39,802	80			

a R cuadrado = 0,604 (R cuadrado corregida = ,505)

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Color

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	23,185(a)	12	1,932	7,906	0,000
Intersección	1328,198	1	1328,198	5435,150	0,000
Bloques	22,691	8	2,836	11,607	0,000
A	0,173	2	0,086	0,354	0,703
B	0,321	2	0,160	0,657	0,522
A * B	0,864	4	0,216	0,405	0,805
Error	16,617	68	0,244		
Total	1368,000	81			
Total corregida	39,802	80			

a R cuadrado = 0,583 (R cuadrado corregida = ,509)

Reuniendo ambos resultados tenemos

Tabla 16. Cuadro ANOVA para color de harina de sachaculantro

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Significación
Tratamientos	1,358	8	0,170	0,690	0,699
Bloques	22,691	8	2,836	11,607	0,000
A	0,173	2	0,086	0,162	0,851
B	0,321	2	0,160	0,301	0,741
A * B	0,864	4	0,216	0,405	0,805
Error	38,444	72	0,534		
Total corregida	39,802	80			

$\alpha = 5 \%$

Variable dependiente: Sabor de harina de sachaculantro

7.2.2. Prueba comparación múltiple de tukey

Tabla 17. Comparación de los tratamientos del factor A (temperatura del aire de secado) y factor B (velocidad del aire de secado), nivel de significancia de 0,05 (Tukey).

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación	Intervalo de confianza al 95%.	
		Límite inferior	Límite superior	Límite inferior	Límite superior	Límite inferior
T1	T2	-0,1111	0,34446	1,000	-1,2127	0,9905
	T3	-0,2222	0,34446	0,999	-1,3238	0,8794
	T4	-0,1111	0,34446	1,000	-1,2127	0,9905
	T5	-0,1111	0,34446	1,000	-1,2127	0,9905
	T6	0,1111	0,34446	1,000	-0,9905	1,2127
	T7	0,2222	0,34446	0,999	-0,8794	1,3238
	T8	-0,1111	0,34446	1,000	-1,2127	0,9905
	T9	-0,1111	0,34446	1,000	-1,2127	0,9905
	T1	0,1111	0,34446	1,000	-0,9905	1,2127
T2	T3	-0,1111	0,34446	1,000	-1,2127	0,9905
	T4	0,0000	0,34446	1,000	-1,1016	1,1016
	T5	0,0000	0,34446	1,000	-1,1016	1,1016
	T6	0,2222	0,34446	0,999	-0,8794	1,3238
	T7	0,3333	0,34446	0,988	-0,7683	1,4349
	T8	0,0000	0,34446	1,000	-1,1016	1,1016
	T9	0,0000	0,34446	1,000	-1,1016	1,1016
	T1	0,2222	0,34446	0,999	-0,8794	1,3238
	T2	0,1111	0,34446	1,000	-0,9905	1,2127
T3	T4	0,1111	0,34446	1,000	-0,9905	1,2127
	T5	0,1111	0,34446	1,000	-0,9905	1,2127
	T6	0,3333	0,34446	0,988	-0,7683	1,4349
	T7	0,4444	0,34446	0,931	-0,6572	1,5461
	T8	0,1111	0,34446	1,000	-0,9905	1,2127
	T9	0,1111	0,34446	1,000	-0,9905	1,2127
	T1	0,1111	0,34446	1,000	-0,9905	1,2127
	T2	0,0000	0,34446	1,000	-1,1016	1,1016
	T3	-0,1111	0,34446	1,000	-1,2127	0,9905
T4	T5	0,0000	0,34446	1,000	-1,1016	1,1016
	T6	0,2222	0,34446	0,999	-0,8794	1,3238
	T7	0,3333	0,34446	0,988	-0,7683	1,4349
	T8	0,0000	0,34446	1,000	-1,1016	1,1016
	T9	0,0000	0,34446	1,000	-1,1016	1,1016
	T1	0,1111	0,34446	1,000	-0,9905	1,2127
	T2	0,0000	0,34446	1,000	-1,1016	1,1016
	T3	-0,1111	0,34446	1,000	-1,2127	0,9905
	T6	0,2222	0,34446	0,999	-0,8794	1,3238
T5	T3	-0,1111	0,34446	1,000	-1,2127	0,9905
	T4	0,0000	0,34446	1,000	-1,1016	1,1016
	T6	0,2222	0,34446	0,999	-0,8794	1,3238

T6	T7	0,3333	0,34446	0,988	-0,7683	1,4349
	T8	0,0000	0,34446	1,000	-1,1016	1,1016
	T9	0,0000	0,34446	1,000	-1,1016	1,1016
	T1	-0,1111	0,34446	1,000	-1,2127	0,9905
	T2	-0,2222	0,34446	0,999	-1,3238	0,8794
	T3	-0,3333	0,34446	0,988	-1,4349	0,7683
	T4	-0,2222	0,34446	0,999	-1,3238	0,8794
	T5	-0,2222	0,34446	0,999	-1,3238	0,8794
	T7	0,1111	0,34446	1,000	-0,9905	1,2127
	T8	-0,2222	0,34446	0,999	-1,3238	0,8794
T7	T9	-0,2222	0,34446	0,999	-1,3238	0,8794
	T1	-0,2222	0,34446	0,999	-1,3238	0,8794
	T2	-0,3333	0,34446	0,988	-1,4349	0,7683
	T3	-0,4444	0,34446	0,931	-1,5461	0,6572
	T4	-0,3333	0,34446	0,988	-1,4349	0,7683
	T5	-0,3333	0,34446	0,988	-1,4349	0,7683
	T6	-0,1111	0,34446	1,000	-1,2127	0,9905
	T8	-0,3333	0,34446	,988	-1,4349	0,7683
	T9	-0,3333	0,34446	,988	-1,4349	0,7683
	T1	0,1111	0,34446	1,000	-0,9905	1,2127
T8	T2	0,0000	0,34446	1,000	-1,1016	1,1016
	T3	-0,1111	0,34446	1,000	-1,2127	0,9905
	T4	0,0000	0,34446	1,000	-1,1016	1,1016
	T5	0,0000	0,34446	1,000	-1,1016	1,1016
	T6	0,2222	0,34446	0,999	-0,8794	1,3238
	T7	0,3333	0,34446	0,988	-0,7683	1,4349
	T9	0,0000	0,34446	1,000	-1,1016	1,1016
	T1	0,1111	0,34446	1,000	-0,9905	1,2127
	T2	0,0000	0,34446	1,000	-1,1016	1,1016
	T3	-0,1111	0,34446	1,000	-1,2127	0,9905
T9	T4	0,0000	0,34446	1,000	-1,1016	1,1016
	T5	0,0000	0,34446	1,000	-1,1016	1,1016
	T6	0,2222	0,34446	0,999	-0,8794	1,3238
	T7	0,3333	0,34446	0,988	-0,7683	1,4349
	T8	0,0000	0,34446	1,000	-1,1016	1,1016
	T1	0,1111	0,34446	1,000	-0,9905	1,2127
	T2	0,0000	0,34446	1,000	-1,1016	1,1016
	T3	-0,1111	0,34446	1,000	-1,2127	0,9905

Basado en las medias observadas.

* La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

Variable dependiente: Color de harina de sachaculantro

7.2.3. Representación de los grupos homogéneos

Tabla 18. Representación de los grupos homogéneos

Tratamientos	N	Subconjunt
		o
T7	9	3,7778
T6	9	3,8889
T1	9	4,0000
T4	9	4,1111
T5	9	4,1111
T8	9	4,1111
T9	9	4,1111
T2	9	4,1111
T3	9	4,2222
Significación		0,931

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = ,534.

Usa el tamaño muestral de la media armónica = 9,000

Alfa = 0,05.

7.3. Análisis estadístico de datos para olor

Tabla 19. Análisis sensorial de olor de harina de sachá culantro.

PANELISTAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
1	3	3	5	3	3	3	3	3	3
2	3	3	4	3	2	3	2	3	2
3	2	4	5	4	2	2	2	3	4
4	2	3	4	2	3	2	2	2	3
5	2	2	5	3	3	3	2	2	2
6	4	4	5	3	2	3	3	4	4
7	4	4	5	4	2	2	3	5	2
8	2	2	4	2	2	2	2	2	2
9	3	5	5	3	3	3	3	4	4
PROMEDIO	2.78	3.33	4.67	3.00	2.44	2.56	2.44	3.11	2.89

7.3.1. Análisis de varianza

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Olor

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significació n
Modelo corregido	51,679(a)	16	3,230	8,517	0,000
Intersección	741,049	1	741,049	1954,018	0,000
Tratamientos	33,951	8	4,244	11,190	0,000
Bloques	17,728	8	2,216	5,843	0,000
Error	24,272	64	0,379		
Total	817,000	81			
Total corregida	75,951	80			

a R cuadrado = 0,680 (R cuadrado corregida = 0,601)

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Olor

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significació n
Modelo corregido	33,951(a)	8	4,244	7,275	0,000
Intersección	741,049	1	741,049	1270,370	0,000
Bloques	17,728	8	2,216	3,829	0,001
A	13,358	2	6,679	11,450	0,000
B	5,506	2	2,753	4,720	0,012
A * B	15,086	4	3,772	6,466	0,000
Error	42,000	72	0,583		
Total	817,000	81			
Total corregida	75,951	80			

a R cuadrado = 0,447 (R cuadrado corregida = 0,386)

Reuniendo ambos resultados tenemos

Tabla 20. Cuadro ANOVA para color de sachá culantro.

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Significació n
Tratamientos	33,951	8	4,244	11,190	0,000
Bloques	17,728	8	2,216	5,843	0,000
A	13,358	2	6,679	11,450	0,000
B	5,506	2	2,753	4,720	0,012
A * B	15,086	4	3,772	6,466	0,000
Error	24,272	64	0,379		
Total corregida	75,951	80			

$\alpha = 5 \%$

Variable dependiente: Sabor de harina de sachá culantro

7.3.2. Prueba comparación múltiple de tukey

Tabla 21. Comparación de los tratamientos del factor A (temperatura del aire de secado)

y factor B (velocidad del aire de secado), nivel de significancia de 0,05 (Tukey).

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia entre medias (I-J)	Error tipo.	Significaci ón	Intervalo de confianza al 95%.	
		Límite inferior	Límite superior	Límite inferior	Límite superior	Límite inferior
T1	T2	-0,5556	0,36004	0,831	-1,7070	0,5959
	T3	-1,8889(*)	0,36004	0,000	-3,0403	-0,7375
	T4	-0,2222	0,36004	0,999	-1,3736	0,9292
	T5	0,3333	0,36004	0,991	-0,8181	1,4848
	T6	0,2222	0,36004	0,999	-0,9292	1,3736
	T7	0,3333	0,36004	0,991	-0,8181	1,4848
	T8	-0,3333	0,36004	0,991	-1,4848	0,8181
	T9	-0,1111	0,36004	1,000	-1,2625	1,0403
	T1	0,5556	0,36004	0,831	-0,5959	1,7070
T2	T3	-1,3333(*)	0,36004	0,012	-2,4848	-0,1819
	T4	0,3333	0,36004	0,991	-0,8181	1,4848
	T5	0,8889	0,36004	0,265	-0,2625	2,0403
	T6	0,7778	0,36004	0,442	-0,3736	1,9292
	T7	0,8889	0,36004	0,265	-0,2625	2,0403
	T8	0,2222	0,36004	0,999	-0,9292	1,3736
	T9	0,4444	0,36004	0,946	-0,7070	1,5959
	T1	1,8889(*)	0,36004	0,000	0,7375	3,0403
	T2	1,3333(*)	0,36004	0,012	0,1819	2,4848
T3	T4	1,6667(*)	0,36004	0,001	0,5152	2,8181
	T5	2,2222(*)	0,36004	0,000	1,0708	3,3736
	T6	2,1111(*)	0,36004	0,000	0,9597	3,2625
	T7	2,2222(*)	0,36004	0,000	1,0708	3,3736
	T8	1,5556(*)	0,36004	0,002	0,4041	2,7070
	T9	1,7778(*)	0,36004	0,000	0,6264	2,9292
	T1	0,2222	0,36004	0,999	-0,9292	1,3736
	T2	-0,3333	0,36004	0,991	-1,4848	0,8181
	T3	-1,6667(*)	0,36004	0,001	-2,8181	-0,5152
T4	T5	0,5556	0,36004	0,831	-0,5959	1,7070
	T6	0,4444	0,36004	0,946	-0,7070	1,5959
	T7	0,5556	0,36004	0,831	-0,5959	1,7070
	T8	-0,1111	0,36004	1,000	-1,2625	1,0403
	T9	0,1111	0,36004	1,000	-1,0403	1,2625
	T1	-0,3333	0,36004	0,991	-1,4848	0,8181
	T2	-0,8889	0,36004	0,265	-2,0403	0,2625
	T3	-2,2222(*)	0,36004	0,000	-3,3736	-1,0708
	T4	-0,5556	0,36004	0,831	-1,7070	0,5959

T6	T6	-0,1111	0,36004	1,000	-1,2625	1,0403
	T7	0,0000	0,36004	1,000	-1,1514	1,1514
	T8	-0,6667	0,36004	0,648	-1,8181	0,4848
	T9	-0,4444	0,36004	0,946	-1,5959	0,7070
	T1	-0,2222	0,36004	0,999	-1,3736	0,9292
	T2	-0,7778	0,36004	0,442	-1,9292	0,3736
	T3	-2,1111(*)	0,36004	0,000	-3,2625	-0,9597
	T4	-0,4444	0,36004	0,946	-1,5959	0,7070
	T5	0,1111	0,36004	1,000	-1,0403	1,2625
	T7	0,1111	0,36004	1,000	-1,0403	1,2625
T7	T8	-0,5556	0,36004	0,831	-1,7070	0,5959
	T9	-0,3333	0,36004	0,991	-1,4848	0,8181
	T1	-0,3333	0,36004	0,991	-1,4848	0,8181
	T2	-0,8889	0,36004	0,265	-2,0403	0,2625
	T3	-2,2222(*)	0,36004	0,000	-3,3736	-1,0708
	T4	-0,5556	0,36004	0,831	-1,7070	0,5959
	T5	0,0000	0,36004	1,000	-1,1514	1,1514
	T6	-0,1111	0,36004	1,000	-1,2625	1,0403
	T7	-0,6667	0,36004	0,648	-1,8181	0,4848
	T9	-0,4444	0,36004	0,946	-1,5959	0,7070
T8	T1	0,3333	0,36004	0,991	-0,8181	1,4848
	T2	-0,2222	0,36004	0,999	-1,3736	0,9292
	T3	-1,5556(*)	0,36004	0,002	-2,7070	-0,4041
	T4	0,1111	0,36004	1,000	-1,0403	1,2625
	T5	0,6667	0,36004	0,648	-0,4848	1,8181
	T6	0,5556	0,36004	0,831	-0,5959	1,7070
	T7	0,6667	0,36004	0,648	-0,4848	1,8181
	T9	0,2222	0,36004	0,999	-0,9292	1,3736
	T1	0,1111	0,36004	1,000	-1,0403	1,2625
	T2	-0,4444	0,36004	0,946	-1,5959	0,7070
T9	T3	-1,7778(*)	0,36004	0,000	-2,9292	-0,6264
	T4	-0,1111	0,36004	1,000	-1,2625	1,0403
	T5	0,4444	0,36004	0,946	-0,7070	1,5959
	T6	0,3333	0,36004	0,991	-0,8181	1,4848
	T7	0,4444	0,36004	0,946	-0,7070	1,5959
	T8	-0,2222	0,36004	0,999	-1,3736	0,9292

Basado en las medias observadas.

* La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

Variable dependiente: Color de harina de sachaculantro

7.3.3. Representación de los grupos homogéneos

Tabla 22. Representación de los grupos homogéneos.

TRATAMIENTOS	N	Subconjunto	
		2	1
T5	9	2,4444	
T7	9	2,4444	
T6	9	2,5556	
T1	9	2,7778	
T9	9	2,8889	
T4	9	3,0000	
T8	9	3,1111	
T2	9	3,3333	
T3	9		4,6667
Significación		0,265	1,000

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = 0,534.

Usa el tamaño muestral de la media armónica = 9,000

Alfa = 0,05.

ANEXO 8

8.1. Resultados de las corridas experimentales de secado de hojas de sachá

culantro realizadas con aire a 40°C y velocidades de 3,5; 3,0 y 3,6 m/s

Tabla 23. Datos experimentales de la operación de secado de hojas de sachá culantro, en secador de bandejas con flujo de aire a 40 °C y velocidad de 2,5 m/s.

N°	t	P1	P2 = P1-SB	Yr = (P2-S)/S	dY/dt	Ym
	Tiempo (min)	Peso estructura + muestra al tiempo t (g)	Peso muestra al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g muestra seca)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g muestra seca)
1	0	1717.30	105.80	8.12	0.160	7.720
2	5	1708.00	96.50	7.32	0.083	7.112
3	10	1703.20	91.70	6.91	0.057	6.763
4	15	1699.90	88.40	6.62	0.072	6.440
5	20	1695.70	84.20	6.26	0.074	6.073
6	25	1691.40	79.90	5.89	0.069	5.716
7	30	1687.40	75.90	5.54	0.093	5.310
8	35	1682.00	70.50	5.08	0.078	4.884
9	40	1677.50	66.00	4.69	0.079	4.491
10	45	1672.90	61.40	4.29	0.067	4.125
11	50	1669.00	57.50	3.96	0.074	3.772
12	55	1664.70	53.20	3.59	0.057	3.444
13	60	1661.40	49.90	3.30	0.052	3.172
14	65	1658.40	46.90	3.04	0.050	2.918
15	70	1655.50	44.00	2.79	0.060	2.642
16	75	1652.00	40.50	2.49	0.038	2.397
17	80	1649.80	38.30	2.30	0.040	2.203
18	85	1647.50	36.00	2.10	0.026	2.039
19	90	1646.00	34.50	1.97	0.026	1.909
20	95	1644.50	33.00	1.84	0.024	1.784
21	100	1643.10	31.60	1.72	0.016	1.685
22	105	1642.20	30.70	1.65	0.026	1.582
23	110	1640.70	29.20	1.52	0.028	1.448
24	115	1639.10	27.60	1.38	0.017	1.336

25	120	1638.10	26.60	1.29	0.016	1.254
26	125	1637.20	25.70	1.22	0.019	1.168
27	130	1636.10	24.60	1.12	0.010	1.095
28	135	1635.50	24.00	1.07	0.012	1.039
29	140	1634.80	23.30	1.01	0.014	0.974
30	145	1634.00	22.50	0.94	0.010	0.914
31	150	1633.40	21.90	0.89	0.009	0.866
32	155	1632.90	21.40	0.84	0.009	0.823
33	160	1632.40	20.90	0.80	0.014	0.767
34	165	1631.60	20.10	0.73	0.009	0.711
35	170	1631.10	19.60	0.69	0.010	0.664
36	175	1630.50	19.00	0.64	0.009	0.616
37	180	1630.00	18.50	0.59	0.009	0.573
38	185	1629.50	18.00	0.55	0.009	0.530
39	190	1629.00	17.50	0.51	0.010	0.483
40	195	1628.40	16.90	0.46	0.007	0.440
41	200	1628.00	16.50	0.42	0.010	0.397
42	205	1627.40	15.90	0.37	0.003	0.362
43	210	1627.20	15.70	0.35	0.007	0.336
44	215	1626.80	15.30	0.32	0.005	0.306
45	220	1626.50	15.00	0.29	0.007	0.276
46	225	1626.10	14.60	0.26	0.003	0.250
47	230	1625.90	14.40	0.24	0.003	0.233
48	235	1625.70	14.20	0.22	0.002	0.220
49	240	1625.60	14.10	0.22	0.007	0.198
50	245	1625.20	13.70	0.18	0.003	0.172
51	250	1625.00	13.50	0.16	0.005	0.151
52	255	1624.70	13.20	0.14	0.002	0.134
53	260	1624.60	13.10	0.13	0.026	0.065

PB = 1611.5 g

S = 11.6 g

Tabla 24. Datos experimentales de la operación de secado de hojas de sachá culantro, en secador de bandejas con flujo de aire a 40 °C y velocidad de 3,0 m/s.

N°	t	P1	P2 = P1-SB	(P2-S)/S	dY/dt	Ym
	Tiempo (min)	Peso estructura + muestra al tiempo t (g)	Peso muestra al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g muestra seca)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g muestra seca)
1	0	1775.30	163.80	7.40	0.095	7.162
2	5	1766.00	154.50	6.92	0.067	6.756
3	10	1759.50	148.00	6.59	0.087	6.372
4	15	1751.00	139.50	6.15	0.080	5.954
5	20	1743.20	131.70	5.75	0.085	5.541
6	25	1734.90	123.40	5.33	0.091	5.100
7	30	1726.00	114.50	4.87	0.076	4.682
8	35	1718.60	107.10	4.49	0.088	4.272
9	40	1710.00	98.50	4.05	0.099	3.803
10	45	1700.30	88.80	3.55	0.073	3.372
11	50	1693.20	81.70	3.19	0.041	3.087
12	55	1689.20	77.70	2.98	0.042	2.879
13	60	1685.10	73.60	2.77	0.039	2.677
14	65	1681.30	69.80	2.58	0.034	2.495
15	70	1678.00	66.50	2.41	0.032	2.331
16	75	1674.90	63.40	2.25	0.034	2.167
17	80	1671.60	60.10	2.08	0.037	1.990
18	85	1668.00	56.50	1.90	0.029	1.826
19	90	1665.20	53.70	1.75	0.022	1.700
20	95	1663.10	51.60	1.65	0.024	1.587
21	100	1660.80	49.30	1.53	0.025	1.467
22	105	1658.40	46.90	1.41	0.022	1.351
23	110	1656.30	44.80	1.30	0.024	1.238
24	115	1654.00	42.50	1.18	0.014	1.144
25	120	1652.60	41.10	1.11	0.013	1.074
26	125	1651.30	39.80	1.04	0.013	1.008
27	130	1650.00	38.50	0.97	0.012	0.944
28	135	1648.80	37.30	0.91	0.018	0.867
29	140	1647.00	35.50	0.82	0.009	0.797
30	145	1646.10	34.60	0.77	0.011	0.746
31	150	1645.00	33.50	0.72	0.009	0.695

32	155	1644.10	32.60	0.67	0.010	0.646
33	160	1643.10	31.60	0.62	0.009	0.597
34	165	1642.20	30.70	0.57	0.007	0.556
35	170	1641.50	30.00	0.54	0.008	0.518
36	175	1640.70	29.20	0.50	0.006	0.482
37	180	1640.10	28.60	0.47	0.002	0.462
38	185	1639.90	28.40	0.46	0.003	0.449
39	190	1639.60	28.10	0.44	0.004	0.431
40	195	1639.20	27.70	0.42	0.008	0.400
41	200	1638.40	26.90	0.38	0.003	0.372
42	205	1638.10	26.60	0.36	0.002	0.359
43	210	1637.90	26.40	0.35	0.012	0.323
44	215	1636.70	25.20	0.29	0.008	0.272
45	220	1635.90	24.40	0.25	0.010	0.226
46	225	1634.90	23.40	0.20	0.004	0.190
47	230	1634.50	23.00	0.18	0.006	0.164
48	235	1633.90	22.40	0.15	0.001	0.146
49	240	1633.80	22.30	0.14	0.001	0.141
50	245	1633.70	22.20	0.14	0.002	0.134
51	250	1633.50	22.00	0.13	0.026	0.065

PB = 1611,5g

S = 19,50g

Tabla 25. Datos experimentales de la operación de secado de hojas de sachá culantro en secador de bandejas con flujo de aire a 40 °C y velocidad de 3,5 m/s.

N°	t	P1	P2 = P1-SB	(P2-S)/S	dY/dt	Ym
	Tiempo (min)	Peso estructura + muestra al tiempo t (g)	Peso muestra al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g muestra seca)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g muestra seca)
1	0	1768.00	156.50	6.71	0.105	6.447
2	5	1764.80	153.30	6.18	0.106	5.919
3	10	1753.50	142.00	5.65	0.112	5.373
4	15	1741.50	130.00	5.09	0.086	4.876
5	20	1732.30	120.80	4.66	0.086	4.445
6	25	1723.10	112.30	4.23	0.123	3.923
7	30	1710.00	98.50	3.62	0.080	3.417
8	35	1701.50	90.00	3.22	0.066	3.053
9	40	1694.50	83.00	2.89	0.043	2.782
10	45	1689.90	78.40	2.67	0.028	2.604
11	50	1686.90	75.40	2.53	0.035	2.447
12	55	1683.20	71.70	2.36	0.037	2.269
13	60	1679.30	67.80	2.18	0.027	2.109
14	65	1676.40	64.90	2.04	0.027	1.973
15	70	1673.50	62.00	1.91	0.029	1.833
16	75	1670.40	58.90	1.76	0.018	1.716
17	80	1668.50	57.00	1.67	0.023	1.612
18	85	1666.00	54.50	1.55	0.014	1.519
19	90	1664.50	53.00	1.48	0.022	1.427
20	95	1662.10	50.60	1.37	0.022	1.317
21	100	1659.80	48.30	1.26	0.017	1.221
22	105	1658.00	46.50	1.18	0.026	1.113
23	110	1655.20	43.70	1.05	0.019	1.001
24	115	1653.20	41.70	0.95	0.021	0.903
25	120	1651.00	39.50	0.85	0.019	0.804
26	125	1649.00	37.50	0.76	0.009	0.734
27	130	1648.00	36.50	0.71	0.014	0.675
28	135	1646.50	35.00	0.64	0.007	0.621
29	140	1645.70	34.20	0.60	0.008	0.582
30	145	1644.80	33.30	0.56	0.009	0.537
31	150	1643.80	32.30	0.51	0.008	0.493

32	155	1642.90	31.40	0.47	0.006	0.457
33	160	1642.30	30.80	0.44	0.004	0.434
34	165	1641.90	30.40	0.42	0.004	0.415
35	170	1641.50	30.00	0.41	0.005	0.394
36	175	1641.00	29.50	0.38	0.006	0.368
37	180	1640.40	28.90	0.35	0.007	0.336
38	185	1639.60	28.10	0.32	0.003	0.310
39	190	1639.30	27.80	0.30	0.005	0.291
40	195	1638.80	27.30	0.28	0.006	0.265
41	200	1638.20	26.70	0.25	0.003	0.244
42	205	1637.90	26.40	0.24	0.005	0.225
43	210	1637.40	25.90	0.21	0.003	0.207
44	215	1637.10	25.60	0.20	0.005	0.188
45	220	1636.60	25.10	0.18	0.002	0.172
46	225	1636.40	24.90	0.17	0.002	0.162
47	230	1636.20	24.70	0.16	0.003	0.150
48	235	1635.90	24.40	0.14	0.003	0.137
49	240	1635.70	24.20	0.13	0.026	0.065

PB = 1611,5g

S = 18,50g

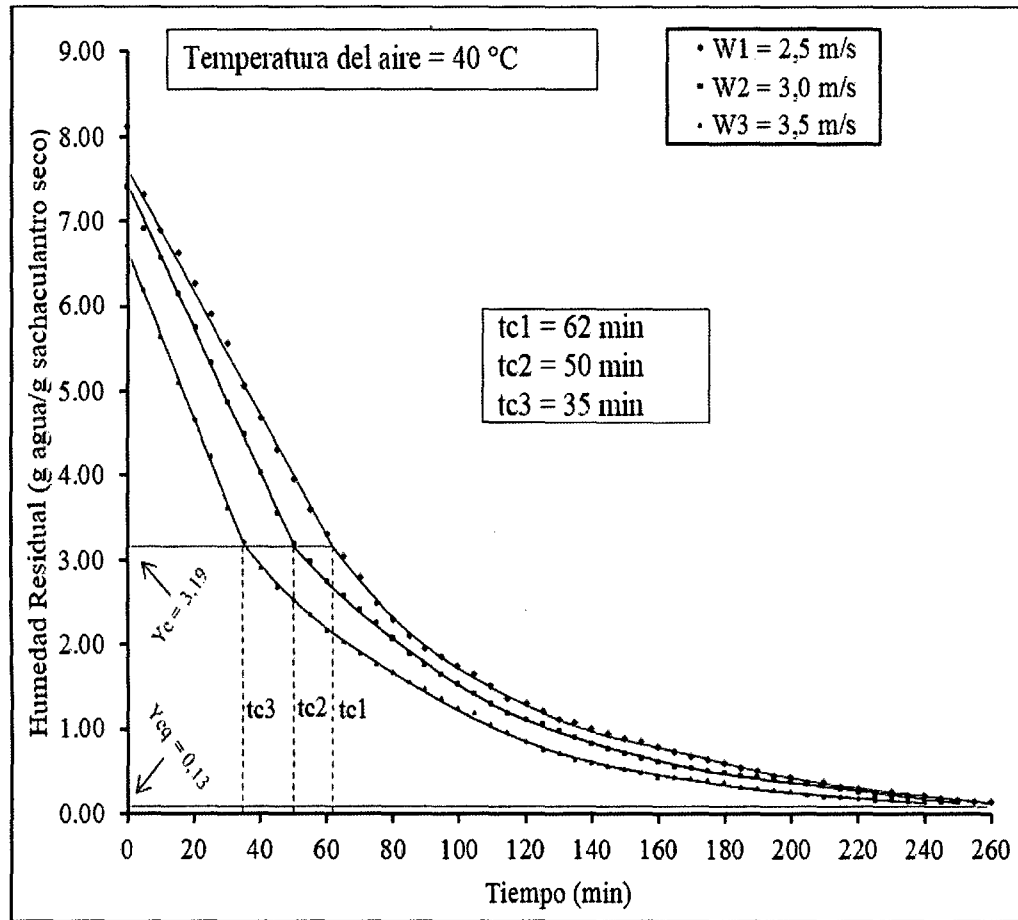


Figura 9. Humedad residual en función del tiempo con aire a 40 °C y velocidades de 2,5; 3,0 y 3,5 m/s.

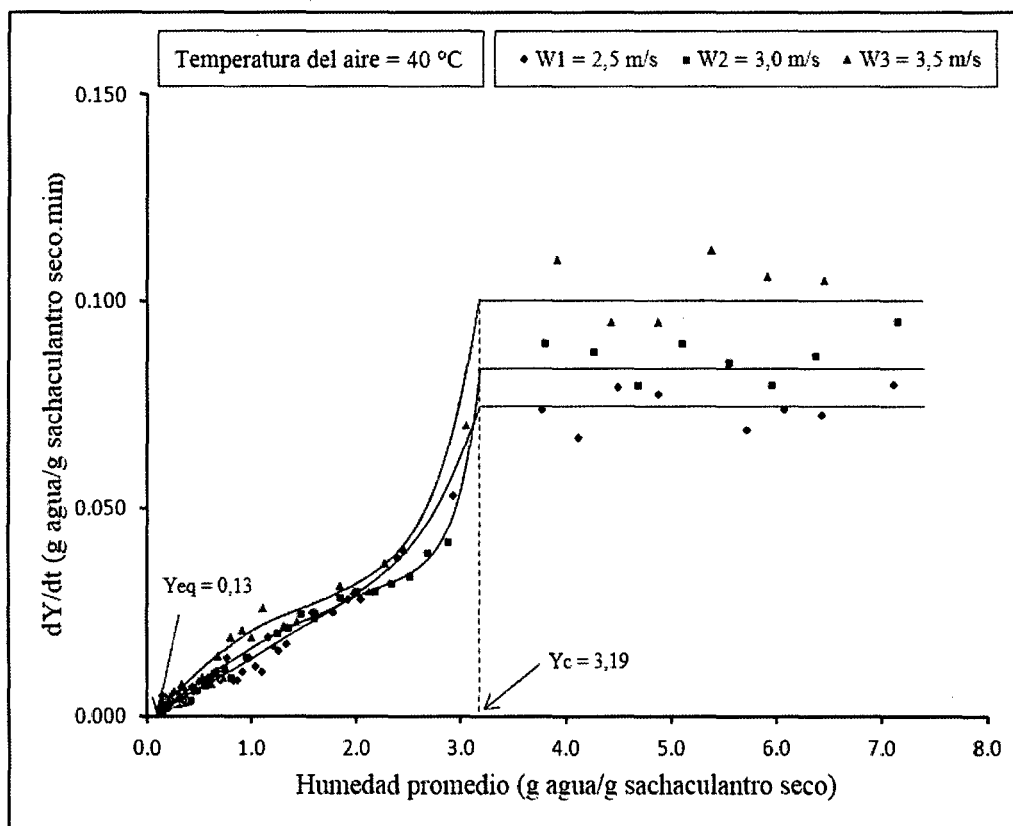


Figura 10. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio (T1 = 40 °C; V = 2,5; 3,0 y 3,5 m/s).

Análisis de regresión lineal con el SPSS (T1 = 40 °C; V1 = 2,5 m/s)

Tabla 26. Resumen del modelo de regresión lineal (T1 = 40 °C; V1 = 2,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,999	0,999	0,999	0,048

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 27. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	19,878	1	19,878	8613,212	0,000
Residual	0,023	10	0,002		
Total	19,901	11			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 28. Coeficientes de la ecuación lineal (T1 = 40 °C; V1 = 2,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	T	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,075	0,001	-0,999	-92,807	0,000
(Constante)	7,711	0,030		260,801	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,075x + 7,711$

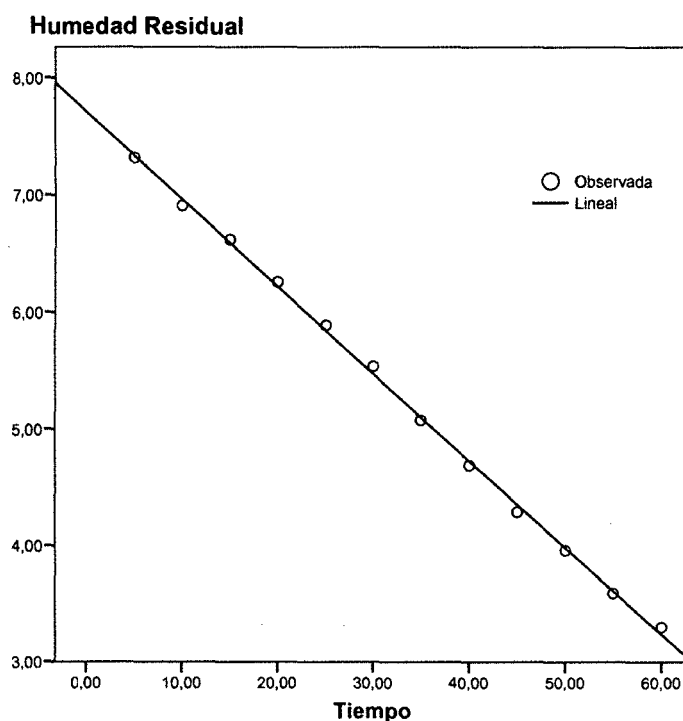


Figura 11. Representación de los datos experimentales (O) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T1 = 40 °C; V1 = 2,5 m/s).

Análisis de regresión exponencial con SPSS (T1 = 40 °C; V1 = 2,5 m/s)

Tabla 29. Resumen del modelo de regresión exponencial (T1 = 40 °C; V1 = 2,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,996	0,993	0,992	0,078

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 30. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial
(T1 = 40 °C; V1 = 2,5 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	31,255	1	31,255	5142,412	0,000
Residual	0,231	38	0,006		
Total	31,486	39			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 31. Coeficientes de la ecuación exponencial (T1 = 40 °C; V1 = 2,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	T	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,015	0,000	-0,996	-71,711	0,000
(Constante)	8,365	0,308		27,152	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 8,365e^{(-0,015x)}$

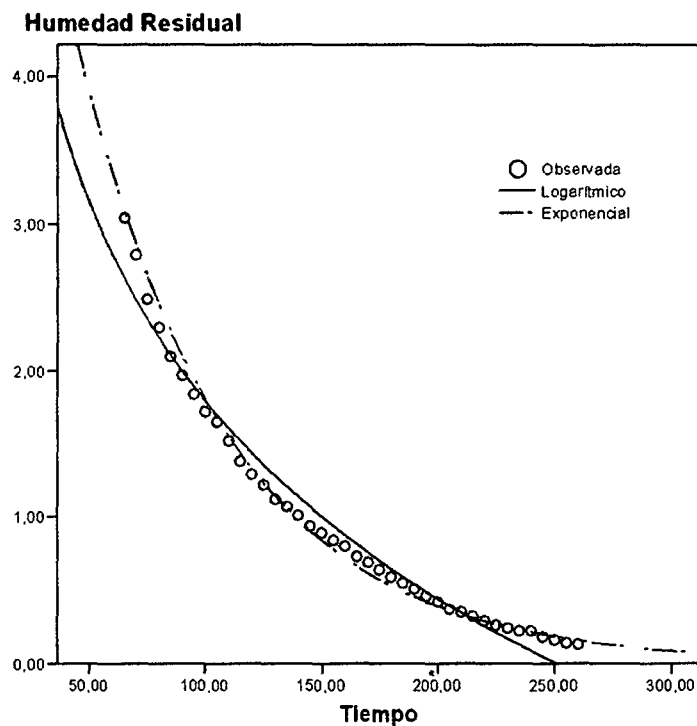


Figura 12. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T1 = 40 °C; V2 = 2,5 m/s).

Análisis de regresión lineal con el SPSS (T1 = 40 °C; V2 = 3,0 m/s)

Tabla 32. Resumen del modelo de regresión lineal (T1 = 40 °C; V2 = 3,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	0,999	0,999	0,037

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 33. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	19,530	1	19,530	14306,254	0,000
Residual	0,012	9	0,001		
Total	19,542	10			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 34. Coeficientes de la ecuación lineal (T1 = 40 °C; V2 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,084	0,001	-1,000	-119,609	0,000
(Constante)	7,406	0,021		355,345	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,084x + 7,406$

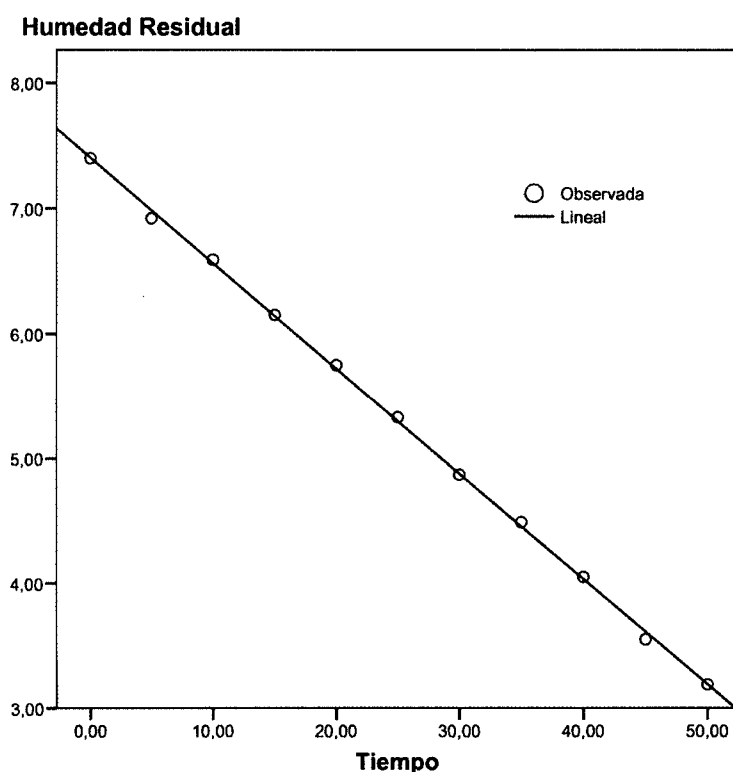


Figura 13. Representación de los datos experimentales (○) y de la línea recta (—) generada por el SPSS. (T1 = 40 °C; V2 = 3,0 m/s).

Análisis de regresión exponencial con SPSS (T1 = 40 °C; V2 = 3,0 m/s)

Tabla 35. Resumen del modelo de regresión exponencial (T1 = 40 °C; V2 = 3,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,995	0,989	0,989	0,098

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 36. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T1 = 40 °C; V2 = 3,0 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	34,581	1	34,581	3588,927	0,000
Residual	0,376	39	0,010		
Total	34,957	40			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 37. Coeficientes de la ecuación exponencial (T1 = 40 °C; V2 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo (Constante)	-0,016 7,284	0,000 0,304	-0,995	-59,908 23,933	0,000 0,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 7,284e^{(-0,016x)}$

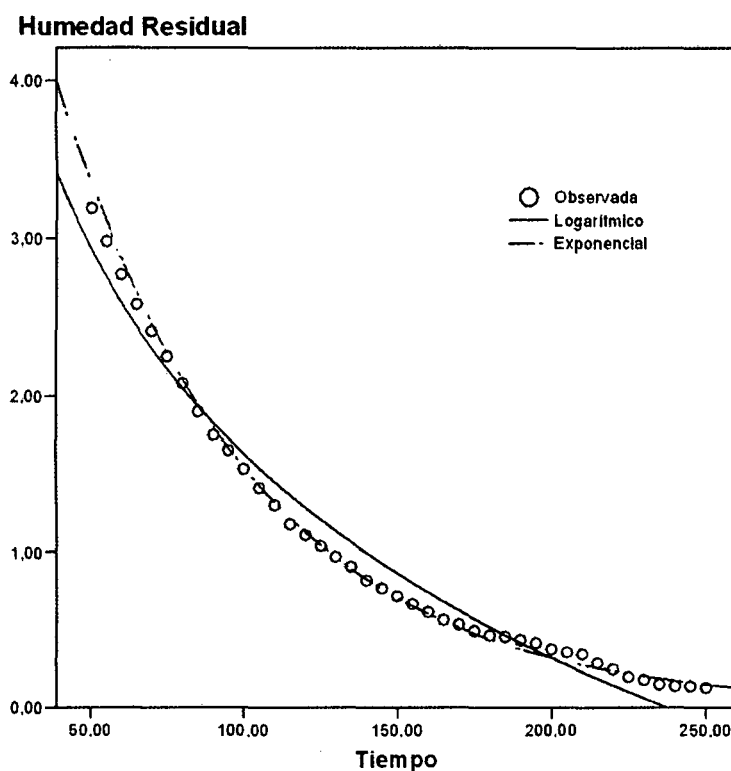


Figura 14. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T1 = 40 °C; V2 = 3,0 m/s).

Análisis de regresión lineal con SPSS (T1 = 40 °C; V3 = 3,5 m/s)

Tabla 38. Resumen del modelo de regresión lineal (T1 = 40 °C; V3 = 3,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,999	0,998	0,998	0,053

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 39. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal

(T1 = 40 °C; V3 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	10,460	1	10,460	3656,950	0,000
Residual	0,017	6	0,003		
Total	10,477	7			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 40. Coeficientes de la ecuación lineal (T1 = 40 °C; V3 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,100	0,002	-0,999	-60,473	0,000
(Constante)	6,667	0,035		193,111	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,1x + 6,667$

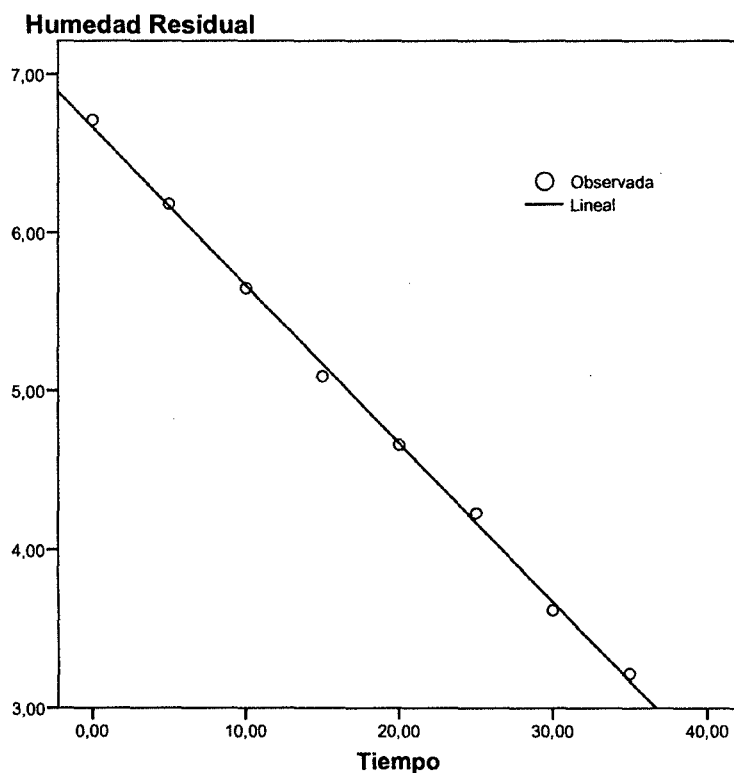


Figura 15. Representación de los datos experimentales (O) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T1 = 40 °C; V3 = 3,5 m/s).

Análisis de regresión exponencial con SPSS (T1 = 40 °C; V3 = 3,5 m/s)

Tabla 41. Resumen del modelo de regresión exponencial (T1 = 40 °C; V3 = 3,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,999	0,998	0,998	0,040

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 42. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial

(T1 = 40 °C; V3 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	37,457	1	37,457	23223,465	0,000
Residual	0,065	40	0,002		
Total	37,522	41			

La variable independiente es tiempo.

Tabla 43. Coeficientes de la ecuación exponencial (T1 = 40 °C; V3 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,016	0,000	-0,999	-152,392	0,000
(Constante)	5,616	0,086		65,084	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 5,616e^{(-0,016x)}$

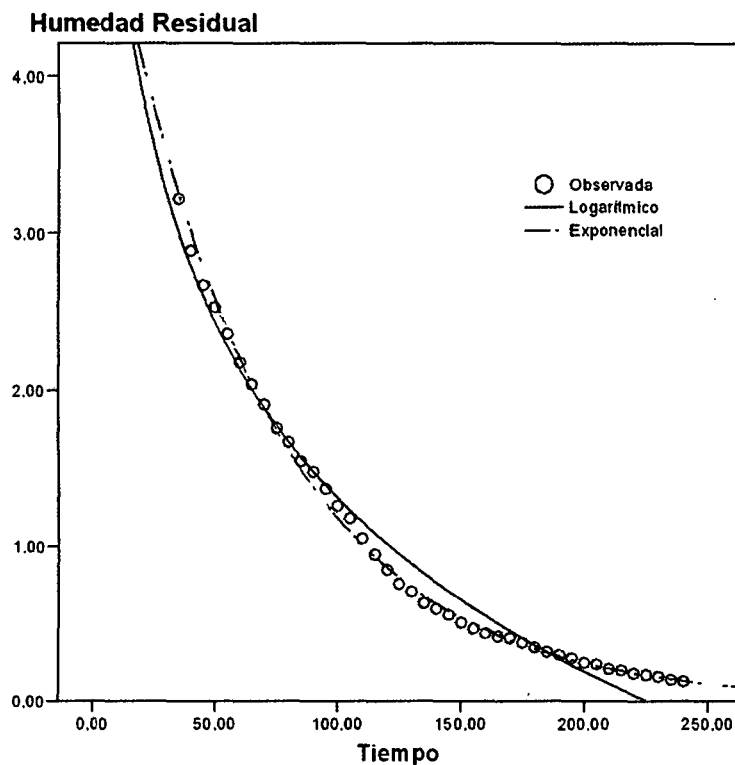


Figura 16. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T1 = 40 °C; V3 = 3,5 m/s).

**8.2. Resultados de las corridas experimentales de secado de sachá culantro
realizadas con aire a 50 °C y velocidades de 2,5; 3,0 y 3,5 m/s**

Tabla 44. Datos experimentales de la operación de secado de sachá culantro, en secador de bandejas con flujo de aire a 50 °C y velocidad de 2,5 m/s.

N°	t	P1	P2 = P1-SB	Yr = (P2-S)/S	dY/dt	Ym
	Tiempo (min)	Peso estructura + muestra al tiempo t (g)	Peso muestra al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g muestra seca)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g muestra seca)
1	0	1717.30	105.80	8.12	0.160	7.720
2	5	1708.00	96.50	7.32	0.083	7.112
3	10	1703.20	91.70	6.91	0.057	6.763
4	15	1699.90	88.40	6.62	0.072	6.440
5	20	1695.70	84.20	6.26	0.074	6.073
6	25	1691.40	79.90	5.89	0.069	5.716
7	30	1687.40	75.90	5.54	0.093	5.310
8	35	1682.00	70.50	5.08	0.078	4.884
9	40	1677.50	66.00	4.69	0.079	4.491
10	45	1672.90	61.40	4.29	0.067	4.125
11	50	1669.00	57.50	3.96	0.074	3.772
12	55	1664.70	53.20	3.59	0.057	3.444
13	60	1661.40	49.90	3.30	0.052	3.172
14	65	1658.40	46.90	3.04	0.050	2.918
15	70	1655.50	44.00	2.79	0.060	2.642
16	75	1652.00	40.50	2.49	0.038	2.397
17	80	1649.80	38.30	2.30	0.040	2.203
18	85	1647.50	36.00	2.10	0.026	2.039
19	90	1646.00	34.50	1.97	0.026	1.909
20	95	1644.50	33.00	1.84	0.024	1.784
21	100	1643.10	31.60	1.72	0.016	1.685
22	105	1642.20	30.70	1.65	0.026	1.582
23	110	1640.70	29.20	1.52	0.028	1.448
24	115	1639.10	27.60	1.38	0.017	1.336
25	120	1638.10	26.60	1.29	0.016	1.254
26	125	1637.20	25.70	1.22	0.019	1.168
27	130	1636.10	24.60	1.12	0.010	1.095
28	135	1635.50	24.00	1.07	0.012	1.039
29	140	1634.80	23.30	1.01	0.014	0.974

30	145	1634.00	22.50	0.94	0.010	0.914
31	150	1633.40	21.90	0.89	0.009	0.866
32	155	1632.90	21.40	0.84	0.009	0.823
33	160	1632.40	20.90	0.80	0.014	0.767
34	165	1631.60	20.10	0.73	0.009	0.711
35	170	1631.10	19.60	0.69	0.010	0.664
36	175	1630.50	19.00	0.64	0.009	0.616
37	180	1630.00	18.50	0.59	0.009	0.573
38	185	1629.50	18.00	0.55	0.009	0.530
39	190	1629.00	17.50	0.51	0.010	0.483
40	195	1628.40	16.90	0.46	0.007	0.440
41	200	1628.00	16.50	0.42	0.010	0.397
42	205	1627.40	15.90	0.37	0.003	0.362
43	210	1627.20	15.70	0.35	0.007	0.336
44	215	1626.80	15.30	0.32	0.005	0.306
45	220	1626.50	15.00	0.29	0.007	0.276
46	225	1626.10	14.60	0.26	0.003	0.250
47	230	1625.90	14.40	0.24	0.003	0.233
48	235	1625.70	14.20	0.22	0.002	0.220
49	240	1625.60	14.10	0.22	0.007	0.198
50	245	1625.20	13.70	0.18	0.003	0.172
51	250	1625.00	13.50	0.16	0.005	0.151
52	255	1624.70	13.20	0.14	0.002	0.134
53	260	1624.60	13.10	0.13	0.026	0.065

PB = 1611.5 g

S = 18.2 g

Tabla 45. Datos experimentales de la operación de secado de hojas de sachu culantro, en secador de bandejas con flujo de aire a 50 °C y velocidad de 3,0 m/s.

N°	t	P1	P2 = P1 - PB	Yr = (P2 - S)/S	dY/dt	Ym
	Tiempo (min)	Peso estructura + muestra al tiempo t (g)	Peso muestra al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g muestra seca)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g muestra seca)
1	0	1760.10	148.60	7.08	0.141	6.723
2	5	1747.10	135.60	6.37	0.114	6.084
3	10	1736.60	125.10	5.80	0.101	5.546
4	15	1727.30	115.80	5.29	0.078	5.098
5	20	1720.10	108.60	4.90	0.110	4.628
6	25	1710.00	98.50	4.35	0.100	4.103
7	30	1700.80	89.30	3.85	0.092	3.622
8	35	1692.30	80.80	3.39	0.066	3.226
9	40	1686.20	74.70	3.06	0.071	2.883
10	45	1679.70	68.20	2.71	0.050	2.582
11	50	1675.10	63.60	2.46	0.075	2.269
12	55	1668.20	56.70	2.08	0.046	1.967
13	60	1664.00	52.50	1.85	0.052	1.723
14	65	1659.20	47.70	1.59	0.032	1.514
15	70	1656.30	44.80	1.43	0.032	1.356
16	75	1653.40	41.90	1.28	0.021	1.226
17	80	1651.50	40.00	1.17	0.022	1.120
18	85	1649.50	38.00	1.07	0.018	1.019
19	90	1647.80	36.30	0.97	0.015	0.935
20	95	1646.40	34.90	0.90	0.017	0.853
21	100	1644.80	33.30	0.81	0.012	0.780
22	105	1643.70	32.20	0.75	0.010	0.726
23	110	1642.80	31.30	0.70	0.013	0.668
24	115	1641.60	30.10	0.64	0.010	0.611
25	120	1640.70	29.20	0.59	0.009	0.565
26	125	1639.90	28.40	0.54	0.009	0.522
27	130	1639.10	27.60	0.50	0.005	0.486
28	135	1638.60	27.10	0.47	0.005	0.459
29	140	1638.10	26.60	0.45	0.007	0.429
30	145	1637.50	26.00	0.41	0.007	0.397
31	150	1636.90	25.40	0.38	0.002	0.375
32	155	1636.70	25.20	0.37	0.008	0.351
33	160	1636.00	24.50	0.33	0.010	0.307

34	165	1635.10	23.60	0.28	0.002	0.277
35	170	1634.90	23.40	0.27	0.003	0.264
36	175	1634.60	23.10	0.26	0.014	0.220
37	180	1633.30	21.80	0.18	0.003	0.177
38	185	1633.00	21.50	0.17	0.002	0.163
39	190	1632.80	21.30	0.16	0.001	0.155
40	195	1632.70	21.20	0.15	0.002	0.147
41	200	1632.50	21.00	0.14	0.001	0.139
42	205	1632.40	20.90	0.14	0.001	0.133
43	210	1632.30	20.80	0.13	0.001	0.128
44	215	1632.20	20.70	0.13	0.025	0.063

PB = 1611.5 g

S = 18.4 g

Tabla 46. Datos experimentales de la operación de secado de hojas de sachá culantro, en secador de bandejas con flujo de aire a 50 °C y velocidad de 3,5 m/s.

N°	t	P1	P2 = P1 - PB	Yr = (P2 - S)/S	dY/dt	Ym
	Tiempo (min)	Peso estructura + muestra al tiempo t (g)	Peso muestra al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g muestra seca)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g muestra seca)
1	0	1764.40	152.90	10.08	0.441	8.978
2	5	1734.00	122.50	7.88	0.158	7.482
3	10	1723.10	111.60	7.09	0.242	6.482
4	15	1706.40	94.90	5.88	0.165	5.464
5	20	1695.00	83.50	5.05	0.180	4.601
6	25	1682.60	71.10	4.15	0.157	3.761
7	30	1671.80	60.30	3.37	0.099	3.123
8	35	1665.00	53.50	2.88	0.081	2.674
9	40	1659.40	47.90	2.47	0.055	2.333
10	45	1655.60	44.10	2.20	0.061	2.043
11	50	1651.40	39.90	1.89	0.033	1.808
12	55	1649.10	37.60	1.72	0.052	1.594
13	60	1645.50	34.00	1.46	0.054	1.330
14	65	1641.80	30.30	1.20	0.026	1.130
15	70	1640.00	28.50	1.07	0.029	0.993
16	75	1638.00	26.50	0.92	0.022	0.866
17	80	1636.50	25.00	0.81	0.020	0.761
18	85	1635.10	23.60	0.71	0.009	0.688
19	90	1634.50	23.00	0.67	0.025	0.605
20	95	1632.80	21.30	0.54	0.013	0.511
21	100	1631.90	20.40	0.48	0.010	0.453
22	105	1631.20	19.70	0.43	0.010	0.402
23	110	1630.50	19.00	0.38	0.007	0.359
24	115	1630.00	18.50	0.34	0.010	0.315
25	120	1629.30	17.80	0.29	0.012	0.261
26	125	1628.50	17.00	0.23	0.004	0.221
27	130	1628.20	16.70	0.21	0.004	0.199
28	135	1627.90	16.40	0.19	0.004	0.178
29	140	1627.60	16.10	0.17	0.003	0.159
30	145	1627.40	15.90	0.15	0.003	0.145
31	150	1627.20	15.70	0.14	0.001	0.134
32	155	1627.10	15.60	0.13	0.000	0.130
33	160	1627.10	15.60	0.13	0.026	0.065

PB = 1611.5 g

S = 13.8 g

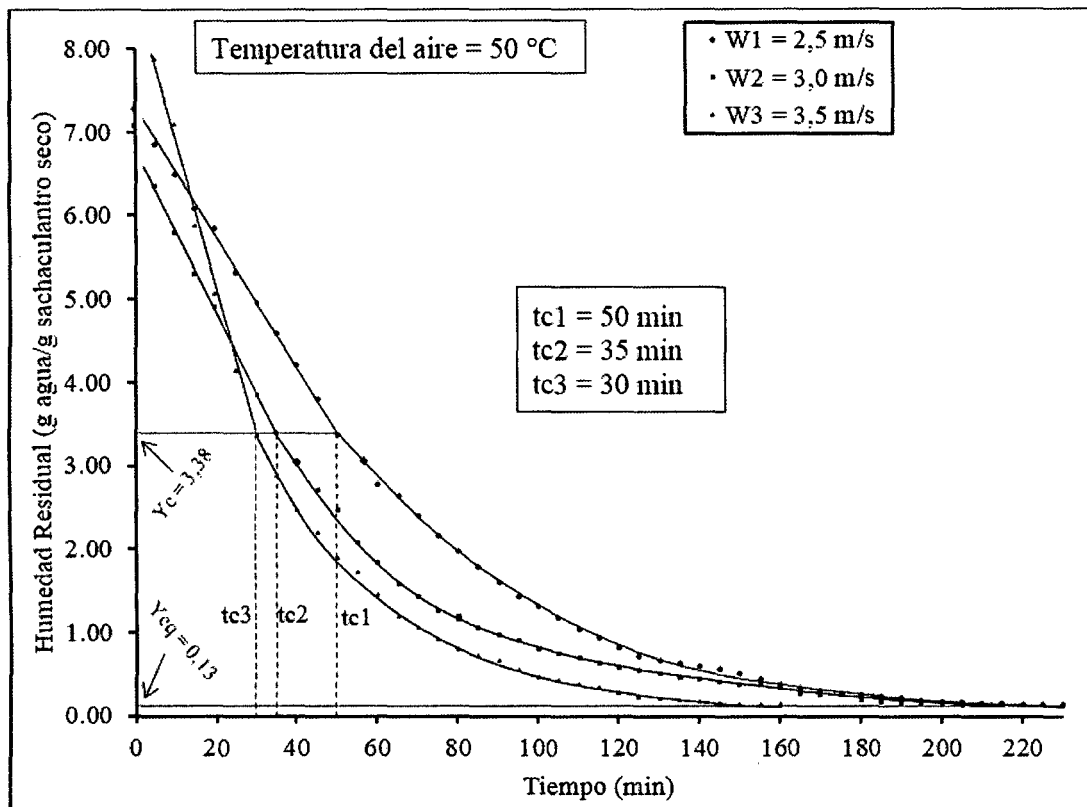


Figura 17. Humedad residual en función del tiempo ($T_2 = 50\text{ °C}$; $V_1 = 2,5\text{ m/s}$;

$V_2 = 3,0\text{ m/s}$; $V_3 = 3,5\text{ m/s}$.

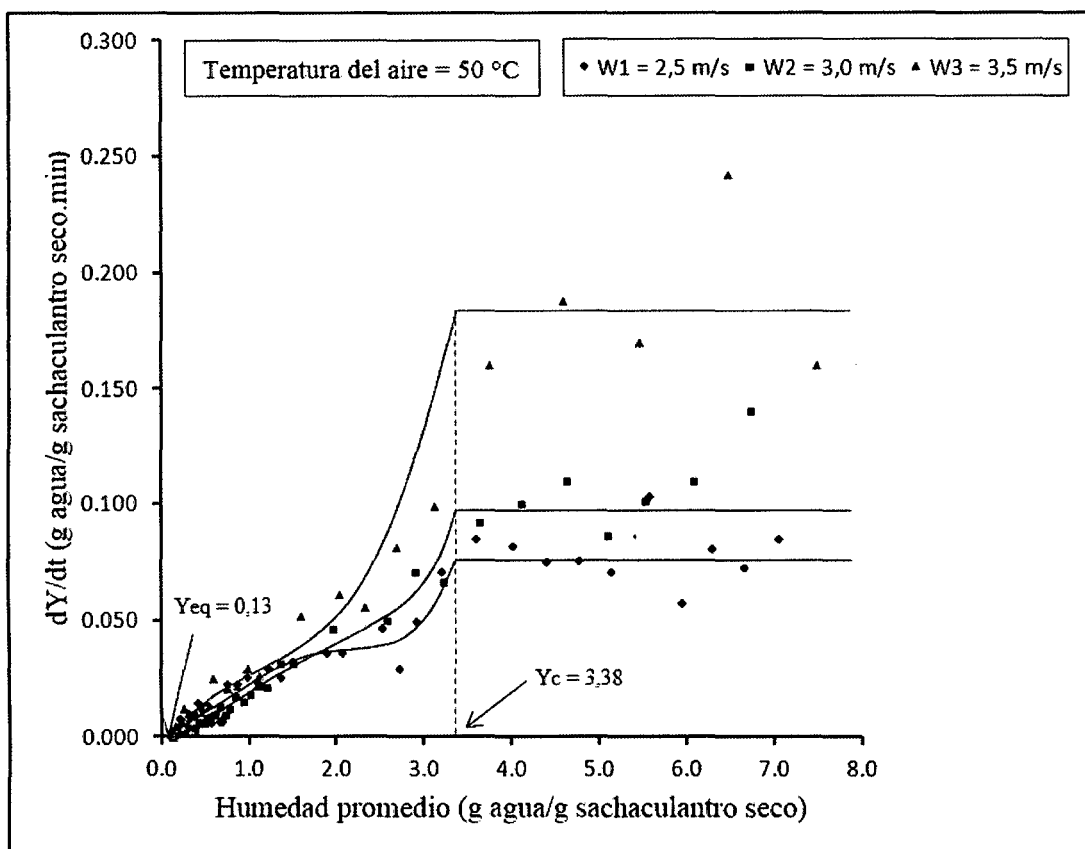


Figura 18. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ($T_2 = 50\text{ °C}$; $V = 2,5; 3,0$ y $3,5\text{ m/s}$).

Análisis de regresión lineal con SPSS ($T_2 = 50\text{ °C}$; $V_1 = 2,5\text{ m/s}$)

Tabla 47. Resumen del modelo de regresión lineal ($T_2 = 50\text{ °C}$; $V_1 = 2,5\text{ m/s}$).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,999	0,999	0,999	0,043

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 48. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	16,282	1	16,282	8640,031	0,000
Residual	0,017	9	0,002		
Total	16,299	10			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 49. Coeficientes de la ecuación lineal (T2 = 50 °C; V1 = 2,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo (Constante)	-0,077	0,001	-0,999	-92,952	0,000
	7,271	0,024		296,934	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,077x + 7,271$

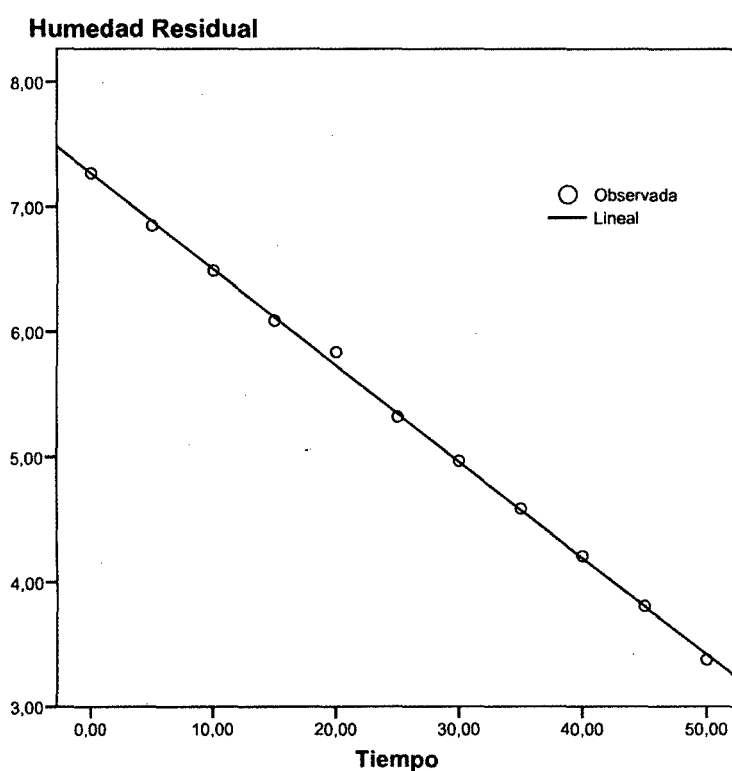


Figura 19. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; V1 = 2,5 m/s).

Análisis de regresión exponencial con SPSS (T2 = 50 °C; V1 = 2,5 m/s)

Tabla 50. Resumen del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C; V1 = 2,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,998	0,996	0,996	0,063

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 51. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial

(T2 = 50 °C; V1 = 2,5 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	38,462	1	38,462	9790,638	0,000
Residual	0,137	35	0,004		
Total	38,600	36			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 52. Coeficientes de la ecuación exponencial (T2 = 50 °C; V1 = 2,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,019	0,000	-0,998	-98,948	0,000
(Constante)	8,663	0,251		34,578	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 8,663e^{(-0,019x)}$

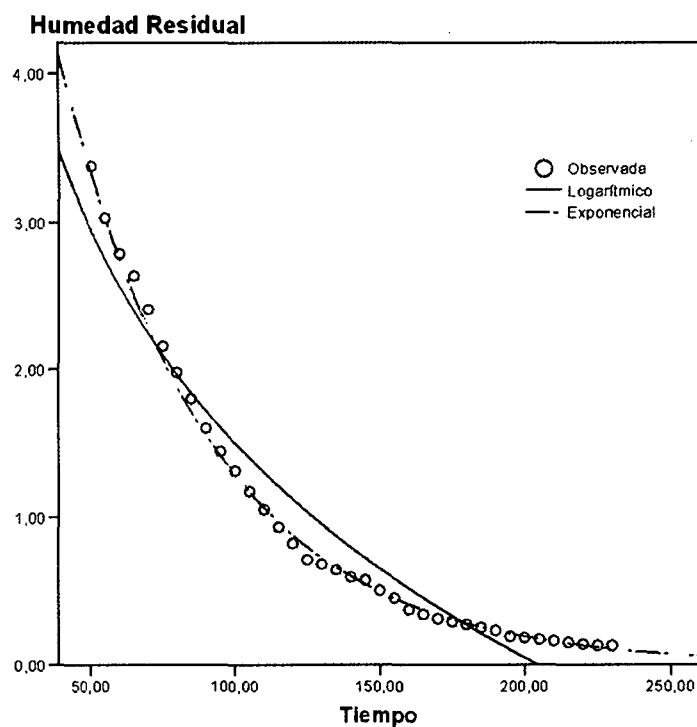


Figura 20. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T2 = 50 °C; V1 = 2,5 m/s).

Análisis de regresión lineal con SPSS (T2 = 50 °C; V2 = 3,0 m/s)

Tabla 53. Resumen del modelo de regresión lineal (T2 = 50 °C; V2 = 3,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,999	0,999	0,998	0,042

La variable independiente es Tiempo.

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

(T2 = 50 °C; V2 = 3,0 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	6,782	1	6,782	3822,230	0,000
Residual	0,009	5	0,002		
Total	6,791	6			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 55. Coeficientes de la ecuación lineal (T2 = 50 °C; V2 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,098	0,002	-0,999	-61,824	0,000
(Constante)	6,819	0,036		191,534	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,098x + 6,819$

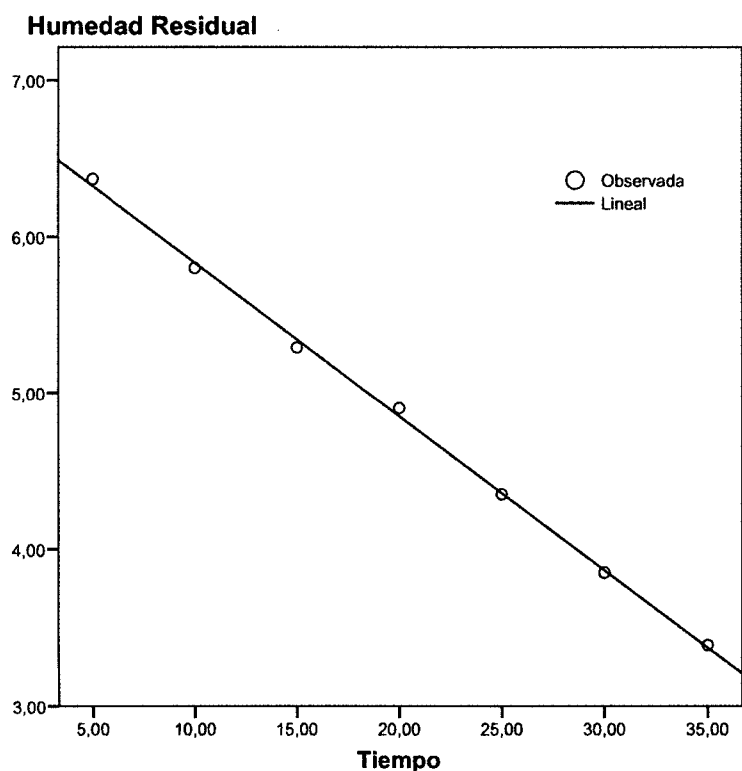


Figura 21. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; V2 = 3,0 m/s).

Análisis de regresión exponencial con SPSS (T2 = 50 °C; V2 = 3,0 m/s)

Tabla 56. Resumen del modelo de regresión exponencial

(T2 = 50 °C; V2 = 3,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,996	0,992	0,992	0,090

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 57. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial

(T2 = 50 °C; V2 = 3,0 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	34,615	1	34,615	4295,142	0,000
Residual	0,282	35	0,008		
Total	34,897	36			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 58. Coeficientes de la ecuación exponencial (T2 = 50 °C; V2 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,018	0,000	-0,996	-65,537	0,000
(Constante)	5,448	0,205		26,613	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 5,448e^{(-0,018x)}$

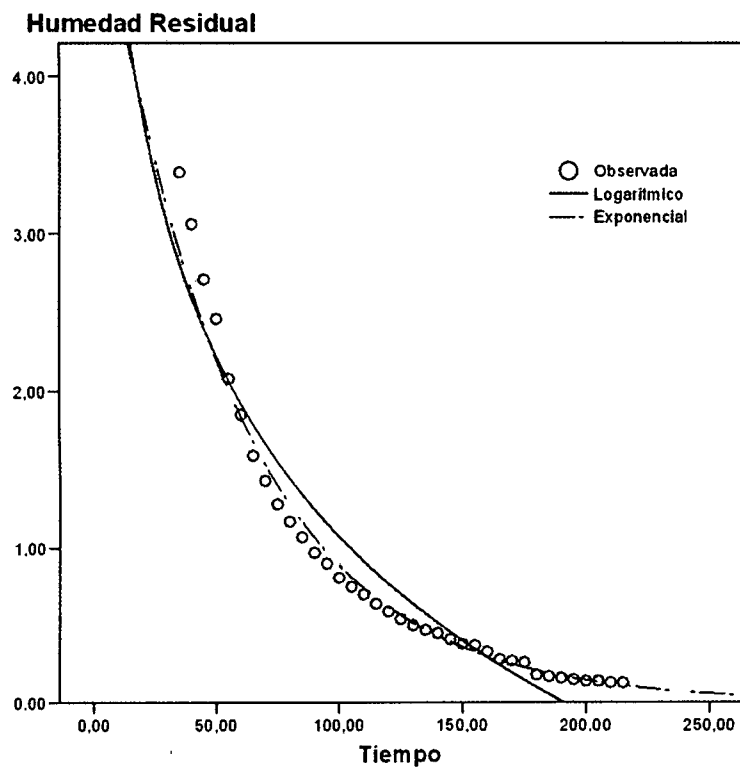


Figura 22. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T2 = 50 °C; V2 = 3,0 m/s).

Análisis de regresión lineal con SPSS (T2 = 50 °C; V3 = 3,5 m/s)

Tabla 59. Resumen del modelo de regresión lineal (T2 = 50 °C; V3 = 3,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,998	0,996	0,995	0,120

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 60. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal

(T2 = 50 °C; V3 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	14,812	1	14,812	1032,195	0,000
Residual	0,057	4	0,014		
Total	14,869	5			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 61. Coeficientes de la ecuación lineal (T2 = 50 °C; V3 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,184	0,006	-0,998	-32,128	0,000
(Constante)	8,790	0,112		78,820	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,184x + 8,790$

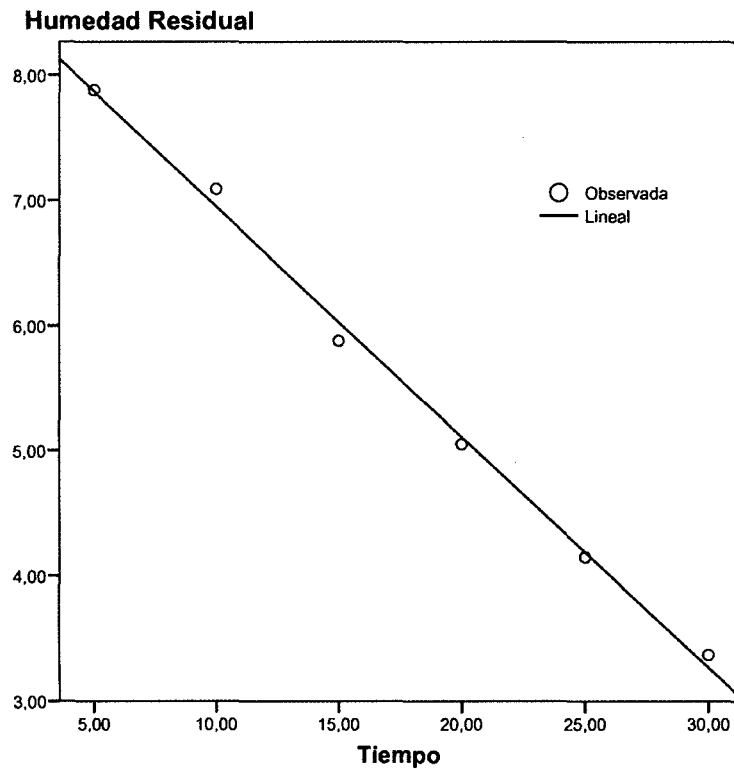


Figura 23. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; V3 = 3,5 m/s).

Análisis de regresión exponencial con SPSS (T2 = 50 °C; V3 = 3,5 m/s).

Tabla 62. Resumen del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C; V3 = 3,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,998	0,996	0,995	0,067

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 63. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial

(T2 = 50 °C; V3 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	24,905	1	24,905	5479,322	0,000
Residual	0,109	24	0,005		
Total	25,014	25			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 64. Coeficientes de la ecuación exponencial (T2 = 50 °C; V3 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,026	0,000	-0,998	-74,022	0,000
(Constante)	6,789	0,250		27,150	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 6,789e^{(-0,026x)}$

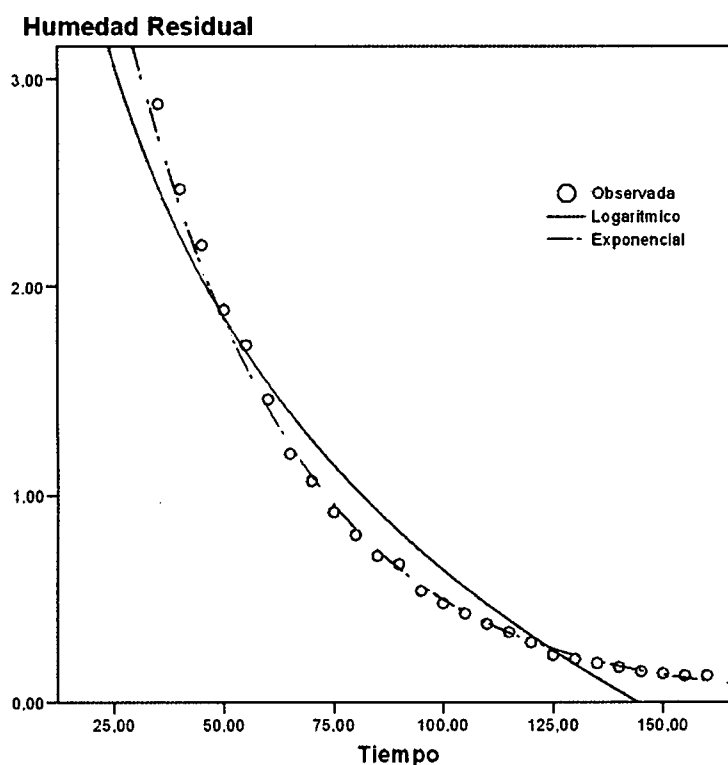


Figura 24. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T2 = 50 °C; V3 = 3,5 m/s).

8.3. Resultados de las corridas experimentales de secado de hojas de sachaculantro realizadas con aire a 60 °C y velocidades de 2,5, 3,0 y 3,5 m/s

Tabla 65. Datos experimentales de la operación de secado de hojas de sachaculantro, en secador de bandejas con flujo de aire a 60 °C y velocidad de 2,5 m/s.

N°	t	P1	P2 = P1-SB	$Y_r = (P2-S)/S$	dY/dt	Ym
	Tiempo (min)	Peso estructura + muestra al tiempo t (g)	Peso muestra al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g muestra seca)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g muestra seca)
1	0	1745.00	133.50	8.34	0.217	7.794
2	5	1729.50	118.00	7.25	0.130	6.927
3	10	1720.20	108.70	6.60	0.143	6.245
4	15	1710.00	98.50	5.89	0.137	5.545
5	20	1700.20	88.70	5.20	0.155	4.815
6	25	1689.10	77.60	4.43	0.141	4.073
7	30	1679.00	67.50	3.72	0.098	3.476
8	35	1672.00	60.50	3.23	0.094	2.997
9	40	1665.30	53.80	2.76	0.081	2.559
10	45	1659.50	48.00	2.36	0.057	2.213
11	50	1655.40	43.90	2.07	0.067	1.902
12	55	1650.60	39.10	1.73	0.036	1.643
13	60	1648.00	36.50	1.55	0.045	1.441
14	65	1644.80	33.30	1.33	0.035	1.241
15	70	1642.30	30.80	1.15	0.036	1.063
16	75	1639.70	28.20	0.97	0.025	0.909
17	80	1637.90	26.40	0.85	0.021	0.794
18	85	1636.40	24.90	0.74	0.025	0.678
19	90	1634.60	23.10	0.62	0.015	0.577
20	95	1633.50	22.00	0.54	0.014	0.503
21	100	1632.50	21.00	0.47	0.013	0.437
22	105	1631.60	20.10	0.41	0.011	0.378
23	110	1630.80	19.30	0.35	0.006	0.336
24	115	1630.40	18.90	0.32	0.013	0.290
25	120	1629.50	18.00	0.26	0.011	0.231
26	125	1628.70	17.20	0.20	0.006	0.189
27	130	1628.30	16.80	0.17	0.008	0.154
28	135	1627.70	16.20	0.13	0.027	0.066

PB = 1611.5 g

S = 14.30g

Tabla 66. Datos experimentales de la operación de secado de hojas de sachá culantro, en secador de bandejas con flujo de aire a 60 °C y velocidad de 3,0 m/s.

N°	t	P1	P2 = P1-SB	(P2-S)/S	dY/dt	Ym
	Tiempo (min)	Peso estructura + muestra al tiempo t (g)	Peso muestra al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g muestra seca)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g muestra seca)
1	0	1741.70	130.20	8.37	0.291	7.640
2	5	1721.50	110.00	6.91	0.165	6.500
3	10	1710.00	98.50	6.09	0.160	5.687
4	15	1698.90	87.40	5.29	0.164	4.878
5	20	1687.50	76.00	4.47	0.150	4.094
6	25	1677.10	65.60	3.72	0.102	3.464
7	30	1670.00	58.50	3.21	0.086	2.993
8	35	1664.00	52.50	2.78	0.098	2.532
9	40	1657.20	45.70	2.29	0.072	2.108
10	45	1652.20	40.70	1.93	0.062	1.773
11	50	1647.90	36.40	1.62	0.043	1.511
12	55	1644.90	33.40	1.40	0.045	1.291
13	60	1641.80	30.30	1.18	0.036	1.090
14	65	1639.30	27.80	1.00	0.027	0.932
15	70	1637.40	25.90	0.86	0.023	0.806
16	75	1635.80	24.30	0.75	0.019	0.701
17	80	1634.50	23.00	0.65	0.027	0.586
18	85	1632.60	21.10	0.52	0.013	0.486
19	90	1631.70	20.20	0.45	0.017	0.410
20	95	1630.50	19.00	0.37	0.017	0.324
21	100	1629.30	17.80	0.28	0.012	0.252
22	105	1628.50	17.00	0.22	0.001	0.219
23	110	1628.40	16.90	0.22	0.004	0.205
24	115	1628.10	16.60	0.19	0.006	0.180
25	120	1627.70	16.20	0.17	0.007	0.147
26	125	1627.20	15.70	0.13	0.026	0.065

PB = 1611.5 g

S = 13.90 g

Tabla 67. Datos experimentales de la operación de secado de hojas de sachá culantro, en secador de bandejas con flujo de aire a 60 °C y velocidad de 3,5 m/s.

N°	t	P1	P2 = P1-SB	(P2-S)/S	dY/dt	Ym
	Tiempo (min)	Peso estructura + muestra al tiempo t (g)	Peso muestra al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g muestra seca)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g muestra seca)
1	0	1744.50	133.00	8.85	0.274	8.167
2	5	1726.00	114.50	7.48	0.319	6.685
3	10	1704.50	93.00	5.89	0.253	5.256
4	15	1687.40	75.90	4.62	0.227	4.056
5	20	1672.10	60.60	3.49	0.102	3.233
6	25	1665.20	53.70	2.98	0.090	2.752
7	30	1659.10	47.60	2.53	0.071	2.348
8	35	1654.30	42.80	2.17	0.065	2.007
9	40	1649.90	38.40	1.84	0.052	1.715
10	45	1646.40	34.90	1.59	0.050	1.459
11	50	1643.00	31.50	1.33	0.041	1.230
12	55	1640.20	28.70	1.13	0.047	1.007
13	60	1637.00	25.50	0.89	0.036	0.800
14	65	1634.60	23.10	0.71	0.025	0.648
15	70	1632.90	21.40	0.59	0.030	0.511
16	75	1630.90	19.40	0.44	0.013	0.404
17	80	1630.00	18.50	0.37	0.018	0.326
18	85	1628.80	17.30	0.28	0.012	0.252
19	90	1628.00	16.50	0.22	0.003	0.215
20	95	1627.80	16.30	0.21	0.007	0.189
21	100	1627.30	15.80	0.17	0.003	0.163
22	105	1627.10	15.60	0.16	0.003	0.148
23	110	1626.90	15.40	0.14	0.001	0.137
24	115	1626.80	15.30	0.13	0.001	0.130
25	120	1626.70	15.20	0.13	0.025	0.063

PB = 1611.5 g

S = 13.50 g

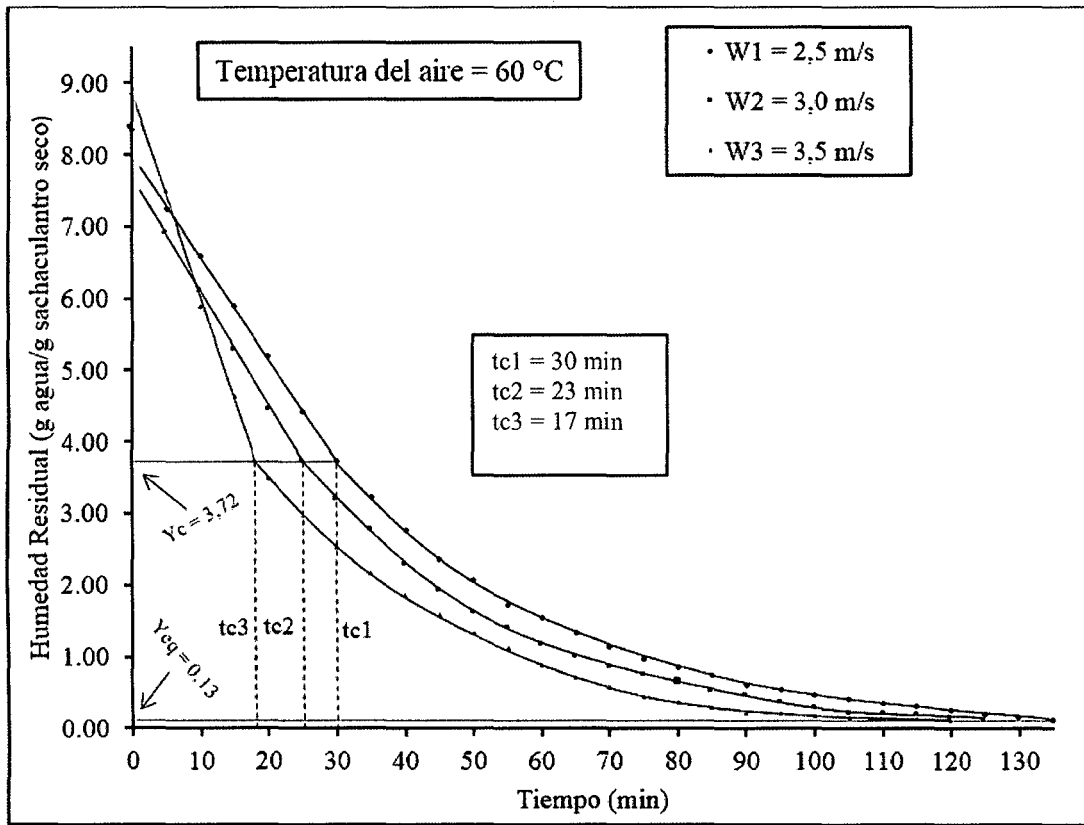


Figura 25. Humedad residual en función del tiempo ($T_3 = 60\text{ °C}$; $V_1 = 2,5\text{ m/s}$;

$V_2 = 3,0\text{ m/s}$; $V_3 = 3,5\text{ m/s}$.

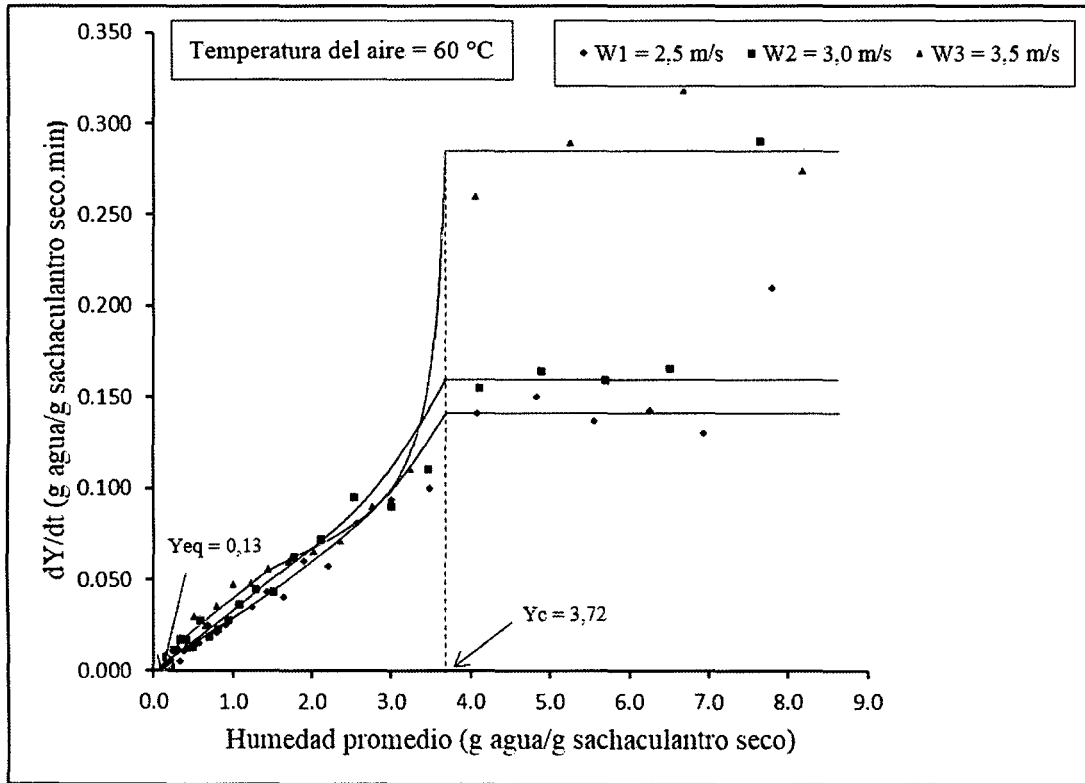


Figura 26. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ($T_3 = 60\text{ °C}$; $V = 2,5; 3,0$ y $3,5$ m/s).

Análisis de regresión lineal con el SPSS ($T_3 = 60\text{ °C}$; $V_1 = 2,5$ m/s)

Tabla 68. Resumen del modelo de regresión lineal ($T_3 = 60\text{ °C}$; $V_1 = 2,5$ m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	0,999	0,999	0,035

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 69. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	8,822	1	8,822	7351,458	0,000
Residual	0,005	4	0,001		
Total	8,827	5			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 70. Coeficientes de la ecuación lineal (T3 = 60 °C; V1 = 2,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-,142	0,002	-1,000	-85,741	0,000
(Constante)	8,000	0,032		248,069	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,142x + 8$

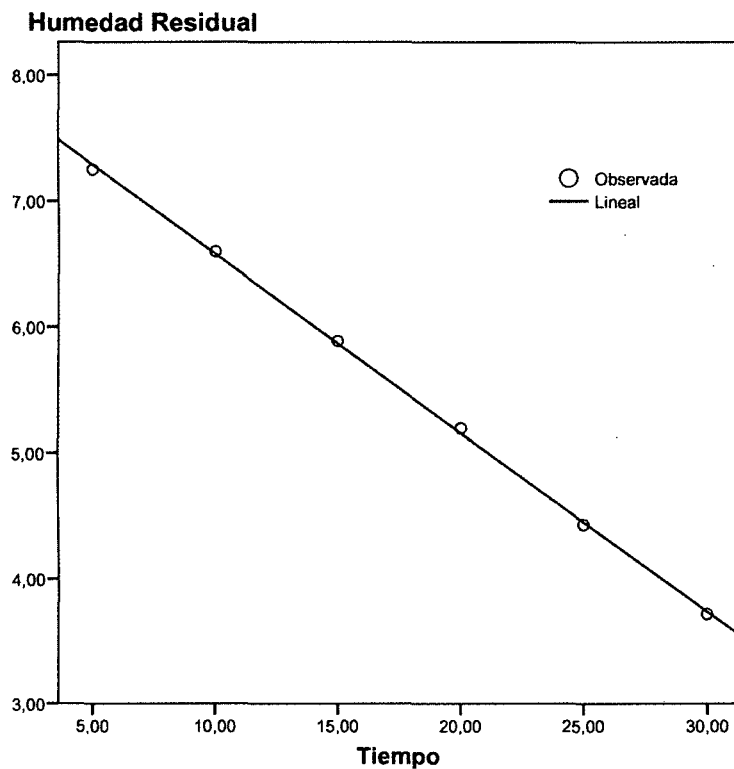


Figura 27. Representación de los datos experimentales (O) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T3 = 60 °C; V1 = 2,5 m/s).

Análisis de regresión exponencial con SPSS (T3 = 60 °C; V1 = 2,5 m/s)

Tabla 71. Resumen del modelo de regresión exponencial (T3 = 60 °C; V1 = 2,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,998	0,997	0,997	0,058

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 72. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial

(T3 = 60 °C; V1 = 2,5 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	20,649	1	20,649	6120,576	0,000
Residual	0,067	20	0,003		
Total	20,716	21			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 73. Coeficientes de la ecuación exponencial (T3 = 60 °C; V1 = 2,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,031	0,000	-0,998	-78,234	0,000
(Constante)	9,591	0,331		28,981	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 9,591e^{(-0,031x)}$

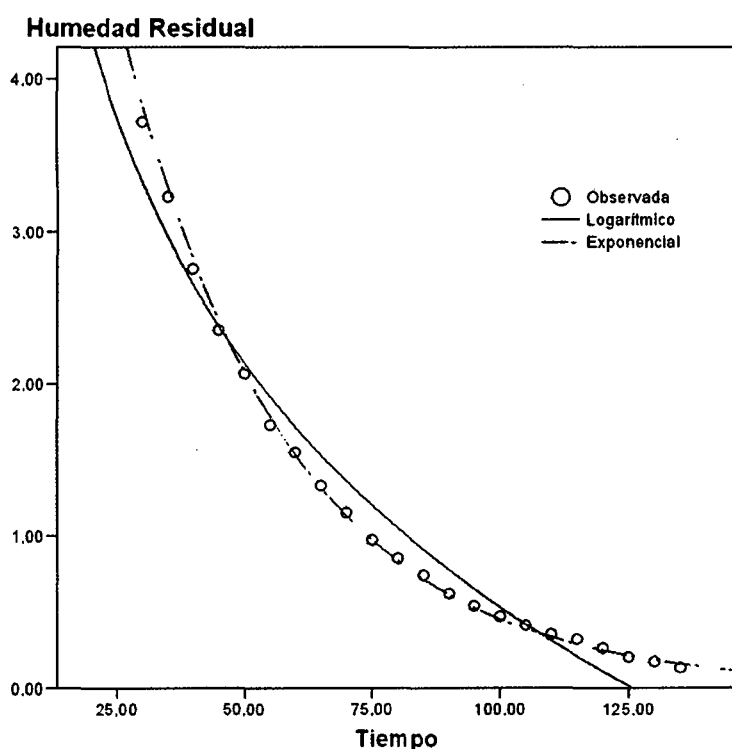


Figura 28. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T3 = 60 °C; V1 = 2,5 m/s).

Análisis de regresión lineal con SPSS (T3 = 60 °C; V2 = 3,0 m/s)

Tabla 74. Resumen del modelo de regresión lineal (T3 = 60 °C; V2 = 3,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	1,000	0,023

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 75. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal

(T3 = 60 °C; V2 = 3,0 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	6,400	1	6,400	12631,579	0,000
Residual	0,002	3	0,001		
Total	6,402	4			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 76. Coeficientes de la ecuación lineal (T3 = 60 °C; V2 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,160	0,001	-1,000	-112,390	0,000
(Constante)	7,696	0,024		325,992	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,160x + 7,696$

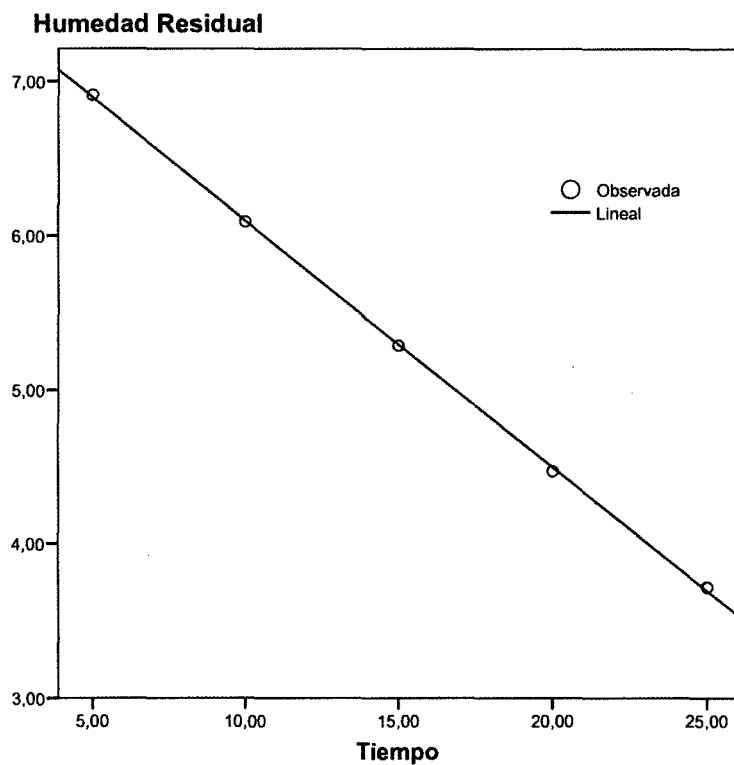


Figura 29. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T3 = 60 °C; V2 = 3,0 m/s).

Análisis de regresión exponencial (T3 = 60 °C; V2 = 3,0 m/s).

Tabla 77. Resumen del modelo de regresión exponencial (T3 = 60 °C; V2 = 3,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,999	0,997	0,997	0,055

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 78. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T3 = 60 °C; V2 = 3,0 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	21,765	1	21,765	7234,670	0,000
Residual	0,057	19	0,003		
Total	21,822	20			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 79. Coeficientes de la ecuación exponencial (T3 = 60 °C; V2 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,034	,000	-0,999	-85,057	0,000
(Constante)	8,873	,284		31,275	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 8,873e^{(-0,034x)}$

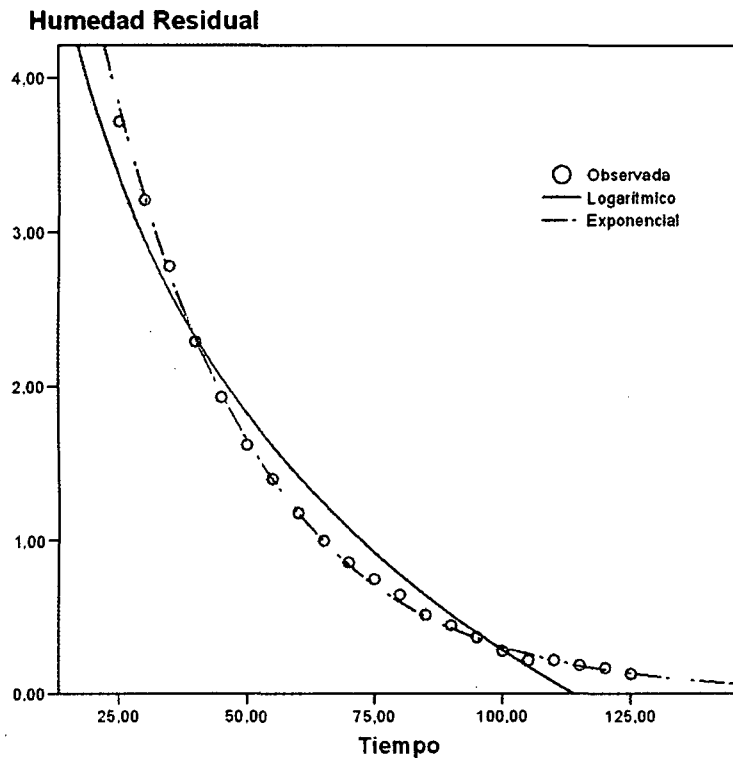


Figura 30. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T3 = 60 °C; V2 = 3,0 m/s).

Análisis de regresión lineal con SPSS (T3 = 60 °C; V3 = 3,5 m/s)

Tabla 80. Resumen del modelo de regresión lineal (T3 = 60 °C; V3 = 3,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,999	0,998	0,997	0,092

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 81. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal

(T3 = 60 °C; V3 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	10,196	1	10,196	1193,902	0,001
Residual	0,017	2	0,009		
Total	10,213	3			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 82. Coeficientes de la ecuación lineal (T3 = 60 °C; V3 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,286	0,008	-0,999	-34,553	0,001
(Constante)	8,852	0,077		114,489	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,286x + 8,852$

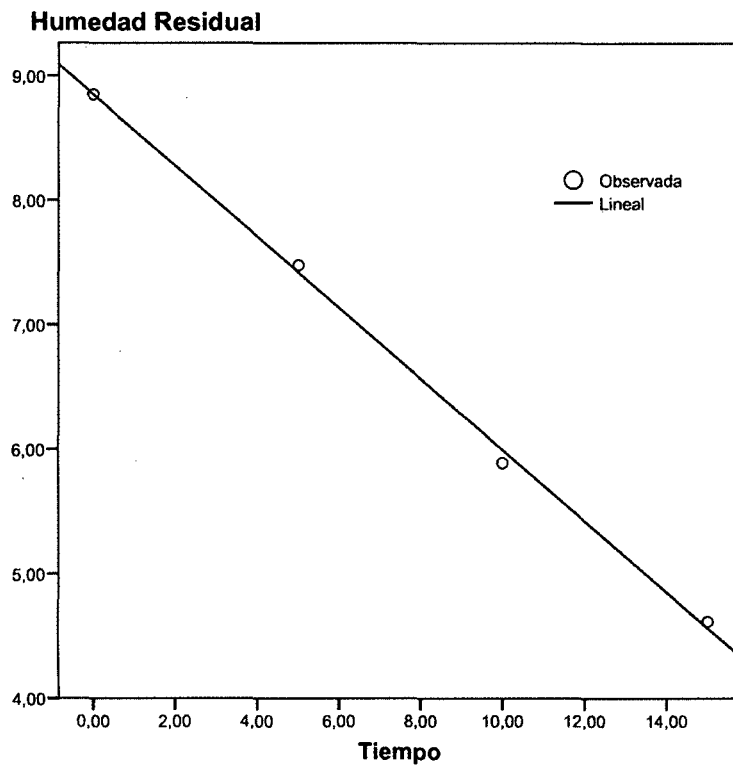


Figura 31. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. ($T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$; $V_3 = 3,5\text{ m/s}$).

Análisis de regresión exponencial con SPSS ($T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$; $V_2 = 3,5\text{ m/s}$).

Tabla 83. Resumen del modelo de regresión exponencial ($T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$; $V_3 = 3,5\text{ m/s}$).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,994	0,988	0,987	0,128

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 84. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial

($T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$; $V_3 = 3,5\text{ m/s}$).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	25,646	1	25,646	1576,174	0,000
Residual	0,309	19	0,016		
Total	25,955	20			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 85. Coeficientes de la ecuación exponencial (T3 = 60 °C; V3 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo (Constante)	-0,037 7,524	0,001 0,528	-0,994	-39,701 14,262	0,000 0,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva logarítmica será de la forma: $y = 7,524e^{(-0,037x)}$

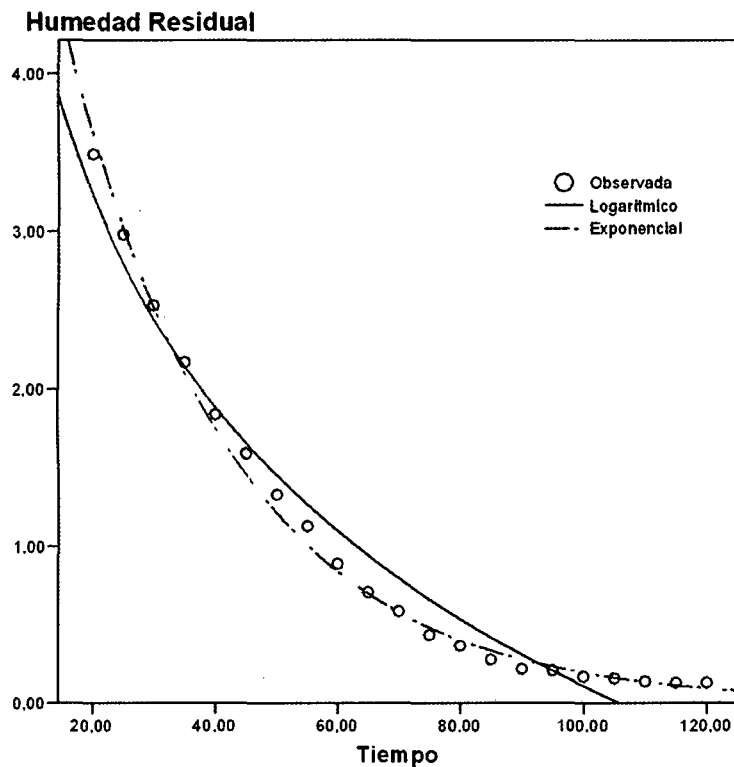


Figura 32. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T3 = 60 °C; V3 = 3,5 m/s).