

UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS



FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE
INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y VELOCIDAD DEL AIRE
EN EL SECADO DE SEMILLAS DE PAN DE ÁRBOL (*Artocarpus altilis*)
PARA LA OBTENCIÓN DE HARINA CON LA MAYOR CANTIDAD DE
VITAMINA C, PROVINCIA DE UTCUBAMBA - AMAZONAS

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

AUTORES

BACH. ALEX OSMAR ACUÑA VASQUEZ

BACH. JOSE ELI GUERRERO SILVA

ASESOR

Ing. Ms.C. ARMSTRONG BARNARD FERNÁNDEZ JERÍ



16 AGO 2013

CHACHAPOYAS - AMAZONAS

2013

DEDICATORIA

A mis padres: Alberto y Pascuala por su confianza, afecto, sacrificio, apoyo y sus sabios consejos que me brindan día a día para cumplir mis objetivos.

Con todo mi amor y gratitud a mis hermanos: Jhony, Janett y Betty quienes representan el principal motivo de mi constante superación.

ALEX OSMAR

A mis padres: Lorenzo y Teresa porque a pesar del sin fin de preocupaciones que les aquejan, han sido mi apoyo incondicional y por la formación en valores que me dieron.

A mis hermanos: Natividad, Vicenta y Edu porque siempre han sido mi fortaleza, en especial a mi hermano Edu por hacer del más grande de mis anhelos una realidad.

JOSE ELI

AGRADECIMIENTO

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

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

A nuestro asesor, Ms.C. Armstrong Fernández Jeri, Profesor Asociado 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 Seminario Diocesano “Octavio Ortiz Arrieta” por su aporte valioso a la investigación en nuestra Región Amazonas.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Dr. VICENTE MARINO CASTAÑEDA CHÁVEZ

Rector

Dr. ROBERTO JOSÉ NERVI CHACÓN

Vicerrector Académico

Dr. EVER SALOMÉ LÁZARO BAZAN

Vicerrector Administrativo

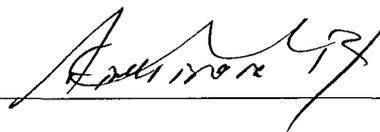
Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

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 “EFECTO DE LA TEMPERATURA Y VELOCIDAD DEL AIRE EN EL SECADO DE SEMILLAS DE PAN DE ÁRBOL (*Artocarpus altilis*) PARA LA OBTENCIÓN DE HARINA CON LA MAYOR CANTIDAD DE VITAMINA C, PROVINCIA DE UTCUBAMBA - AMAZONAS” presentada por los Bachilleres ALEX OSMAR ACUÑA VASQUEZ, y JOSE ELI GUERRERO SILVA, Egresados de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNTRM-Amazonas, dando el visto bueno y comprometiéndome a orientarlos en el levantamiento de observaciones y en la sustentación de la tesis.

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



Ms.C. ARMSTRONG FERNÁNDEZ JERI

Profesor Asociado TC UNTRM-Amazonas

JURADO EVALUADOR



Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN
PRESIDENTE



ING. ERICK ALDO AUQUÍNIVIN SILVA
SECRETARIO



ING. OSCAR MITCHEL JARA ALARCÓN
VOCAL



UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AGRARIAS

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Chachapoyas, el día 25 de JULIO del año 2013, siendo las 12:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado, conformado por:

Presidente: Dr. Miguel Ángel Ubarrena Borbillón

Secretario: Ing. Ericko Aldo Auguinuín Silva

Vocal: Ing. Oscar Miravalles Sandoval

para evaluar la Sustentación del Informe de Tesis presentado por el(la) bachiller, don(ña) José Eli Guerrero Silva titulado "Efecto de la temperatura y velocidad del aire en el secado de semillas de pan de Arbol (Artocarpus altilis) para la obtención de harina con la mayor cantidad de Vitamina C, provincia de Utcubambes - Amazonas"

Después de la sustentación respectiva, el Jurado acuerda la APROBACION (X), DESAPROBACION () por mayoría () por unanimidad (X); en consecuencia, el (la) aspirante puede proseguir con el trámite subsiguiente, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la UNAT-A.

Siendo las 07:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación del Informe de Tesis.

SECRETARIO

PRESIDENTE



UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AGRARIAS

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Chachapoyas, el día 25 de JULIO del año 2013 siendo las 12:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado conformado por:

Presidente: Dr. Miguel Ángel Barrantes Gorbillon

Secretario: Ing. Erick Aldo Auguinuma Silva

Vocal: Ing. Oscar Mitchell Jara Atarcón

para evaluar la Sustentación del Informe de Tesis presentado por el(la) bachiller, don(ña) Alex Osmar Acuña Vasquez

titulado "Efecto de la temperatura y velocidad del aire en el secado de semillas de papa de árbol (Artoconpus utilis), Para la obtención de harina con la mayor cantidad de Vitamina C, provincia de Uchubamba - 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 UNAT-A.

Siendo las 12:10 horas del mismo día, el Jurado concluye el acta de sustentación del Informe de Tesis.

SECRETARIO

PRESIDENTE



Form6- T

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	iii
VISTO BUENO DEL ASESOR	iv
JURADO EVALUADOR	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xix
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Generalidades del pan de árbol (<i>Artocarpus altilis</i>)	2
1.2. Perspectivas agroindustriales del pan de árbol	11
1.3. Vitamina C.....	12
1.4. Secado de productos alimenticios	15
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	22
2.1. Materia prima.....	22
2.2. Caracterización biométrica y física del fruto y semillas de pan de árbol	22
2.3. Análisis fisicoquímico de la materia prima empleada	22

2.4.	Procedimiento de secado de semillas de pan de árbol	22
2.5.	Obtención de harina de semillas de pan de árbol	24
2.6.	Análisis fisicoquímico y microbiológico de la harina obtenida	27
2.6.1.	Determinación de vitamina C	27
2.6.2.	Determinación de humedad	27
2.6.3.	Determinación de proteína total	27
2.6.4.	Determinación de grasa total	27
2.6.5.	Determinación de cenizas	28
2.6.6.	Determinación de pH	28
2.6.7.	Acidez titulable	28
2.6.8.	Identificación de mohos y levaduras	28
2.7.	Diseño experimental para obtener harina de semillas de pan de árbol con mayor cantidad de vitamina C	28
III. RESULTADOS		31
3.1.	Características biométricas y físicas del fruto y semillas de pan de árbol	31
3.2.	Características fisicoquímicas de semillas frescas de pan de árbol	32
3.3.	Cantidad de vitamina C en la harina de semillas de pan de árbol	32
3.4.	Cinética de secado de semillas de pan de árbol	34
3.5.	Modelo matemático de la cinética de secado de semillas de pan de árbol	36
3.6.	Rendimiento en el proceso de obtención de harina de semillas de pan de árbol	38
3.7.	Características fisicoquímicas de harina de semillas de pan de árbol	38
3.8.	Análisis microbiológico de la harina de semillas de pan de árbol	39

IV. DISCUSIÓN	40
V. CONCLUSIONES	45
VI. RECOMENDACIONES	47
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXOS	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición física del fruto de pan de árbol	7
Tabla 2. Composición química de las semillas de pan de árbol por cada 100g de semilla comestible.....	7
Tabla 3. Composición química por cada 100 g de las semillas de pan de árbol.....	8
Tabla 4. Composición nutricional de semillas de pan de árbol	8
Tabla 5. Perdidas de ácido ascórbico en vegetales cocidos por diferentes métodos	13
Tabla 6. Estabilidad de la Vitamina C	14
Tabla 7. Esquema experimental de los tratamientos.....	29
Tabla 8. Características biométricas y físicas del fruto de pan de árbol.....	31
Tabla 9. Composición porcentual del fruto de pan de árbol	31
Tabla 10. Composición porcentual de las semillas del fruto de pan de árbol.....	31
Tabla 11. Características fisicoquímicas de semillas frescas de pan de árbol.....	32
Tabla 12. Cantidad de vitamina C en mg por cada 100g de harina de semillas de pan de árbol, según los tratamientos.....	33
Tabla 13. 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.	37
Tabla 14. Características fisicoquímicas de harina de semillas de pan de árbol con mayor cantidad de vitamina C.....	38
Tabla 15. Análisis microbiológico de la harina de pan de árbol obtenida por secado con aire a 40 °C y velocidad de 4,0 m/s	39
Tabla 16. Datos biométricos y físicos de frutos de pan de árbol	54
Tabla 17. Pesos de semillas de pan de árbol	55

Tabla 18. Requisitos mínimos de harinas	57
Tabla 19. Volumen de yodo gastado durante la titulación para determinar la cantidad de vitamina C en la harina, obtenida según los tratamientos de secado	63
Tabla 20. Cantidad de vitamina C en mg por cada 100g de harina de semillas de pan de árbol	69
Tabla 21. Esquema del análisis de varianza: Cuadro ANOVA	70
Tabla 22. 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)	71
Tabla 23. Representación de los grupos homogéneos	73
Tabla 24. Datos experimentales de la operación de secado de semillas de pan de árbol, en secador de bandejas con flujo de aire a 40 °C y velocidad de 3,0 m/s	74
Tabla 25. Datos experimentales de la operación de secado de semillas de pan de árbol, en secador de bandejas con flujo de aire a 40 °C y velocidad de 3,5 m/s	75
Tabla 26. Datos experimentales de la operación de secado de semillas de pan de árbol, en secador de bandejas con flujo de aire a 40 °C y velocidad de 4,0 m/s	76
Tabla 27. Resumen del modelo de regresión lineal (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s).....	78
Tabla 28. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s).....	78
Tabla 29. Coeficientes de la ecuación lineal (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s)	79
Tabla 30. Resumen del modelo de regresión exponencial (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s) . .	79
Tabla 31. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s).....	80
Tabla 32. Coeficientes de la ecuación exponencial (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s).....	80
Tabla 33. Resumen del modelo de regresión lineal (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).....	81

Tabla 34. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).....	81
Tabla 35. Coeficientes de la ecuación lineal (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s)	81
Tabla 36. Resumen del modelo de regresión exponencial (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s) ..	82
Tabla 37. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).....	82
Tabla 38. Coeficientes de la ecuación exponencial (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).....	83
Tabla 39. Resumen del modelo de regresión lineal (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).....	84
Tabla 40. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).....	84
Tabla 41. Coeficientes de la ecuación lineal (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).	84
Tabla 42. Resumen del modelo de regresión exponencial (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s). .	85
Tabla 43. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).....	85
Tabla 44. Coeficientes de la ecuación exponencial (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).....	86
Tabla 45. Datos experimentales de la operación de secado de semillas de pan de árbol, en secador de bandejas con flujo de aire a 50 °C y velocidad de 3,0 m/s.	87
Tabla 46. Datos experimentales de la operación de secado de semillas de pan de árbol, en secador de bandejas con flujo de aire a 50 °C y velocidad de 3,5 m/s.	88
Tabla 47. Datos experimentales de la operación de secado de semillas de pan de árbol, en secador de bandejas con flujo de aire a 50 °C y velocidad de 4,0 m/s	89
Tabla 48. Resumen del modelo de regresión lineal (T2 = 50 °C; V1 = 3,0 m/s).....	91
Tabla 49. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T2 = 50 °C; V1 = 3,0 m/s).....	91
Tabla 50. Coeficientes de la ecuación lineal (T2 = 50 °C; V1 = 3,0 m/s).	92

Tabla 51. Resumen del modelo de regresión exponencial ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_1 = 3,0\text{ m/s}$)..	92
Tabla 52. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_1 = 3,0\text{ m/s}$).....	93
Tabla 53. Coeficientes de la ecuación exponencial ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_1 = 3,0\text{ m/s}$).....	93
Tabla 54. Resumen del modelo de regresión lineal ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_2 = 3,5\text{ m/s}$).....	94
Tabla 55. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_2 = 3,5\text{ m/s}$).....	94
Tabla 56. Coeficientes de la ecuación lineal ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_2 = 3,5\text{ m/s}$).....	94
Tabla 57. Resumen del modelo de regresión exponencial ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_2 = 3,5\text{ m/s}$)..	95
Tabla 58. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_2 = 3,5\text{ m/s}$).....	95
Tabla 59. Coeficientes de la ecuación exponencial ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_2 = 3,5\text{ m/s}$).....	96
Tabla 60. Resumen del modelo de regresión lineal ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$).....	97
Tabla 61. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$).....	97
Tabla 62. Coeficientes de la ecuación lineal ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$).....	97
Tabla 63. Resumen del modelo de regresión exponencial ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$)..	98
Tabla 64. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$).....	98
Tabla 65. Coeficientes de la ecuación exponencial ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$).....	99
Tabla 66. Datos experimentales de la operación de secado de semillas de pan de árbol, en secador de bandejas con flujo de aire a $60\text{ }^\circ\text{C}$ y velocidad de $3,0\text{ m/s}$	100
Tabla 67. Datos experimentales de la operación de secado de semillas de pan de árbol, en secador de bandejas con flujo de aire a $60\text{ }^\circ\text{C}$ y velocidad de $3,5\text{ m/s}$	101

Tabla 68. Datos experimentales de la operación de secado de semillas de pan de árbol, en secador de bandejas con flujo de aire a 60 °C y velocidad de 4,0 m/s.	102
Tabla 69. Resumen del modelo de regresión lineal (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).....	104
Tabla 70. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).....	104
Tabla 71. Coeficientes de la ecuación lineal (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).	105
Tabla 72. Resumen del modelo de regresión exponencial (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s). .	105
Tabla 73. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).....	106
Tabla 74. Coeficientes de la ecuación exponencial (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).....	106
Tabla 75. Resumen del modelo de regresión lineal (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).....	107
Tabla 76. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).....	107
Tabla 77. Coeficientes de la ecuación lineal (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).	107
Tabla 78. Resumen del modelo de regresión exponencial (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s). .	108
Tabla 79. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).....	108
Tabla 80. Coeficientes de la ecuación exponencial (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).....	109
Tabla 81. Resumen del modelo de regresión lineal (T3 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s).....	110
Tabla 82. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T3 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s).....	110
Tabla 83. Coeficientes de la ecuación lineal (T3 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s).	110
Tabla 84. Resumen del modelo de regresión exponencial (T1 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s). .	111
Tabla 85. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T1 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s).....	111

Tabla 86. Coeficientes de la ecuación logarítmica ($T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$)..... 112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Preparaciones diversas a partir del fruto de pan de árbol.....	11
Figura 2. Estructura química del ácido ascórbico, ácido deshidroascórbico y del ácido dicetogulónico.....	12
Figura 3. Influencia de la velocidad del aire sobre la operación de secado.....	18
Figura 4. Graficas típicas del contenido de humedad vs tiempo.	20
Figura 5. Plan experimental, a cada temperatura se evaluarán tres velocidades del aire de secado	25
Figura 6. Flujograma para la obtención de harina de semillas de pan de árbol.....	26
Figura 7. Cantidad de vitamina C (mg/100g harina de semillas) obtenido por cada tratamiento estudiado.....	33
Figura 8. Humedad residual en función del tiempo con aire a 40 °C y velocidades de 3,0; 3,5 y 4,0 m/s	35
Figura 9. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio (T1 = 40 °C; V = 3,0; 3,5 y 4,0 m/s)	36
Figura 10. Balance de materia para la obtención de 1000 g de harina de semillas de pan de árbol.....	56
Figura 11. Humedad residual en función del tiempo (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s; V2 = 3,5 m/s; V3 = 4,0 m/s)	77
Figura 12. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio (T1 = 40°C; V = 3,0; 3,5 y 4,0 m/s	78
Figura 13. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta(-) generada por el SPSS. (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s).....	79

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; V1 = 3,0 m/s).....	80
Figura 15. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).....	82
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; V2 = 3,5 m/s).	83
Figura 17. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).....	85
Figura 18. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es lamás representativa. (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s)	86
Figura 19. Humedad residual en función del tiempo (T2 = 50 °C; V1 = 3,0 m/s; V2 = 3,5; V3 = 4,0	90
Figura 20. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio (T2 = 50 °C; V = 3,0; 3,5 y 4,0 m/s)	91
Figura 21. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; V1 = 3,0 m/s).....	92
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; V1 = 3,0 m/s).	93
Figura 23. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; V2 = 3,5 m/s).....	95

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; V2 = 3,5 m/s).	96
Figura 25. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; V3 = 4,0 m/s).....	98
Figura 26. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T2 = 50 °C; V3 = 4,0 m/s).	99
Figura 27. Humedad residual en función del tiempo (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s; V2 = 3,5 m/s; V3 = 4,0 m/s)	103
Figura 28. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio (T3 = 60 °C; V = 3,0; 3,5 y 4,0 m/s)	104
Figura 29. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).....	105
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; V1 = 3,0 m/s).	106
Figura 31. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).....	108
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; V2 = 3,5 m/s).	109
Figura 33. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T3 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s).....	111

Figura 34. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T3 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s). 112

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Secador de bandejas con aire forzado del Laboratorio de Ingeniería de la UNRTM - AMAZONAS.....	113
Fotografía 2. Plantas de pan de árbol de la provincia de Utcubamba, región Amazonas	113
Fotografía 3. Frutos de pan de árbol en sus diferentes estados de maduración.....	114
Fotografía 4. Semillas del fruto de pan de árbol.....	114
Fotografía 5. Cáscara leñosa de las semillas.....	114
Fotografía 6. Semillas descascaradas.....	115
Fotografía 7. Corteza, pulpa y corazón del fruto de pan de árbol.....	115
Fotografía 8. Rodajado de semillas con un espesor de 0,2 cm aproximadamente	115
Fotografía 9. Pesado de las semillas en rodajas.....	115
Fotografía 10. Verificación de la velocidad y temperatura del aire.....	115
Fotografía 11. Distribución de las semillas en las bandejas del secador	115
Fotografía 12. Control de peso cada 5 minutos durante el secado	116
Fotografía 13. Venteado de semillas secas para eliminar la cutícula apergaminada.....	116
Fotografía 14. Semillas secas listas para moler	116
Fotografía 15. Molienda de las semillas secas.....	116
Fotografía 16. Tamizado de la harina de semillas de pan de árbol.....	116
Fotografía 17. Harina de semillas de pan de árbol, obtenida a diferentes temperaturas del aire de secado.....	116
Fotografía 18. Envasado de la harina de semillas para su posterior análisis	117
Fotografía 19. Determinación de vitamina C, mediante yodometría	117
Fotografía 20. Determinación de acidez titulable	117
Fotografía 21. Determinación de grasa total, mediante Soxhlet	117
Fotografía 22. Identificación de mohos y levaduras en la harina obtenida.....	117

RESUMEN

En la presente investigación se estudió el efecto de la temperatura y velocidad del aire en el secado de semillas de pan de árbol (*Artocarpus altilis*) para la obtención de harina con la mayor cantidad de vitamina C, para lo cual se recolectaron frutos provenientes de la provincia de Utcubamba, Región Amazonas, de los cuales se extrajeron sus semillas para cortar en rodajas de 2 mm de espesor, luego se colocaron en un secador de bandejas para un experimento factorial del tipo 3Ax3B bajo un DCA con 3 repeticiones para determinar las condiciones de secado que permita retener la mayor cantidad de vitamina C, con tres temperaturas (40, 50 y 60°C) y tres velocidades del aire (3,0; 3,5 y 4,0 m/s). Después de secar se molió en un molino de mano convencional y se determinó la cantidad de vitamina C por yodometría. Se efectuó el análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple Tukey al 95 % de confianza. La mayor cantidad de vitamina C (135,67 mg/100g) en la harina de semillas de pan de árbol se obtuvo empleando aire a 40°C y 4,0 m/s de velocidad, con estas condiciones del aire el tiempo crítico de secado fue de 40 minutos, la humedad crítica de 0,60 g agua/g semilla seca y la humedad de equilibrio de 0,04 g agua/g semilla seca. De esta harina se realizó el análisis fisicoquímico y microbiológico dando como resultado 7,01 % de humedad, proteína total 13,03 %, grasa total 11,5 %, ceniza 3,75 %, pH 6,3 y acidez titulable como ácido cítrico 0,63 %. El análisis microbiológico se realizó después de 30 días de almacenamiento, encontrándose mohos menores a 10 ufc/g y levaduras en una cantidad de $9,7 \times 10^2$ ufc/g. Las ecuaciones que representan a la parte recta y a la parte curva de la gráfica de humedad residual vs tiempo fue una función lineal y exponencial, respectivamente; para todas las temperaturas y velocidades de aire ensayadas, cuyos datos experimentales se procesaron en el software SPSS 15.0 para Windows.

Palabras claves: Secado, harina, pan de árbol, vitamina C.

ABSTRACT

In this research we studied the effect of temperature and air velocity on drying bread tree seeds (*Artocarpus altilis*) to obtain flour with more vitamin C, in that we collected fruit bread tree from Utcubamba province, Amazonas region, but we extract the seed for cut in slices in 2mm, then we put sheets and placed in a tray dryer for factorial experiment was employed under DCA 3Ax3B type with 3 replications to determine conditions for dry to keep it the highest amount of vitamin C with three temperatures (40, 50 and 60 °C) and three speeds (3,0; 3,5 and 4,0 m/s). After drying it was milled in a conventional hand mill and determined the amount of vitamin C by yodometry. Was performed to analysis of variance and Tukey's multiple comparison test to 95% confidence. The highest amount of vitamin C (135, 67 mg / 100 g) in seed flour bread tree was obtained using 40 °C and 4,0 m/s air speed, with these conditions critical air and drying time was 40 minutes, the critical humidity of 0,60 g water/g dry seed equilibrium humidity of 0,04 g water/g dry seed. This flour was performed physicochemical and microbiological analysis resulting in 7.01 % moisture, total protein 13,03, total fat 11,5 %, ash 3,75 %, pH 6.3 and treatable acidity in citric acid like of 0.63 %. The microbiological analysis was performed after 30 days of storage, being lower molds 10 cfu / g and yeast in an amount of $9,7 \times 10$ cfu / g. The equations representing the straight and the curved portion of the graph of residual moisture vs. time was linear and exponential function, respectively, for all temperatures and air velocities tested, whose experimental data were processed using SPSS base software for Windows.

Key words: Drying, flour, bread tree, vitamin C.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú posee una alta diversidad de climas, pisos ecológicos, zonas de producción y ecosistemas productivos, razón por el cual habitan gran diversidad de especies vegetales con propiedades alimenticias, medicinales, aromáticas, colorantes, cosméticas, entre otras; sin embargo estos recursos son mal aprovechados por desconocimiento de sus propiedades y por la escasa investigación sobre estos.

Una de estas especies es el pan de árbol con gran cantidad de propiedades nutritivas y crece en las zonas tropicales del país; como en la provincia de Utcubamba, región Amazonas; dicha especie no es cultivada por desconocimiento de sus cualidades, por lo tanto no posee cifras de su producción.

A nivel mundial es de gran importancia el consumo de algunos productos como harinas, almidones, hojuelas deshidratadas, las cuales aportan al cuerpo humano energía de manera económica, se consumen en diferentes formas como panes, pasteles, galletas, cereales para el desayuno entre otras (Suárez, 2003). Sin embargo, en la Región Amazonas la desnutrición es un problema aunque paradójicamente existe una gran biodiversidad de especies alimenticias, pero a pesar de la gran cantidad de plantas que pueden ser utilizadas en la nutrición diaria se emplean solo pocas, probablemente las más conocidas. Es así como se desaprovechan especies ricas en nutrientes, como el pan de árbol y otras, que pueden suplir las necesidades del hombre y que son alternativas económicas e innovadoras.

El pan de árbol crece de forma natural y aún no se han desarrollado investigaciones sobre esta especie en la región; esta planta posee un fruto muy nutritivo que tiene alto contenido de carbohidratos y proteínas, así como también de otros componentes de

importancia como vitaminas y minerales por lo que se puede dar diferentes aplicaciones en el campo de la agroindustria.

El ácido ascórbico es una sustancia esencial para el mantenimiento de las funciones metabólicas normales pero que no es sintetizada en el organismo, y por lo tanto debe ser obtenidas por fuentes exógenas (Moret, 1997). Además, tampoco se puede almacenar en nuestro organismo, siendo necesario consumirlo diariamente a través de los alimentos y una alternativa es el pan de árbol que aportaría la cantidad diaria de vitamina C requerida por el organismo humano.

La mejor fuente de vitamina C es la natural; la mayoría de las frutas, las verduras de color verde, el hígado, el riñón y las papas son excelentes fuentes naturales de Vitamina C. Pero la vitamina C usualmente es destruida con facilidad por la exposición atmosférica y la cocción prolongada. Hay una moderada reducción de su propiedad antioxidante en los alimentos almacenados por semanas (Dettman *et al.*, 1993).

Con esta investigación se brinda un método adecuado de obtención de harina de semillas de pan de árbol que conserve sus propiedades nutritivas, repercutiendo esto en incentivar a los agricultores de la provincia de Utcubamba para cultivar dicha especie a gran escala, mejorando así su calidad de vida.

1.1. Generalidades del pan de árbol (*Artocarpus altilis*)

El pan de árbol es una especie en la que existen dos cultivariedades, en una el fruto tiene semillas y en la otra el fruto carece de ellas y solo se compone de una masa suave y blancuzca, el pan de árbol con semillas tiene pequeños aletones en la base del tronco, alcanza 18 metros de altura y la superficie del fruto está lleno de agujones; el árbol del pan sin semillas sólo alcanza 14 metros de altura y la

superficie del fruto va desde liso a pequeñas espinas (Acero, 1998). En la presente revisión bibliográfica haremos referencia a la variante con semillas.

El pan de árbol es una especie tropical originaria del sur de Indonesia que fue llevada y naturalizada rápidamente a través de todos los trópicos del mundo; a ello se debe la gran variedad de nombre que recibe, según la región o país donde se encuentre (Acero, 1998):

Colombia	: Árbol pan, árbol del pan, buen pan, pepepan, fruta de pan, pan de año, pan de árbol, pan de pobre, guampano.
Bolivia	: Árbol del pan.
Brasil	: Fructa pao.
Cuba	: Castaño de malabar.
Ecuador	: Fruta de pan.
Guatemala	: Castaña, mazapán.
Haiti	: Arbre véritable.
Honduras	: Fruta de pan.
Península Malaya	: Sukun kulur.
Perú	: Tanta, marure, pan de árbol, árbol del pan.
Puerto Rico	: Pana, pana de bayas, pana cimarrona, pana de pepitas.
República Dominicana	: Buen pan, pan de frutas.
Trinidad	: Chataigne, breatnut.

Taxonomía del *Artocarpus altilis*

La identificación de *Artocarpus altilis* fue descrita por J.R.Forst. and G.Forst. y publicado en Journal of the Washington Academy of Sciences en 1941.

Nombre común	: Pan de árbol
Nombre científico	: <i>Artocarpus altilis</i>
Reino	: <i>Plantae</i>
Subreino	: <i>Tracheobionta</i>
Filo	: <i>Magnoliophyta</i>
Clase	: <i>Magnoliopsida</i>
Subclase	: <i>Hamamelidae</i>
Orden	: <i>Urticales</i>
Familia	: <i>Moraceae</i>
Género	: <i>Artocarpus</i>
Especie	: <i>Artocarpus altilis</i>

Origen

Este frondoso árbol es originario de Indonesia y Polinesia, de donde se ha extendido por todas las regiones tropicales del mundo. Fue introducido en América tropical, primero en las Antillas Francesas y más tarde a Jamaica. La expansión hacia los países latinoamericanos ocurrió a principios del siglo XIX y al África occidental hacia la mitad de este siglo (Acero, 1998).

Esta especie fue introducida al Perú desde la India, y hoy en día se habita en Amazonas, Junín y Loreto (Mejía y Rengifo, 2000).

Distribución

El pan de árbol es una especie que se ha adaptado a condiciones muy disímiles a nivel mundial; se le ve creciendo bien en un rango comprendido entre 21 y 32 grados centígrados. El rango altitudinal va desde el nivel del mar hasta los 1200 metros de altitud. En numerosos lugares de altitud inferior a 700 msnm es subespontánea (Acero, 1998 y FAO, 1982).

Variedades

Hay dos tipos, con semilla y sin semilla; los tipos sin semilla tienen cubierta lisa, las hojas profundamente recortadas con copa más erecta y más corta. Los frutos con semilla tienen tipo espina, las hojas no son tan recortadas y la copa es más ancha. Hay formas intermedias que sólo tienen de cinco a diez semillas y existen otras que poseen entre cincuenta y cien por fruto (Instituto de Mercadeo Agropecuario de Panamá, 2004).

- **Frutos:** Los frutos están llenos de aguijones de consistencia suave, la pulpa fibrosa es de color amarillo, un peso promedio de 1.3 kilogramos, un tamaño de 17 x 15.5 centímetros y un número promedio de 64 semillas; su forma es más ovoide. Del peso total del fruto, el 49 por ciento es semilla, 21 por ciento de cáscaras, 21 por ciento de pulpa y el 9 por ciento es corazón (Acero, 1998).

Los frutos alcanzan madurez aproximadamente de dos a tres meses después de la emergencia de la florescencia, son obolongas o globosas, miden de 10 a 30 cm de diámetro, pesan entre 1,0 y 2,0 kg y contienen y contienen entre 12 y 151 semillas, aunque el número promedio está entre 50 y 100 semillas por fruto (Parrotta, 1994).

- **Semillas:** Las semillas tienen una forma plano convexa y un tamaño de 3.5 x 2.5 centímetros; posee dos cutículas o cascarillas protectoras, una externa leñosa y una interna apergaminada y delgada. El peso promedio por semilla es de 8.5 gramos. Del peso total de la semilla, el 75 por ciento es parte comestible y el 25 por ciento restante es cáscara o cutícula. El número de semillas por kilo es de 120 aproximadamente (Acero, 1998).

Son de color marrón y redondeadas o aplanadas de manera irregular debido a la compresión. Constituyen entre el 30 y el 50 % del peso total del fruto y pesan entre 138 y 161 semillas por kilogramo, pesando un promedio de 7,7 g por semilla (Parrotta, 1994).

Cosecha y rendimiento

En el árbol del pan con semilla ocurre 2 períodos de cosecha en Colombia: de Enero a Marzo y de Julio a Septiembre. Produce un promedio de 15,6 toneladas de frutos por hectárea x año (Acero, 1998).

En Puerto Rico los árboles de pan de árbol de la variedad con semillas, maduros, pueden producir hasta 700 frutos (Parrotta, 1994).

En el sur de la India, la producción normal es de 150 a 200 frutos x árbol por año. La productividad varía entre las zonas húmedas y secas. Estudios en Barbados indican un potencial de 16-32 toneladas / ha (FAO, 2006).

Composición

Los frutos de pan de árbol tienen alto contenido en carbohidratos y proteínas, así como también de vitaminas y minerales.

Tabla 1. Composición física del fruto de pan de árbol.

Composición del fruto		Composición de semilla	
Semilla	Pulpa fibrosa, cáscara leñosa y cutícula apergaminada	Nuez comestible	cáscara leñosa y cutícula apergaminada
42 %	58 %	80 %	20 %

Fuente: Acero, 1998.

Tabla 2. Composición química de las semillas de pan de árbol por cada 100g de semilla comestible.

	semillas de pan de árbol			
	1	2	3	4
Agua (%)	64,7 - 66,2	56,3	56	61,9
Proteína (g)	13,3	19,9	15	7,9
Carbohidratos (g)	76,2	---	---	26,6
Grasa (g)	6,2	12,8	29	2,5
Calcio (mg)	70	---	66	48,3
Potasio (mg)	1620	---	380	---
Fosforo (mg)	360	---	320	189
Hierro (mg)	8,7	---	6,7	2,3
Niacina (mg)	8,3	---	---	1,8
Sodio (mg)	1,6	---	---	---
Tiamina (mg)	---	---	---	0,13
Riboflavina (mg)	---	---	---	0,008
Vitamina c (mg)	---	---	---	22,6

1 = Negrón de Bravo *et al.*(1983); 2 = Quijano y Arango (1981);
3 = McIntoch y Manchew (1993); 4 = Murai *et al.* (1958).

Fuente: Ragone, 1997

Para el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), la composición es la que se muestra en la Tabla 3 y según Calzavara, (1987) se muestra la Tabla 4.

Tabla 3. Composición química por cada 100 g de las semillas de pan de árbol

Agua (%)	77,30
Energía (Kcal)	81,00
Proteína (g)	1,20
Grasa (g)	0,50
Carbohidratos (g)	20,10
Ceniza (g)	0,80
Calcio (mg)	27,00
Fosforo (mg)	33,00
Hierro (mg)	1,90
Tiamina (mg)	0,10
Riboflavina (mg)	0,06
Niacina (mg)	0,70
Vitamina C (mg)	29,00
Vitamina A (mcg)	4,00
Colesterol (mg)	0,00
Potasio (mg)	490,00
Sodio (mg)	2,00
Zinc (mg)	0,20

Fuente: INCAP, 2006

Tabla 4. Composición nutricional de semillas de pan de árbol

Agua (g)	71,37 - 77,48 %
Hidratos de carbono (g)	26 g
Proteínas (g)	1 g
Fibra	0,59 g
pH	6,4
Tiamina (vit. B1)	120 mcg
Riboflavina (vit. B2)	50 mcg
Niacina (vit. B5)	2,5 mcg
Ácido ascórbico (vit. C)	47,63 mg
Calcio	84 mg
Fosforo	68 mg
Hierro	2 mg

Fuente: Calzavara, 1987

Según los índices químicos y las propiedades físicas del aceite de semillas del árbol del pan, presenta una similitud con el aceite de oliva (Mehlenbacher V.C, 1960 citado por Arango y Quijano, 1977).

Usos (FAO, 2006; Acero, 1998).

Uso en la alimentación humana

- Es un alimento sano utilizado más que todo por la gente del campo, las semillas pueden ser hervidas, tratadas al vapor, asadas o cocidas en brasas para comerlas con sal
- Las semillas del árbol de pan sirve para la preparación de harina de pastas, panificación y galletería (reemplaza a la harina de trigo)
- También se puede obtener almidón para manufactura textil y alcohol de uso industrial.

Uso medicinal

- Las hojas se utilizan como: Antiasmático, neutralizador de venenos, para la diabetes, bajar la tensión arterial, aliviar el dolor de oído y para los hongos bucales
- El látex del tallo se utiliza como: Antidiarreico, cicatrizante, para eliminar verrugas, etc

Otros usos: Las hojas se utilizan como forraje. El látex que contiene en sus distintas estructuras se utiliza como pintura, combinado con colorantes y como adhesivo o sellante. La madera se usa para construcción de chozas, canoas y muebles. La fibra de la corteza sirve de materia prima para hacer prendas de vestir. La putrefacción de las hojas muertas en el suelo nutre las plantas que crecen por debajo.

Mantenimiento de la calidad

En países como Jamaica, los frutos suelen mantenerse bajo el agua hasta que se necesiten. Los frutos plenamente maduros que han caído del árbol puede ser envueltos en polietileno, o puestos en bolsas de polietileno, con lo que pueden ser mantenidos durante 10 días de almacenamiento a una temperatura de 53,6 °F (12 °C). A menor temperatura la fruta muestra daños. Los frutos aun no completamente maduros que han sido derribados se pueden mantener durante 15 días en las mismas condiciones. El espesor del polietileno es importante: bolsas de 25 micrones son inadecuadas las mejores están entre 38 y 50. Algunos exportadores de Jamaica hornean un tanto las frutas para coagular el látex, dejan que se enfríen, y luego las pueden enviar por mar a Nueva York y Europa (FAO, 2006).

Mercados convencionales

Los países importadores de pan de árbol son; Estados Unidos, Inglaterra y Canadá y los países productores son el Sudeste de Asia, el este de África, Hawái, Jamaica, Haití, Puerto Rico, República Dominicana, Barbados, y demás islas del caribe (FAO, 2006).

1.2. Perspectivas agroindustriales del pan de árbol

La facilidad de proceso de las semillas del pan del árbol, permiten su uso en muy diversas preparaciones, como se muestra en la Figura 1.

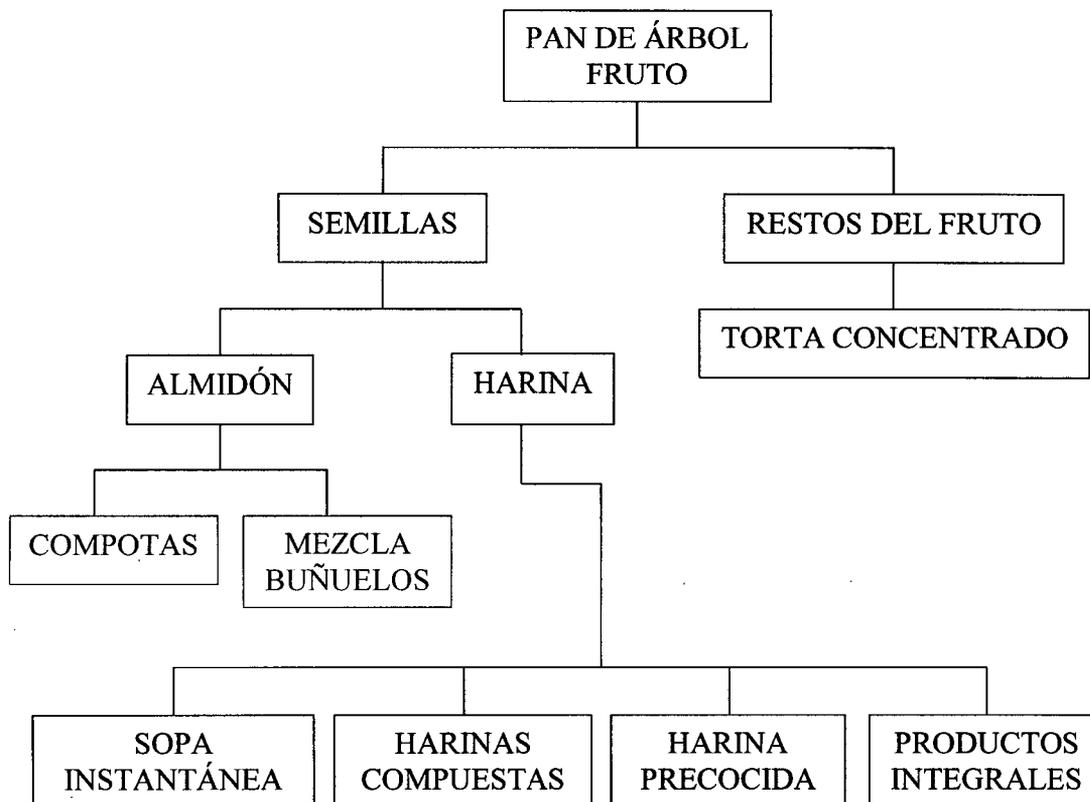


Figura 1. Preparaciones diversas a partir del fruto de pan de árbol (Acero, 1998).

1.3. Vitamina C

Es un antioxidante hidrosoluble que no puede ser sintetizado por el ser humano a partir de la glucosa, al carecer de la enzima necesaria para convertir la L-gulonolactona en ácido L-ascórbico. Por lo tanto, depende por completo de su aporte exógeno, convirtiéndose así en un micronutriente esencial. La vitamina C es conocida también como ácido ascórbico, vitamina antiescorbútica, ácido vitamínico y ácido hexurónico (Entrala, 1995).

Interviene en el crecimiento, en la cicatrización de las heridas, en la absorción de hierro. Aumenta la tolerancia al frío al regular la actividad corticoadrenal. Colabora en la formación del cartílago, capilares, huesos, dientes, etc. Participa en el metabolismo del triptófano, fenilamina y tirosina y en la síntesis de poliglúcidos y colágeno (Illera *et al.*, 2000).

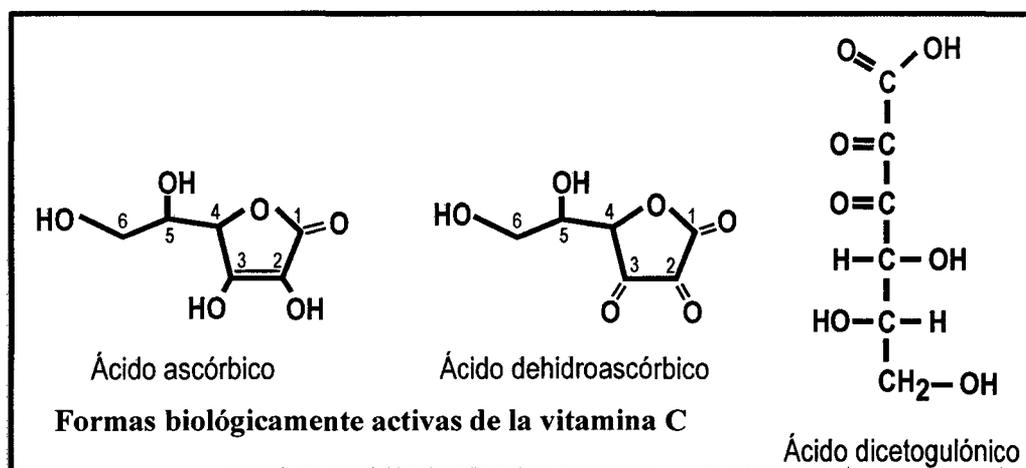


Figura 2. Estructura química del ácido ascórbico, ácido deshidroascórbico y del ácido dietogulónico.

La vitamina C se presenta en forma de cristales blancos o débilmente amarillentos de sabor marcadamente ácido, es muy soluble en agua, sobre todo en la forma de sal sódica, moderadamente soluble en alcohol e insoluble en solventes orgánicos. Posee un elevado poder reductor, es poco estable en medio alcalino, termolábil (se inactiva a 57°C) y resiste muy bien la congelación (Moret, 1997).

La vitamina C es la más sensible de las vitaminas, es lábil en presencia de humedad y oxígeno, pH, agentes oxidantes, temperatura y presencia de iones metálicos especialmente cobre y hierro. Ya que la vitamina C es soluble en agua, se pierde fácilmente en procesos húmedos. Sin embargo, en alimentos procesados las pérdidas más significativas son debido a degradación química (King y De pablo, 1987).

En relación al sometimiento en procesos de cocción, se observa en la Tabla 5, como influyen en forma combinada factores como la cantidad de agua y el tiempo de cocción en la retención neta de ácido ascórbico.

Tabla 5. Pérdidas de ácido ascórbico en vegetales cocidos por diferentes métodos

% Vitamina C			
Método	Dstrucción	Extracción en agua	Retención en el alimento
Ebullición: Tiempo prolongado, agua (+)	10 - 15	45 - 60	25 - 45
Ebullición: Tiempo corto, agua (-)	10 - 15	15 - 30	55 - 75
vapor	30 - 40	< 10	60 - 70
Olla a presión	20 - 40	< 10	60 - 80

Fuente: King y De pablo, 1987.

Tabla 6. Estabilidad de la Vitamina C

Neutro, Alcalino, Oxígeno	Ácidos	Luz	Calor, Irradiación	Perdida máxima por cocción	Reducción	Solubilización, Oxidación
I	E	+	*	0 - 100	0	**

Fuente: Harrum y Kamas, Citado por Ordoñez *et al.*, 1998.

I: inestable E: estable *: Ningún efecto sensible

+: Pérdidas por acción benéfica 0: acción indirecta **: Pérdidas importantes

En medios ácidos, se desfavorece la oxidación del ácido ascórbico, compuesto que mantiene la actividad vitamínica, siendo el intervalo de mayor estabilidad entre 2,5 y 5,5 de pH (Ordoñez *et al.*, 1998). La estabilidad de la vitamina C aumenta a medida de que disminuye la temperatura, siendo máxima a temperaturas inferiores a -18°C. Las frutas tratadas con dióxido de azufre, para evitar el pardeamiento enzimático, presentan menos pérdidas de ácido ascórbico durante el procesado y almacenamiento posterior, debido al efecto protector que ejerce este gas por su carácter reductor.

También se ve afectada por el tipo de proceso de deshidratación, el régimen tiempo-temperatura empleados, la intensidad de energía térmica, encontrándose que la mayor retención de vitamina C se da cuando se seca a bajas temperaturas y cortos tiempos (Nindo *et al.*, 2003). La degradación del ácido ascórbico depende de la temperatura y de la humedad siendo menor a medida que la humedad es menor (Badui, 1999).

1.4. 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).

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:

$$\% Y_s = ([W_{material\ a\ secar} - W_{material\ seco}] / W_{material\ seco}) * 100$$

Dónde:

$$W = \text{masa}$$

- 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:

$$\% H = ([W_{material\ a\ secar} - W_{material\ seco}] / W_{material\ a\ secar}) * 100$$

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 (Yeq),** 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 (Yc) y la humedad de equilibrio (Yeq) 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.

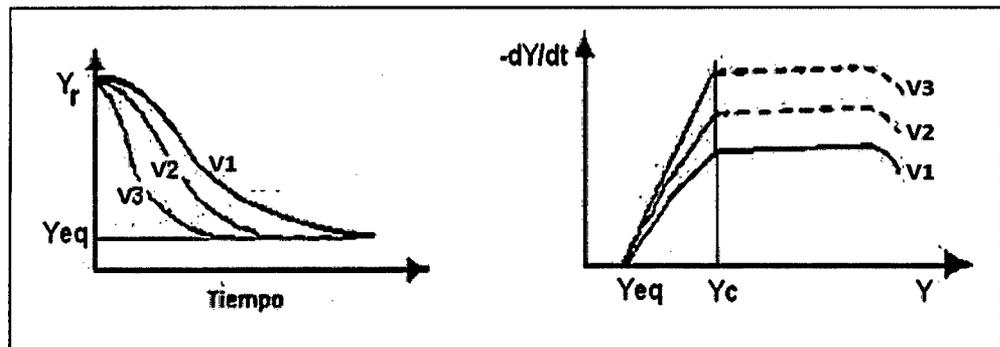


Figura 3. Influencia de la velocidad del aire sobre la operación de secado. ($V_3 > V_2 > V_1$; donde V: velocidad). (Fuente: Vernon, 2000).

- f. **Humedad ligada**, es la humedad de equilibrio de un sólido en contacto con una masa de aire de humedad relativa del 100 %. También, la humedad mínima necesaria para que el sólido deje de comportarse como higroscópico.
- g. **Humedad desligada**, es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad ligada, o la humedad libre del sólido en contacto con aire saturado. El sólido se comporta como sólido húmedo.

h. Periodos de secado

Periodo de inducción, comprende la primera etapa del proceso de secado (Zona A-B en la Figura 4). 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 4). 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 psicrométrico 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 4). 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

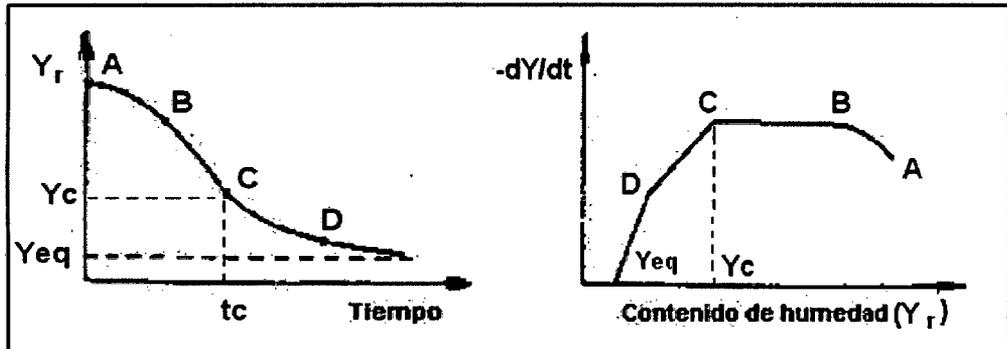


Figura 4. Graficas típicas del contenido de humedad vs tiempo. (Fuente: Vernon, 2000).

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 y también para la continua (Ocón y Tojo, 1980).

En la presente investigación, se propone una alternativa para el aprovechamiento industrial del fruto de pan de árbol, secándolo en un secador de bandejas la 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 fruto. Para ello se plantearon los siguientes objetivos:

- Realizar la caracterización biométrica y análisis fisicoquímico de los frutos y semillas de pan de árbol.

- Determinar la temperatura y velocidad del aire de secado que permita obtener harina de semillas de pan de árbol con la mayor cantidad de vitamina C.
- Determinar gráficamente los parámetros cinéticos de secado de semillas de pan de árbol: Tiempo crítico de secado, humedad crítica y humedad de equilibrio.
- Realizar el modelo matemático de la cinética de secado de semillas de pan de árbol.
- Determinar el rendimiento de la harina obtenida a partir de las semillas de pan de árbol.
- Realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la harina de semillas de pan de árbol obtenida con mayor cantidad de vitamina C.

II. MATERIAL Y METODOS

2.1. Materia prima

Frutos de pan de árbol (*Artocarpus altilis*) con madurez fisiológica, proveniente de la provincia de Utcubamba, región Amazonas. Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos se realizaron en los laboratorios de Ingeniería, Tecnología y Biología de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas y en COLECBI S.A.C. de Nuevo Chimbote (laboratorio acreditado por INDECOPI)

2.2. Caracterización biométrica del fruto y semillas de pan de árbol

Se empleó 10 frutos para medir su largo y ancho del fruto. Con una balanza digital se determinó la composición porcentual de la corteza, pulpa, semilla y corazón.

2.3. Análisis fisicoquímico de la materia prima empleada

Se realizó siguiendo los métodos oficiales para determinar: humedad, proteína total, grasa total, cenizas, pH, acidez titulable y vitamina C. Los procedimientos se describen en el Anexo 5.

2.4. Procedimiento de secado de semillas de pan de árbol

Se utilizó un secador de bandejas que emplea un soplador de aire que permite fijar cada una de las velocidades de trabajo ($v_1 = 3,0$; $v_2 = 3,5$; $v_3 = 4,0$ m/s) las que después de haber pasado por la cámara de secado se midieron con un anemómetro digital (Control Compact, Modelo Anemo-Thermometer), en la boca de salida del aire a través de un ducto con resistencias eléctricas en el que se calienta a cada una de las temperaturas de trabajo ($t_1 = 40^\circ\text{C}$, $t_2 = 50^\circ\text{C}$ y $t_3 = 60^\circ\text{C}$), el procedimiento fue el siguiente.

1. Se encendió el soplador del secador de bandejas y se giró la perilla de control de velocidad hasta la mitad.
2. Se encendió las resistencias eléctricas.
3. Se preseleccionó la temperatura de trabajo (40°C, 50°C o 60°C) en el controlador electrónico de temperatura del secador.
4. Se midió la temperatura a la entrada y a la salida de la cámara de secado (con termómetro digital) y se verificó que se alcance en la cámara de secado la temperatura seleccionada (40°C, 50°C o 60°C), en la cabina de secado y que el proceso se realice a condiciones estacionarias.
5. Se pesó el sistema soporte y bandejas. Se registró el dato **PB** (Peso de bandejas).
6. Se distribuyó uniformemente las muestras de semillas de pan de árbol en cada una de las bandejas del secador. El peso de las tres bandejas, el soporte y el material colocada en ella se midió directamente con la balanza propia del secador (**P1**)
7. 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 de velocidad y temperatura especificadas.
8. Se pesó el sistema de tres bandejas, soporte y hojuelas de semilla de pan de árbol; cada cinco minutos (**P1** al tiempo **t**)
9. Se apagó el secador de bandejas cuando la diferencia entre una pesada y otra fue muy pequeña. Finalmente se trasladó las bandejas con su contenido a la estufa para secar completamente las hojuelas, es decir hasta peso constante y determinar el peso seco (**S**)
10. Peso de las rodajas de pan de árbol secas al tiempo **t**: ($P2 = P1 - SB$)



11. Humedad residual: $Y_r = (P_2 - S)/S$
12. Velocidad de secado: $-dY/dt = (Y_i - Y_{i+1})/(t_i - t_{i+1})$
13. Humedad promedio: $Y_m = (Y_i + Y_{i+1})/2$
14. Se graficó la humedad residual (Y_r) vs tiempo.
15. Se determinó gráficamente el tiempo crítico de secado, humedad crítica (Y_c) humedad de equilibrio (Y_{eq}).
16. Se graficó la velocidad de secado ($-dY/dt$) vs humedad promedio (Y_m)

2.5. Obtención de harina de semillas de pan de árbol

En la presente investigación se siguió el flujograma mostrado en la Figura 6, cuyas etapas se describen a continuación.

Recepción: Los frutos que se utilizaron fueron sanos, no presentaron daños y recolectados cuidadosamente de la planta para no sufrir daños mecánicos.

Selección y clasificación: Se seleccionó los frutos frescos de color y tamaño uniforme.

Extracción de semillas: Se realizó la extracción de semillas manualmente separándolas así de las partes desechables.

Descascarado y cortado: Se eliminó la cáscara leñosa de las semillas y luego se cortó en rodajas de 2 mm de espesor aproximadamente.

Secado: esta operación se realizó en el secador de bandejas hasta un tiempo necesario por el cual la curva de la gráfica (peso vs tiempo) se comportó asintóticamente con la abscisa (eje X).

Se empleó tres temperaturas (40, 50 y 60 °C) del aire de secado con las siguientes velocidades del aire: 3,0; 3,5 m/s y 4,0 m/s. Al inicio de cada corrida experimental

se verificó la temperatura con un termómetro digital y la velocidad del aire con un anemómetro digital (Control compact. Modelo anemothermomete), en la boca de salida de aire de la cámara de secado. Se realizaron pesadas cada 5 minutos para su registro y monitoreo. Para cada par, temperatura – velocidad del aire, se realizaron tres repeticiones:

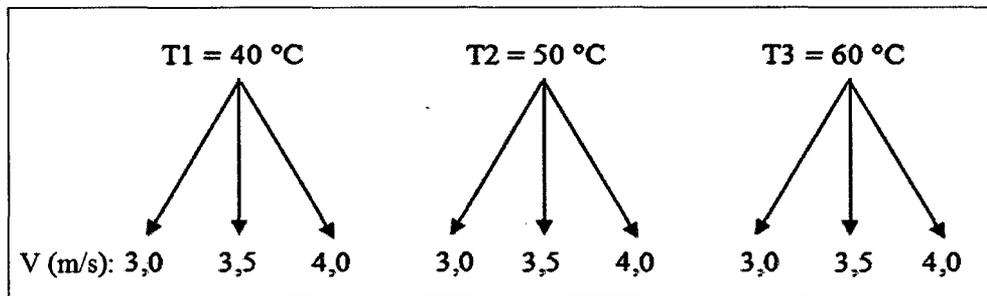


Figura 5. Plan experimental, a cada temperatura se evaluaron tres velocidades del aire de secado.

Venteadado: Se realizó de manera manual para separar la cutícula apergaminada de la superficie externa de la semilla (aprovechando el aire del secador de bandejas)

Molienda: se realizó en un molino de granos manual.

Tamizado: se empleó la zaranda de malla 100, con lo que se logró obtener harina fina y suave.

Envasado: Las muestras obtenidas de harina de pan de árbol, fueron envasadas en bolsas de papel alupol para su posterior análisis fisicoquímico y microbiológico.

Almacenado: Las muestras de harina de pan de árbol fueron almacenadas en un ambiente adecuado en ausencia de luz directa.

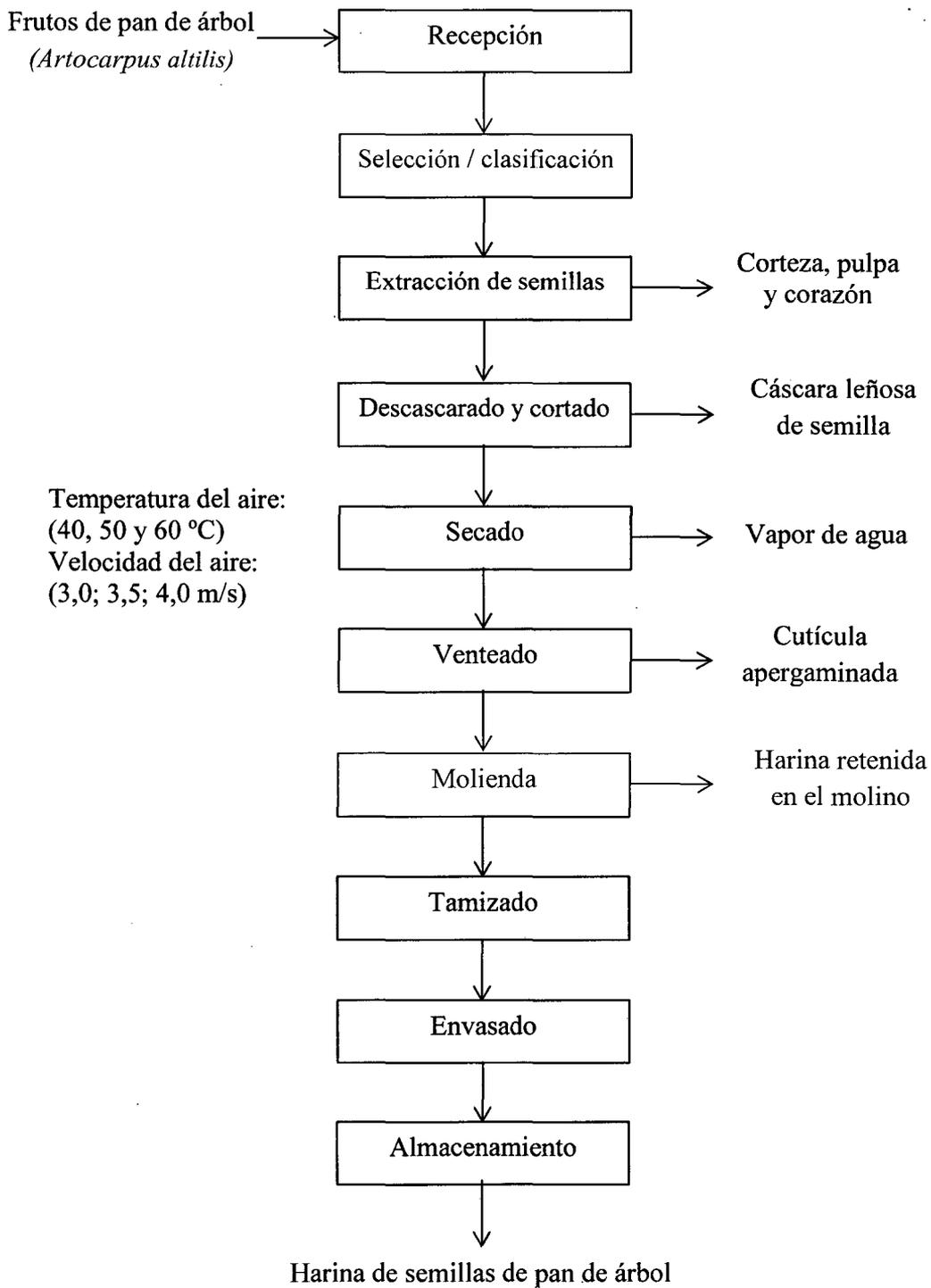


Figura 6. Flujograma para la obtención de harina de semillas de pan de árbol.

2.6. Análisis fisicoquímico y microbiológico de la harina obtenida

Para caracterización fisicoquímica y microbiológica de la harina de pan de árbol se realizó el análisis de acuerdo a la Norma Técnica Peruana INDECOPI (2009) para harina común y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) ver Anexo 3.

2.6.1 Determinación de vitamina C

Se empleó la iodometría (AOAC 967.21), según la NTP – INDECOPI

El I₂ (iodo) en solución acuosa es un oxidante suave, oxida al ácido ascórbico a ácido deshidroascórbico, usando como indicador una solución de almidón. Durante la titulación, mientras la muestra contenga ácido ascórbico se mantendrá incolora; cuando se haya oxidado todo el ácido ascórbico, recién la muestra tomará color azul-negro debido a la reacción del almidón con el I₂

2.6.2 Determinación de humedad (Método AOAC, 1990).

El método consistió en evaporar mediante secado, el agua contenida en la muestra, en una estufa de 105°C-130°C hasta obtener peso constante.

2.6.3 Determinación de proteína total (UNE-EN ISO 5983-2 Parte 2, 2006).

El análisis para determinar proteína se realizó en laboratorios “COLECBI” S.A.C. (Nuevo Chimbote) mediante el método Kjeldahl.

2.6.4 Determinación de grasa total (Método AOAC, 1990)

Se realizó mediante el método de extracción Soxhlet, en el cual la grasa contenida en la muestra es extraída por disolventes orgánicos como éter de petróleo o hexano, depositándola en un balón previamente pesado y por diferencia de peso se obtiene la cantidad de grasa de la muestra.

2.6.5 Determinación de cenizas. (AOAC, 1990)

El método se basó en obtener el residuo inorgánico mediante la calcinación a temperaturas entre 550 – 600 °C de la muestra.

2.6.6 Determinación de pH (Método AOAC, 1990)

Se realizó con el potenciómetro.

2.6.7 Acidez titulable. (Método AOAC, 1990)

Se realizó empleando NaOH al 0,1N y fenolftaleína para la titulación, teniendo como referencia en la muestra el ácido cítrico como ácido predominante.

2.6.8 Identificación 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 identificación 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 explicará en el Anexo 5.

2.7. Diseño experimental para obtener harina de semillas de pan de árbol con mayor cantidad de vitamina C

Para la presente investigación se empleó un experimento factorial del tipo 3A x 3B bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) y con 3 repeticiones por cada tratamiento (Tabla 8). Para el procesamiento de los datos experimentales se utilizó 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 : 3,0 m/s
 b_2 : 3,5 m/s
 b_3 : 4,0 m/s

Variable respuesta: mayor cantidad de vitamina C

Tabla 7. Esquema experimental de los tratamientos

Temperatura del aire (° C)	40			50			60		
Velocidad del aire (m/s)	3,0	3,5	4,0	3,0	3,5	4,0	3,0	3,5	4,0
Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9

Modelo aditivo lineal.

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

Dónde:

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

Además:

Y_{ijk} : Cantidad de vitamina C con la i -ésima temperatura del aire, j -ésima velocidad del aire y k -ésima repetición.

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.

ϵ_{ijk} : Error experimental en la i -ésima temperatura del aire, en la j -ésima velocidad del aire y en la k -ésima repetición.

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 del fruto y semillas de pan de árbol

El análisis biométrico y físico del fruto de pan de árbol realizado se muestra en la Tabla 8 y 9, siendo datos promedios evaluados a partir de 10 frutos de pan de árbol (Anexo 1).

Tabla 8. Características biométricas y físicas del fruto de pan de árbol

Característica	Valores promedios
Peso (g)	1066,74
Largo (cm)	16,26
Ancho (cm)	13,01
Número de semillas	58

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Composición porcentual del fruto de pan de árbol

Composición	Fruto	Semillas		Resto del fruto	
		Comestible	No comestible	Corazón	Corteza más pulpa
Porcentaje	100	32,61	7,14	10,68	49,57
Total	100	39,75		60,25	

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 10, se muestra el porcentaje promedio de la parte comestible y no comestible (cáscara leñosa + cutícula apergaminada), evaluados a partir de 30 semillas (Anexo 1), donde el peso promedio de una semilla fue de 7,56 g.

Tabla 10. Composición porcentual de semillas del fruto de pan de árbol

Composición	Porcentaje
Semilla total	100
Comestible	82,37
No comestible	17,63

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Características fisicoquímicas de semillas frescas de pan de árbol

En la Tabla 11, se muestra los análisis que se realizaron a las semillas frescas del fruto de pan de árbol, cuyos resultados son promedios de tres repeticiones por análisis.

Tabla 11. Características fisicoquímicas de semillas frescas de pan de árbol

Característica	Semillas frescas	
	Base húmeda	Base seca
Humedad (%)	58,11	---
Proteína total (%)	6,21	14,82
Grasa total (%)	7,40	17,67
Cenizas (%)	2,15	5,13
pH	6,51	---
Acidez titulable (%)	0,22	---
Vitamina C (mg/100g)	79,93	190,81

Fuente: Elaboración propia

3.3. Cantidad de vitamina C en la harina de semillas de pan de árbol

En la Tabla 12, se muestran los resultados de la cantidad de vitamina C en la harina de pan de árbol obtenida a diferentes temperaturas y velocidades de aire durante la etapa de secado.

En el tratamiento 8 se obtuvo harina con menor cantidad de vitamina C (40,33 mg/100 g harina) se empleó aire a 60 °C y una velocidad de 3,5 m/s), mientras que con el tratamiento 3 se obtuvo harina con la mayor cantidad de vitamina C (135,67 mg/100 g harina) que empleó aire a 40 °C y una velocidad de 4,0 m/s.

Tabla 12. Cantidad de vitamina C en mg por cada 100g de harina de semillas de pan de árbol, según los tratamientos.

Repetición	40°C			50°C			60°C		
	3,0 m/s	3,5 m/s	4,0 m/s	3,0 m/s	3,5 m/s	4,0 m/s	3,0 m/s	3,5 m/s	4,0 m/s
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
1	99,00	99,00	132,00	77,00	88,00	88,00	44,00	33,00	55,00
2	88,00	99,00	132,00	66,00	77,00	66,00	44,00	44,00	44,00
3	99,00	110,00	143,00	88,00	77,00	66,00	44,00	44,00	44,00
Promedio	95,33	102,67	135,67	77,00	80,67	73,33	44,00	40,33	47,67

Fuente: Elaboración propia

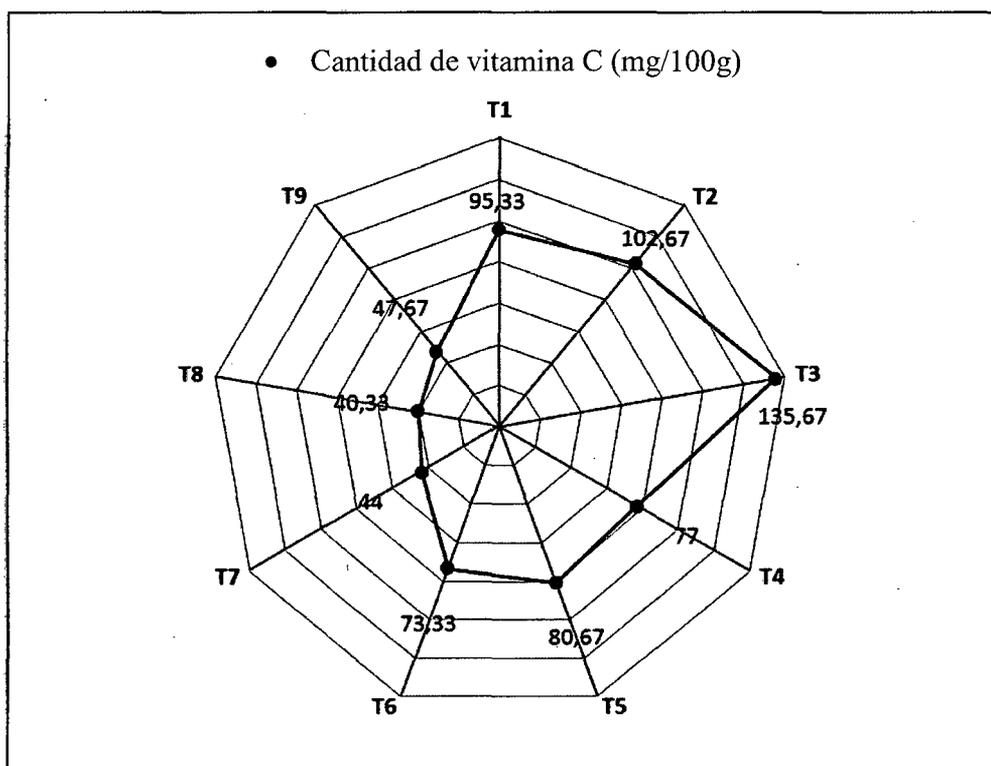


Figura 7. Cantidad de vitamina C (mg/100g harina de semillas) obtenido por cada tratamiento estudiado

Según el análisis de varianza, la cantidad de vitamina C de las muestras fue afectada significativamente por las temperaturas (40, 50 y 60 °C) y velocidades (3,0; 3,5 y 4,0 m/s) del aire. También hubo significación estadística en la interacción de la temperatura y velocidad en todos los tratamientos (Tabla 21 del Anexo 6).

La cantidad de vitamina C en la harina obtenida con el mejor tratamiento de secado (aire a 40 °C y velocidad de 4,0 m/s) fue de 135,67 mg/100 g harina, el cual, presentó según la prueba de Tukey, diferencia significativa con respecto a las cantidades de vitamina C en las muestras de harina obtenidas con los demás tratamientos (Tabla 22 del Anexo 6).

3.4. Cinética de secado de semillas de pan de árbol

En la Figura 8, se muestran los resultados de las corridas experimentales de secado de semillas de pan de árbol realizadas con aire a 40 °C y velocidades de 3,0; 3,5 y 4,0 m/s (datos experimentales se presenta en el Anexo 7); donde se aprecia que la humedad crítica (Y_c) fue 0,60 g agua/g semilla seca y la humedad de equilibrio (Y_{eq}) fue 0,04 g agua/g semilla seca, valores que no variaron a pesar de haber empleado diferentes velocidades del aire de secado, manteniendo constante la temperatura. El tiempo crítico (t_c) de secado disminuyó conforme aumentó la velocidad del aire de secado. 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 semillas de pan de árbol con mayor cantidad de vitamina C fue obtenida secando con aire a 40 °C y velocidad de 4,0 m/s (tercer tratamiento T3) cuyo tiempo crítico (t_c) fue de 40 minutos.

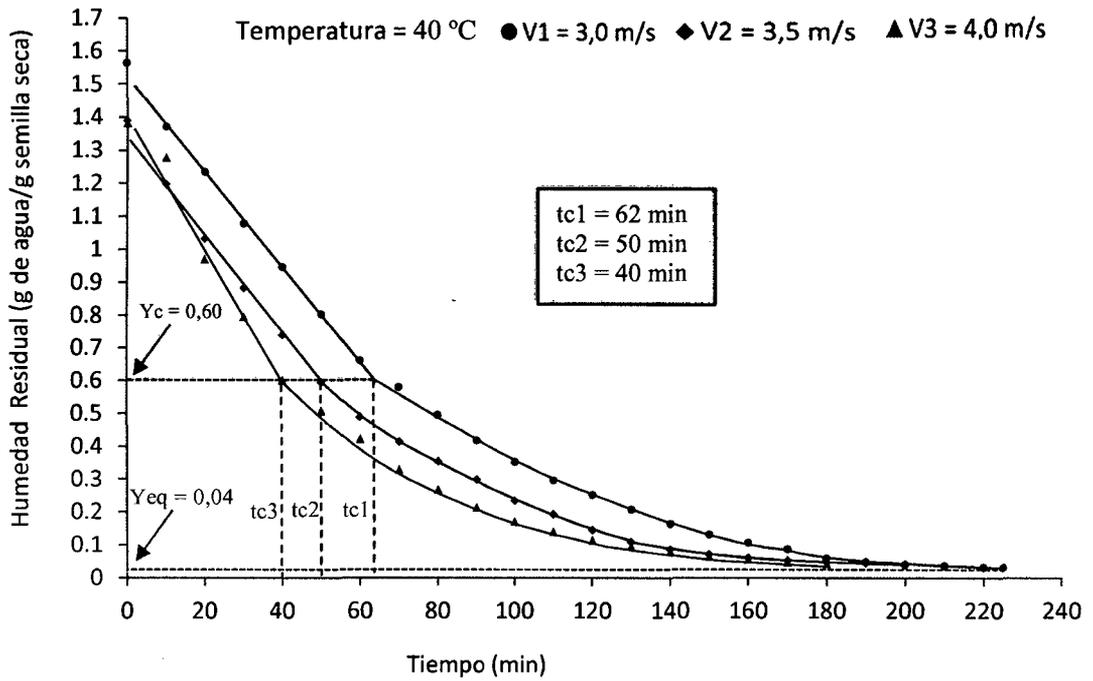


Figura 8. Humedad residual en función del tiempo con aire a 40 °C y velocidades de 3,0; 3,5 y 4,0 m/s.

La Figura 9, 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 3,0; 3,5 y 4,0 m/s (datos experimentales en el Anexo 7). Puede observarse que los valores de los parámetros cinéticos Y_c y Y_{eq} leídos de la Figura 8, concuerdan con los leídos en la Figura 9. Los datos de las corridas experimentales a 50 °C y velocidades de 3,0; 3,5 y 4,0 m/s se muestran en el Anexo 8, y sus gráficas en las Figuras 19 y 20 del mismo Anexo; los datos de las corridas experimentales a 60 °C y velocidades de 3,0; 3,5 y 4,0 m/s se muestran en el Anexo 9, y sus gráficas en las Figuras 27 y 28 del mismo Anexo.

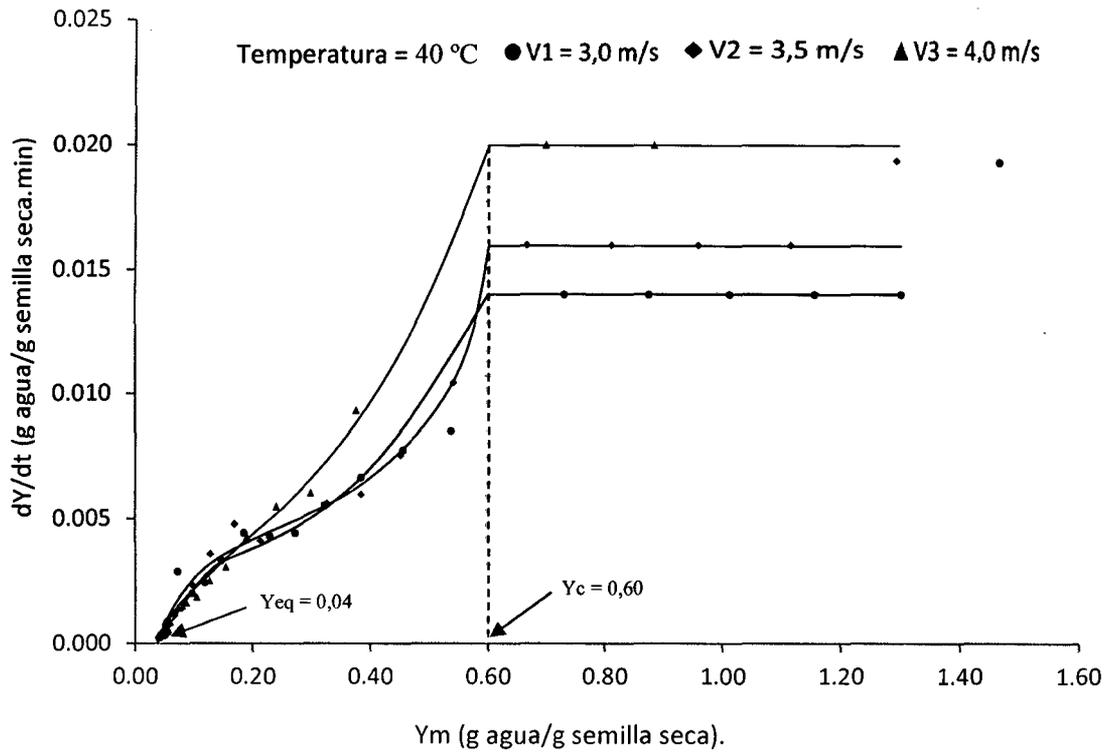


Figura 9. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio (T1 = 40 °C; V = 3,0; 3,5 y 4,0 m/s).

3.5. Modelo matemático de la cinética de secado de semillas de pan de árbol

Para obtener las ecuaciones correspondientes a la parte lineal y a la no lineal de cada una de las curvas de secado obtenidas en el presente trabajo de investigación, los resultados experimentales fueron procesados con el software estadístico SPSS 15.0 para Windows. En la Tabla 13 se muestran dichas ecuaciones, las cuales se constituyen en el modelo matemático de la cinética del secado de semillas de pan de árbol a cada una de las temperaturas y velocidades del aire de secado ensayadas. Los análisis de regresión se presentan en los Anexos 7, 8 y 9

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

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

Tabla 13. 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 semilla seca)	Ecuación de la parte curva	R ²	Humedad de equilibrio (g agua/g semilla seca)
40	3,0	$y = -0,015x + 1,536$	0,998	62	0,60	$y = 2,119e^{(-0,018x)}$	0,988	0,04
	3,5	$y = -0,016x + 1,365$	0,997	50		$y = 1,522e^{(-0,019x)}$	0,983	
	4,0	$y = -0,020x + 1,414$	0,984	40		$y = 1,292e^{(-0,020x)}$	0,996	
50	3,0	$y = -0,023x + 1,425$	0,993	35	0,66	$y = 1,014e^{(-0,018x)}$	0,980	0,04
	3,5	$y = -0,024x + 1,221$	0,979	25		$y = 0,798e^{(-0,017x)}$	0,988	
	4,0	$y = -0,032x + 1,376$	0,989	21		$y = 0,865e^{(-0,018x)}$	0,983	
60	3,0	$y = -0,023x + 1,382$	0,998	30	0,70	$y = 0,969e^{(-0,020x)}$	0,974	0,04
	3,5	$y = -0,030x + 1,389$	0,996	23		$y = 0,772e^{(-0,019x)}$	0,972	
	4,0	$y = -0,037x + 1,383$	0,998	17		$y = 0,873e^{(-0,024x)}$	0,983	

Dónde: Y = Humedad residual de las semillas

X = Tiempo de secado de las semillas

3.6. Rendimiento en el proceso de obtención de harina de semillas de pan de árbol

➤ Rendimiento de la materia prima aprovechable

El rendimiento promedio a partir de las semillas frescas fue del 82,37 %, mientras que el rendimiento promedio a partir de los frutos fue del 32,61 %.

➤ Rendimiento de harina de semillas de pan de árbol

El rendimiento a partir de las semillas frescas fue del 34,33 %, mientras que el rendimiento a partir del fruto es del 13,65 %.

El balance de materia para obtener 1000 g de harina de semillas de pan de árbol se muestra en el Anexo 2

3.7. Características fisicoquímicas de harina de semillas de pan de árbol

En la Tabla 14, se muestra los análisis que se realizó a la harina obtenida con el mejor tratamiento (mayor cantidad de vitamina C), cuyos resultados son promedios de tres repeticiones por análisis

Tabla 14. Características fisicoquímicas de harina de semillas de pan de árbol con mayor cantidad de vitamina C.

Característica	Harina de semillas de pan de árbol	
	Base húmeda	Base seca
Humedad (%)	7,01	---
Proteína total (%)	13,03	14,01
Grasa total (%)	11,50	12,37
Cenizas (%)	3,35	3,60
pH	6,30	---
Acidez titulable (%)	0,63	---
Vitamina C (mg/100g)	135,67	145,89

Fuente: Elaboración propia

3.8. Análisis microbiológico de la harina de semillas de pan de árbol

El análisis microbiológico se realizó a la harina de semillas de pan de árbol obtenida con el mejor tratamiento de secado (aire a 40 °C y velocidad de 4,0 m/s), almacenada por 30 días. La muestra fue sembrada en doce placas (seis diluciones de 10^{-1} hasta 10^{-6} , por duplicado). Los resultados se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Análisis microbiológico de la harina de pan de árbol obtenida por secado con aire a 40 °C y velocidad de 4,0 m/s

Muestra	Mohos	Levaduras
Harina de pan de árbol	< 10 ufc/g	$9,6 \times 10^2$ ufc/g

Fuente: Elaboración propia.

Los microorganismos encontrados con mayor incidencia en la harina, fueron mohos menores a 10 ufc/g y levaduras en una cantidad de $9,6 \times 10^2$ ufc/g y, valores que se encuentran dentro del rango permisible.

IV. DISCUSIÓN

En la caracterización biométrica se observó que el peso promedio del fruto de pan de árbol fue de 1066,74 g, 16,26 x 13,01 cm de largo y ancho respectivamente y un promedio de 58 semillas por cada fruto; valores que se encuentran dentro del rango presentado por Parrotta (1994), que los frutos de pan de árbol pesan aproximadamente entre 1,0 y 2,0 kg, miden de 10 a 20 cm de diámetro y contienen entre 12 y 151 semillas (promedio de 50 a 100). Por otro lado Acero (1998), determinó que el peso promedio es de 1,3 kg, un tamaño de 17 x 15,5 cm y un número promedio de 64 semillas; valores mayores, ya que estos frutos recibieron un manejo durante su producción. Con respecto al peso de cada semilla, el promedio obtenido fue de 7,56 g, similar obtuvieron Arango y Quijano (1977), en semillas recolectadas en Medellín- Colombia (entre 6 y 8 g cada semilla); por otro lado Parrotta (1994), menciona que dos muestras de 30 semillas procedentes de Puerto Rico promediaron 6,22 y 7,23 g por semilla; sin embargo Acero (1998), obtuvo un peso promedio de 8,50 g. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede notar el gran tamaño que destaca este fruto que se produce de manera natural en la provincia de Utcubamba, región Amazonas; sin haber recibido un manejo previo para su producción.

El rendimiento de materia prima aprovechable a partir del fruto de pan de árbol fue de 32,61 %. El 7,14 % corresponde a la cáscara leñosa más cutícula apergaminada de la semilla, el 10,68 % al corazón y el 49, 57 % fue pulpa más corteza del fruto. Pero el rendimiento a partir de las semillas fue de 82,37 %, y el 17,63 % fue cáscara de la semilla; rendimientos similares a los obtenidos por Acero (1998), quien obtuvo que del total del fruto, el 36,75 % es semilla comestible, el 12,25 % es cáscara de la semilla, 9%

es corazón y el 42 % es pulpa y corteza; pero del total de una semilla obtuvo que el 80 % es nuez comestible y el 20 % es cáscara leñosa más cutícula apergaminada.

En cuanto al rendimiento de harina; a partir del fruto de pan de árbol fue del 13,65 % y a partir de las semillas fue del 34,33 %. Acero (1998), menciona que de 5,2 toneladas de semilla de pan de árbol se obtiene 1,9 toneladas de harina; lo cual significa que el rendimiento es del 36,56 %.

En la presente investigación, las semillas de pan de árbol cortadas en rodajas 2 mm de espesor aproximadamente y secadas en un secador de bandejas con aire a 40 °C y 4,0 m/s de velocidad, tuvieron la mayor cantidad de vitamina C (135,67 mg/100g) en la harina obtenida por molienda de estas semillas secas. La operación de secado a temperaturas de 50 y 60 °C, con sus tres velocidades respectivas; no permitieron retener una buena cantidad de vitamina C en la semilla seca, esto se explica según Nindo *et al* (2003), a mayor temperatura, mayor es la destrucción del ácido ascórbico (sensible a las altas temperaturas). El secado a 40 °C, con 3,0 y 3,5 m/s tomó mayor tiempo de secado, lo que significa que las semillas al exponerse al medio, se oxidan y también provoca una mayor pérdida de vitamina C, ya que de acuerdo a Nindo *et al* (2003), la vitamina C también se ve afectada por el régimen tiempo-temperatura empleados, encontrándose que la mayor retención de vitamina C se da cuando se seca a bajas temperaturas y cortos tiempos. Por otro lado, según Badui (1999), la degradación del ácido ascórbico depende de la temperatura y de la humedad siendo menor a medida que la humedad es menor.

Barrena *et al* (2009), realizaron un tratamiento de secado de rodajas de lúcuma (*Pouteria lúcuma L.*) de 0,3 cm de espesor aproximadamente, en la cual determinó que al secar con aire a 50 °C y velocidad de 3,5 m/s se obtiene harina de lúcuma de color similar a la pulpa de lúcuma fresca. De igual manera Melendez y Pedraza (2011),

determinaron que secando con las mismas condiciones de aire rodajas de mesocarpio de guayaba (*Psidium guajava L.*) de 0,5 cm de espesor, se obtiene harina de guayaba con mayor contenido de vitamina C. En la presente investigación para obtener harina de semillas de pan de árbol con mayor cantidad de vitamina C, las condiciones de aire de secado fueron de 40 °C y velocidad de 4,0 m/s, la cual no coincide con las investigaciones anteriores. La explicación está en que la semilla de pan de árbol tiene una humedad inicial de 58,11 %, mientras que de la guayaba fue de 80,05 %; en consecuencia esta segunda requirió de mayor temperatura para el secado en menos tiempo para conservar la vitamina C.

En base a la Figura 8, 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. Mientras que la humedad crítica ($Y_c = 0,60$ g de agua/g semilla seca) y de equilibrio ($Y_{eq} = 0,04$ g de agua/g semilla seca) no varían con el incremento de la velocidad, como se observa en la Figura 8 y 9. Esto concuerda con lo encontrado por Vernon (2000); Barrera et al (2009) y Meléndez y Pedraza (2011). Para la temperatura de aire de 40 °C y velocidad de 4,0 m/s (mejor tratamiento) el tiempo crítico fue de 40 min, y para alcanzar la humedad de equilibrio (Y_{eq}) transcurrió 180 min.

En la Figura 9, el tramo recto horizontal corresponde al período de velocidad constante de secado, y está asociado a la eliminación del agua no ligada a las semillas de pan de árbol. Al inicio, la superficie de cada rodaja de semilla se encuentra muy húmeda, el agua eliminada en la superficie es compensada por el flujo de agua desde el interior de la semilla. 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 13, 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 y en el periodo de velocidad decreciente es mejor representada por una ecuación exponencial, similar a lo encontrado por Barrena *et al.* (2009) quienes realizaron el modelamiento de la cinética de secado de lúcuma (*Pouteria lucuma L.*).

Los análisis fisicoquímicos realizados a la harina de semillas de pan de árbol se muestran en la Tabla 14, siendo la humedad en base húmeda de 7,01 %, cenizas del 3,35 % y pH de 6,35. Para comparar la humedad y pH se tomó como referencia harinas sucedáneas; para las que INDECOPI (1976) indica en la Norma Técnica Peruana en una harina sucedánea la humedad no debe ser mayor al 15 % y el pH debe estar entre 5,5 a 6,5. En consecuencia, los datos obtenidos en la presente investigación en cuanto a humedad y pH se encuentran en los rangos permisibles. Con respecto al contenido de cenizas, como referencia se utilizó la Norma Técnica Boliviana para harina de quinua (*Chenopodium quinoa*), que indica que el contenido de cenizas no debe ser mayor a 3,5 %; por lo tanto, el valor obtenido se encuentra dentro de lo permisible.

En la Tabla 15, se muestra los resultados de los análisis microbiológicos, en las que se encontraron mohos menor a 10 ufc/g y levaduras en una cantidad de $9,6 \times 10^2$ ufc/g, se considera que esta contaminación microbiológica se debió a las condiciones de los equipos y también a microorganismos procedentes del medio ambiente durante el proceso, ya que el laboratorio no es de uso exclusivo. Sin embargo, tomando como referencia la Norma sanitaria sobre “calidad de harinas” INDECOPI (2009), una harina debe contener mohos <100 ufc/g y levaduras < 1000 ufc/g. Por lo tanto la harina de semillas de pan de árbol se puede emplear en la industria de alimentos, porque no representa un riesgo potencial para la salud humana.

V. CONCLUSIONES

1. Las características fisicoquímicas de las semillas del fruto de pan de árbol son: humedad en base húmeda 58,11 %; proteína total 6,21 %; grasa total 7,4 %; cenizas 2,15 %; pH 6,51; acidez titulable 0,22 % y vitamina C 79,93 mg/100g
2. El rendimiento de materia prima aprovechable a partir del fruto de pan de árbol fue de 32,61 %. El 7,14 % corresponde a la cáscara leñosa más cutícula apergaminada de la semilla, el 10,68 % al corazón y el 49,57 % fue pulpa más corteza del fruto. Pero el rendimiento a partir de las semillas fue de 82,37 %, y el 17,63 % fue cáscara leñosa más cutícula apergaminada.
3. El rendimiento de harina de semillas de pan de árbol; a partir del fruto fue del 13,65 % y a partir de las semillas fue del 34,33 %.
4. Secando en un secador de bandejas, semillas de pan de árbol cortadas en rodajas de 2 mm de espesor aproximadamente, con aire a una temperatura de 40 °C y velocidad de 4,0 m/s nos permite obtener harina con mayor cantidad de vitamina C, en la cual dará un tiempo crítico de secado de 40 min, humedad crítica de 0,60 g agua/g semilla seca, humedad de equilibrio de 0,04 g agua/g semilla seca y velocidad de secado de 0,020 g agua/g semilla seca.minuto; cuyos valores corresponden a los parámetros cinéticos del secado de semillas de pan de árbol en el secador de bandejas.
5. 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, mientras que en el periodo de velocidad decreciente es mejor representada por una ecuación exponencial.

6. Las características fisicoquímicas de la harina de semillas de pan de árbol obtenida con mayor cantidad de vitamina C son: humedad en base húmeda 7,01 %, proteína total 13,03 %, grasa total 11,50 %, cenizas 3,35 %, pH 6,30, acidez titulable 0,63 % y vitamina C 135,67 mg/100g.

VI. RECOMENDACIONES

1. Elaborar un proyecto productivo, que enmarque el aspecto técnico y económico para el cultivo de pan de árbol el cual permita la producción y transformación de sus frutos, generando ingresos económicos a las familias agricultoras con la búsqueda de un mercado.
2. Realizar investigaciones en la elaboración de pan con una sustitución parcial de harina de semillas de pan de árbol, determinando el porcentaje óptimo de sustitución. Ya que mezclando con harina de trigo en diferentes proporciones, se puede incluir en la dieta diaria de deportistas, niños, mujeres embarazadas, etc.; por su alto valor nutricional.
3. Se debe seguir las buenas prácticas de manufactura (BPM) durante el proceso de obtención de la harina para evitar contaminaciones y en consecuencia evitar su posterior deterioro.
4. Diseñar un secador de bandejas para operación industrial empleando los parámetros cinéticos del secado de semillas de pan de árbol obtenidos en la presente investigación.
5. Emplear las ecuaciones que modelan la cinética de secado de semillas de pan de árbol, obtenidas en base a los resultados experimentales del presente trabajo de investigación, para determinar el tiempo de secado hasta un valor predeterminado de humedad final para el producto.
6. No desperdiciar los desechos (corteza, pulpa y cáscara de semillas) ya que se puede utilizar para la alimentación del ganado y mascotas como alimento balanceado (deshidratándola), recuperando así gran porcentaje de pérdida.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acero, L. 2005. Guía para el cultivo y aprovechamiento del árbol del pan *Artocarpus altilis* (Park.) Fosberg. Editorial CAB. 1era Ed. Bogotá-Colombia.
- AOAC – Association of Official Analytical Chemist. 1990. Official Methods of Analysis. Vol. 1, Chapter 4, 15th Edition, Edited by Kenneth Helrich, Virginia, U.S.A. p. 69, 79.
- Arango, G. y Quijano, J. 1977. Estudio químico analítico de los frutos del árbol de pan. *Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg. Universidad de Antioquía. Departamento de química. Medellín-Colombia.
- Badui, S. D. 1999. Química de los alimentos. Editorial Alhambra Mexica S.A., 3era ed. México.
- Barrena G., M.A., O.A. Gamarra T., J.L. Maicelo Q. y Cárdenas, A.R.D. 2009. Cinética de secado de lúcuma (*Pouteria lucuma* L.). Aporte Santiaguino, Revista Oficial de la UNASAM, V. 2, N° 2, julio-diciembre. 271-281 ISSN 2070-836X. Huaraz-Perú.
- Barbosa-Cánovas, S. y Vega –Mercado, H. 2000. Deshidratación de alimentos. Editorial ACRIBIA S.A., España.
- Calzavara, G. 1987. Fruticultura tropical: A FRUTA – PÃO (*Artocarpus altilis* (PARK.) FOSBERG). Belém, EMBRAPA-CPATU, 24p.
- Dettman, G., Kalokerinos, A. y Dettman., I. 1993. Vitamina C. Misil sanador de la naturaleza. Bogotá – Colombia.

- Entrala B., A. 1995. Vitaminas Aspectos Prácticas en Medicina. Editorial DÍAS DE SANTOS. Madrid - España
- FAO. 2006. fruta de pan (*Artocarpus altilis*).
Disponible:http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/AE620s/Pfrescos/FRUTADEPAN.HTM. Accesado el 21 de enero del 2013.
- 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.
- Illera M., M., Illera D., J. e Illera D., J. 2000. Vitaminas y minerales. Edit. COMPLUTENSE S.A., 1era ed. Madrid – España.
- Instituto de Mercadeo Agropecuario de Panamá. 2004. Algunos frutales potenciales en Panamá, su producción para la comercialización.
Disponible: <http://www.tuinventas.com/attachments/article/2592/FRUTALES-FINAL-18-AGOSTO-2004.pdf> Accesado el 26 de abril del 2013.
- IIAP - Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. 1997. Plantas medicinales de la amazonia peruana estudio de su uso y cultivo.
Disponible:<http://www.congreso.gob.pe/comisiones/1999/ciencia/cd/iiap/iiap2/Prese-ntacion.htm>. Accesado el 21 de enero del 2013.
- INCAP-Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. 2006. Tabla de composición de alimentos de Centro América.
Disponible:<http://www.tabla de alimentos.org>. Accesado el 26 de abril del 2013.

- King, J. Y De Pablo, S. 1987. Estabilidad de las vitaminas. Rev. Chil. Nutr. Vol.15, (N°3), 143-152.
- Lomas, E., M. C. 2002. Introducción al cálculo de los procesos tecnológicos de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza – España.
- Mejía, K y Rengifo, E. 1995. Plantas Medicinales de Uso Popular en la Amazonía Peruana. Edit. TAGE, 1era ed. Lima-Perú.
- Melendez, F y Pedraza, S. 2011. Influencia de la velocidad y la temperatura del aire en la obtención de harina de guayaba (*Psidium guajava* L.) con el máximo contenido de vitamina C. Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial. Perú: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Moret D., Y. 1997. Vitamina C: influencia que ejerce en la cicatrización y alteraciones de la cavidad bucal. Universidad Central de Venezuela. Consejo de desarrollo científico y humanístico. Caracas – Venezuela.
- Nindo, C. I., Sun, T., Wang, S. W., Tang, J., and Powers, J. R. 2003. Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.) Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, 36,507-516.
- NTB-Norma Técnica Boliviana (2009). Harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) y productos procesados (hojuelas y harinas).
Disponible:<http://laquinua.globspot.com/2010/normas-técnicas-andinas-para-quinua.html>. Accesado el 15 de mayo del 2013.

- Norma ISO 7954. 2008 Procedimiento de recuento de mohos y levaduras en alimentos.
Disponible en: www.ispch.cl/lab_amb/doc/microbiologia_alimentos/PRT-031.pdf.
Accesado el 13 de abril del 2013.
- NTP-Norma Técnica Peruana-INDECOPI. 2009.
Disponible: <http://NTP./normas/INDECOPI/205.027-harinas/html>. Accesado el 16 de mayo del 2013.
- NTP205.040:1976-INDECOPI. 1976. Harinas sucedáneas de la harina de trigo.
Disponible:http://www.indecopi.gob.pe/0/modulos/TIE/TIE_DetallarProducto.aspx?PRO=7232 Accesado el 18 de mayo del 2013.
- Ocón G., J. y G. Tojo B. 1980. Problemas de Ingeniería Química. Tomo II. Editorial Aguilar S.A. 5ta. Reimpresión. España.
- Ordoñez, J., Cambero, I., Fernández, L. y García de Fenando, G. 1998. Tecnología de alimentos: componentes de los alimentos y procesos. Volumen I. Edit. Síntesis, S.A. Valle Hermoso – Madrid.
- Parrotta, J. 1994. *Artocarpus altilis* (S. Park.) Fosb. Breadfruit, breadnut. USDA, Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Exp. Sta. New Orleans, LA. 6p.
- Perry, J. y C. Chilton. 1982. Manual del Ingeniero Químico. Editorial McGraw-Hill. 2da. Edición. Bogotá.
- Ragone, D. 1997. Breadfruit. *Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg. Roma: ed: IPGRI. p.17.

- Suarez M., D. 2003. Guía de procesas para la elaboración de harinas, almidones, hojuelas deshidratadas y compotas. Convenio Andrés Bello. Bogotá - Colombia.
- Vernon C., J. 2000. Laboratorio de Operaciones Unitarias. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México.

ANEXOS

ANEXO 1

Tabla 16. Datos biométricos y físicos de frutos de pan de árbol.

Repetición	Largo (cm)	Ancho (cm)	Peso total (g)	Numero de semillas	Semillas						Resto del fruto					
					Parte comestible		Cáscara leñosa		Total		Corazón		Corteza más fibra		Total	
					Gramos	Porcentaje %	Gramos	Porcentaje %	Gramos	Porcentaje %	Gramos	Porcentaje %	Gramos	Porcentaje %	Gramos	Porcentaje %
1	16,9	14	1454,12	90,00	523,33	35,99	111,99	7,70	635,32	43,69	178,05	12,24	640,75	44,06	818,80	56,31
2	17,8	12,6	1059,48	58,00	341,71	32,25	69,32	6,54	411,03	38,80	105,94	10,00	542,51	51,21	648,45	61,20
3	14,7	12,4	974,65	50,00	316,57	32,48	69,59	7,14	386,16	39,62	101,17	10,38	487,32	50,00	588,49	60,38
4	17,5	13,6	1114,69	58,00	337,58	30,28	78,22	7,02	415,80	37,30	119,60	10,73	579,29	51,97	698,89	62,70
5	14	12,9	962,97	50,00	318,29	33,05	70,58	7,33	388,87	40,38	100,75	10,46	473,35	49,16	574,10	59,62
6	17	13,2	1051,26	58,00	340,74	32,41	76,61	7,29	417,35	39,70	105,12	10,00	528,79	50,30	633,91	60,30
7	17,3	12,6	1003,80	54,00	320,96	31,97	72,21	7,19	393,17	39,17	100,30	9,99	510,33	50,84	610,63	60,83
8	14,8	13,6	995,23	56,00	318,47	32,00	72,54	7,29	391,01	39,29	99,52	10,00	504,70	50,71	604,22	60,71
9	17,2	12,7	1064,56	58,00	348,32	32,72	75,31	7,07	423,63	39,79	127,74	12,00	513,19	48,21	640,93	60,21
10	15,4	12,5	986,62	50,00	325,51	32,99	67,17	6,81	392,68	39,80	108,52	11,00	485,42	49,20	593,94	60,20
Promedio	16,26	13,01	1066,74	58,20	349,15	32,61	76,35	7,14	425,50	39,75	114,67	10,68	526,57	49,57	641,24	60,25

Tabla 17. Pesos de semillas de pan de árbol.

Semillas	Peso total	Parte comestible		Cáscara leñosa + cutícula apergaminada	
		gramos	Porcentaje (%)	Gramos	Porcentaje (%)
1	9,26	7,68	82,94	1,58	17,06
2	8,06	6,62	82,13	1,44	17,87
3	7,52	6,30	83,78	1,22	16,22
4	7,07	5,84	82,60	1,23	17,40
5	8,05	6,73	83,60	1,32	16,40
6	7,62	6,21	81,50	1,41	18,50
7	6,96	5,67	81,47	1,29	18,53
8	7,49	6,16	82,24	1,33	17,76
9	6,76	5,53	81,80	1,23	18,20
10	7,34	6,04	82,29	1,30	17,71
11	8,23	6,89	83,72	1,34	16,28
12	7,28	6,08	83,52	1,20	16,48
13	8,06	6,65	82,51	1,41	17,49
14	7,34	5,98	81,47	1,36	18,53
15	6,54	5,32	81,35	1,22	18,65
16	7,78	6,59	84,70	1,19	15,30
17	7,79	6,35	81,51	1,44	18,49
18	8,29	7,02	84,68	1,27	15,32
19	6,44	5,30	82,30	1,14	17,70
20	7,36	5,90	80,16	1,46	19,84
21	8,82	7,29	82,65	1,53	17,35
22	7,81	6,34	81,18	1,47	18,82
23	7,12	5,89	82,72	1,23	17,28
24	6,88	5,68	82,56	1,20	17,44
25	7,39	6,12	82,81	1,27	17,19
26	7,97	6,42	80,55	1,55	19,45
27	6,36	5,12	80,50	1,24	19,50
28	7,74	6,35	82,04	1,39	17,96
29	7,55	6,29	83,31	1,26	16,69
30	7,81	6,45	82,59	1,36	17,41
Promedio	7,56	6,23	82,37	1,33	17,63

ANEXO 2

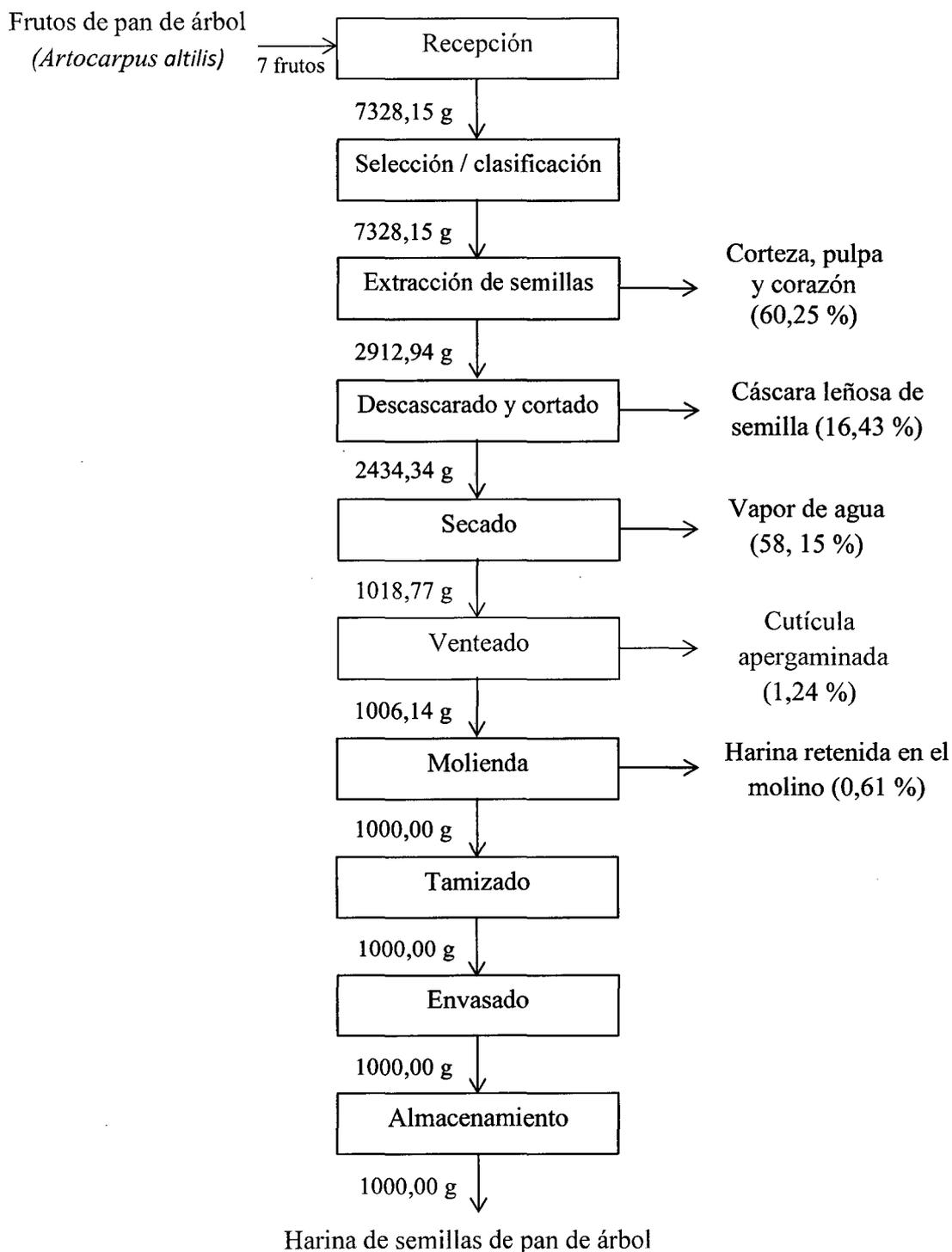


Figura 10. Balance de materia para la obtención de 1000 g de harina de semillas de pan de árbol

ANEXO 3

1. Norma sanitaria

Sobre “calidad de harinas”. (R.D.N° 027-86 ITINTEC DG/ D.N. 86-02-11. Lima-Perú) según Resolución Ministerial N° 664-1986-S.A./D.M. del 11 de febrero de 1986. Diario oficial “El Peruano”. Requisitos microbiológicos según norma técnica:

Mohos < 100 ufc

Levaduras < 1000 ufc

Ufc : unidades formadoras de colonias

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

Tabla 18. Requisitos mínimos de harinas

Requisitos	Especial		Extra		Popular		Semi-integral		Integral	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Humedad (%)	-	15,0	-	15,0	-	15,0	-	15,0	-	15,0
Cenizas (%)	-	0,64	0,65	1,00	1,01	1,40	1,41	-	-	-
Acidez (%)	-	0,10	-	0,15	-	0,16	-	0,18	-	0,22

Fuente: Norma Técnica Peruana INDECOPI (205.027-harinas)

Las harinas deben encontrarse libres de toda sustancia o cuerpo extraño a su naturaleza.

- No puede obtenerse a partir de materias primas fermentadas, descompuestas como consecuencia del ataque de hongos, roedores o insectos.
- Debe tener la consistencia de un polvo fluido en toda su masa excepto la integral y la semi-integral, sin grumos de ninguna clase (considerando la compactación natural del envasado automático y del estibado).

- No tener olor a rancio, ácido, o en general olor diferente al característico de la harina.
- No tener mancha de aceite, kerosene o de cualquier producto.

2. Normas técnicas andinas para quinua (*Chenopodium quinoa*) y productos procesados (hojuelas y harina)

Norma : NB/NA, método de ensayo: AOAC 32.1.05.

Código : 18004-2009

Título : Granos Andinos – Pseudo cereales-harina de quinua-requisitos

Requisitos bromatológicos de harina de quinua

Requisitos : Humedad (%)

Valores : Máx. 13,5

Método de ensayo: AOAC 945.15

Requisitos : Cenizas (%)

Valores : Máx. 3,5

ANEXO 4

1. Preparación de I_2/KI 0,1 N

- Se pesó 40 g de ioduro de potasio y se disolvió con cantidad pequeña de agua destilada en una fiola de 1L.
- Se pesó 12,7 g de yodo y se agregó a la solución de ioduro de potasio para disolverlo.
- Enseguida se agregó agua destilada hasta obtener un volumen total de 1 litro.

Solución de yodo 0,01N

- Se pipeteó 50 mL de solución de yodo 0,1 N en una fiola de 500 mL.
- Se aforó con agua destilada a 500 mL

ANEXO 5

1. Procedimiento para la determinación de la vitamina C

El oxígeno disuelto en la muestra oxida fácilmente a la vitamina C en solución, de modo que las muestras deben analizarse inmediatamente después de que se prepara

1.1. En las semillas de pan de árbol

Pasos que se siguió fue los siguientes:

- a) Se pesó 10 g de semilla triturada de pan de árbol y se agregó en 100 mL de agua destilada.
- b) Se filtró la solución acuosa de semillas de pan de árbol.
- c) Se llenó la bureta con la solución de I_2 0,01N
- d) Con una probeta se midió 40 mL de la solución acuosa (muestra) y se depositó en un matraz Erlenmeyer.
- e) Se adicionó 3 mL de almidón al 1%
- f) Se tituló con la solución de I_2 0,01 N
- g) La titulación terminó cuando la muestra tomó una coloración azul-negro.
- h) Se anotó el volumen de gasto de la solución de I_2 0,01 N.

1.2. En la harina de semillas de pan de árbol

Esta evaluación se realizó a cada unidad experimental a los que se han aplicado los diferentes tratamientos de secado.

Pasos a seguir:

- a) Se pesó 2 g de harina de la semilla de pan de árbol y se agregó en 100 mL de agua destilada.
- b) Se filtró la solución acuosa de harina de pan de árbol.

- c) Se llenó la bureta con la solución de I₂ 0,01 N
- d) Con una probeta se midió 40 mL de la solución acuosa (filtrado) y se depositó en un matraz Erlenmeyer.
- e) Se adicionó 3 mL de almidón al 1%
- f) Se tituló con la solución de I₂ 0,01 N
- g) La titulación terminó cuando la muestra tomó una coloración azul-negro.
- h) Se anotó el volumen de gasto de la solución de I₂ 0,01 N

Cálculos para determinar el contenido de vitamina C

Los pasos para determinar la cantidad de vitamina C en una muestra son los siguientes:

equiv Vitamina C = equiv Yodo

equiv C₆H₈O₆ = equiv I₂

C₆H₈O₆ PM:(C₆H₈O₆)

C: 12(6) = 72 H: 1(8) = 8 O: 16(6) = 96 M:176g/mol i = 2

$N_1 \times V_1 = N_2 \times V_2$

En todos los análisis de vitamina C, se utilizó 40 ml de solución acuosa de harina o semillas, entonces:

$$N_{vit\ C} = \frac{0.01N \times V_2}{40\ mL\ sol.}$$

$$N_{vit\ C} = \frac{G\ equiv\ Vit.C}{1L\ sol.}$$

$$\frac{G\ equiv\ Vit. C}{1L\ sol.} \times \frac{M\ g\ Vit. C}{i\ equiv\ Vit. C} = H \frac{g\ Vit. C}{1L\ sol.}$$

- ✓ Para el caso de las semillas, en la muestra preparada había: 10 g de semilla comestible en 100 mL de solución (agua destilada más la semilla) que es lo mismo decir, en 1L de solución hay 100 g de semilla comestible, entonces:

$$H \frac{\text{g Vit. C}}{1\text{L sol.}} \times \frac{1\text{L sol.}}{100 \text{ g semilla}} = Y \frac{\text{g Vit. C}}{1\text{g semilla}}$$

$$Y \frac{\text{g Vit. C}}{1\text{g semilla}} \times \frac{1000\text{mg Vit. C}}{1\text{g Vit. C}} = J \frac{\text{mg Vit. C}}{1\text{g semilla}}$$

Si a J multiplicamos por 100, obtengo en mg Vit.C/100 g semilla comestible

Si a J multiplicamos por 1000, obtengo en ppm de Vit. C

- ✓ Para el caso de la harina, en la muestra preparada había: 2 g de harina en 100 mL de solución (agua destilada más la harina) que es lo mismo decir, en 1L de solución hay 20 g de harina, entonces:

$$H \frac{\text{g Vit. C}}{1\text{L sol.}} \times \frac{1\text{L sol.}}{20 \text{ g harina}} = Y \frac{\text{g Vit. C}}{1\text{g harina}}$$

$$Y \frac{\text{g Vit. C}}{1\text{g harina}} \times \frac{1000\text{mg Vit. C}}{1\text{g Vit. C}} = J \frac{\text{mg Vit. C}}{1\text{g harina}}$$

Si a J multiplicamos por 100, obtengo en mg Vit.C/100 g harina

Si a J multiplicamos por 1000, obtengo en ppm de Vit. C

Dónde:

Volumen de muestra	: V ₁ mL
Volumen de solución de yodo gastado	: V ₂ mL
Concentración de I ₂	: N ₂
Constantes	: G, H, J, Y

Tabla 19. Volumen de yodo gastado (mL) durante la titulación para determinar la cantidad de vitamina C en la harina, obtenida según los tratamientos de secado.

Repetición	40°C			50°C			60°C		
	3,0 m/s	3,5 m/s	4,0 m/s	3,0 m/s	3,5 m/s	4,0 m/s	3,0 m/s	3,5 m/s	4,0 m/s
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
1	0,9	0,9	1,2	0,7	0,8	0,8	0,4	0,3	0,5
2	0,8	0,9	1,2	0,6	0,7	0,6	0,4	0,4	0,4
3	0,9	1	1,3	0,8	0,7	0,6	0,4	0,4	0,4

2. Procedimiento para determinación de humedad

- Se extrajo una semilla de pan de árbol y luego se cortó una rodaja de 0,5 cm de espesor.
- Se pesó una luna de reloj (W_1)
- Se colocó la muestra a analizar en la luna de reloj
- Se pesó la muestra con la luna de reloj (W_2)
- Se colocó en la estufa a 105 °C
- Se controló el peso cada 30 minutos hasta peso constante (W_3)
- Se calculó el porcentaje de humedad según la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Humedad} = \left[\frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \right] \times 100$$

3. Procedimiento para determinación proteínas totales

- pesar 2 a 3 gramos de muestra y transferir a un tubo de digestión, añadiéndole 1 g de catalizador (sulfato de potasio y sulfato de cobre).
- Limpiar con un poco de agua destilada las paredes del tubo de digestión, luego agregar 2,5 ml de ácido sulfúrico concentrado y se coloca en el digestor Kjeldahl a 420°C por 2 horas o cuando el contenido del tubo esta completamente cristalino (color verde esmeralda).

- c) Se transfiere la muestra digerida a un destilador agregando 5 ml de hidróxido de sodio concentrado e inmediatamente se conecta la fuente de calor para que se produzca la destilación.
- d) Se recibe el destilado en un Erlenmeyer conteniendo 25 ml de una solución de ácido bórico con los indicadores de pH. La destilación termina cuando ya no pasa más amoniaco.
- e) Luego se titula con ácido clorhídrico 0,05N hasta que vire al rojo. Se anota el gasto.

$$\% \text{PROTEÍNA} = \% \text{ Nitrógeno} \times f$$

$$\% \text{NITROGENO} = \frac{V \times N \times \text{meq-g Nitrógeno} \times 100}{W}$$

Dónde:

V: ml gastados de HCl en la titulación

N: normalidad del HCl

W: peso de muestra

f: factor proteico (6,25 para vegetales)

4. Procedimiento para determinación de % de grasas - método Soxhlet

- a) Se desecó un balón, en una estufa a 110 °C
- b) Se enfrió el balón en una campana de desecación
- c) Se pesó el balón frío (P1)
- d) Se pesó 5 g. de muestra (P2)
- e) Se empaquetó la muestra en papel de filtro
- f) Se colocó el paquete en el cuerpo del aparato Soxhlet, previamente montado
- g) Se añadió el disolvente (hexano o éter de petróleo) hasta una altura adecuada para luego poder ser sifoneado hacia el balón
- h) Se conectó una fuente de calor
- i) Se controló por aproximadamente 2 horas

- j) Se sacó el balón cuando contenga poco disolvente, momentos antes de ser sifoneado
- k) Se colocó el balón en una fuente de calor para evaporar el sobrante de disolvente
- l) Se enfrió el balón en una campana de desecación
- m) Se pesó el balón nuevamente (P3)
- n) Se realizó los cálculos con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Grasas} = \frac{P3-P1}{P2} * 100$$

5. Procedimiento para determinar % de cenizas

- a) Se puso a peso constante un crisol de porcelana, lo cual significó dejarlo durante 15 minutos en la mufla a una temperatura de 600°C
- b) Se dejó enfriar el crisol de porcelana en un desecador durante 15-20 minutos y se tuvo en cuenta de no cerrar el desecador totalmente.
- c) Se pesó el crisol de porcelana en la balanza analítica y dicho peso fue anotado (P1)
- d) Se tomó una muestra (fruta fresca o harina de pan de árbol), y se pesó 3 gramos (P2 = 3,0) en el crisol previamente tarado.
- e) Se registró el peso exacto con cuatro cifras significativas.
- f) Se colocó el crisol de porcelana en la plancha de calentamiento de la cocina eléctrica hasta sequedad. Luego se llevó el crisol de porcelana a la mufla por un tiempo de 3 horas, a una temperatura de 600°C.
- g) Transcurrido el tiempo indicado se retiró el crisol de porcelana de la mufla, se dejó enfriar en un desecador y luego se pesó nuevamente.

- h) Se realizó pesadas sucesivas hasta que el peso sea constante en tres ocasiones (P3)
- i) Se realizó los cálculos con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P3-P1}{P2} * 100$$

6. Procedimiento para determinar Acidez titulable

- a) Se determinó mediante titulación ácido-base, con la ayuda de una bureta, fenolftaleína como sustancia indicadora y como titulante hidróxido de sodio (0,1N).
- b) El resultado se expresó en términos de ácido cítrico (%) que es el que se encuentra en mayor proporción en este fruto.

$$\% \text{ Ácido cítrico} = \frac{N \cdot V \cdot \text{pe. ácido cítrico}}{W} \times 100$$

Dónde:

N = normalidad de la solución de NaOH

V = mL de NaOH gastados en la titulación

Pe. ácido cítrico = peso mili equivalente del ácido cítrico

W = peso de la muestra

7. 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 20 g de harina de pan de árbol a los 30 días de almacenada.

7.1. Materiales

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

7.2. Equipos

- Autoclave
- Balanza digital

7.3. 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.

7.4. Preparación de la muestra

- Se pesó 10 g de harina de pan de árbol 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}

7.5. 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.

7.6. 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

6.1. Análisis estadístico del secado de semillas de pan de árbol

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

Tabla 20. Cantidad de vitamina C en mg por cada 100g de harina de semillas de pan de árbol

Temperaturas (A)	a1: 40			a2: 50			a3: 60		
Velocidades (B)	b1: 3,0	b2: 3,5	b3: 4,0	b1: 3,0	b2: 3,5	b3: 4,0	b1: 3,0	b2: 3,5	b3: 4,0
Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
R1	99,00	99,00	132,00	77,00	88,00	88,00	44,00	33,00	55,00
R2	88,00	99,00	132,00	66,00	77,00	66,00	44,00	44,00	44,00
R3	99,00	110,00	143,00	88,00	77,00	66,00	44,00	44,00	44,00

6.1.1. Análisis de varianza

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Cantidad de vitamina C (mg/100g)

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	23267,852(a)	8	2908,481	49,923	0,000
Intersección tratamientos	161781,481	1	161781,481	2776,923	0,000
Error	23267,852	8	2908,481	49,923	0,000
Total	1048,667	18	58,259		
Total corregida	186098,000	27			
	24316,519	26			

a R cuadrado = ,957 (R cuadrado corregida = ,938)

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Cantidad de vitamina C (mg/100g)

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	23267,852(a)	8	2908,481	49,923	0,000
Intersección	161781,481	1	161781,481	2776,923	0,000
A	20336,963	2	10168,481	174,538	0,000
B	923,185	2	461,593	7,923	0,003
A * B	2007,704	4	501,926	8,615	0,000
Error	1048,667	18	58,259		
Total	186098,000	27			
Total corregida	24316,519	26			

a R cuadrado = ,957 (R cuadrado corregida = ,938)

Reuniendo ambos resultados tenemos

Tabla 21. Esquema del análisis de varianza: Cuadro ANOVA

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
tratamiento	23267,852	8	2908,481	49,923	0,000*
A	20336,963	2	10168,481	174,538	0,000*
B	923,185	2	461,593	7,923	0,003*
A * B	2007,704	4	501,926	8,615	0,000*
Error	1048,667	18	58,259		
Total corregida	24316,519	26			

$\alpha = 5 \%$

Variable dependiente: Cantidad de vitamina C (mg/100g)

6.1.2. Prueba comparación múltiple de tukey

Tabla 22. 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	-7,3333	6,23213	0,952	-29,1699	14,5032
	T3	-40,3333(*)	6,23213	0,000	-62,1699	-18,4968
	T4	18,3333	6,23213	0,143	-3,5032	40,1699
	T5	14,6667	6,23213	0,363	-7,1699	36,5032
	T6	22,0000(*)	6,23213	0,047	,1635	43,8365
	T7	51,3333(*)	6,23213	0,000	29,4968	73,1699
	T8	55,0000(*)	6,23213	0,000	33,1635	76,8365
	T9	47,6667(*)	6,23213	0,000	25,8301	69,5032
	T2	T1	7,3333	6,23213	0,952	-14,5032
T3		-33,0000(*)	6,23213	0,001	-54,8365	-11,1635
T4		25,6667(*)	6,23213	0,015	3,8301	47,5032
T5		22,0000(*)	6,23213	0,047	,1635	43,8365
T6		29,3333(*)	6,23213	0,004	7,4968	51,1699
T7		58,6667(*)	6,23213	0,000	36,8301	80,5032
T8		62,3333(*)	6,23213	0,000	40,4968	84,1699
T9		55,0000(*)	6,23213	0,000	33,1635	76,8365
T3		T1	40,3333(*)	6,23213	0,000	18,4968
	T2	33,0000(*)	6,23213	0,001	11,1635	54,8365
	T4	58,6667(*)	6,23213	0,000	36,8301	80,5032
	T5	55,0000(*)	6,23213	0,000	33,1635	76,8365
	T6	62,3333(*)	6,23213	0,000	40,4968	84,1699
	T7	91,6667(*)	6,23213	0,000	69,8301	113,5032
	T8	95,3333(*)	6,23213	0,000	73,4968	117,1699
	T9	88,0000(*)	6,23213	0,000	66,1635	109,8365
	T4	T1	-18,3333	6,23213	0,143	-40,1699
T2		-25,6667(*)	6,23213	0,015	-47,5032	-3,8301
T3		-58,6667(*)	6,23213	0,000	-80,5032	-36,8301
T5		-3,6667	6,23213	0,999	-25,5032	18,1699
T6		3,6667	6,23213	0,999	-18,1699	25,5032
T7		33,0000(*)	6,23213	0,001	11,1635	54,8365
T8		36,6667(*)	6,23213	0,000	14,8301	58,5032
T9		29,3333(*)	6,23213	0,004	7,4968	51,1699
T5		T1	-14,6667	6,23213	0,363	-36,5032
	T2	-22,0000(*)	6,23213	0,047	-43,8365	-,1635
	T3	-55,0000(*)	6,23213	0,000	-76,8365	-33,1635
	T4	3,6667	6,23213	0,999	-18,1699	25,5032
	T6	7,3333	6,23213	0,952	-14,5032	29,1699

T6	T7	36,6667(*)	6,23213	0,000	14,8301	58,5032
	T8	40,3333(*)	6,23213	0,000	18,4968	62,1699
	T9	33,0000(*)	6,23213	0,001	11,1635	54,8365
	T1	-22,0000(*)	6,23213	0,047	-43,8365	-,1635
	T2	-29,3333(*)	6,23213	0,004	-51,1699	-7,4968
	T3	-62,3333(*)	6,23213	0,000	-84,1699	-40,4968
	T4	-3,6667	6,23213	0,999	-25,5032	18,1699
	T5	-7,3333	6,23213	0,952	-29,1699	14,5032
	T7	29,3333(*)	6,23213	0,004	7,4968	51,1699
T7	T8	33,0000(*)	6,23213	0,001	11,1635	54,8365
	T9	25,6667(*)	6,23213	0,015	3,8301	47,5032
	T1	-51,3333(*)	6,23213	0,000	-73,1699	-29,4968
	T2	-58,6667(*)	6,23213	0,000	-80,5032	-36,8301
	T3	-91,6667(*)	6,23213	0,000	-113,5032	-69,8301
	T4	-33,0000(*)	6,23213	0,001	-54,8365	-11,1635
	T5	-36,6667(*)	6,23213	0,000	-58,5032	-14,8301
	T6	-29,3333(*)	6,23213	0,004	-51,1699	-7,4968
	T8	3,6667	6,23213	0,999	-18,1699	25,5032
T8	T9	-3,6667	6,23213	0,999	-25,5032	18,1699
	T1	-55,0000(*)	6,23213	0,000	-76,8365	-33,1635
	T2	-62,3333(*)	6,23213	0,000	-84,1699	-40,4968
	T3	-95,3333(*)	6,23213	0,000	-117,1699	-73,4968
	T4	-36,6667(*)	6,23213	0,000	-58,5032	-14,8301
	T5	-40,3333(*)	6,23213	0,000	-62,1699	-18,4968
	T6	-33,0000(*)	6,23213	0,001	-54,8365	-11,1635
	T7	-3,6667	6,23213	0,999	-25,5032	18,1699
	T9	-7,3333	6,23213	0,952	-29,1699	14,5032
T9	T1	-47,6667(*)	6,23213	0,000	-69,5032	-25,8301
	T2	-55,0000(*)	6,23213	0,000	-76,8365	-33,1635
	T3	-88,0000(*)	6,23213	0,000	-109,8365	-66,1635
	T4	-29,3333(*)	6,23213	0,004	-51,1699	-7,4968
	T5	-33,0000(*)	6,23213	0,001	-54,8365	-11,1635
	T6	-25,6667(*)	6,23213	0,015	-47,5032	-3,8301
	T7	3,6667	6,23213	0,999	-18,1699	25,5032
	T8	7,3333	6,23213	0,952	-14,5032	29,1699

Basado en las medias observadas.

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

Variable dependiente: Cantidad de vitamina C (mg/100g)

6.1.3. Representación de los grupos homogéneos

Tabla 23. Representación de los grupos homogéneos

Tratamientos	N	Subconjunto				
	1	2	3	4	5	1
T8	3	40,3333				
T7	3	44,0000				
T9	3	47,6667				
T6	3		73,3333			
T4	3		77,0000	77,0000		
T5	3		80,6667	80,6667		
T1	3			95,3333	95,3333	
T2	3				102,6667	
T3	3					135,6667
Significación		0,952	0,952	0,143	0,952	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) = 58,259.

Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3,000

Alfa = 0,05.

ANEXO 7

Resultados de las corridas experimentales de secado de semillas de pan de árbol realizadas con aire a 40 °C y velocidades de 3,0; 3,5 y 4,0 m/s

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

N°	t	P1	P2 = P1 - PB	Yr = (P2 - S)/S	dY/dt	Ym
	tiempo (min)	peso de soporte y bandejas + semillas al tiempo t (g)	peso de las semillas al tiempo t (g)	humedad residual (g H2O/g semillas seca)	velocidad de secado (g H2O/g ss.min)	humedad promedio (g H2O/g semillas secas)
1	0	1940,50	232,40	1,563	0,019	1,467
2	10	1923,00	214,90	1,370	0,014	1,301
3	20	1910,50	202,40	1,233	0,015	1,155
4	30	1896,50	188,40	1,078	0,013	1,012
5	40	1884,50	176,40	0,946	0,014	0,874
6	50	1871,50	163,40	0,802	0,014	0,731
7	60	1858,50	150,40	0,659	0,008	0,619
8	70	1851,20	143,10	0,578	0,008	0,536
9	80	1843,50	135,40	0,493	0,008	0,455
10	90	1836,50	128,40	0,416	0,007	0,383
11	100	1830,50	122,40	0,350	0,006	0,323
12	110	1825,50	117,40	0,295	0,004	0,273
13	120	1821,50	113,40	0,251	0,004	0,229
14	130	1817,60	109,50	0,208	0,004	0,186
15	140	1813,60	105,50	0,164	0,003	0,147
16	150	1810,60	102,50	0,131	0,002	0,118
17	160	1808,40	100,30	0,106	0,002	0,096
18	170	1806,60	98,50	0,086	0,003	0,072
19	180	1804,00	95,90	0,058	0,000	0,056
20	190	1803,60	95,50	0,053	0,000	0,052
21	200	1803,30	95,20	0,050	0,000	0,048
22	210	1802,90	94,80	0,046	0,000	0,044
23	220	1802,60	94,50	0,042	0,000	0,041
24	225	1802,40	94,30	0,040	0,004	0,020

PB = 1708,1 g

S = 90,66 g

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

N°	t	P1	P2 = P1 - PB	Yr = (P2 - S)/S	dY/dt	Ym
	tiempo (min)	peso de soporte y bandejas + semillas al tiempo t (g)	peso de las semillas al tiempo t (g)	humedad residual (g H2O/g semillas seca)	velocidad de secado (g H2O/g ss.min)	humedad promedio (g H2O/g semillas secas)
1	0	1858,00	320,50	1,390	0,019	1,293
2	10	1832,00	294,50	1,196	0,016	1,114
3	20	1810,00	272,50	1,032	0,015	0,957
4	30	1790,00	252,50	0,883	0,015	0,810
5	40	1770,50	233,00	0,738	0,014	0,665
6	50	1751,10	213,60	0,593	0,010	0,541
7	60	1737,10	199,60	0,488	0,008	0,451
8	70	1727,00	189,50	0,413	0,006	0,383
9	80	1719,00	181,50	0,353	0,006	0,326
10	90	1711,50	174,00	0,298	0,006	0,266
11	100	1703,00	165,50	0,234	0,004	0,214
12	110	1697,50	160,00	0,193	0,005	0,169
13	120	1691,10	153,60	0,145	0,004	0,128
14	130	1686,30	148,80	0,110	0,002	0,098
15	140	1683,20	145,70	0,087	0,001	0,079
16	150	1681,30	143,80	0,072	0,001	0,067
17	160	1679,80	142,30	0,061	0,001	0,057
18	170	1678,80	141,30	0,054	0,001	0,051
19	180	1678,10	140,60	0,048	0,000	0,047
20	190	1677,70	140,20	0,045	0,000	0,044
21	200	1677,40	139,90	0,043	0,004	0,022

$$PB = 1537,5 \text{ g}$$

$$S = 134,1 \text{ g}$$

Tabla 26. Datos experimentales de la operación de secado de semillas de pan de árbol, en secador de bandejas con flujo de aire a 40 °C y velocidad de 4,0 m/s.

N°	t	P1	P2 = P1 - PB	Yr = (P2 - S)/S	dY/dt	Ym
	tiempo (min)	peso de soporte y bandejas + semillas al tiempo t (g)	peso de las semillas al tiempo t (g)	humedad residual (g H2O/g semillas seca)	velocidad de secado (g H2O/g ss.min)	humedad promedio (g H2O/g semillas secas)
1	0	1925,00	216,90	1,382	0,010	1,330
2	10	1915,50	207,40	1,278	0,031	1,124
3	20	1887,50	179,40	0,970	0,018	0,882
4	30	1871,50	163,40	0,795	0,019	0,697
5	40	1853,80	145,70	0,600	0,009	0,554
6	50	1845,30	137,20	0,507	0,009	0,464
7	60	1837,50	129,40	0,421	0,009	0,375
8	70	1829,00	120,90	0,328	0,006	0,298
9	80	1823,50	115,40	0,267	0,005	0,240
10	90	1818,50	110,40	0,213	0,004	0,191
11	100	1814,60	106,50	0,170	0,003	0,154
12	110	1811,80	103,70	0,139	0,003	0,126
13	120	1809,50	101,40	0,114	0,002	0,104
14	130	1807,80	99,70	0,095	0,002	0,087
15	140	1806,30	98,20	0,079	0,001	0,071
16	150	1805,00	96,90	0,064	0,001	0,060
17	160	1804,20	96,10	0,055	0,001	0,051
18	170	1803,40	95,30	0,047	0,000	0,044
19	180	1803,00	94,90	0,042	0,004	0,021

PB = 1708,1 g

S = 91,05 g

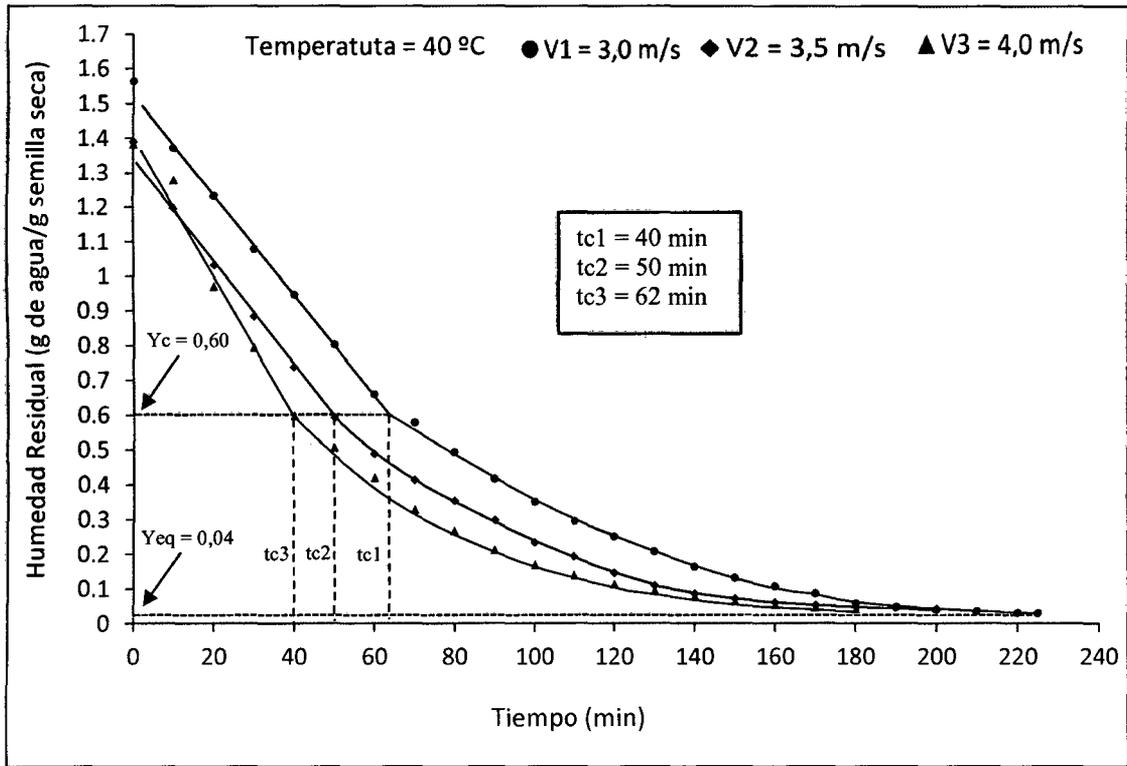


Figura 11. Humedad residual en función del tiempo ($T_1 = 40\text{ °C}$; $V_1 = 3,0\text{ m/s}$;

$V_2 = 3,5\text{ m/s}$; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$)

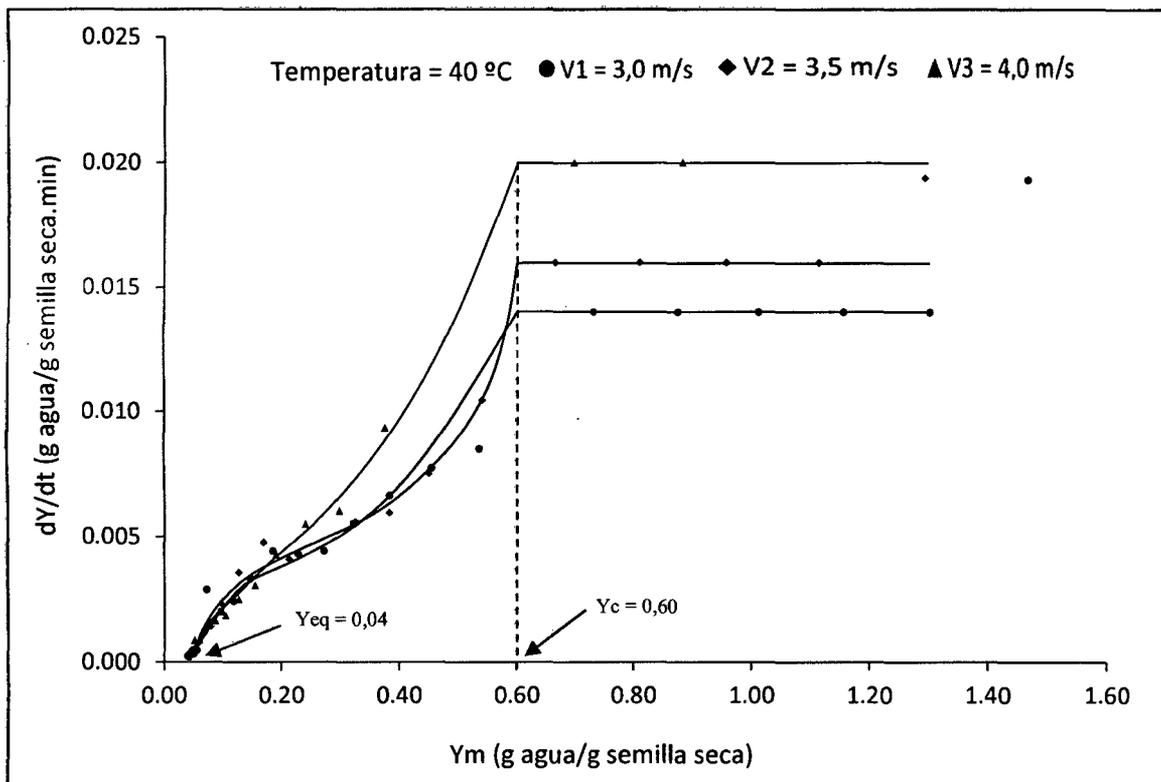


Figura 12. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ($T_1 = 40^\circ\text{C}$; $V = 3,0; 3,5$ y $4,0$ m/s).

Análisis de regresión lineal con el SPSS ($T_1 = 40^\circ\text{C}$; $V_1 = 3,0$ m/s)

Tabla 27. Resumen del modelo de regresión lineal ($T_1 = 40^\circ\text{C}$; $V_1 = 3,0$ m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,999	0,998	0,997	0,017

La variable independiente es tiempo.

Tabla 28. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,611	1	0,611	2106,990	0,000
Residual	0,001	5	0,000		
Total	0,612	6			

La variable independiente es tiempo.

Tabla 29. Coeficientes de la ecuación lineal (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
tiempo	-0,015	0,000	-0,999	-45,902	0,000
(Constante)	1,536	0,012		132,417	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,015x + 1,536$

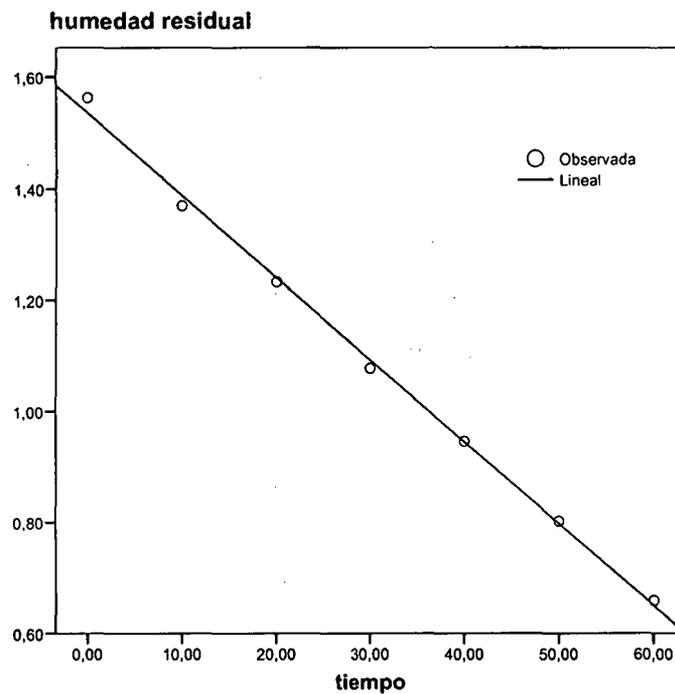


Figura 13. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s).

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

Tabla 30. Resumen del modelo de regresión exponencial (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,994	0,988	0,987	0,111

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 31. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial
(T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	16,220	1	16,220	1312,576	0,000
Residual	0,198	16	0,012		
Total	16,417	17			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 32 Coeficientes de la ecuación exponencial (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,018	0,001	-0,994	-36,229	0,000
(Constante)	2,119	0,166		12,782	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 2,119e^{(-0,018x)}$

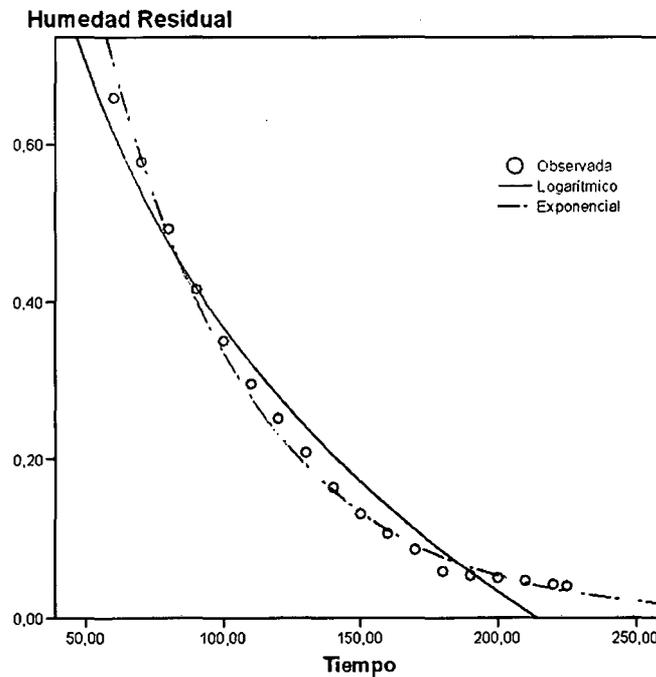


Figura 14. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s).

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

Tabla 33. Resumen del modelo de regresión lineal (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,998	0,997	0,996	0,019

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 34. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal

(T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,433	1	0,433	1223,358	,000
Residual	0,001	4	0,000		
Total	0,435	5			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 35. Coeficientes de la ecuación lineal (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,016	0,000	-0,998	-34,977	0,000
(Constante)	1,365	0,014		100,234	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,016x + 1,365$

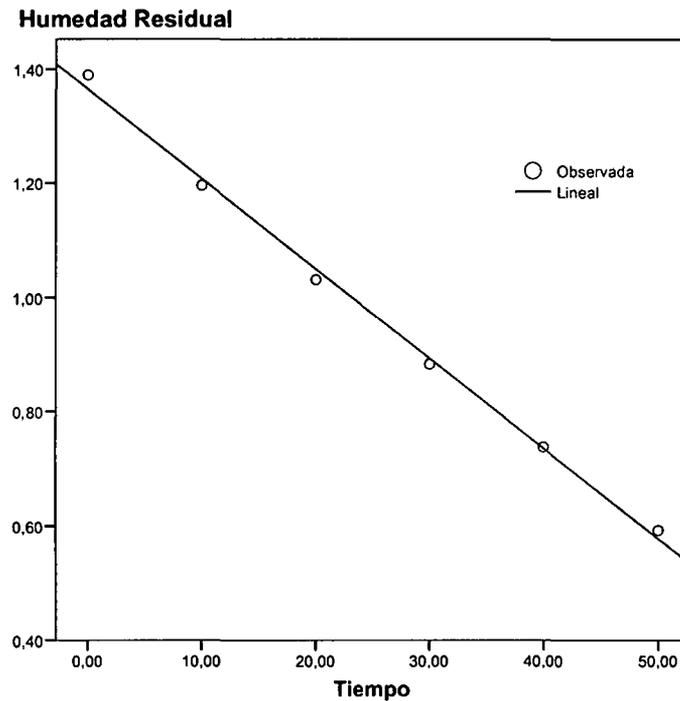


Figura 15. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).

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

Tabla 36. Resumen del modelo de regresión exponencial (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,991	0,983	0,982	0,125

La variable independiente es Tiempo.

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

(T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	12,538	1	12,538	805,167	0,000
Residual	0,218	14	0,016		
Total	12,756	15			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 38. Coeficientes de la ecuación exponencial (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,019	0,001	-0,991	-28,375	0,000
(Constante)	1,522	0,137		11,091	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 1,522e^{(-0,019x)}$

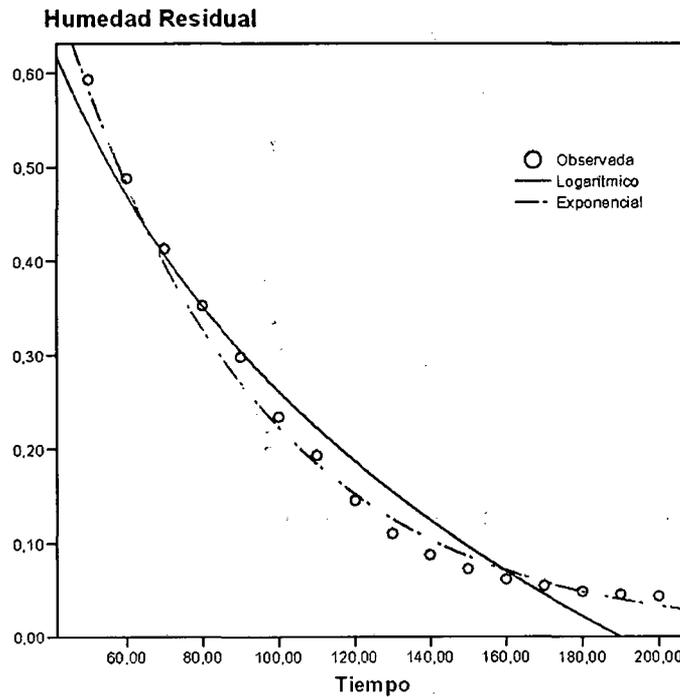


Figura 16. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).

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

Tabla 39. Resumen del modelo de regresión lineal (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,992	0,984	0,978	0,048

La variable independiente es Tiempo.

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

(T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,419	1	0,419	179,912	0,001
Residual	0,007	3	0,002		
Total	0,426	4			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 41. Coeficientes de la ecuación lineal (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,020	0,002	-0,992	-13,413	0,001
(Constante)	1,414	0,037		37,836	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,020x + 1,414$

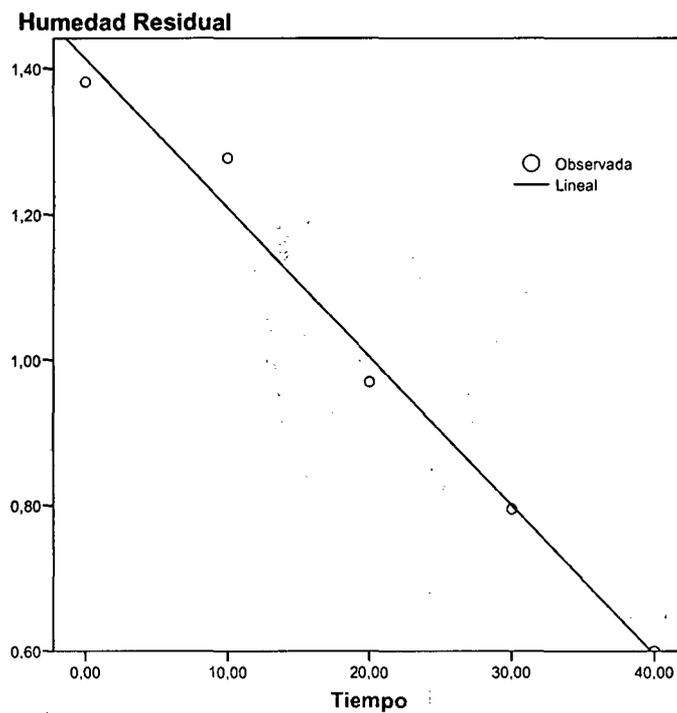


Figura 17. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).

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

Tabla 42. Resumen del modelo de regresión exponencial (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,998	0,996	0,996	0,056

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 43. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial

(T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	10,908	1	10,908	3507,749	0,000
Residual	0,040	13	0,003		
Total	10,949	14			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 44. Coeficientes de la ecuación exponencial (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo (Constante)	-0,020	0,000	-0,998	-59,226	0,000
	1,292	0,051		25,390	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 1,292e^{(-0,020x)}$

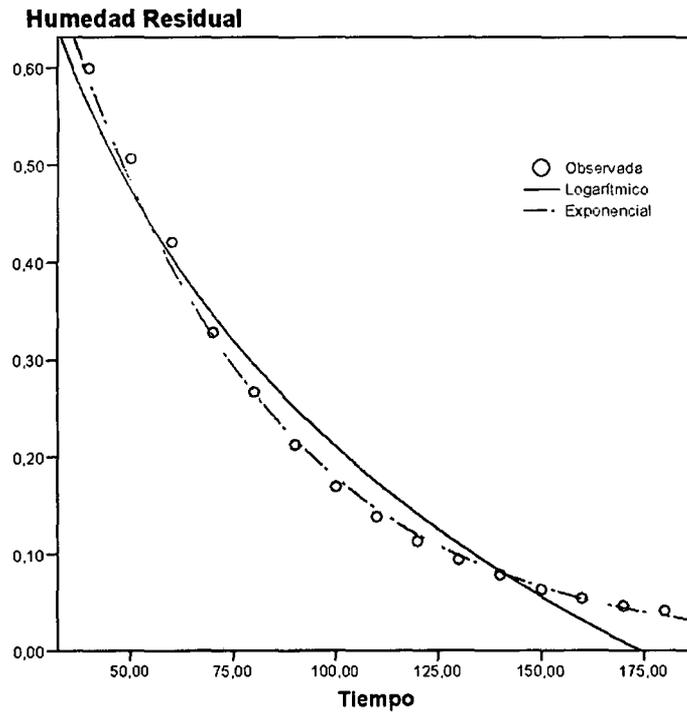


Figura 18. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).

ANEXO 8

Resultados de las corridas experimentales de secado de semillas de pan de árbol realizadas con aire a 50 °C y velocidades de 3,0, 3,5 y 4,0 m/s

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

Nº	t	P1	P2 = P1 - PB	Y _r = (P2 - S)/S	dY/dt	Y _m
	tiempo (min)	peso de soporte y bandejas + semillas al tiempo t (g)	peso de las semillas al tiempo t (g)	humedad residual (g H ₂ O/g semillas seca)	velocidad de secado (g H ₂ O/g ss.min)	humedad promedio (g H ₂ O/g semillas secas)
1	0	1920,50	212,40	1,436	0,018	1,390
2	5	1912,50	204,40	1,344	0,034	1,258
3	10	1897,50	189,40	1,172	0,019	1,123
4	15	1889,00	180,90	1,075	0,025	1,011
5	20	1878,00	169,90	0,948	0,021	0,897
6	25	1869,00	160,90	0,845	0,020	0,795
7	30	1860,20	152,10	0,744	0,017	0,703
8	35	1853,00	144,90	0,662	0,013	0,630
9	40	1847,50	139,40	0,599	0,015	0,561
10	45	1841,00	132,90	0,524	0,013	0,493
11	50	1835,50	127,40	0,461	0,011	0,435
12	55	1830,90	122,80	0,408	0,009	0,385
13	60	1826,80	118,70	0,361	0,008	0,340
14	65	1823,10	115,00	0,319	0,007	0,302
15	70	1820,20	112,10	0,286	0,008	0,266
16	75	1816,80	108,70	0,247	0,004	0,236
17	80	1814,90	106,80	0,225	0,004	0,214
18	85	1813,00	104,90	0,203	0,004	0,193
19	90	1811,20	103,10	0,182	0,005	0,170
20	95	1809,10	101,00	0,158	0,002	0,153
21	100	1808,10	100,00	0,147	0,003	0,140
22	105	1807,00	98,90	0,134	0,003	0,128
23	110	1805,90	97,80	0,122	0,003	0,115
24	115	1804,80	96,70	0,109	0,001	0,106
25	120	1804,30	96,20	0,103	0,002	0,099
26	125	1803,60	95,50	0,095	0,002	0,091
27	130	1802,80	94,70	0,086	0,001	0,083
28	135	1802,30	94,20	0,080	0,001	0,077
29	140	1801,80	93,70	0,075	0,001	0,072
30	145	1801,30	93,20	0,069	0,001	0,067
31	150	1800,90	92,80	0,064	0,001	0,062
32	155	1800,50	92,40	0,060	0,001	0,058
33	160	1800,20	92,10	0,056	0,001	0,054
34	165	1799,90	91,80	0,053	0,000	0,052
35	170	1799,70	91,60	0,050	0,000	0,049
36	175	1799,50	91,40	0,048	0,000	0,048
37	180	1799,30	91,20	0,046	0,000	0,045
38	185	1799,10	91,00	0,044	0,000	0,043
39	190	1799,00	90,90	0,042	0,008	0,021

PB = 1708,1 g

S = 87,2 g

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

Nº	t	P1	P2 = P1 - PB	Yr = (P2 - S)/S	dY/dt	Ym
	tiempo (min)	peso de soporte y bandejas + semillas al tiempo t (g)	peso de las semillas al tiempo t (g)	humedad residual (g H2O/g semillas seca)	velocidad de secado (g H2O/g ss.min)	humedad promedio (g H2O/g semillas secas)
1	0	1946,00	237,90	1,265	0,035	1,177
2	5	1927,50	219,40	1,089	0,029	1,016
3	10	1912,20	204,10	0,943	0,021	0,891
4	15	1901,20	193,10	0,838	0,018	0,794
5	20	1892,00	183,90	0,751	0,019	0,703
6	25	1882,00	173,90	0,655	0,017	0,613
7	30	1873,00	164,90	0,570	0,015	0,532
8	35	1865,00	156,90	0,494	0,016	0,453
9	40	1856,50	148,40	0,413	0,006	0,398
10	45	1853,50	145,40	0,384	0,009	0,361
11	50	1848,60	140,50	0,337	0,007	0,319
12	55	1844,70	136,60	0,300	0,006	0,285
13	60	1841,50	133,40	0,270	0,005	0,257
14	65	1838,70	130,60	0,243	0,005	0,231
15	70	1836,10	128,00	0,218	0,004	0,208
16	75	1834,00	125,90	0,198	0,004	0,189
17	80	1832,00	123,90	0,179	0,004	0,170
18	85	1830,00	121,90	0,160	0,003	0,153
19	90	1828,50	120,40	0,146	0,002	0,141
20	95	1827,50	119,40	0,137	0,002	0,132
21	100	1826,60	118,50	0,128	0,002	0,123
22	105	1825,60	117,50	0,119	0,002	0,113
23	110	1824,50	116,40	0,108	0,001	0,105
24	115	1823,90	115,80	0,102	0,001	0,099
25	120	1823,20	115,10	0,096	0,001	0,092
26	125	1822,50	114,40	0,089	0,001	0,086
27	130	1821,80	113,70	0,082	0,002	0,079
28	135	1821,00	112,90	0,075	0,001	0,072
29	140	1820,50	112,40	0,070	0,001	0,068
30	145	1820,00	111,90	0,065	0,001	0,062
31	150	1819,40	111,30	0,059	0,001	0,057
32	155	1818,90	110,80	0,055	0,001	0,053
33	160	1818,50	110,40	0,051	0,001	0,050
34	165	1818,20	110,10	0,048	0,001	0,047
35	170	1817,90	109,80	0,045	0,001	0,044
36	175	1817,60	109,50	0,042	0,000	0,041
37	180	1817,40	109,30	0,040	0,008	0,020

PB = 1708,1 g

S = 105,05 g

Tabla 47. Datos experimentales de la operación de secado de semillas de pan de árbol, en secador de bandejas con flujo de aire a 50 °C y velocidad de 4,0 m/s.

Nº	t	P1	P2 = P1 - PB	Yr = (P2 - S)/S	dY/dt	Ym
	tiempo (min)	peso de soporte y bandejas + semillas al tiempo t (g)	peso de las semillas al tiempo t (g)	humedad residual (g H ₂ O/g semillas seca)	velocidad de secado (g H ₂ O/g ss.min)	humedad promedio (g H ₂ O/g semillas secas)
1	0	1932,00	223,90	1,365	0,032	1,286
2	5	1917,00	208,90	1,207	0,029	1,135
3	10	1903,50	195,40	1,064	0,027	0,995
4	15	1890,50	182,40	0,927	0,046	0,810
5	20	1868,50	160,40	0,694	0,017	0,652
6	25	1860,50	152,40	0,610	0,013	0,577
7	30	1854,30	146,20	0,544	0,009	0,522
8	35	1850,00	141,90	0,499	0,007	0,480
9	40	1846,50	138,40	0,462	0,006	0,446
10	45	1843,50	135,40	0,430	0,011	0,404
11	50	1838,50	130,40	0,377	0,010	0,352
12	55	1833,60	125,50	0,326	0,007	0,309
13	60	1830,50	122,40	0,293	0,009	0,271
14	65	1826,30	118,20	0,249	0,006	0,233
15	70	1823,30	115,20	0,217	0,003	0,210
16	75	1822,00	113,90	0,203	0,006	0,187
17	80	1819,00	110,90	0,171	0,003	0,164
18	85	1817,50	109,40	0,156	0,002	0,150
19	90	1816,40	108,30	0,144	0,003	0,137
20	95	1815,00	106,90	0,129	0,002	0,124
21	100	1814,10	106,00	0,120	0,002	0,114
22	105	1813,00	104,90	0,108	0,002	0,103
23	110	1812,00	103,90	0,097	0,001	0,095
24	115	1811,50	103,40	0,092	0,001	0,090
25	120	1811,00	102,90	0,087	0,001	0,084
26	125	1810,50	102,40	0,082	0,001	0,079
27	130	1810,00	101,90	0,076	0,001	0,073
28	135	1809,30	101,20	0,069	0,001	0,066
29	140	1808,80	100,70	0,064	0,001	0,062
30	145	1808,50	100,40	0,061	0,001	0,059
31	150	1808,20	100,10	0,057	0,001	0,056
32	155	1807,90	99,80	0,054	0,000	0,053
33	160	1807,50	99,40	0,050	0,000	0,048
34	165	1807,20	99,10	0,047	0,000	0,046
35	170	1807,00	98,90	0,045	0,000	0,044
36	175	1806,80	98,70	0,043	0,009	0,021

PB = 1708,1 g

S = 94,67 g

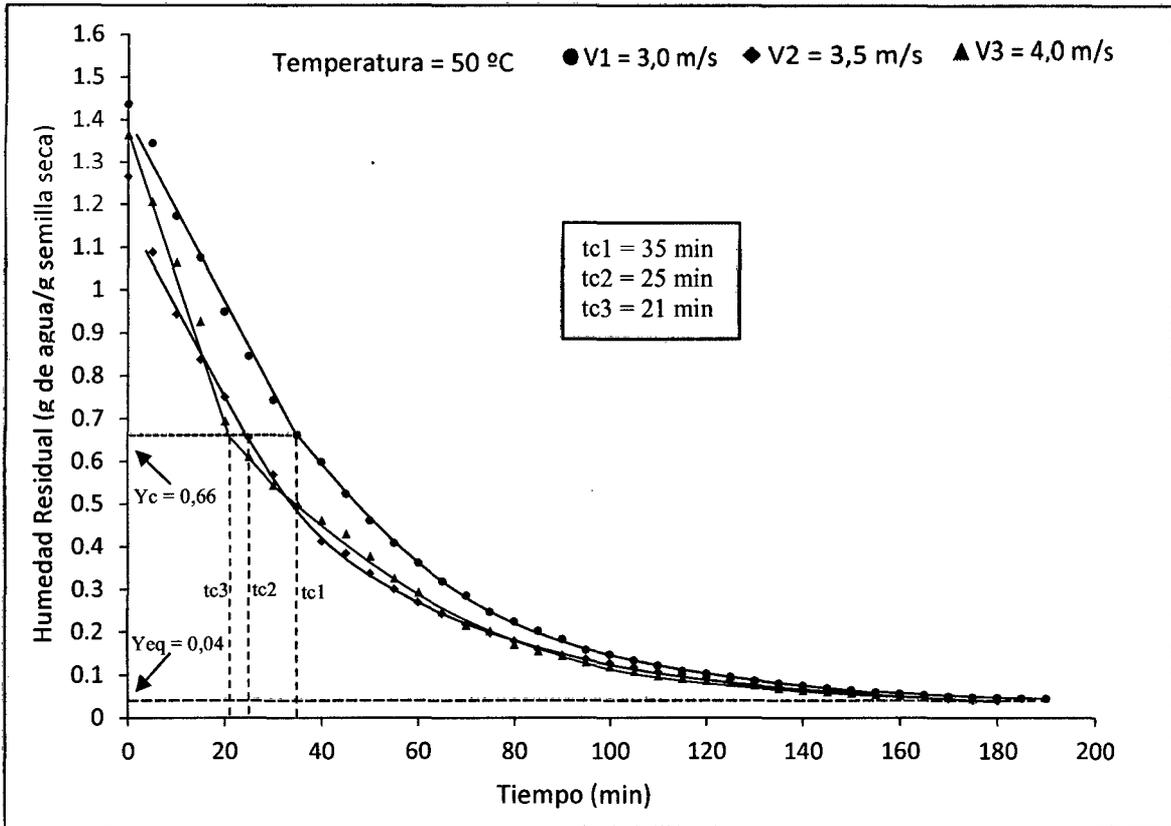


Figura 19. Humedad residual en función del tiempo ($T_2 = 50\text{ °C}$; $V_1 = 3,0\text{ m/s}$;

$V_2 = 3,5\text{ m/s}$; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$

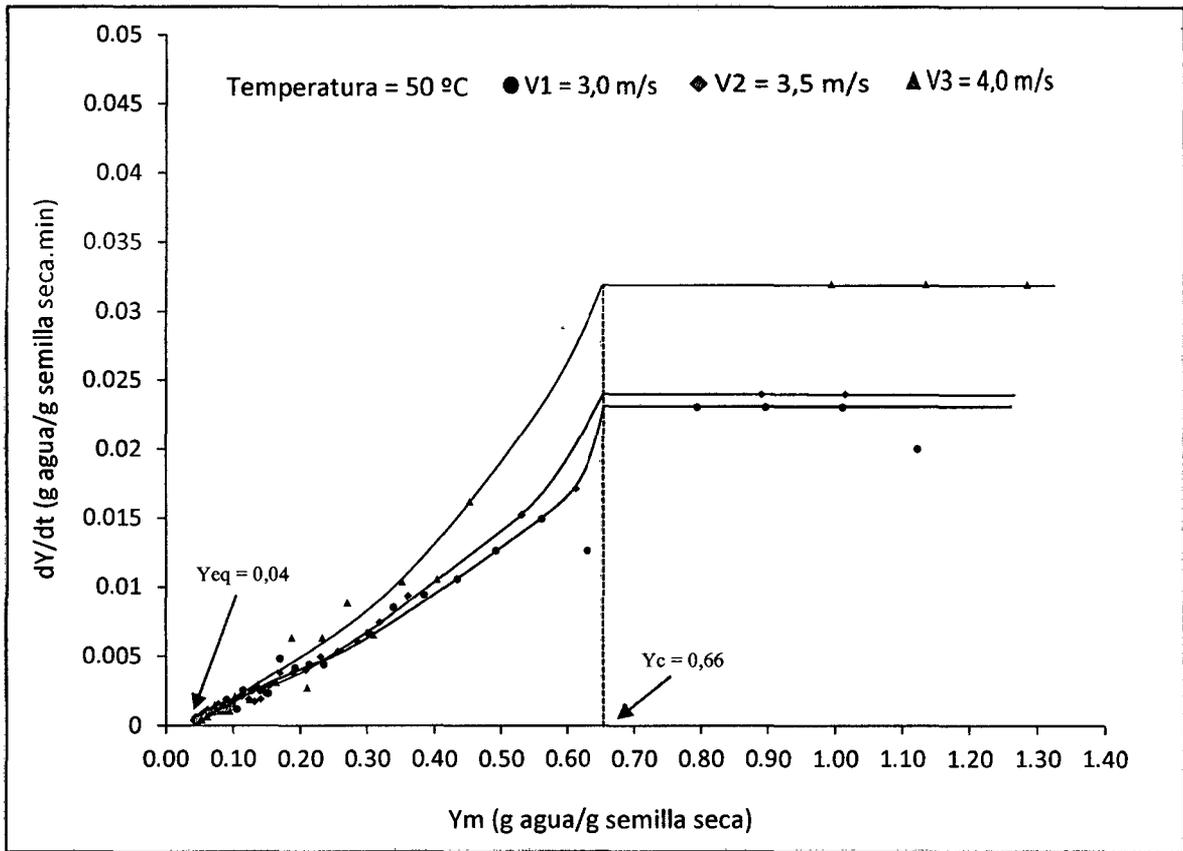


Figura 20. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V = 3,0; 3,5$ y $4,0$ m/s)

Análisis de regresión lineal con SPSS ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_1 = 3,0$ m/s)

Tabla 48. Resumen del modelo de regresión lineal ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_1 = 3,0$ m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,997	0,993	0,992	0,025

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 49. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $V_1 = 3,0$ m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,540	1	0,540	895,613	0,000
Residual	0,004	6	0,001		
Total	0,544	7			

La variable independiente es Tiempo.

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

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,023	0,001	-0,997	-29,927	0,000
(Constante)	1,425	0,016		89,903	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,023x + 1,425$

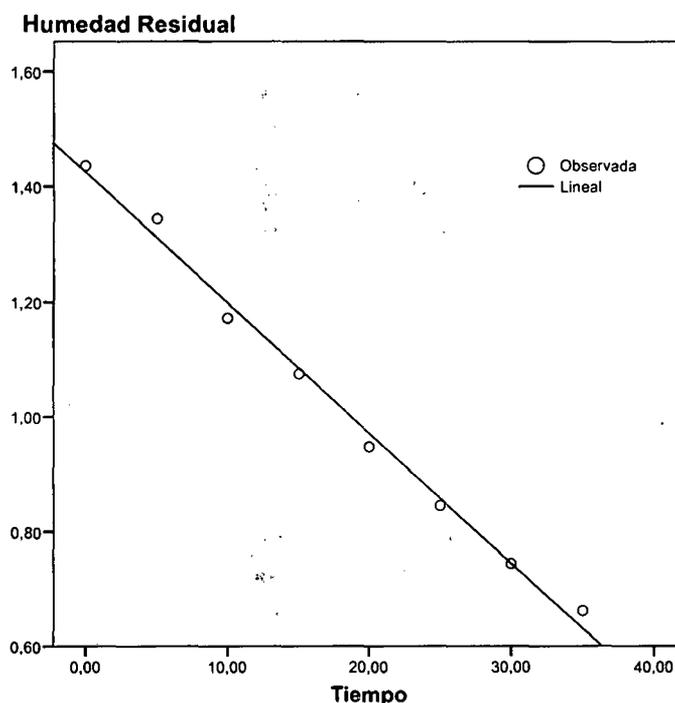


Figura 21. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; V1 = 3,0 m/s).

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

Tabla 51. Resumen del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C; V1 = 3,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,990	0,980	0,980	0,123

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 52. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial
(T2 = 50 °C; V1 = 3,0 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	22,268	1	22,268	1482,969	0,000
Residual	0,450	30	0,015		
Total	22,719	31			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 53. Coeficientes de la ecuación exponencial (T2 = 50 °C; V1 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Sig.
	B	Error típico	Beta	t	
Tiempo	-0,018	0,000	-0,990	-38,509	0,000
(Constante)	1,014	0,058		17,525	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 1,014e^{(-0,018x)}$

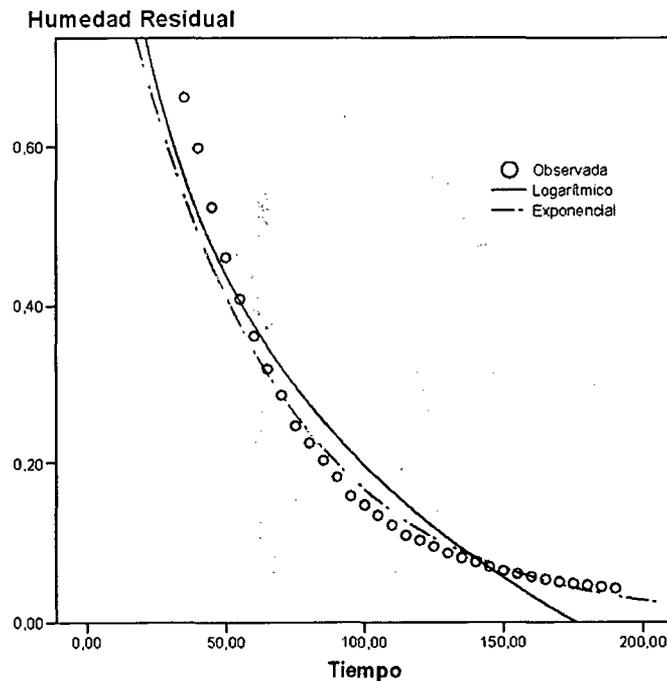


Figura 22. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T2 = 50 °C; V1 = 3,0 m/s).

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

Tabla 54. Resumen del modelo de regresión lineal (T2 = 50 °C; V2 = 3,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,990	0,979	0,974	0,036

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 55. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal

(T2 = 50 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,248	1	0,248	188,897	0,000
Residual	0,005	4	0,001		
Total	0,254	5			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 56. Coeficientes de la ecuación lineal (T2 = 50 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-,024	,002	-,990	-13,744	,000
(Constante)	1,221	,026		46,544	,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,024x + 1,221$

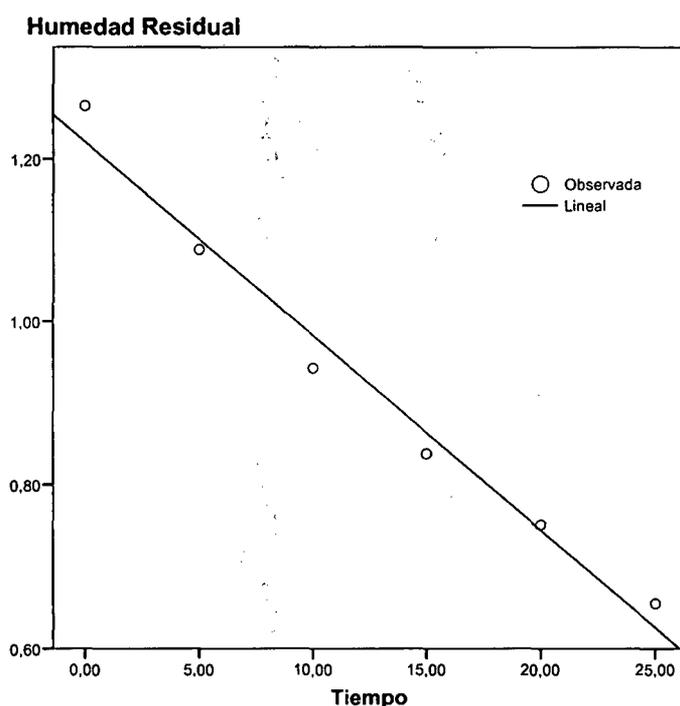


Figura 23. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; V2 = 3,5 m/s).

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

Tabla 57. Resumen del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C; V2 = 3,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,994	0,988	0,987	0,092

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 58. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	20,684	1	20,684	2429,189	0,000
Residual	0,255	30	0,009		
Total	20,939	31			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 59. Coeficientes de la ecuación exponencial (T2 = 50 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,017	0,000	-0,994	-49,287	0,000
(Constante)	0,798	0,032		25,175	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 0,798e^{(-0,017x)}$

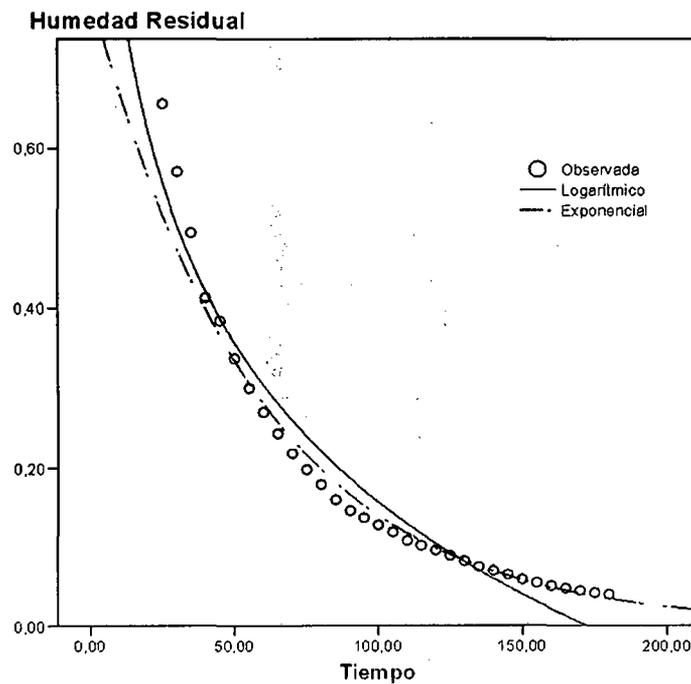


Figura 24. Representación de los datos experimentales (○), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (-.-) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T2 = 50 °C; V2 = 3,5 m/s).

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

Tabla 60. Resumen del modelo de regresión lineal (T2 = 50 °C; V3 = 4,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,995	0,989	0,986	0,031

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 6. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal

(T2 = 50 °C; V3 = 4,0 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,263	1	0,263	278,224	0,000
Residual	0,003	3	0,001		
Total	0,266	4			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 62. Coeficientes de la ecuación lineal (T2 = 50 °C; V3 = 4,0m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,032	0,002	-0,995	-16,680	0,000
(Constante)	1,376	0,024		57,760	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,032x + 1,376$

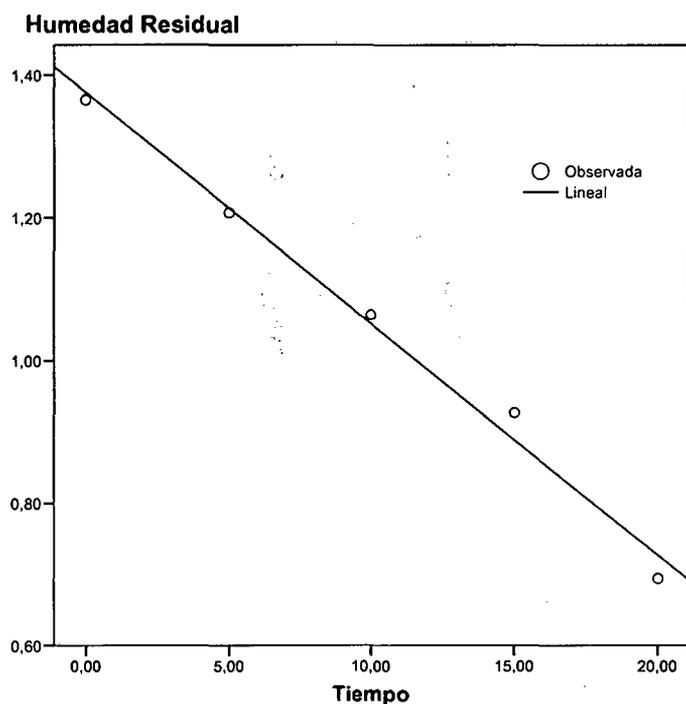


Figura 25. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; V3 = 4,0 m/s).

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

Tabla 63. Resumen del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C; V3 = 4,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,991	0,983	0,982	0,115

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 64. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial

(T2 = 50 °C; V3 = 4,0 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	23,153	1	23,153	1737,843	0,000
Residual	0,400	30	0,013		
Total	23,553	31			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 65. Coeficientes de la ecuación exponencial (T2 = 50 °C; V3 = 4,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo (Constante)	-0,018	0,000	-0,991	-41,687	0,000
	0,865	0,041		20,973	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 0,865e^{(-0,018x)}$

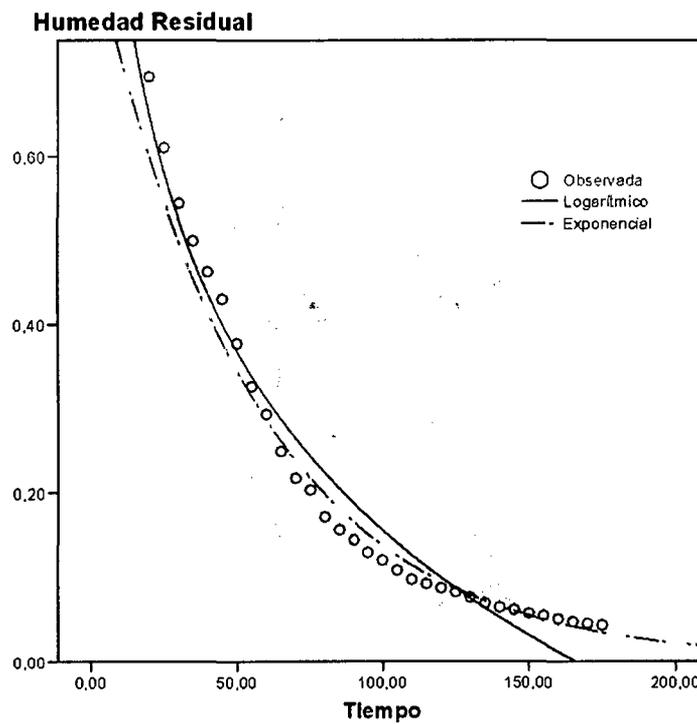


Figura 26. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T2 = 50 °C; V3 = 4,0 m/s).

ANEXO 9

Resultados de las corridas experimentales de secado de semillas de pan de árbol realizadas con aire a 60 °C y velocidades de 3,0, 3,5 y 4,0 m/s

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

N°	t	P1	P2 = P1 - PB	Yr = (P2 - S)/S	dY/dt	Ym
	tiempo (min)	peso de soporte y bandejas + semillas al tiempo t (g)	peso de las semillas al tiempo t (g)	humedad residual (g H2O/g semillas seca)	velocidad de secado (g H2O/g ss.min)	humedad promedio (g H2O/g semillas secas)
1	0	1927,00	218,90	1,390	0,025	1,327
2	5	1915,50	207,40	1,264	0,022	1,210
3	10	1905,50	197,40	1,155	0,023	1,098
4	15	1895,00	186,90	1,040	0,027	0,972
5	20	1882,50	174,40	0,904	0,017	0,862
6	25	1874,80	166,70	0,820	0,024	0,761
7	30	1864,00	155,90	0,702	0,017	0,658
8	35	1856,00	147,90	0,615	0,016	0,574
9	40	1848,50	140,40	0,533	0,016	0,492
10	45	1841,00	132,90	0,451	0,012	0,420
11	50	1835,30	127,20	0,389	0,012	0,360
12	55	1830,00	121,90	0,331	0,008	0,311
13	60	1826,30	118,20	0,290	0,007	0,273
14	65	1823,20	115,10	0,257	0,007	0,240
15	70	1820,20	112,10	0,224	0,005	0,211
16	75	1817,80	109,70	0,198	0,004	0,187
17	80	1815,80	107,70	0,176	0,005	0,163
18	85	1813,50	105,40	0,151	0,003	0,144
19	90	1812,30	104,20	0,138	0,003	0,130
20	95	1811,00	102,90	0,123	0,002	0,118
21	100	1810,10	102,00	0,114	0,001	0,110
22	105	1809,50	101,40	0,107	0,002	0,102
23	110	1808,60	100,50	0,097	0,001	0,094
24	115	1808,00	99,90	0,091	0,001	0,088
25	120	1807,50	99,40	0,085	0,001	0,082
26	125	1807,00	98,90	0,080	0,001	0,078
27	130	1806,60	98,50	0,075	0,001	0,073
28	135	1806,20	98,10	0,071	0,001	0,068
29	140	1805,60	97,50	0,064	0,001	0,061
30	145	1805,00	96,90	0,058	0,001	0,055
31	150	1804,50	96,40	0,052	0,001	0,051
32	155	1804,20	96,10	0,049	0,000	0,048
33	160	1804,00	95,90	0,047	0,000	0,046
34	165	1803,80	95,70	0,045	0,000	0,044
35	170	1803,70	95,60	0,044	0,009	0,022

PB = 1708,1 g

S = 91,6 g

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

Nº	t	P1	P2 = P1 - PB	Yr = (P2 - S)/S	dY/dt	Ym
	tiempo (min)	peso de soporte y bandejas + semillas al tiempo t (g)	peso de las semillas al tiempo t (g)	humedad residual (g H2O/g semillas seca)	velocidad de secado (g H2O/g ss.min)	humedad promedio (g H2O/g semillas secas)
1	0	1909,50	201,40	1,394	0,027	1,326
2	5	1898,00	189,90	1,257	0,037	1,165
3	10	1882,50	174,40	1,073	0,031	0,996
4	15	1869,50	161,40	0,919	0,029	0,847
5	20	1857,50	149,40	0,776	0,023	0,720
6	25	1848,00	139,90	0,663	0,021	0,610
7	30	1839,00	130,90	0,556	0,017	0,515
8	35	1832,00	123,90	0,473	0,018	0,429
9	40	1824,60	116,50	0,385	0,010	0,359
10	45	1820,20	112,10	0,333	0,010	0,308
11	50	1816,00	107,90	0,283	0,006	0,268
12	55	1813,50	105,40	0,253	0,006	0,238
13	60	1811,00	102,90	0,223	0,006	0,208
14	65	1808,50	100,40	0,194	0,004	0,185
15	70	1807,00	98,90	0,176	0,004	0,166
16	75	1805,40	97,30	0,157	0,003	0,149
17	80	1804,10	96,00	0,141	0,001	0,138
18	85	1803,50	95,40	0,134	0,002	0,128
19	90	1802,50	94,40	0,122	0,002	0,116
20	95	1801,50	93,40	0,110	0,002	0,106
21	100	1800,70	92,60	0,101	0,002	0,097
22	105	1800,00	91,90	0,092	0,001	0,090
23	110	1799,50	91,40	0,087	0,001	0,084
24	115	1799,00	90,90	0,081	0,001	0,078
25	120	1798,50	90,40	0,075	0,001	0,072
26	125	1798,00	89,90	0,069	0,001	0,066
27	130	1797,60	89,50	0,064	0,001	0,062
28	135	1797,30	89,20	0,060	0,001	0,058
29	140	1796,90	88,80	0,056	0,001	0,053
30	145	1796,50	88,40	0,051	0,000	0,050
31	150	1796,30	88,20	0,049	0,000	0,047
32	155	1796,10	88,00	0,046	0,000	0,045
33	160	1795,90	87,80	0,044	0,009	0,022

PB = 1708,1 g

S = 84,12 g

Tabla 68. Datos experimentales de la operación de secado de semillas de pan de árbol, en secador de bandejas con flujo de aire a 60 °C y velocidad de 4,0 m/s.

N°	t	P1	P2 = P1 - PB	Yr = (P2 - S)/S	dY/dt	Ym
	tiempo (min)	peso de soporte y bandejas + semillas al tiempo t (g)	peso de las semillas al tiempo t (g)	humedad residual (g H2O/g semillas seca)	velocidad de secado (g H2O/g ss.min)	humedad promedio (g H2O/g semillas secas)
1	0	1901,00	192,90	1,387	0,039	1,291
2	5	1885,40	177,30	1,194	0,036	1,105
3	10	1871,00	162,90	1,016	0,043	0,908
4	15	1853,50	145,40	0,800	0,029	0,726
5	20	1841,60	133,50	0,652	0,014	0,618
6	25	1836,00	127,90	0,583	0,019	0,537
7	30	1828,50	120,40	0,490	0,017	0,447
8	35	1821,50	113,40	0,403	0,012	0,373
9	40	1816,60	108,50	0,343	0,012	0,313
10	45	1811,70	103,60	0,282	0,007	0,265
11	50	1809,00	100,90	0,249	0,006	0,233
12	55	1806,40	98,30	0,217	0,007	0,200
13	60	1803,70	95,60	0,183	0,004	0,173
14	65	1802,00	93,90	0,162	0,002	0,156
15	70	1801,00	92,90	0,150	0,004	0,140
16	75	1799,40	91,30	0,130	0,002	0,124
17	80	1798,50	90,40	0,119	0,005	0,107
18	85	1796,60	88,50	0,095	0,001	0,092
19	90	1796,00	87,90	0,088	0,000	0,087
20	95	1795,90	87,80	0,087	0,001	0,084
21	100	1795,40	87,30	0,080	0,002	0,075
22	105	1794,50	86,40	0,069	0,001	0,066
23	110	1794,00	85,90	0,063	0,001	0,060
24	115	1793,50	85,40	0,057	0,001	0,055
25	120	1793,20	85,10	0,053	0,001	0,050
26	125	1792,70	84,60	0,047	0,000	0,046
27	130	1792,50	84,40	0,045	0,000	0,043
28	135	1792,30	84,20	0,042	0,008	0,021

PB = 1708,1 g

S = 80,8 g

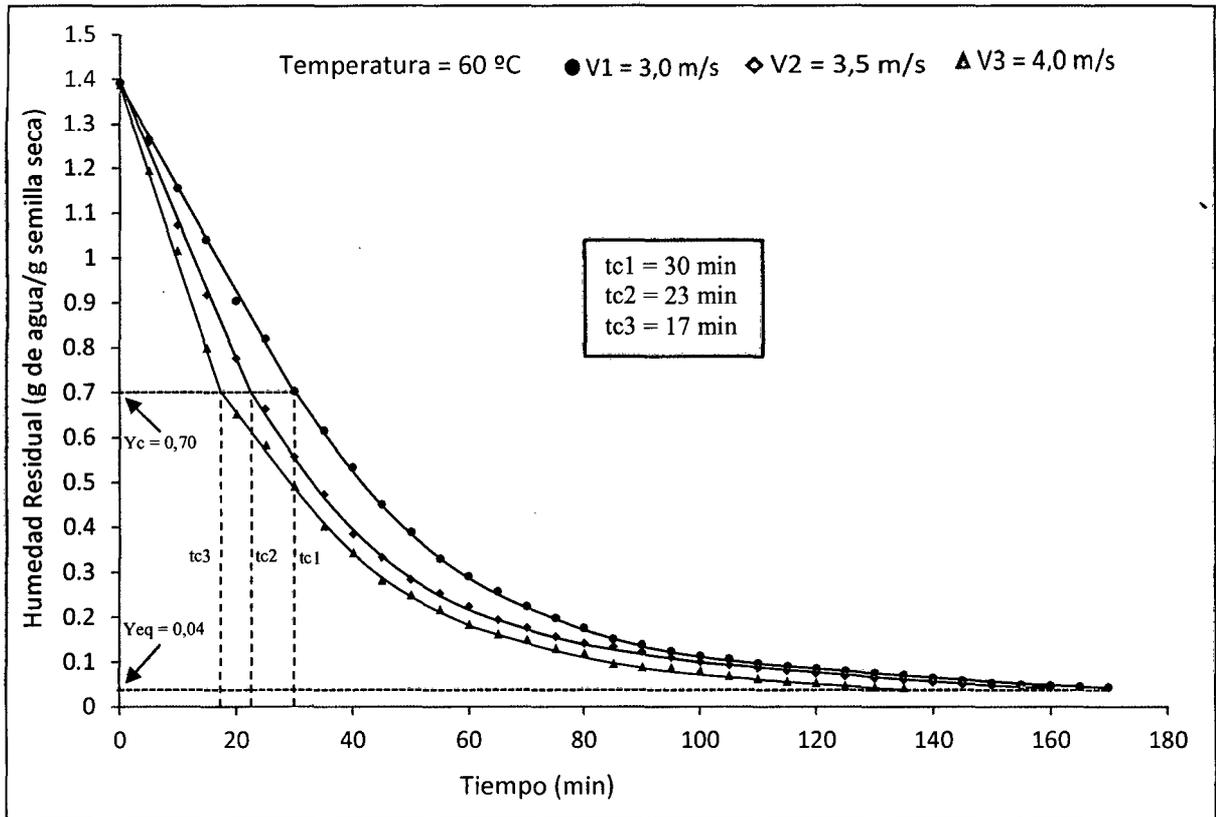


Figura 27. Humedad residual en función del tiempo ($T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$; $V_1 = 3,0\text{ m/s}$;

$V_2 = 3,5\text{ m/s}$; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$

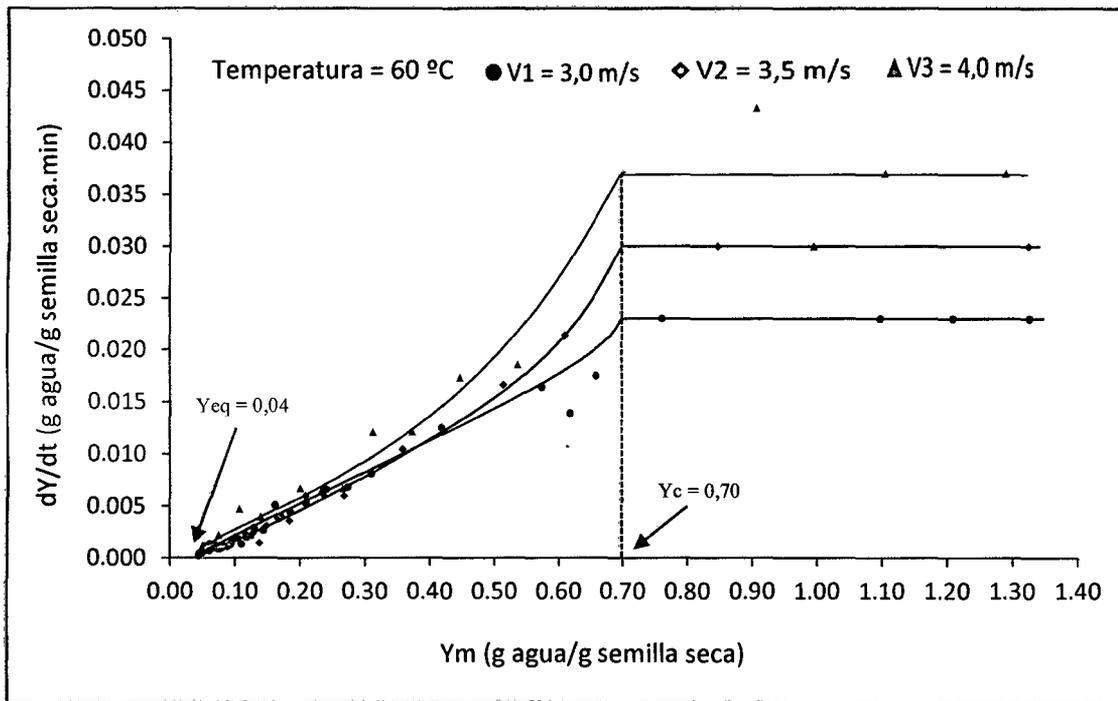


Figura 28. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ($T_3 = 60\text{ °C}$; $V = 3,0; 3,5$ y $4,0$ m/s)

Análisis de regresión lineal con SPSS ($T_3 = 60\text{ °C}$; $V_1 = 3,0$ m/s)

Tabla 69. Resumen del modelo de regresión lineal ($T_3 = 60\text{ °C}$; $V_1 = 3,0$ m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,999	0,998	0,998	0,011

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 70. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal

($T_3 = 60\text{ °C}$; $V_1 = 3,0$ m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,366	1	0,366	2875,500	0,000
Residual	0,001	5	0,000		
Total	0,367	6			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 71. Coeficientes de la ecuación lineal (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,023	0,000	-0,999	-53,624	0,000
(Constante)	1,382	0,008		179,738	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,023x + 1,382$

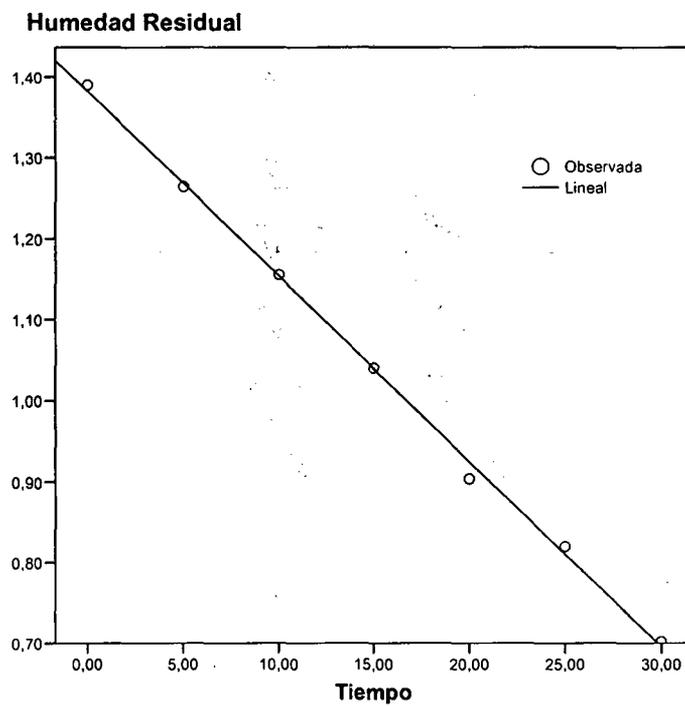


Figura 29. Representación de los datos experimentales (O) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).

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

Tabla 72. Resumen del modelo de regresión exponencial (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,987	0,974	0,973	0,140

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 73. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial
(T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	19,624	1	19,624	997,324	0,000
Residual	0,531	27	0,020		
Total	20,155	28			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 74. Coeficientes de la ecuación exponencial (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,020	0,001	-0,987	-31,580	0,000
(Constante)	0,969	0,065		14,816	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 0,969e^{(-0,020x)}$

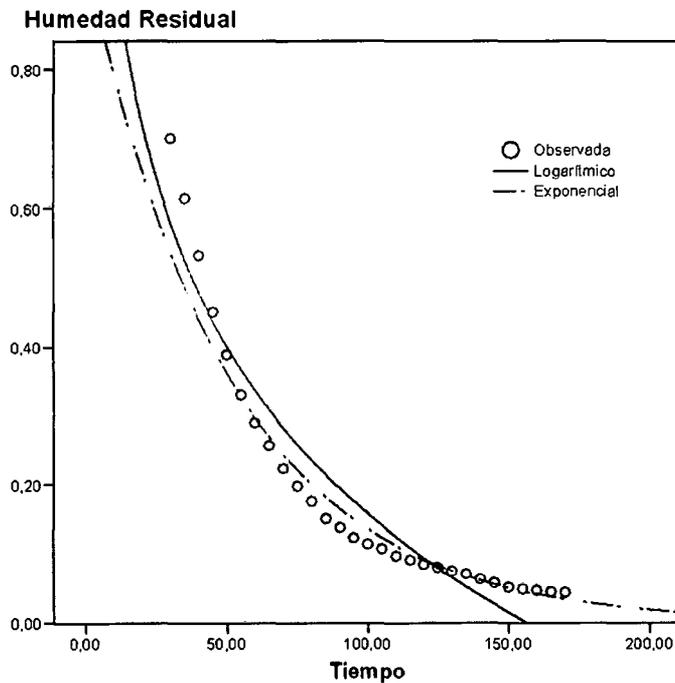


Figura 30. Representación de los datos experimentales (○), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (-.-) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).

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

Tabla 75. Resumen del modelo de regresión lineal (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,998	0,996	0,994	0,021

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 76. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal

(T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,394	1	0,394	901,059	0,000
Residual	0,002	4	0,000		
Total	0,396	5			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 77. Coeficientes de la ecuación lineal (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,030	0,001	-0,998	-30,018	0,000
(Constante)	1,389	0,015		91,761	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,030x + 1,389$

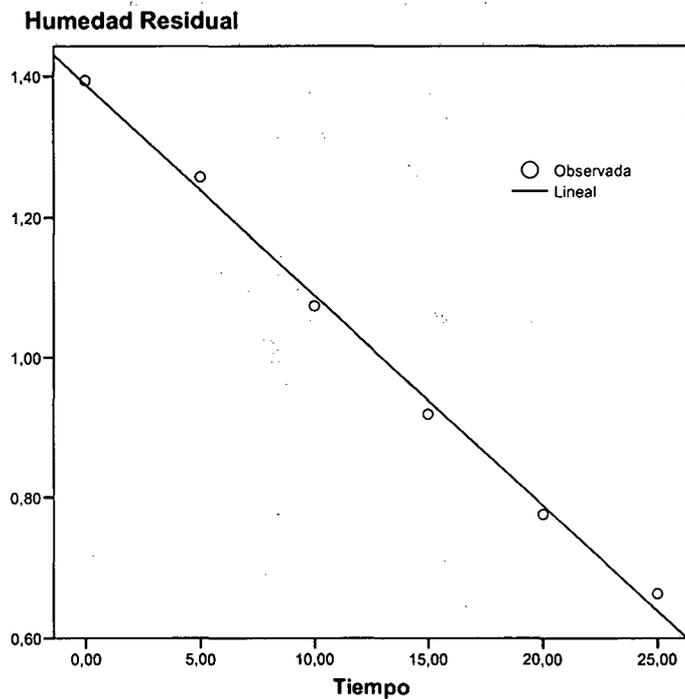


Figura 31. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).

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

Tabla 78. Resumen del modelo de regresión exponencial (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,986	0,972	0,971	0,135

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 79. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial

(T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	16,849	1	16,849	919,226	0,000
Residual	0,477	26	0,018		
Total	17,326	27			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 80. Coeficientes de la ecuación exponencial (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,019	0,001	-0,986	-30,319	0,000
(Constante)	0,772	0,049		15,640	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva logarítmica será de la forma: $y = 0,772e^{(-0,019x)}$

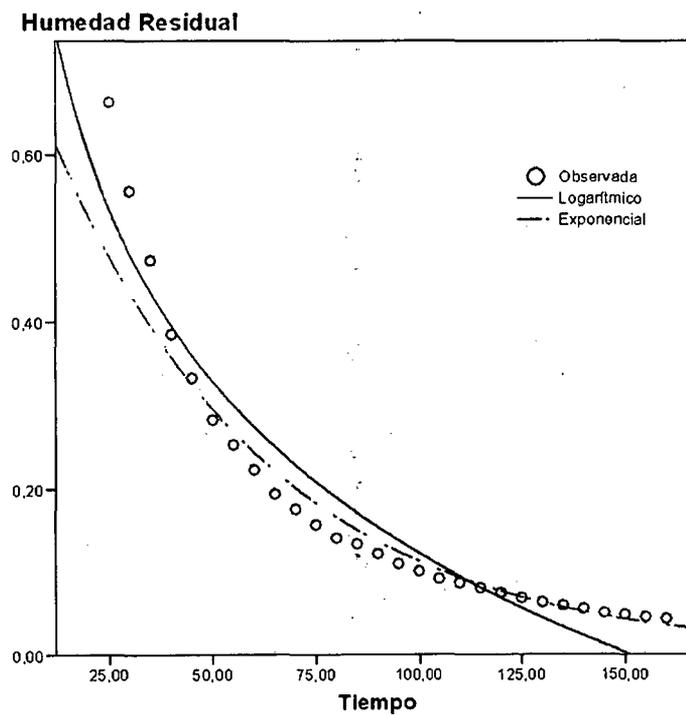


Figura 32. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).

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

Tabla 81. Resumen del modelo de regresión lineal (T3 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,999	0,998	0,997	0,017

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 82. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal

(T3 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,347	1	0,347	1248,023	0,000
Residual	0,001	3	0,000		
Total	0,348	4			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 83. Coeficientes de la ecuación lineal (T3 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,037	0,001	-0,999	-35,327	0,000
(Constante)	1,383	0,013		106,976	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,037x + 1,383$

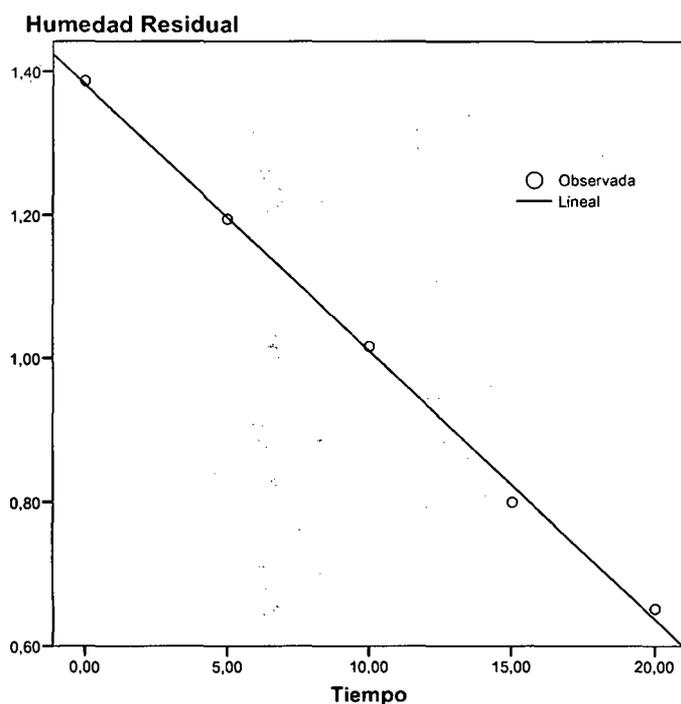


Figura 33. Representación de los datos experimentales (O) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T3 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s).

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

Tabla 84. Resumen del modelo de regresión exponencial (T1 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,991	0,983	0,982	0,115

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 85. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial

(T3 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	16,454	1	16,454	1236,703	0,000
Residual	0,293	22	0,013		
Total	16,746	23			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 86. Coeficientes de la ecuación logarítmica (T3 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,024	0,001	-0,991	-35,167	0,000
(Constante)	0,873	0,050		17,319	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 0,873e^{(-0,024x)}$

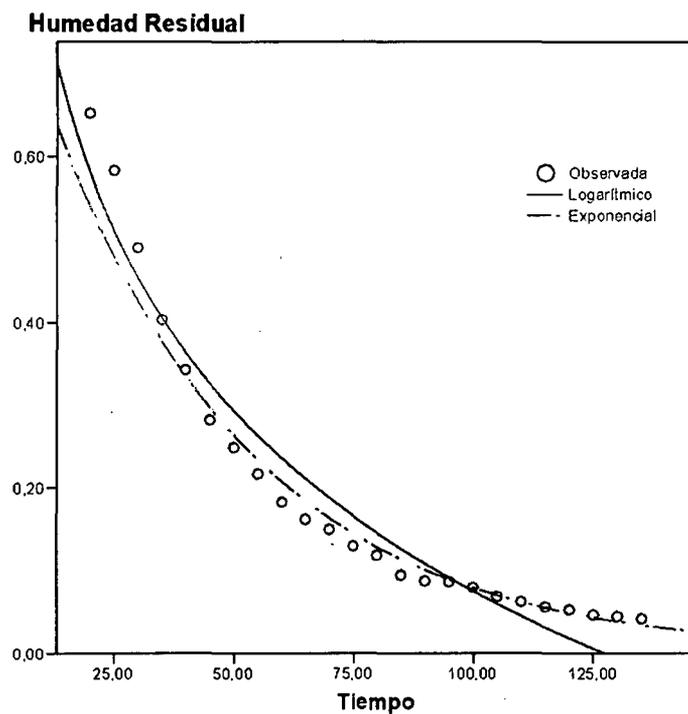
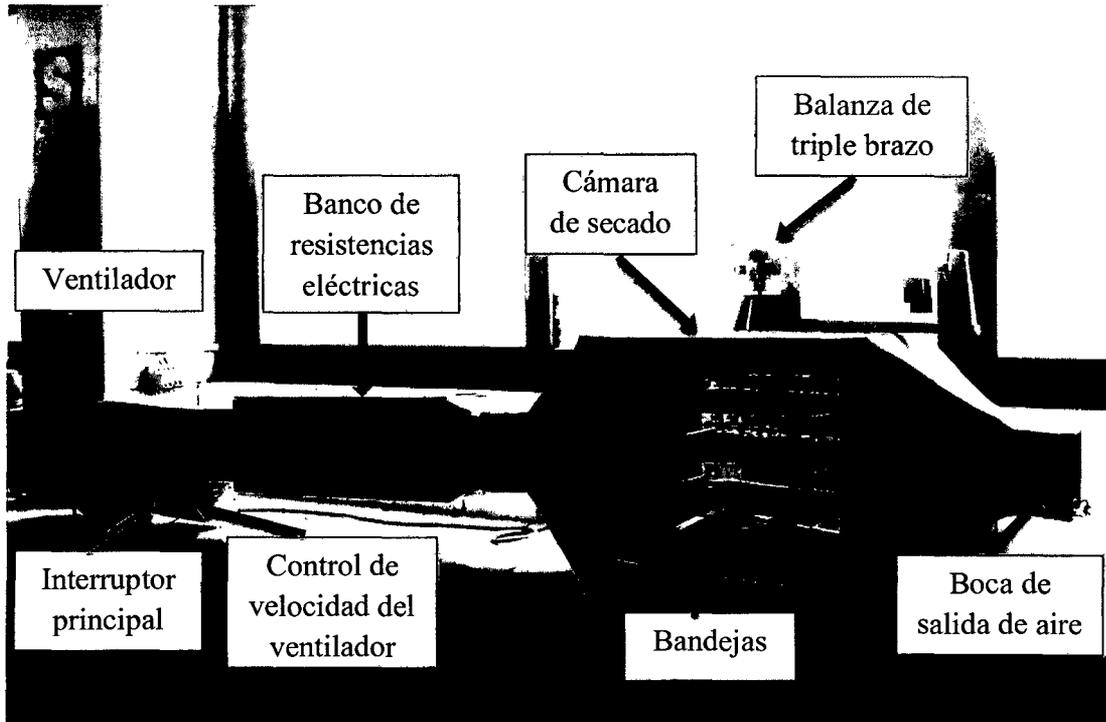


Figura 34. Representación de los datos experimentales (○), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (-.-) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T3 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s).

ANEXO 10

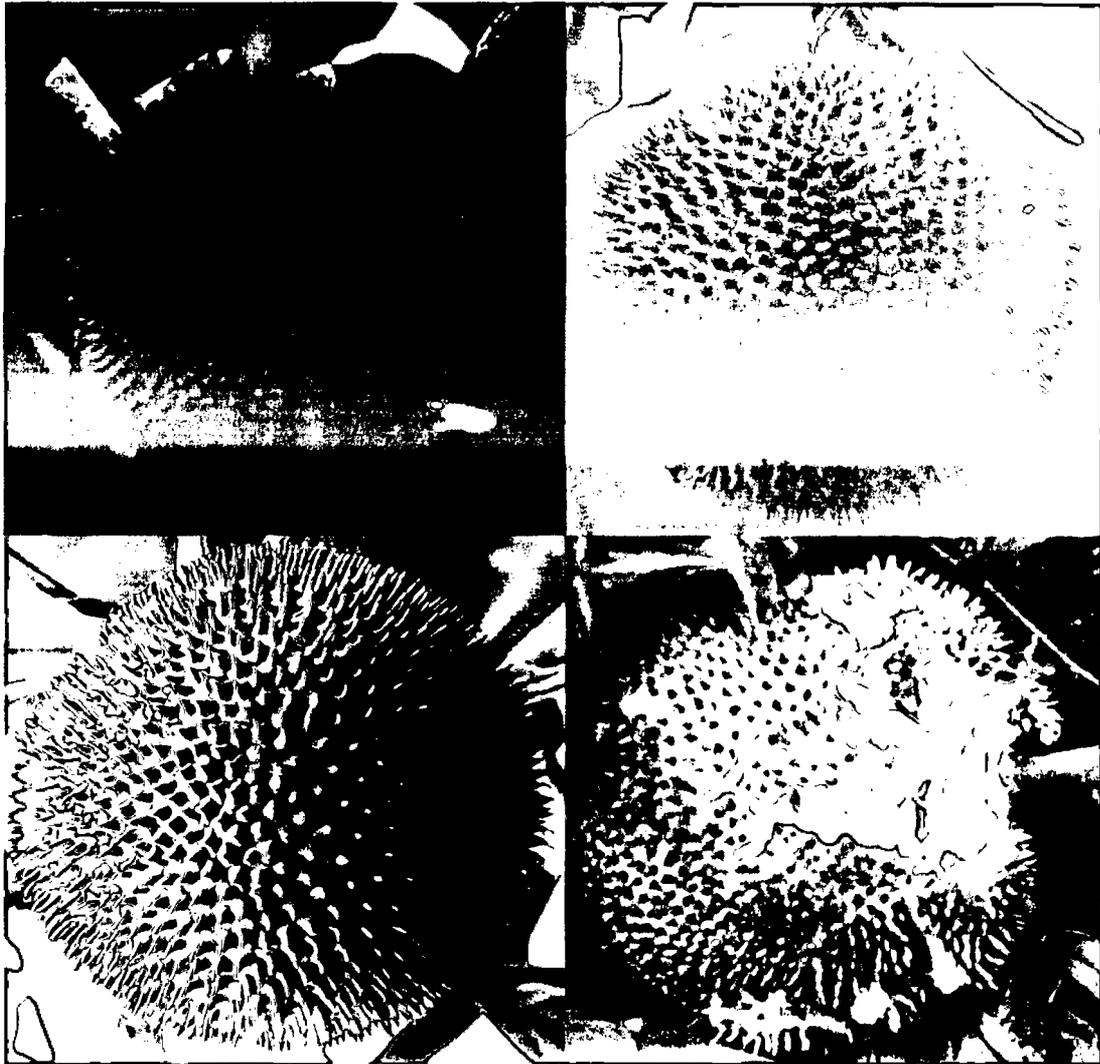
FOTOGRAFÍAS DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE TESIS



Fotografía 1. Secador de bandejas con aire forzado del Laboratorio de Ingeniería de la UNRTM - AMAZONAS



Fotografía 2. Plantas de pan de árbol de la provincia de Utcubamba, región Amazonas



Fotografía 3. Frutos de pan de árbol en sus diferentes estados de maduración



Fotografía 4. Semillas del fruto de pan de árbol



Fotografía 5. Cáscara leñosa de las semillas



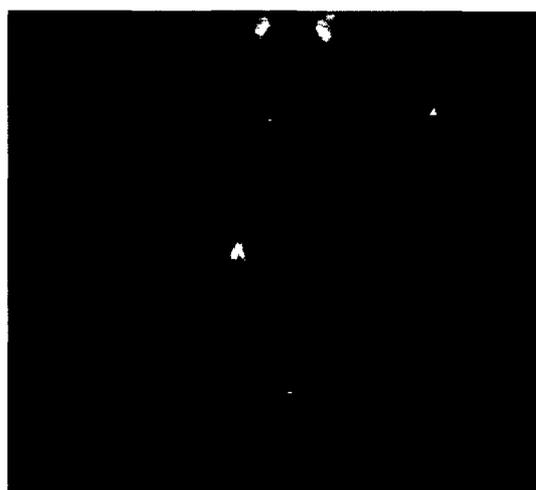
Fotografía 6. Semillas descascaradas



Fotografía 7. Corteza, pulpa y corazón del fruto de pan de árbol



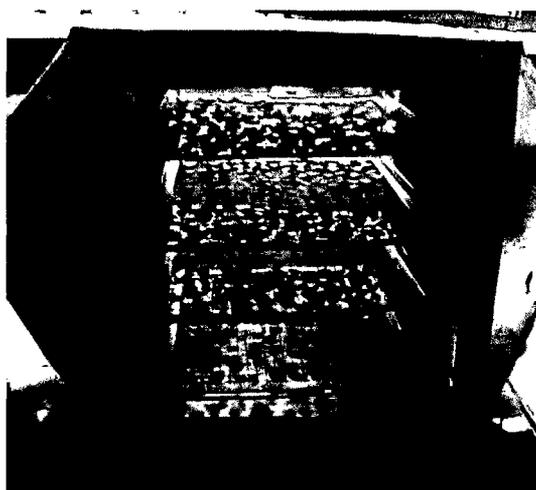
Fotografía 8. Rodajado de semillas con un espesor de 0,2 cm aproximadamente



Fotografía 9. Pesado de semillas en rodajas



Fotografía 10. Verificación de la velocidad y temperatura del aire



Fotografía 11. Distribución de semillas en las bandejas del secador



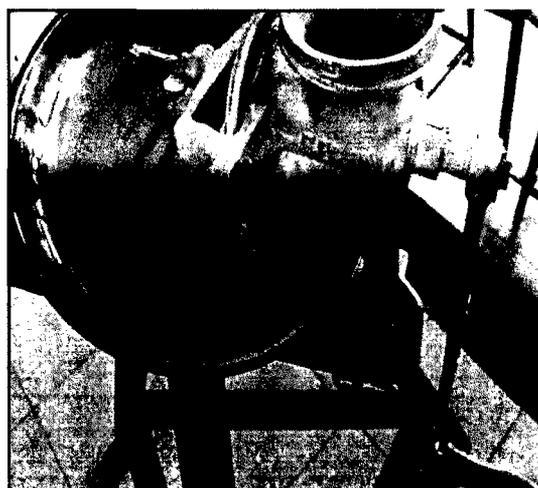
Fotografía 12. Control de peso cada 5 minutos durante el secado



Fotografía 13. Venteado de semillas secas para eliminar la cutícula apergaminada



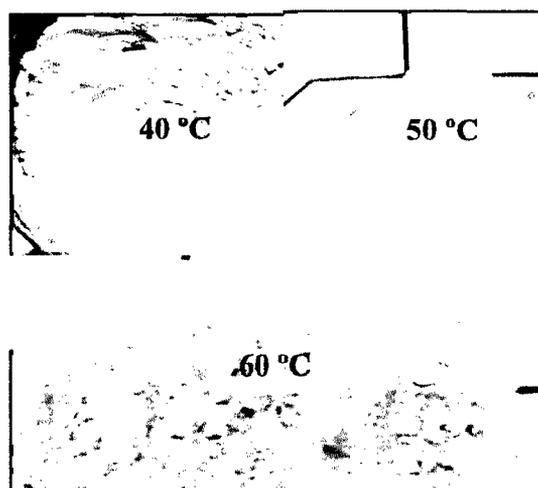
Fotografía 14. Semillas secas listas para moler



Fotografía 15. Molienda de las semillas secas



Fotografía 16. Tamizado de la harina de semillas de pan de árbol



Fotografía 17. Harina de semillas de pan de árbol, obtenida a diferentes temperaturas de aire de secado



Fotografía 18. Envasado de la harina de semillas para su posterior análisis



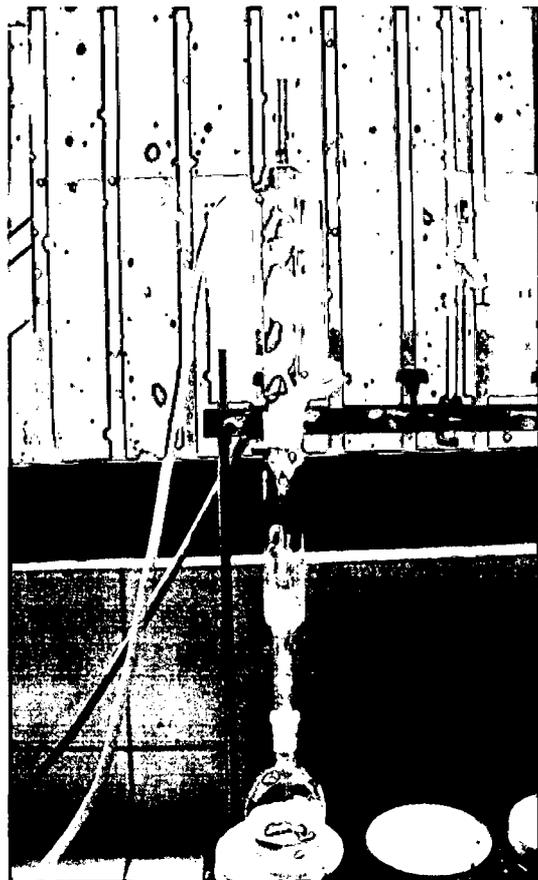
Fotografía 19. Determinación de vitamina C, mediante yodometría



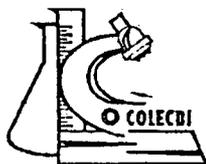
Fotografía 20. Determinación de acidez titulable



Fotografía 22. Identificación de mohos y levaduras en la harina obtenida



Fotografía 21. Determinación de grasa total, mediante Soxhlet



CORPORACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYOS
CLÍNICOS, BIOLÓGICOS E INDUSTRIALES

66 COLECBI⁹⁹ S.A.C.

REGISTRADO EN LA DIRECCIÓN GENERAL DE ASUNTOS AMBIENTALES DE PESQUERIA - DIGAAP - PRODUCE

Pág. 1 de 1

INFORME DE ENSAYO N° 1261-13

SOLICITADO POR : JOSÉ ELI GUERRERO SILVA.
DIRECCION : Chachapoyas.
PRODUCTO DECLARADO : ABAJO INDICADOS.
CANTIDAD DE MUESTRA : 02 muestras x 400g c/u
PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA : Bolsa de plástico transparente con tapa.
FECHA DE RECEPCIÓN : 2013-06-06
FECHA DE INICIO DEL ENSAYO : 2013-06-06
FECHA DE TERMINO DEL ENSAYO : 2013-06-06
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : En buen estado.
ENSAYOS REALIZADOS EN : Laboratorio Físico Químico.
CODIGO COLECBI : SS 000718-13

RESULTADOS

MUESTRA	ENSAYOS
	Proteínas (%) Factor
	6,25
Harina de Pan de Árbol	13,03
Semilla de Pan de Árbol	6,21

METODOLOGIA EMPLEADA

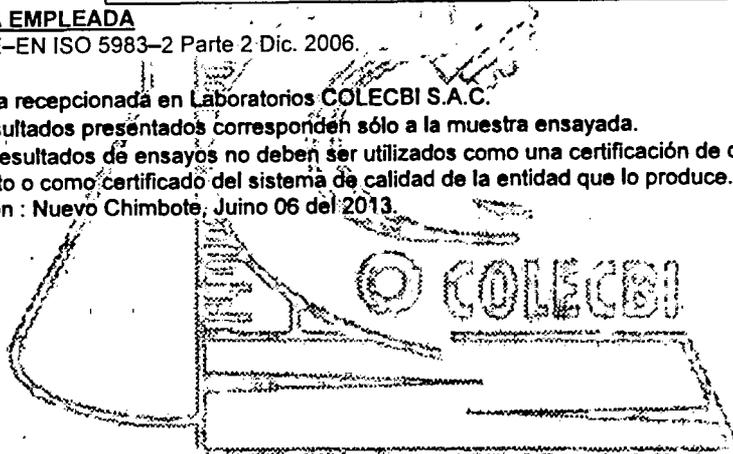
Proteínas : UNE-EN ISO 5983-2 Parte 2 Dic. 2006.

NOTA :

- Muestra recepcionada en Laboratorios COLECBI S.A.C.
- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra ensayada.
- Estos resultados de 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.

Fecha de Emisión : Nuevo Chimbote, Juino 06 del 2013.

DVY/jms



[Signature]
DORA T. LOS VEPEZ
JEFE DE LABORATORIO
CORPORACION DE LABORATORIOS DE ENSAYOS
CLINICOS, BIOLÓGICOS E INDUSTRIALES
"66" "99" "S.A.C."

LC-MP-HRIE
Rev. 03
Fecha 2012-07-27

PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME
SIN LA AUTORIZACION ESCRITA DE COLECBI S.A.C.