



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

TRABAJO DE GRADO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

“INGENIERO AGROINDUSTRIAL”

TÍTULO DEL PROYECTO:

**DETERMINACIÓN DE UN MODELO DE RATIO DE SECADO EN
MANZANA Y MANZANILLA PARA LOGRAR LA EFICIENCIA DE
SECADO DEL PRODUCTO EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

AUTOR:

MARÍA FERNANDA ROJAS VALLEJO

DIRECTOR: ING. Luis Arboleda

RIOBAMBA – ECUADOR

2014

PÁGINA DE REVISIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título:
**DETERMINACIÓN DE UN MODELO DE RATIO DE SECADO EN
MANZANA Y MANZANILLA PARA LOGRAR LA EFICIENCIA DE
SECADO DEL PRODUCTO EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO**
presentado por: María Fernanda Rojas Vallejo y dirigida por: Ing. Luis Arboleda

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

Dr. Mario Salazar
Presidente



Firma

Ing. Luis Arboleda
Director



Firma

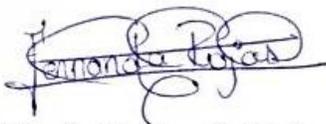
Dra. Anita Mejía
Miembro



Firma

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, corresponde exclusivamente a: María Fernanda Rojas Vallejo; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo”.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'María Fernanda Rojas Vallejo', with a stylized flourish at the end.

María Fernanda Rojas Vallejo

C.I. 0603870395

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi profundo agradecimiento a la UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, a mis maestras y maestros de la Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Agroindustrial, por brindarme sus conocimientos y ser un soporte en mi preparación como profesional.

Mi agradecimiento imperecedero a la Dra. Anita Mejía, al Ing. Luis Arboleda y al Dr. Mario Salazar por guiarme y orientarme con sus sabios conocimientos en el transcurso de esta investigación.

Mi eterno agradecimiento a mis padres, hermanos, abuelitos quienes me han motivado a salir adelante con sencillez y humildad.

A Josué quien me ha regalado su apoyo incondicional, y a todas aquellas personas que de una u otra forma, han estado presentes en cada sueño cumplido.

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen por bendecirme y guiarme por el camino correcto.

A mi madre por todo el sacrificio, dedicación y lucha por darme lo mejor, por su apoyo incondicional, porque a pesar de los momentos difíciles siempre ha estado a mi lado regalándome amor, cariño y paciencia.

A mis hermanos Adriana, Estefani y Hernán que con su cariño me motivaron a salir adelante por ser mis cómplices, amigos, por compartir sueños, juegos y alegrías.

ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
ÍNDICE DE CUADROS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
RESUMEN.....	xxiii

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
 CAPÍTULO I	
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	3
1.1. Secado en la industria alimenticia.....	3
1.1.1. Importancia.....	3
1.1.2. Ventajas.....	3
1.1.3. Secado de plantas aromáticas y medicinales.....	4
1.1.4. Secado de frutas.....	5
1.1.5. Métodos de secado.....	6
1.1.5.1. Secado natural.....	6
1.1.5.2. Secado artificial.....	7
1.1.6. Tipos de secadores.....	7
1.1.6.1. Secadores rotativos.....	7
1.1.6.2. Secadores de rodillo	8
1.1.6.3. Secador de bandejas.....	9
1.1.6.4. Secador tipo túnel.....	10
1.1.6.5. Secadores de cintas transportadoras.....	10
1.2. Contenido de humedad.....	10
1.3. Isoterma de sorción de humedad.....	11
1.4. Determinación de datos de equilibrio para construir las	

	isotermas.....	12
1.4.1.	Representación gráfica de las Isotermas de sorción.....	12
1.5.	Calor latente de vaporización.....	13
1.6.	Ratio de un secador.....	13
1.7.	Curvas de secado de un producto.....	14
1.8.	Ratio de humedad.....	15
1.9.	Ratio de secado.....	16
1.10.	Eficiencia del secado.....	16
1.11.	Modelos matemáticos de ratios de secado.....	17
1.12.	Manzana.....	17
1.12.1.	Taxonomía.....	18
1.12.2.	Beneficios de la manzana.....	18
1.12.3.	Descripción.....	19
1.12.4.	Siembra.....	19
1.12.5.	Propagación.....	20
1.12.6.	Riego.....	20
1.12.7.	Fertilización.....	20
1.12.8.	Recolección.....	21
1.13.	Manzanilla.....	21
1.13.1.	Taxonomía.....	21
1.13.2.	Descripción.....	22
1.13.3.	Beneficios de la manzanilla.....	22
1.13.4.	Cultivo.....	23
1.13.5.	Siembra.....	23
1.13.6.	Fertilización.....	24
1.13.7.	Labores culturales.....	24
1.13.8.	Riego.....	24
1.13.9.	Recolección	24
1.13.10.	Postcosecha	24

CAPÍTULO II	
METODOLOGÍA.....	25
2.1. Tipo de estudio.....	25
2.2. Población y muestra.....	26
2.3. Operacionalización de variables.....	27
2.4. Procedimientos.....	28
2.5. Procesamiento y análisis.....	29
2.5.1. Manzana.....	29
2.5.1.1. Secado de Manzana.....	29
2.5.1.2. Determinación de las características físicas de la manzana en función de la humedad.....	32
2.5.1.3. Determinación de la variación de la humedad.....	33
2.5.2. Manzanilla.....	34
2.5.2.1. Secado de manzanilla	34
2.5.2.2. Determinación de las características físicas de la manzana y la manzanilla en función de la humedad.....	36
2.5.2.3. Determinación de la variación de la humedad.....	37
CAPÍTULO III	
RESULTADOS.....	38
3.1. Manzana.....	38
3.1.1. Características físicas de la manzana deshidratada.....	38
3.1.2. Promedio del secado.....	40
3.1.3. Análisis estadístico ANOVA.....	42
3.1.4. Determinación del % de Humedad.....	45
3.1.5. Linealización del ratio de secado.....	52
3.1.6. Curvas de secado.....	54
3.1.6.1. Curva de secado de Logaritmo Natural de la Masa Relativa en función del tiempo.....	55
3.1.6.2. Curva de secado de la Masa Relativa en función del	

tiempo.....	58
3.1.7. Determinación de la constante “A”.....	62
3.1.8. Determinación de la constante “B” de la manzana.....	64
3.1.9. Ratio de secado.....	66
3.1.9.1. Determinación del tiempo de secado.....	66
3.1.9.2. Modelamiento del ratio de secado.....	68
3.2. Manzanilla.....	75
3.2.1. Características físicas de la manzanilla deshidratada.....	75
3.2.2. Promedio del secado.....	76
3.2.3. Análisis estadístico ANOVA.....	77
3.2.4. Determinación del % de Humedad.....	78
3.2.5. Linealización del ratio de secado.....	82
3.2.6. Curvas de secado de manzanilla.....	83
3.2.6.1. Curva de secado de Logaritmo Natural de la Masa Relativa en función el tiempo.....	83
3.2.6.2. Curva de secado de la Masa Relativa en función del tiempo.....	85
3.2.7. Determinación de la constante “A”.....	87
3.2.8. Determinación de la constante “B” de la manzanilla.....	89
3.2.9. Ratio de secado.....	90
3.2.9.1. Determinación del tiempo de secado.....	90
3.2.9.2. Modelamiento del ratio de secado.....	91
 CAPÍTULO IV	
DISCUSIÓN.....	95
 CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
5.1. Conclusiones.....	97
5.2. Recomendaciones.....	98

CAPÍTULO VI	
PROPUESTA.....	99
6.1. Título de la propuesta	99
6.2. Introducción.....	99
6.3. Objetivos.....	100
6.3.1. General.....	100
6.3.2. Específicos.....	100
6.4. Fundamentación científico –técnica.....	101
6.4.1. Modelo matemático de la curva característica.....	101
6.4.1.1. Definición.....	101
6.4.1.2. Requerimientos.....	102
6.4.1.3. Selección y preparación de muestras.....	102
6.4.1.4. Experimentos de secado.....	102
6.4.1.5. Medición de temperatura.....	102
6.4.1.6. Velocidad del aire.....	102
6.4.1.7. Control de pesos.....	103
6.4.1.8. Determinación del contenido de humedad.....	103
6.5. Descripción de la propuesta.....	103
6.6. Diseño organizacional.....	105
6.7. Monitoreo y evaluación de la propuesta.....	106
CAPÍTULO VI	
BIBLIOGRAFÍA.....	107

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1	Anteproyecto de tesis.....	110
Anexo N° 2	Pruebas del secado de manzana.....	136
Anexo N° 3	Porcentaje de humedad de la manzana	142
Anexo N° 4	Linealización del ratio de secado de manzana	149

Anexo N° 5	Curva de secado de logaritmo natural de la masa relativa en función del tiempo de la manzana.....	155
Anexo N° 6	Curvas de secado de la masa relativa en función del tiempo de la manzana.....	164
Anexo N° 7	Pruebas del secado de manzanilla.....	173
Anexo N° 8	Porcentaje de humedad de la manzanilla.....	176
Anexo N° 9	Linealización del ratio de secado de manzanilla.....	180
Anexo N° 10	Curva de secado de logaritmo natural (masa relativa) en función del tiempo de la manzanilla.....	183
Anexo N° 11	Curvas de secado de la masa relativa en función del tiempo de la manzana.....	187

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1	Modelos matemáticos de ratios de secado.....	17
Cuadro N° 2	Operacionalización de variables.....	27
Cuadro N° 3	Instrumentos utilizados.....	28
Cuadro N° 4	Características físicas de la manzana deshidratada.....	39
Cuadro N° 5	Pesos promedio de manzana Delicia a 50° C.....	40
Cuadro N° 6	Pesos promedio de manzana Delicia a 60° C.....	41
Cuadro N° 7	Pesos promedio de manzana Delicia a 70° C.....	41
Cuadro N° 8	Pesos promedio de manzana Emilia a 50° C.....	41
Cuadro N° 9	Pesos promedio de manzana Emilia a 60° C.....	41
Cuadro N° 10	Pesos promedio de manzana Emilia a 70° C.....	42
Cuadro N° 11	Análisis ANOVA de manzana Delicia a 50° C.....	43
Cuadro N° 12	Análisis ANOVA de manzana Delicia a 60° C.....	43
Cuadro N° 13	Análisis ANOVA de manzana Delicia a 70° C.....	43
Cuadro N° 14	Análisis ANOVA de manzana Emilia a 50° C.....	44
Cuadro N° 15	Análisis ANOVA de manzana Emilia a 60° C.....	44

Cuadro N° 16	Análisis ANOVA de manzana Emilia a 70° C.....	45
Cuadro N° 17	Humedad de la manzana Delicia a 50° C.....	46
Cuadro N° 18	Humedad de la manzana Delicia a 60° C.....	47
Cuadro N° 19	Humedad de la manzana Delicia a 70° C.....	48
Cuadro N° 20	Humedad de la manzana Emilia a 50° C.....	49
Cuadro N° 21	Humedad de la manzana Emilia a 60° C.....	50
Cuadro N° 22	Humedad de la manzana Emilia a 70° C.....	51
Cuadro N° 23	Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 50° C.....	52
Cuadro N° 24	Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 60° C.....	53
Cuadro N° 25	Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 70° C.....	53
Cuadro N° 26	Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 50° C.....	53
Cuadro N° 27	Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 60° C.....	54
Cuadro N° 28	Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 70° C.....	54
Cuadro N° 29	Tiempo de secado de manzana Delicia a 50° C.....	66
Cuadro N° 30	Tiempo de secado de manzana Delicia a 60° C.....	67
Cuadro N° 31	Tiempo de secado de manzana Delicia a 70° C.....	67
Cuadro N° 32	Tiempo de secado de manzana Emilia a 50° C.....	67
Cuadro N° 33	Tiempo de secado de manzana Emilia a 60° C.....	68
Cuadro N° 34	Tiempo de secado de manzana Emilia a 70° C.....	68
Cuadro N° 35	Modelamiento del ratio de secado de la manzana Delicia a 50° C.....	69
Cuadro N° 36	Modelamiento del ratio de secado de la manzana Delicia a 60° C.....	70
Cuadro N° 37	Modelamiento del ratio de secado de la manzana	

	Delicia a 70° C.....	71
Cuadro N° 38	Modelamiento del ratio de secado de la manzana Emilia a 50°.....	72
Cuadro N° 39	Modelamiento del ratio de secado de la manzana Emilia a 60° C.....	73
Cuadro N° 40	Modelamiento del ratio de secado de la manzana Emilia a 70° C.....	74
Cuadro N° 41	Características físicas de la manzanilla deshidratada...	75
Cuadro N° 42	Pesos promedio de manzanilla a 40° C.....	76
Cuadro N° 43	Pesos promedio de manzanilla a 50° C.....	76
Cuadro N° 44	Pesos promedio de manzanilla a 60° C.....	77
Cuadro N° 45	Análisis ANOVA de manzanilla a 40° C.....	77
Cuadro N° 46	Análisis ANOVA de manzanilla a 50° C.....	78
Cuadro N° 47	Análisis ANOVA de manzanilla a 60° C.....	78
Cuadro N° 48	Humedad de la Manzanilla a 40° C.....	79
Cuadro N° 49	Humedad de la Manzanilla a 50° C.....	80
Cuadro N° 50	Humedad de la Manzanilla a 60° C.....	81
Cuadro N° 51	Linealización del ratio de secado de manzanilla a 40° C.....	82
Cuadro N° 52	Linealización del ratio de secado de la manzanilla a 50° C.....	82
Cuadro N° 53	Linealización del ratio de secado de la manzanilla a 60° C.....	83
Cuadro N° 54	Tiempo de secado de manzanilla a 40° C.....	90
Cuadro N° 55	Tiempo de secado de manzanilla a 50° C.....	90
Cuadro N° 56	Tiempo de secado de manzanilla a 60° C.....	91
Cuadro N° 57	Modelamiento del ratio de secado de manzanilla a 40° C.....	91
Cuadro N° 58	Modelamiento del ratio de secado de manzanilla a 50° C.....	92

Cuadro N° 59	Modelamiento del ratio de secado de manzanilla a 60° C.....	93
Cuadro N° 60	Diseño organizacional de la Propuesta.....	106
Cuadro N° 61	Repetición 1. Toma de datos de manzana Delicia a 50° C.....	136
Cuadro N° 62	Repetición 2. Toma de datos de manzana Delicia a 50° C.....	136
Cuadro N° 63	Repetición 3. Toma de datos de manzana Delicia a 50° C.....	137
Cuadro N° 64	Repetición 1. Toma de datos de manzana Delicia a 60° C.....	137
Cuadro N° 65	Repetición 2. Toma de datos de manzana Delicia a 60° C.....	137
Cuadro N° 66	Repetición 3. Toma de datos de manzana Delicia a 60° C.....	138
Cuadro N° 67	Repetición 1. Toma de datos de manzana Delicia a 70° C.....	138
Cuadro N° 68	Repetición 2. Toma de datos de manzana Delicia a 70° C.....	138
Cuadro N° 69	Repetición 3. Toma de datos de manzana Delicia a 70° C.....	139
Cuadro N° 70	Repetición 1. Toma de datos de manzana Emilia a 50° C.....	139
Cuadro N° 71	Repetición 2. Toma de datos de manzana Emilia a 50° C.....	139
Cuadro N° 72	Repetición 3. Toma de datos de manzana Emilia a 50° C.....	140
Cuadro N° 73	Repetición 1. Toma de datos de manzana Emilia a 60° C.....	140
Cuadro N° 74	Repetición 2. Toma de datos de manzana Emilia a 60°	

	C.....	140
Cuadro N° 75	Repetición 3. Toma de datos de manzana Emilia a 60°	
	C.....	141
Cuadro N° 76	Repetición 1. Toma de datos de manzana Emilia a 70°	
	C.....	141
Cuadro N° 77	Repetición 2. Toma de datos de manzana Emilia a 70°	
	C.....	141
Cuadro N° 78	Repetición 3. Toma de datos de manzana Emilia a 70°	
	C.....	142
Cuadro N° 79	Repetición 1. Humedad de la manzana Delicia a 50°	
	C.....	142
Cuadro N° 80	Repetición 2. Humedad de la manzana Delicia a 50°	
	C.....	143
Cuadro N° 81	Repetición 3. Humedad de la manzana Delicia a 50°	
	C.....	143
Cuadro N° 82	Repetición 1. Humedad de la manzana Delicia a 60°	
	C.....	143
Cuadro N° 83	Repetición 2. Humedad de la manzana Delicia a 60°	
	C.....	144
Cuadro N° 84	Repetición 3. Humedad de la manzana Delicia a 60°	
	C.....	144
Cuadro N° 85	Repetición 1. Humedad de la manzana Delicia a 70°	
	C.....	144
Cuadro N° 86	Repetición 2. Humedad de la manzana Delicia a 70°	
	C.....	145
Cuadro N° 87	Repetición 3. Humedad de la manzana Delicia a 70°	
	C.....	145
Cuadro N° 88	Repetición 1. Humedad de la manzana Emilia a 50°	
	C.....	145
Cuadro N°89	Repetición 2. Humedad de la manzana Emilia a 50°	

	C.....	146
Cuadro N° 90	Repetición 3. Humedad de la manzana Emilia a 50° C.....	146
Cuadro N° 91	Repetición 1. Humedad de la manzana Emilia a 60° C.....	146
Cuadro N° 92	Repetición 2. Humedad de la manzana Emilia a 60° C.....	147
Cuadro N° 93	Repetición 3. Humedad de la manzana Emilia a 60° C.....	147
Cuadro N° 94	Repetición 1. Humedad de la manzana Emilia a 70° C.....	147
Cuadro N° 95	Repetición 2. Humedad de la manzana Emilia a 70° C.....	148
Cuadro N° 96	Repetición 3. Humedad de la manzana Emilia a 70° C.....	148
Cuadro N° 97	Repetición # 1. Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 50°C.....	149
Cuadro N° 98	Repetición # 2. Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 50° C.....	149
Cuadro N° 99	Repetición # 3. Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 50° C.....	150
Cuadro N° 100	Repetición # 1. Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 60° C.....	150
Cuadro N° 101	Repetición # 2. Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 60° C.....	150
Cuadro N° 102	Repetición # 3. Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 60° C.....	151
Cuadro N° 103	Repetición # 1. Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 70° C.....	151
Cuadro N° 104	Repetición # 2. Linealización del ratio de secado de	

	manzana Delicia a 70° C.....	151
Cuadro N° 105	Repetición # 3. Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 70° C.....	152
Cuadro N° 106	Repetición # 1. Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 50° C.....	152
Cuadro N° 107	Repetición # 2. Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 50° C.....	152
Cuadro N° 108	Repetición # 3. Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 50° C.....	153
Cuadro N° 109	Repetición # 1. Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 60° C.....	153
Cuadro N° 110	Repetición # 2. Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 60° C.....	153
Cuadro N° 111	Repetición # 3. Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 60° C.....	154
Cuadro N° 112	Repetición # 1. Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 70° C.....	154
Cuadro N° 113	Repetición # 2. Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 70° C.....	154
Cuadro N° 114	Repetición # 3. Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 70° C.....	155
Cuadro N° 115	Repetición 1. Toma de datos de manzanilla a 40° C...	173
Cuadro N° 116	Repetición 2. Toma de datos de manzanilla a 40° C...	174
Cuadro N° 117	Repetición 3. Toma de datos de manzanilla a 40° C...	174
Cuadro N° 118	Repetición 1. Toma de datos de manzanilla a 50° C...	174
Cuadro N° 119	Repetición 2. Toma de datos de manzanilla a 50° C...	175
Cuadro N° 120	Repetición 3. Toma de datos de manzanilla a 50° C...	175
Cuadro N° 121	Repetición 1. Toma de datos de manzanilla a 60° C...	175
Cuadro N° 122	Repetición 2. Toma de datos de manzanilla a 60° C...	176
Cuadro N° 123	Repetición 3. Toma de datos de manzanilla a 60° C...	176

Cuadro N° 124	Repetición 1. Humedad de la manzanilla a 40° C.....	176
Cuadro N° 125	Repetición 2. Humedad de la manzanilla a 40° C.....	177
Cuadro N° 126	Repetición 3. Humedad de la manzanilla a 40° C.....	177
Cuadro N° 127	Repetición 1. Humedad de la manzanilla a 50° C.....	177
Cuadro N° 128	Repetición 2. Humedad de la manzanilla a 50° C.....	178
Cuadro N° 129	Repetición 3. Humedad de la manzanilla a 50° C.....	178
Cuadro N° 130	Repetición 1. Humedad de la manzanilla a 60° C.....	178
Cuadro N° 131	Repetición 2. Humedad de la manzanilla a 60° C.....	179
Cuadro N° 132	Repetición 3. Humedad de la manzanilla a 60° C.....	179
Cuadro N° 133	Repetición # 1. Linealización del ratio de secado de la manzanilla a 40° C.....	180
Cuadro N° 134	Repetición # 2. Linealización del ratio de secado de la manzanilla a 40° C.....	180
Cuadro N° 135	Repetición # 3. Linealización del ratio de secado de la manzanilla a 40° C.....	180
Cuadro N° 136	Repetición # 1. Linealización del ratio de secado de la manzanilla a 50° C.....	181
Cuadro N° 137	Repetición # 2. Linealización del ratio de secado de la manzanilla a 50° C.....	181
Cuadro N° 138	Repetición # 3. Linealización del ratio de secado de la manzanilla a 50° C.....	181
Cuadro N° 139	Repetición # 1. Linealización del ratio de secado de la manzanilla a 60° C.....	182
Cuadro N° 140	Repetición # 2. Linealización del ratio de secado de la manzanilla a 60° C.....	182
Cuadro N° 141	Repetición # 3. Linealización del ratio de secado de la manzanilla a 60° C.....	182

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1	Plantas aromáticas	4
Figura N° 2	Secado de frutas.....	5
Figura N° 3	Secador rotativo.....	8
Figura N° 4	Secador de rodillos.....	9
Figura N° 5	Curvas de secado de un producto.....	15
Figura N° 6	Manzana.....	17
Figura N° 7	Manzanilla	21
Figura N° 8	Parcelas de Manzanilla.....	26
Figura N° 9	Parcelas de Manzana.....	26
Figura N° 10	Descorazonado de Manzana.....	30
Figura N° 11	Inmersión de la manzana en sodio bisulfito.....	30
Figura N° 12	Pesado de la manzana.....	31
Figura N° 13	Secado de la manzana.....	31
Figura N° 14	Enfriamiento de manzana en el desecador.....	32
Figura N° 15	Manzana en fresco.....	32
Figura N° 16	Manzana deshidratada.....	33
Figura N° 17	Pesado de la manzanilla.....	35
Figura N° 18	Secado de la manzanilla.....	35
Figura N° 19	Enfriamiento de manzanilla en el desecador.....	36
Figura N° 20	Manzanilla en fresco.....	36
Figura N° 21	Manzanilla deshidratada.....	37
Figura N° 22	Humedad de la manzana Delicia a 50° C.....	46
Figura N° 23	Humedad de la manzana Delicia a 60° C.....	47
Figura N° 24	Humedad de la manzana Delicia a 70° C.....	48
Figura N° 25	Humedad de la manzana Emilia a 50° C.....	49
Figura N° 26	Humedad de la manzana Emilia a 60° C.....	50
Figura N° 27	Humedad de la manzana Emilia a 70° C.....	51
Figura N° 28	LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 50° C.....	55

Figura N° 29	LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 60° C.....	56
Figura N° 30	LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 70° C.....	56
Figura N° 31	LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 50° C.....	57
Figura N° 32	LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 60° C.....	57
Figura N° 33	LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 70° C.....	58
Figura N° 34	MR vs tiempo de manzana Delicia a 50° C.....	59
Figura N° 35	MR vs tiempo de manzana Delicia a 60° C.....	59
Figura N° 36	MR vs tiempo de manzana Delicia a 70° C.....	60
Figura N° 37	MR vs tiempo de manzana Emilia a 50° C.....	60
Figura N° 38	MR vs tiempo de manzana Emilia a 60° C.....	61
Figura N° 39	MR vs tiempo de manzana Emilia a 70° C.....	61
Figura N° 40	Variable “A” manzana Delicia.....	62
Figura N° 41	Variable “A” manzana Emilia.....	63
Figura N° 42	Constante “B” manzana Delicia.....	64
Figura N° 43	Constante “B” manzana Emilia.....	65
Figura N° 44	Modelamiento del ratio de secado de la manzana Delicia a 50° C.....	69
Figura N° 45	Modelamiento del ratio de secado de la manzana Delicia a 60° C.....	70
Figura N° 46	Modelamiento del ratio de secado de la manzana Delicia a 60° C.....	71
Figura N° 47	Modelamiento del ratio de secado de la manzana Emilia a 50° C.....	72
Figura N° 48	Modelamiento del ratio de secado de la manzana Emilia a 60° C.....	73
Figura N° 49	Modelamiento del ratio de secado de la manzana Emilia a 70° C.....	74
Figura N° 50	Humedad de la Manzanilla a 40° C.....	79
Figura N° 51	Humedad de la Manzanilla a 50° C.....	80
Figura N° 52	Humedad de la Manzanilla a 60° C.....	81

Figura N° 53	LN MR en función del tiempo de la manzanilla a 40° C.....	84
Figura N° 54	LN MR en función del tiempo de la manzanilla a 50° C.....	84
Figura N° 55	LN MR en función del tiempo de la manzanilla a 60° C.....	85
Figura N° 56	MR en función del tiempo de la manzanilla a 40° C...	86
Figura N° 57	MR en función del tiempo de la manzanilla a 50° C...	86
Figura N° 58	MR en función del tiempo de la manzanilla a 60° C...	87
Figura N° 59	Constante “A” manzanilla.....	88
Figura N° 60	Constante “B” manzanilla.....	89
Figura N° 61	Modelamiento del ratio de secado de manzanilla a 40° C.....	92
Figura N° 62	Modelamiento del ratio de secado de manzanilla a 50° C.....	93
Figura N° 63	Modelamiento del ratio de secado de manzanilla a 60° C.....	94
Figura N° 64	Modelo de la curva característica.....	101
Figura N° 65	$y = Ax + B$	105
Figura N° 66	Diseño organizacional de la Propuesta.....	105
Figura N° 67	Repetición #1. LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 50° C.....	155
Figura N° 68	Repetición #2. LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 50° C.....	156
Figura N° 69	Repetición #3. LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 50° C.....	156
Figura N° 70	Repetición #1. LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 60° C.....	157
Figura N° 71	Repetición #2. LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 60° C.....	157

Figura N° 72	Repetición #3. LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 60° C.....	158
Figura N° 73	Repetición #1. LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 70° C.....	158
Figura N° 74	Repetición #2. LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 70° C.....	159
Figura N° 75	Repetición #3. LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 70° C.....	159
Figura N° 76	Repetición #1. LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 50° C.....	160
Figura N° 77	Repetición #2. LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 50° C.....	160
Figura N° 78	Repetición #3. LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 50° C.....	161
Figura N° 79	Repetición #1. LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 60° C.....	161
Figura N° 80	Repetición #2. LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 60° C.....	162
Figura N° 81	Repetición #3. LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 60° C.....	162
Figura N° 82	Repetición #1. LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 70° C.....	163
Figura N° 83	Repetición #2. LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 70° C.....	163
Figura N° 84	Repetición #3. LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 70° C.....	164
Figura N° 85	Repetición #1. MR vs tiempo de manzana Delicia a 50° C.....	164
Figura N° 86	Repetición #2. MR vs tiempo de manzana Delicia a 50° C.....	165

Figura N° 87	Repetición #3. MR vs tiempo de manzana Delicia a 50° C.....	165
Figura N° 88	Repetición #1. MR vs tiempo de manzana Delicia a 60° C.....	166
Figura N° 89	Repetición #2. MR vs tiempo de manzana Delicia a 60° C.....	166
Figura N° 90	Repetición #3. MR vs tiempo de manzana Delicia a 60° C.....	167
Figura N° 91	Repetición #1. MR vs tiempo de manzana Delicia a 70° C.....	167
Figura N° 92	Repetición #2. MR vs tiempo de manzana Delicia a 70° C.....	168
Figura N° 93	Repetición #3. MR vs tiempo de manzana Delicia a 70° C.....	168
Figura N° 94	Repetición #1. MR vs tiempo de manzana Emilia a 50° C.....	169
Figura N° 95	Repetición #2. MR vs tiempo de manzana Emilia a 50° C.....	169
Figura N° 96	Repetición #3. MR vs tiempo de manzana Emilia a 50° C.....	170
Figura N° 97	Repetición #1. MR vs tiempo de manzana Emilia a 60° C.....	170
Figura N° 98	Repetición #2. MR vs tiempo de manzana Emilia a 60° C.....	171
Figura N° 99	Repetición #3. MR vs tiempo de manzana Emilia a 60° C.....	171
Figura N° 100	Repetición #1. MR vs tiempo de manzana Emilia a 70° C.....	172
Figura N° 101	Repetición #2. MR vs tiempo de manzana Emilia a 70° C.....	172

Figura N° 102	Repetición #3. MR vs tiempo de manzana Emilia a 70° C.....	173
Figura N° 103	Repetición #1. LN MR en función del tiempo a 40° C.	183
Figura N° 104	Repetición #2. LN MR en función del tiempo a 40° C.....	183
Figura N° 105	Repetición #3. LN MR en función del tiempo a 40° C.....	184
Figura N° 106	Repetición #1. LN MR en función del tiempo a 50° C.....	184
Figura N° 107	Repetición #2. LN MR en función del tiempo a 50° C.....	185
Figura N° 108	Repetición #3. LN MR en función del tiempo a 50° C.....	185
Figura N° 109	Repetición #1. LN MR en función del tiempo a 60° C.....	186
Figura N° 110	Repetición #2. LN MR en función del tiempo a 60° C.....	186
Figura N° 111	Repetición #3. LN MR en función del tiempo a 60° C.....	187
Figura N° 112	Repetición #1. MR en función del tiempo a 40° C.....	187
Figura N° 113	Repetición #2. MR en función del tiempo a 40° C.....	188
Figura N° 114	Repetición #3. MR en función del tiempo a 40° C.....	188
Figura N° 115	Repetición #1. MR en función del tiempo a 50° C.....	189
Figura N° 116	Repetición #2. MR en función del tiempo a 50° C.....	189
Figura N° 117	Repetición #3. MR en función del tiempo a 50° C.....	190
Figura N° 118	Repetición #1. MR en función del tiempo a 60° C.....	190
Figura N° 119	Repetición #2. MR en función del tiempo a 60° C.....	191
Figura N° 120	Repetición #3. MR en función del tiempo a 60° C.....	191

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito determinar un modelo de ratio de secado en manzana y manzanilla para lograr la eficiencia de secado del producto, con el fin de obtener temperaturas óptimas en el proceso.

La metodología utilizada fue Experimental, Descriptiva y Bibliográfica. Para el secado se utilizó un secador tipo túnel de bandejas.

Los datos obtenidos en la parte experimental fueron sometidos a un análisis ANOVA en los que se logró una probabilidad menor a 0,05 en la manzana, es decir que los datos no son estadísticamente significativos a partir de la cuarta hora del secado a 50°C, de la tercera hora del secado a 60°C y de la segunda hora del secado a 70°C. Mientras que en la manzanilla se obtuvo una probabilidad mayor a 0,05, es decir los datos son estadísticamente significativos a temperaturas de 40°C, 50°C y a 60°C.

Los resultados experimentales del secado permitieron obtener la ecuación $y = Ax + B$ basándose en los fundamentos de la curva característica, con la cual se determinaron las horas de secado de manzana y manzanilla a diferentes temperaturas. La manzana a 50 °C se seca en un período de 4 horas, a 60 °C en 3 horas y a 70 °C en 2 horas. En el caso de la manzanilla el modelo de ratio determinó que a temperaturas de 40 °C se seca en un período de 5 horas, a 50 °C en 3 horas y a 60 °C en 2 horas.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE IDIOMAS



Lic. Geovanny Armas

02 de Febrero del 2015

SUMMARY

This investigation had the purpose to determine a drying ratio model for apple and chamomile in order to achieve drying efficiency of the product with the goal of obtaining optimum temperatures in the process.

The methodology used was experimental, descriptive and bibliographical. The dryer used was a tray tunnel type.

Data obtained in the experimental part were subject to an ANOVA analysis in which a lower probability was achieved at 0.05 in apples; the data are not statistically significant from the fourth hour of drying at 50 °C, from the third hour of drying at 60 °C and from the second hour of drying at 70 °C. While in Chamomile, a higher probability to 0.05 was obtained, the data are statistically significant at temperatures of 40 °C, 50 °C and 60 °C.

The experimental results of drying allowed the equation $y = Ax + B$ based on the fundamentals of the characteristic curve, with which the hours of drying apples and chamomile at different temperatures were determined. Apples at 50 °C are dried in a period of 4 hours, at 60 °C in 3 hours and at 70 °C in 2 hours. For chamomile, the ratio model determined that at temperatures of 40 °C it is dried in a period of 5 hours, at 50 °C in 3 hours and at 60 °C in 2 hours.



INTRODUCCIÓN

El Ecuador es un país que cuenta con diferentes recursos productivos, por tanto se hace necesario aprovecharlos a plenitud a fin de abastecer las necesidades internas, sacando a flote el ingenio y la creatividad del pueblo.

En este sentido, dada la naturaleza y las costumbres de los ecuatorianos, la agricultura ha formado parte de su idiosincrasia y medio de vida en la mayor parte del Ecuador.

Nuestro país es inmensamente rico en especies frutícolas como la manzana y en plantas medicinales y aromáticas como la manzanilla, que son una gran fuente de nutrientes.

En la actualidad la industria alimentaria ofrece diferentes alternativas de consumo de frutas y plantas priorizando la calidad y la conservación de las mismas. Bajo estos parámetros se ha planteado esta investigación en la determinación de un modelo de ratio de secado en manzana y manzanilla para lograr la eficiencia de secado del producto en la provincia de Chimborazo.

Se planteó determinar las características físicas en función de la humedad, establecer la variación de la humedad en función del tiempo y la temperatura de secado y crear un modelo de ratio de secado que se ajuste a las variaciones de las características que se presentan en la manzanilla y en la manzana.

Esta investigación contiene seis capítulos; el primero contiene fundamentación teórica como: secado, curvas de secado, ratios de secado, modelos de determinación de ratios, manzanilla y manzana.

En el segundo capítulo se describe la metodología utilizada como: técnicas y métodos utilizados, operacionalización de variables, procedimientos.

El tercer capítulo contiene los resultados acorde a los objetivos planteados.

El cuarto capítulo abarca una discusión analizando los resultados obtenidos y argumentando cada uno de ellos.

En el quinto capítulo se establecen conclusiones y recomendaciones que nos permite cumplir los objetivos.

En el sexto capítulo se establece una propuesta para continuar con la investigación con el tema Aplicación del modelo de ratio de secado de la curva característica para lograr la eficiencia de secado de productos de la Provincia de Chimborazo.

En el séptimo capítulo se detalla la bibliografía utilizada que fue de gran aporte para el desarrollo de esta investigación.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.14. SECADO EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

El secado es una operación que se basa en minimizar el contenido de humedad de cualquier producto. Esta operación conlleva a que el producto tenga una diferente humedad inicial y final. [6]

1.14.1. Importancia

El secado es una operación que tiene como propósito ser una alternativa comercial como materia prima de alimentos más elaborados. Esta operación busca reducir costos en el proceso, almacenamiento y transporte.

Es la forma más antigua y saludable de conservar alimentos que permite conservar las fuentes nutricionales del mismo, al reducir el contenido de agua que está presente en sus tejidos y células para así evitar la putrefacción del alimento.

Los alimentos que han pasado por un proceso de secado son recomendables consumirlos en cualquier época del año.

1.14.2. Ventajas

Las ventajas del secado en los alimentos son:

- Prolonga la vida útil de los alimentos
- Es una de las técnicas de conservación de alimentos más antiguas.
- Al secar alimentos se crea una capa exterior dura que ayuda a evitar la penetración de bacterias y microorganismos, que deterioran los alimentos.
- Los productos que tradicionalmente han sido sometidos al secado son cereales, verduras, hierbas, carnes, pescado y frutas.
- Conservación del alimento por mucho más tiempo
- Mantiene las propiedades nutricionales de los alimentos.
- Reduce el espacio de almacenaje, manipulación y transporte. [1]

1.14.3. Secado de plantas aromáticas y medicinales



Figura N° 1: Plantas aromáticas

Fuente: Andrade, L y Rodríguez, H. (2009).

La razón de secar plantas es la conservación de sus componentes nutritivos e impedir el ataque de microorganismos que puedan afectar las características de las mismas.

Para evitar que las plantas secas posean un aspecto no muy bueno se debe realizar el proceso de secado en buenas condiciones.

Las partes principales a secarse de una planta aromática y medicinal son:

- Raíces
- Tallos
- Hojas
- Flores
- Frutos
- Cortezas

Cada una de estas partes es sometida a diferentes temperaturas de secado, según sus características lo requieran. [1]

1.14.4. Secado de frutas



Figura N° 2: Secado de frutas

Fuente: Rojas María Fernanda 2014

El secado de frutas permite reducir el desperdicio de alimentos y minimizar pérdidas económicas, al prolongar el periodo de duración de los mismos, obteniendo productos de buenas características.

Antes de realizar el secado, se realiza un pre tratamiento de las frutas con el uso de sodio bisulfito, ácido cítrico, que evitan la oxidación, oscurecimiento del fruto durante el proceso de secado.

Se debe controlar la temperatura de secado, al existir un exceso de temperaturas se podrían presentar diferentes alteraciones en el fruto como la degradación del color y el encogimiento de la textura del fruto.

1.14.5. Métodos de secado.

1.14.5.1. Secado natural

Estos secadores hacen uso de la acción natural de la radiación solar; de la temperatura, humedad y movimiento del aire ambiente para lograr el secado.

Para este tipo de secado, no se utilizan equipos, el producto se seca por la acción del viento que circula en ese momento, por lo que este tipo de secado dependerá de las condiciones atmosféricas, por lo que se torna en un tipo de secado difícil de controlar.

La mano de obra se reduce al mínimo, ya que aparte de la recolección, la operación adicional es colocar el producto esparcido en un patio de cemento para la acción del sol.

Es un método muy económico en los climas cálidos y secos, en el caso de las hierbas aromáticas, estas se las extiende sobre lienzos o bandejas, las cortezas y raíces, soportan bien los rayos solares. Pero este procedimiento está contra indicado para las

flores, que decolora, y para las plantas que contienen aceites esenciales, las cuales pierden parte de sus componentes volátiles. Al ser un proceso lento, no existe un control sobre la duración del proceso o sobre la acción de los microorganismos que pudieran desarrollarse por el largo periodo de secado.

Se construyen secadores formados por bandejas de madera, cuyo fondo está provisto por una tela metálica, sobre la cual se colocan las hojas de las plantas medicinales.

1.14.5.2. Secado artificial

El secado artificial ayuda al control de temperaturas de secado; a pesar de ser más costosos que un sistema de secado natural, permite la obtención de productos de iguales características de buena calidad.

Existen diferentes técnicas o métodos para el secado artificial entre estos tenemos:

- Secado por aire caliente. El calor se aporta principalmente por convección.

Secado por contacto directo con una superficie caliente

- Desecación por aporte de energía de una fuente radiante de microondas
- Liofilización. [1]

1.14.6. TIPOS DE SECADORES

1.14.6.1. SECADORES ROTATIVOS

En este tipo de secador el producto húmedo se hace girar en una cámara cilíndrica por la que se hace pasar aire caliente mientras el producto se mantiene en agitación.

En algunos casos se calienta también la pared de la cámara o se instalan tubos calentados en el interior del cilindro.

La cámara cilíndrica se instala sobre rodillos quedando ligeramente inclinada. La superficie interior de la cámara esta provista de aletas batidoras que agitan el producto al girar la cámara, haciendo que el producto caiga a través de la corriente de aire caliente que pasa por el cilindro.

El aire puede fluir paralelamente o a contracorriente respecto a la dirección del movimiento de los sólidos. [2]

En la figura N° 3 se indica el secador rotativo.



Figura N° 3: Secador rotativo

Fuente: Bermúdez, J y Maíz, V. (2004)

1.14.6.2. SECADORES DE RODILLO

Pertencen también al tipo de secaderos de calefacción indirecta. Los más sencillos son los empleados en el secado de artículos que se presentan en forma de hoja

continua, como papel, tejidos, etc. Constan de un rodillo hueco, de superficie perfectamente lisa, calentado interiormente por vapor o resistencias, que gira arrastrado por la hoja continua del material. [2]

En la figura N° 4 se puede observar el secador tipo rodillos.



Figura N° 4: Secador de rodillos

Fuente: Bermúdez, J y Maíz, V. (2004)

1.14.6.3. Secador de bandejas

El secador de bandejas es una cabina que en su interior posee un ventilador axial que permite la circulación del aire mediante el calentador.

Poseen reguladores de temperaturas de secado, contienen reguladores para controlar la velocidad, en su interior puede contener quemadores, serpentines que permiten el secado de productos.

Se utiliza para realizar operaciones de secado discontinuo y en pocas cantidades de productos. Su uso principalmente es en el secado de alimentos

1.14.6.4. Secador tipo túnel

Su funcionamiento es semicontínuo, admite el secado de diferentes frutas que se extienden en capas uniformes sobre bandejas de madera o malla metálica, son de gran capacidad. La circulación del aire cruza por diversos calentadores por acción de ventiladores.

1.14.6.5. Secadores de cintas transportadoras

Estos tipos de secadores permiten que el producto a ser secado sea conducido por cintas transportadoras. Se caracterizan por ser sistemas continuos. Las cintas que poseen son fabricadas en materiales de malla de metal o plástico. La velocidad de estas cintas puede ser por el tiempo de secado.

La temperatura de secado es según los requerimientos de los clientes, pero la temperatura estándar es alrededor de los 150°C. El calentamiento de estos secadores puede ser eléctrico o con gas metano.

1.15. CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad es uno de los mayores factores que afecta a los ratios de secado. Para medir el contenido de humedad existen varios métodos:

- **Métodos indirectos.** Se caracteriza por ser un método rápido, que requiere de equipos muy especializados, consiste en utilizar propiedades particulares de un producto con el contenido de humedad.

- **Métodos directos.** Involucra medir la masa del producto y la masa seca que es el resultado de eliminar agua a través del secado a diferentes temperaturas en un producto. [6]

Puede expresarse en base húmeda o en base seca; el contenido de humedad en base húmeda está definido por el peso del agua presente en el producto, por unidad de peso del material sin secar.

$$M_{wb} = \frac{W_w}{W_o} = \frac{W_o - W_d}{W_o}$$

En base seca el contenido de humedad, es el peso del agua presente en el producto por unidad de peso del material seco.

$$M_{db} = \frac{W_w}{W_d} = \frac{W_o - W_d}{W_d}$$

Donde M_{wb} es la humedad en base húmeda (kg agua/kg producto, húmedo), M_{db} es la humedad en base seca (kg agua/kg producto, seco), W_o es el peso inicial de materia sin secar (kg), W_w es la cantidad de agua en el producto húmedo (kg) y W_d es el peso de materia seca en el producto (kg). [6]

1.16. ISOTERMA DE SORCIÓN DE HUMEDAD

Isoterma es aquel que representa la relación de equilibrio mediante curvas que indiquen la cantidad de humedad del producto y la presión de vapor o humedad relativa. Permite controlar la formulación, estabilidad, contenido de humedad, temperatura, características de secado de un producto.

Sorción, representa el contenido inicial de humedad, el cual perderá o ganará agua durante el proceso de secado.

La isoterma de sorción es el resultado de la operación de secado que parte de una muestra húmeda o seca, que permite equilibrarse con la humedad del aire circundante perdiendo o ganando humedad. [7]

1.17. DETERMINACIÓN DE DATOS DE EQUILIBRIO PARA CONSTRUIR LAS ISOTERMAS.

Existen métodos que contribuyen a construir isotermas.

- **Método manométrico o higrométrico.** Determina directamente la presión del vapor de agua o la humedad relativa de la interface de un sólido de contenido de humedad conocido.
- **Método gravimétrico.** Se puede desarrollar por métodos estáticos o dinámicos; se basa en la determinación del contenido de humedad de la muestra después de que ésta ha alcanzado el equilibrio con un aire de humedad relativa conocida. [7]

1.17.1. Representación gráfica de las Isotermas de sorción.

Las isotermas de sorción pueden representarse gráficamente una vez que se han determinado los datos de equilibrio.

Los datos obtenidos son representados en un plano cartesiano donde, en el eje de las Y se ubica la actividad de agua del producto, mientras que en el eje de las X se ubica el contenido de humedad en base seca del producto.

Cada curva representada en el plano cartesiano representa un estado de equilibrio; esto describe un producto previamente secado o previamente humedecido en la cual la humedad relativa permanece constante. [7]

1.18. CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN

Calor latente de vaporización es la cantidad de calor que se necesita para secar un producto con el propósito de pasar del estado sólido a líquido o de líquido a gas sin un cambio de temperatura.

Para calcular el calor de vaporización de un producto aplicamos la siguiente ecuación:

$$L_w = \frac{R}{M_w} (P_{s1} - P_{s2})(T + 273.16)$$

- L_w : Calor latente de vaporización de agua pura (J/kg).
- R: Constante de los gases (8314 J/k mol K).
- M_w : Peso molecular del agua (18,01 kg/mol).
- P_{s1} , P_{s2} : Constantes de la ecuación con valores de 6547,1 y 4,23.
- T: Temperatura en grados centígrados. [7]

1.19. RATIO DE UN SECADOR

La duración del proceso de secado es el parámetro más indispensable en la evaluación de un secador. Se estima como el tiempo que transcurre desde que el secador es cargado con el producto húmedo hasta que el producto haya alcanzado el contenido

de humedad deseado, frecuentemente dado en horas o días, incluyéndose en este tiempo los períodos en los que se dispone de radiación solar.

Las variaciones del contenido de humedad del producto frente al tiempo marcarán el ratio de secado. La comparación de ratios de secado de diferentes subproductos o modos de funcionamiento ha sido ampliamente estudiada, correspondiendo para un mismo instante los valores más bajos del ratio de secado al proceso más óptimo. Para secadores de gran capacidad, es importante analizar el ratio de secado en diferentes localizaciones para controlar la uniformidad alcanzada. [6]

1.20. CURVAS DE SECADO DE UN PRODUCTO.

En el proceso de secado se distinguen tres fases:

- **Primera Fase (Período de velocidad de secado creciente).**

Corto período transitorio en el que se produce un calentamiento inicial del producto y la velocidad de secado aumenta.

- **Segunda Fase (Período de velocidad de secado constante).**

El secado tiene lugar solo en la superficie, produciéndose exclusivamente la evaporación de la humedad superficial.

- **Tercera Fase (Período de velocidad de secado decreciente).**

Comienza al finalizar el período constante. La resistencia interna del material, se hace más importante, dificultando el paso de humedad; ya no existen condiciones de saturación en la superficie y se produce la eliminación de la humedad interna. Este

período depende fundamentalmente de la difusión de humedad del interior del producto hacia la superficie, así como de la evaporación superficial. [6]

En la Figura N° 5 se puede observar las curvas del producto en tres fases diferentes.

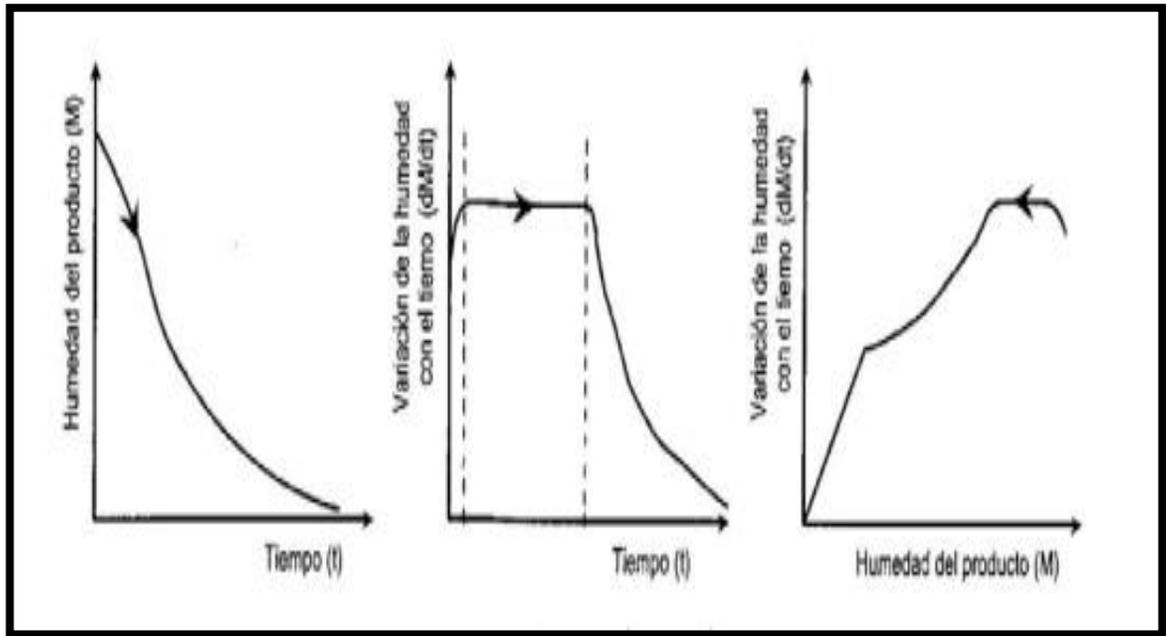


Figura N° 5: Curvas de secado de un producto

Fuente: MONTERO, I. (2005).

1.21. RATIO DE HUMEDAD

El ratio de humedad, MR, se expresa generalmente según la ecuación:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e}$$

Donde MR es el ratio de humedad, M_t es el contenido de humedad en cada instante, M_o es el contenido de humedad inicial y M_e es el contenido de humedad de equilibrio. [6]

1.22. RATIO DE SECADO

La velocidad de secado en función del tiempo de operación o ratio de secado puede expresarse como:

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt}$$

Donde, dt es la variación de tiempo, M_t es el contenido de humedad en cada instante y DR el ratio de secado. [6]

1.23. EFICIENCIA DEL SECADO.

La eficiencia de secado es la relación que existe entre la cantidad de energía suministrada para la operación de secado y la cantidad de agua evaporada durante el proceso, basándose en la variación de humedad que posee el producto durante el secado, las condiciones meteorológicas de las zonas en la que se efectuó esta operación, y el tipo de secador que se utilice.

Existen diferentes ratios para evaluar las prestaciones energéticas de un proceso de secado. Uno de los más importantes es el consumo energético unitario (CEU), definido como la cantidad de energía suministrada por cantidad de agua evaporada. [6]

$$CEU = \frac{\text{energía suministrada}}{\text{agua evaporada}}$$

La eficiencia de un secador se puede definir mediante:

$$\varepsilon = \frac{\text{energía utilizada}}{\text{energía utilizada} + \text{energía perdida en el aire a la salida}}$$

1.24. MODELOS MATEMÁTICOS DE RATIOS DE SECADO

Existen diferentes modelos de ratios de secado que se pueden emplear en diferentes productos alimenticios.

En la figura N° 6 se señala los modelos de ratios que existen para utilizar en el proceso de secado.

MODELO	ECUACIÓN
Newton	$MR = \exp(-k * t)$
Page Modificado	$MR = \exp[-(k * t)^n]$
Henderson and Pabis	$MR = a * \exp(-k * t)$
Logarítmico	$MR = a * \exp(-k * t) + c$
Curva característica	$Y = Ax + B$
Wang and Singh	$MR = at^2 + bt + 1$
Thompson	$t = a * [\ln(MR)]^2 + b * \ln(MR)$

Cuadro N° 1: Modelos matemáticos de ratios de secado

Fuente: MONTERO, I. (2005).

1.25. MANZANA



Figura N° 6: Manzana

Fuente: Recalde, D. (2010).

1.25.1. Taxonomía

Familia: *Rosaceae*

Género: *Malus*

Nombre científico: *Pyrus malus L.*

Nombres comunes: Manzana, manzano [8]

1.25.2. Beneficios de la manzana

- Debido al contenido de cisteína es un desintoxicante del hígado.
- Contiene pectina que ayuda a reducir los niveles de colesterol y pectina en la sangre.
- Por su contenido de fósforo es un alimento excelente para mejorar las funciones que desempeña el cerebro.
- Contiene vitamina B12 que ayuda a combatir el insomnio.
- Es un diurético
- Previene enfermedades como la artritis
- Posee histidina que estimula la producción de gases gástricos.
- Sirve como desinfectante bucal.
- Previenen el envejecimiento ya que contiene antioxidantes como las catequinas y quercetina. [8]

1.25.3. Descripción

La manzana es una de las frutas de mayor consumo en el mundo, se adapta muy bien a una gran variedad de climas y suelos; es uno de los frutos más completos por sus valores alimenticios. En la actualidad su cultivo está extendido en todo el mundo.

En nuestro país un gran número de campesinos de las Provincias de Tungurahua y Chimborazo se dedican al cultivo de esta fruta como un medio económico para sobrevivir.

La planta de manzana alcanza hasta los 10 metros de altura, aunque normalmente oscila entre 2.0 y 2.5 m de altura; posee un tallo o tronco grueso, de color verde oscuro, en el cual se insertan las ramas. Las hojas son blandas, de color verde claro; las flores son grandes pedunculadas y hermafroditas.

Los frutos son ovoides, la pulpa puede ser dura o blanda, dependiendo de la variedad y madurez del fruto, con un sabor agradable y dulce por su contenido de azúcares comunes (fructosa y glucosa) y presenta numerosas semillas de color pardo. [8]

1.25.4. Siembra

Antes de sembrar la planta de manzana es muy importante preparar el suelo, debido a que el árbol permanece plantado por algunos años. Para la siembra se realiza operaciones de arado hasta una profundidad de 60 cm, la plantación debe ser de 2,0 a 3,0 metros de distancia de una con otra y 4.0 a 4.5 metros entre hileras.

La planta de manzana puede ser sembrada en cualquier época del año, tomando en cuenta que exista humedad en el suelo. Es fundamental no sembrar en época de vientos, para impedir la destrucción del árbol. [8]

1.25.5. Propagación

Para la propagación de la manzana se lo realiza mediante injertos, semillas o por estaca. El más utilizado es el método mediante injertos que se lo hace a través de yema y de púa.

El injerto de yema se realiza cuando la planta está en crecimiento, a una altura de 20 a 25 centímetros; mientras que el injerto de púa, se realiza en el período de dormancia de las plantas. [8]

1.25.6. Riego

Los sistemas de riego más utilizados son: mediante inundación o goteo. [8]

1.25.7. Fertilización

Esta actividad debe ir acompañada de estudios físicos y químicos de los suelos. La planta de manzana requiere de:

- 30 a 60 Gramos de Nitrógeno puro al año, dependiendo de la edad.
- 90 a 180 Gramos de urea,
- En suelos con pH normal (6.0 a 6.5) de 150 a 300 gramos de sulfato de amonio.

Se debe aplicar alrededor de 30 a 40 días después de la caída de los pétalos si existe humedad suficiente. [8]

1.25.8. Recolección

El fruto de la manzana se recolecta de forma manual o mecánica, evitando golpes, laceración, que afecte la calidad de la fruta.

Un mal manejo postcosecha de la manzana produce pérdidas que oscilan entre el 5 y el 50%, como consecuencia de un daño mecánico como golpes que aceleran la pérdida de agua originando la degradación del producto. [8]

1.26. MANZANILLA



Figura N° 7: Manzanilla

Fuente: Cárdenas, G. (2009).

1.26.1. Taxonomía

Familia: *Asteraceae*

Género: *Compositae*

Nombre científico: *Matricaria chamomilla* L

Nombres comunes: Manzanilla, Camomila, Matricaria. [4]

1.26.2. Descripción.

La manzanilla es una planta herbácea anual, se caracteriza por presentar una altura aproximada de 60 centímetros de altura, posee:

- **Raíz.** La manzanilla posee una raíz pivotante, perenne, articulada y fibrosa.
- **Tallo.** Presenta un tallo ramificado, cilíndrico, veloso de color verde blanquecino; puede alcanzar de 40 a 70 centímetros de altura.
- **Hojas.** Son sésiles, finas y con ramitas terminadas en cabezuela de botón amarillo y lígulas blancas.
- **Flores.** Son hermafroditas amarillas, tubulosas.
- **Fruto.** Es pequeño de color verde amarillento. [4]

1.26.3. Beneficios de la manzanilla

- Posee propiedades antiinflamatorias, antimicrobianas y funguicidas.
- Es recomendable su uso cuando exista problemas de garganta y de encías inflamadas.
- Ayuda con la cicatrización de heridas y quemaduras.
- Previene problemas digestivos.
- Actúa como un sedante suave.
- Controla el eczema y las hemorroides

- Facilita la menstruación y ayuda a eliminar sus molestias
- Diurético suave
- Previene problemas de artritis y sinusitis
- Combate problemas de asma y gripes
- Aclarante de piel y cabello. [4]

1.26.4. Cultivo

La manzanilla crece en suelos que presentan una buena profundidad y un buen sistema de drenaje y materia orgánica. El suelo donde se desarrolla debe tener una humedad constante.

Su siembra es directa o sexual o por plantación asexual en esquejes. [4]

Se recomienda que el cultivo de esta planta se realice en lugares que tengan gran exposición a la radiación solar, teniendo la precaución de otorgarles sombra durante las horas de mayor intensidad de la misma.

Lo ideal para sembrar la manzanilla desde semilla, es recolectar flores de esta planta que se encuentren medias secas, estas se desmenuzan y de esta forma las semillas caerán sobre la tierra para germinar a los pocos días. [4]

1.26.5. Siembra

Las semillas de manzanilla son colocadas en semilleros con tierra fértil o directamente en el suelo. El terreno debe estar preparado y surcado a 50 cm de separación entre cada surco, dividiendo en parcelas de 10 x10 cm y separadas una de otra para facilitar el riego. [4]

1.26.6. Fertilización

El cultivo de manzanilla requiere de Nitrógeno y Fósforo, estos elementos ayudan a la formación de hojas, ramas y raíces; son aplicados a través del compost. [4]

1.26.7. Labores culturales

En las primeras etapas de vida de la manzanilla se realizan tareas de deshierba, para evitar la presencia de plagas y enfermedades y para ayudar a que la planta absorba los nutrientes del suelo necesarios para su desarrollo.

1.26.8. Riego

No existe un riego constante pero es necesario que en el terreno exista una buena distribución de humedad para asegurar la calidad de la producción. Es necesario que el cultivo posea drenajes para evitar el exceso de agua que puede ocasionar el ataque de plagas y enfermedades. [4]

1.26.9. Recolección

Las ramas o hierbas de manzanilla se recolectan cuando están sanas y verdes, utilizando pequeños cuchillos o tijeras de podar con el fin de no maltratar la planta.

1.26.10. Postcosecha

Las labores postcosecha adecuadas que debe seguir la manzanilla son:

- Labores de limpieza y eliminación de las partes maltratadas de la manzanilla durante la cosecha.
- Es indispensable realizar un secado de la manzanilla.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

En el proyecto de investigación la metodología empleada se encuentra basada en datos adquiridos en el laboratorio, con el fin de determinar el ratio óptimo de secado en manzana y manzanilla.

2.1. TIPO DE ESTUDIO

- **Experimental**

Aplicando el secado de manzana y manzanilla a diferentes temperaturas en un secador tipo túnel de bandejas.

- **Descriptivo.**

Porque nos permite describir los procesos que conlleven a establecer modelos matemáticos para calcular el ratio de secado de la manzanilla y manzana para lograr la eficiencia de secado tomando en cuenta las condiciones físicas y meteorológicas de esta zona.

- **Bibliográfico.**

Se utilizó libros, tesis, páginas web para obtener información.

2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Esta investigación va dirigida a los habitantes de la Provincia de Chimborazo, básicamente a pequeños productores de frutas y plantas, que tienen una visión emprendedora y buscan una mejor calidad de vida

Por ser una investigación en la cual la práctica y el análisis en el laboratorio son fundamentales, se consideró realizar 3 muestras aleatorias de manzanilla (*Matricaria chamomilla L*) y manzana (*Pyrus malus L*) que se produce en la provincia de Chimborazo.

Para esta investigación se utilizó materia prima que fue adquirida en la parroquia de Bayushig perteneciente al cantón Penipe (manzana) y en la asociación Jambí Kiwa, ubicado en el Barrio Santa Cruz, Parroquia Yaruquies (manzanilla).



Figura N° 8: Parcelas de Manzanilla
Fuente: Jambí Kiwa



Figura N° 9: Parcelas de Manzana
Fuente: San Antonio de Bayushig

2.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

En el siguiente cuadro se establecen las variables independientes y dependientes en las que se basa la investigación.

VARIABLE	CONCEPTO	INDICADOR	DIMENSIÓN	INSTRUMENTOS
Independiente				
Ratio de secado de la manzanilla y manzana	Tiempo que transcurre desde que el secador es cargado con el producto húmedo hasta que el producto haya alcanzado el contenido de humedad deseado.	Temperatura Tiempo Peso Curvas de secado	° C Horas Gramos Gráficos logarítmicos y lineales	Termómetro Reloj balanza analítica Microsoft Excel
Dependiente				
Manzana	Fruta comestible, de forma redonda, de color verde, amarillo o rojo, carne blanca y jugosa.	Humedad en muestra fresca	%	Secador tipo túnel de bandejas
Manzanilla	Planta herbácea de tallos débiles, hojas abundantes y flores olorosas con el centro amarillo y los pétalos blancos.	Humedad final muestra seca	%	

Cuadro N° 2: Operacionalización de variables

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

2.4. PROCEDIMIENTOS

- **Secado de manzana y manzanilla:** Se realizó en los laboratorios de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería Industrial, utilizando un secador tipo túnel de bandejas.
- **Determinación de las características físicas de la manzanilla y la manzana en función de la humedad:** Utilizando los datos tomados en el proceso de secado.
- **Determinación de la variación de la humedad:** Se realizó en función del tiempo y la temperatura de secado en la manzanilla y en la manzana.
- **Modelamiento de ratio de secado:** Ajustado a las variaciones de las características que se presentan en la manzanilla y en la manzana. El modelo de ratio de secado se determinó en el Instituto de Ciencia Innovación Tecnología y Saberes de esta universidad, con el aporte de técnicos en estas ramas.
- **Interpretación de resultados:** Los resultados alcanzados en esta investigación se describen en su respectivo capítulo.

Equipos	Materiales	Reactivos	Otros
<ul style="list-style-type: none"> • Secador tipo túnel de bandejas • Termo balanza • Balanza analítica • Desecador 	<ul style="list-style-type: none"> • Bandejas • Descorazonador • Cuchillos • Tijeras • Vasos de precipitación 	<ul style="list-style-type: none"> • Bisulfito de sodio (evita la oxidación de la manzana) • Agente desecante 	<ul style="list-style-type: none"> • Papel aluminio

Cuadro N° 3: Instrumentos utilizados

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

2.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

2.5.1. Manzana

2.5.1.1. Secado de Manzana

Las temperaturas de secado óptimo en frutas varían en rangos de 50°C a 90°C. Si las frutas son sometidas a un proceso de secado por temperaturas más altas puede alterar sus características físico- químicas. [3]

En esta investigación el proceso de secado se realizó a temperaturas de 50°, 60° y 70° C. Para lo cual se desarrollaron las siguientes actividades.

- **Adquisición de materia prima:** (Manzana Emilia, Manzana Delicia).

Las manzanas que se utilizó fueron cosechadas en la Parroquia Bayushig perteneciente al cantón Penipe ubicado en la Provincia de Chimborazo. Se controló que las manzanas estén recién cosechadas y en estado fresco para no alterar los datos que se tomaron para la determinación del modelo de ratio de secado.

- **Preparación de muestras:**

Se realizó un lavado de las manzanas, procediendo a quitar el corazón de las mismas para luego ser peladas y cortadas en rodajas de 3 a 4 milímetros de ancho.

En la siguiente figura se puede observar el descorazonado de la manzana para luego proceder a cortar en rodajas.



Figura N° 10: Descorazonado de Manzana

Fuente: Rojas María Fernanda 2014

La utilización de conservantes como el ácido cítrico, vinagre, bisulfito de sodio ayudan a mantener las características físicas en distintos alimentos. El mejor conservante que evita la oxidación de productos alimenticios es el bisulfito de sodio.

Para evitar la oxidación previamente se preparó una solución de sodio bisulfito (5 gramos en 100 litros de agua), donde las rodajas de manzana fueron introducidas en periodos de 1 a 2 minutos.



Figura N° 11: Inmersión de la manzana en sodio bisulfito

Fuente: Rojas María Fernanda 2014

El secador tipo túnel posee 4 bandejas en las que se colocó papel aluminio antes de colocar las rodajas de manzana para evitar que se peguen en las bandejas. En cada bandeja se colocó aproximadamente 125 gramos de manzana.



Figura N° 12: Pesado de la manzana
Fuente: Rojas María Fernanda 2014

- **Secado:**

Las muestras son colocadas en el secador a diferentes temperaturas. Por cada hora que dure este proceso se debe controlar la pérdida de humedad utilizando una balanza analítica.



Figura N° 13: Secado de la manzana
Fuente: Rojas María Fernanda 2014

Antes del pesaje se deberá dejar enfriar el producto por un periodo de 10 a 15 minutos, utilizando un desecador.

Es importante que el enfriamiento se lo realice en el desecador y no a la intemperie, debido a que si lo hacemos sin el uso de este, las muestras absorberán humedad presente en nuestro medio, alterando los resultados.



Figura N° 14: Enfriamiento de manzana en el desecador

Fuente: Rojas María Fernanda 2014

2.5.1.2. Determinación de las características físicas de la manzana en función de la humedad



Figura N° 15: Manzana en fresco

Fuente: Rojas María Fernanda 2014



Figura N° 16: Manzana deshidratada
Fuente: Rojas María Fernanda 2014

2.5.1.3. Determinación de la variación de la humedad

- **Control de pesos:**

Para determinar la variación de humedad durante el tiempo que transcurre el proceso de secado se realizó un pesado cada hora.

Antes de realizar el pesado se dejó enfriar el producto por un periodo de 10 a 15 minutos, utilizando un desecador.

Es importante que el enfriamiento se lo realice en el desecador y no a la intemperie, debido a que si lo hacemos sin el uso de este, las muestras absorberán humedad presente en nuestro medio, alterando los resultados.

En los Anexos se indican los pesos obtenidos en el proceso de secado a diferentes temperaturas de manzana Delicia y Emilia.

- **Determinación de la humedad**

Para determinar el % de humedad se calculó la pérdida de humedad y el porcentaje de masa seca según los pesos obtenidos en el proceso de secado.

En el capítulo III se indica la humedad obtenida en el proceso de secado según la variación del tiempo de manzana Delicia y Emilia.

2.5.2. Manzanilla

2.5.2.1. Secado de manzanilla

Se realizó a temperaturas de 40 ° C, 50° C y 60° C. Para lo cual se desarrollaron las siguientes actividades.

- **Adquisición de materia prima:** (manzanilla)

Las manzanillas utilizadas fueron proporcionadas por pequeños productores de plantas aromáticas y medicinales integrantes de la asociación Jambi Kiwa, ubicado en el Barrio Santa Cruz, Parroquia Yaruquies.

Inspeccionando que las ramas de manzanilla estén recién cosechadas y que no estén secas para no alterar los datos que se tomaron para la determinación del modelo de ratio de secado.

- **Preparación de muestras:**

Se realizó un lavado de las manzanillas, procediendo a cortar en ramas de 15 cm desde la flor.

El secador tipo túnel posee 4 bandejas en las que se colocó papel aluminio antes de colocar las ramas de manzanilla para evitar que se peguen en las bandejas y facilitar el pesado. En cada bandeja se colocó aproximadamente 50 gramos de manzanilla.



Figura N° 17: Pesado de la manzanilla

Fuente: Rojas María Fernanda 2014

- **Secado:**

Las muestras son colocadas en el secador a diferentes temperaturas. Por cada hora que dure este proceso se debe controlar la pérdida de humedad utilizando una balanza analítica.



Figura N° 18: Secado de la manzanilla

Fuente: Rojas María Fernanda 2014

Antes del pesaje se deberá dejar enfriar la manzanilla por un periodo de 10 a 15 minutos, utilizando un desecador.



Figura N° 19: Enfriamiento de manzanilla en el desecador
Fuente: Rojas María Fernanda 2014

2.5.2.2. Determinación de las características físicas de la manzana y la manzanilla en función de la humedad:



Figura N° 20: Manzanilla en fresco
Fuente: Rojas María Fernanda 2014



Figura N° 21: Manzanilla deshidratada

Fuente: Rojas María Fernanda 2014

2.5.2.3. Determinación de la variación de la humedad:

- **Control de pesos:**

Se realizó un control de pesos cada hora durante el tiempo de secado que conlleva el proceso.

La manzanilla se deja enfriar en un desecador por periodos de 10 a 15 minutos para el control de pesos.

En los Anexos se indican los pesos obtenidos en el proceso de secado a diferentes temperaturas de manzanilla.

- **Determinación de la humedad**

Para calcular el % de humedad de la manzanilla, se calculó la pérdida de humedad y el porcentaje de masa, de acuerdo a los pesos obtenidos en el secado a diferentes temperaturas. Se utilizó la técnica de gravimetría a través de una diferencia de pesos utilizando un secador tipo túnel de bandejas. En el capítulo III se indica la humedad obtenida en el proceso de secado según la variación del tiempo de la manzanilla.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

En este capítulo se indican los resultados obtenidos según el desarrollo de esta investigación “ DETERMINACIÓN DE UN MODELO DE RATIO DE SECADO EN MANZANA Y MANZANILLA PARA LOGRAR LA EFICIENCIA DE SECADO DEL PRODUCTO EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”.

3.1. MANZANA

3.1.1. Características físicas de la manzana deshidratada

Una vez que la manzana ha pasado por un proceso de secado se pueden observar a simple vista los cambios físicos que resultan.

Se determinó que el color de la manzana fresca por lo general es blanco tendiendo a ser amarillo, una vez deshidratada el cambio en el color es muy notorio. Las manzanas secas toman un color amarillo pardo parecido al color de la corteza del kiwi.

El olor es agradable y se reduce con el proceso de secado.

El sabor de las manzanas deshidratadas es menos intenso que el sabor de las manzanas frescas, pero tiende a ser más ácido.

Se determinó que poseen una textura crocante similar a las papas Ruffles que se comercializa en el mercado nacional.

Su tamaño se reduce en un 30% debido a que en el proceso de secado la manzana pierde humedad tendiendo a encogerse.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MANZANA DESHIDRATADA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
COLOR	Amarillo pardo										
OLOR	Agradable										
SABOR	Dulce										
	Acido										
TEXTURA	Crocante										
TAMAÑO	Reduce										

Cuadro N° 4: Características físicas de la manzana deshidratada

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

3.2.10. Promedio del secado.

Para poder obtener un modelo de ratio que se ajuste a cada temperatura; se realizó un promedio de los pesos obtenidos en cada repetición a diferentes temperaturas.

En los siguientes cuadros se indica los promedios obtenidos en el proceso de secado.

a) Manzana Delicia

PESOS PROMEDIO DE MANZANA DELICIA A 50° C							
REPETICIONES	PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA	PESO 5HORA	PESO 6 HORA
R1	125,20	72,20	29,90	16,00	15,80	15,65	15,40
R2	126,00	79,30	34,20	17,20	16,60	16,45	15,50
R3	125,50	75,90	28,30	17,30	17,00	16,80	15,80
Promedio	125,57	75,80	30,80	16,83	16,47	16,30	15,57

Cuadro N° 5: Pesos promedio de manzana Delicia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

PESOS PROMEDIO DE MANZANA DELICIA A 60° C						
REPETICIONES	PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA	PESO 5HORA
R1	125,50	65,20	23,10	18,40	18,20	15,50
R2	125,5	56,2	20,2	17,9	17	15,1
R3	125,1	63,6	22,5	19,1	18,8	15,9
Promedio	125,37	61,67	21,93	18,47	18,00	15,50

Cuadro N° 6: Pesos promedio de manzana Delicia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

PESOS PROMEDIO DE MANZANA DELICIA A 70° C					
REPETICIONES	PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA
R1	125,9	61,2	27	16,3	15,7
R2	125,9	54,4	20	15,9	15,6
R3	124,7	47,9	16,7	16	14,9
Promedio	125,50	54,50	21,23	16,07	15,40

Cuadro N° 7: Pesos promedio de manzana Delicia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

b) Manzana Emilia

PESOS PROMEDIO DE MANZANA EMILIA A 50° C							
REPETICIONES	PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA	PESO 5HORA	PESO 6 HORA
R1	125,70	81,60	36,80	23,00	16,50	15,80	15,40
R2	125,10	76,70	30,60	21,45	16,95	15,70	15,40
R3	126,20	81,35	33,60	22,95	16,95	15,50	15,25
Promedio	125,67	79,88	33,67	22,47	16,80	15,67	15,35

Cuadro N° 8: Pesos promedio de manzana Emilia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

PESOS PROMEDIO DE MANZANA EMILIA A 60° C						
REPETICIONES	PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA	PESO 5HORA
R1	126,00	66,20	22,20	15,60	15,10	14,90
R2	125,80	53,50	17,50	16,40	15,50	15,10
R3	126,50	65,00	23,60	16,40	16,00	15,10
Promedio	126,10	61,57	21,10	16,13	15,53	15,03

Cuadro N° 9: Pesos promedio de manzana Emilia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

PESOS PROMEDIO DE MANZANA EMILIA A 70° C					
REPETICIONES	PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA
R1	125,70	72,80	29,80	15,85	15,25
R2	125,60	56,00	19,80	16,35	15,40
R3	126,10	63,00	25,00	16,10	15,20
Promedio	125,80	63,93	24,87	16,10	15,28

Cuadro N° 10: Pesos promedio de manzana Emilia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

3.2.11. Análisis estadístico ANOVA

El análisis de la varianza permite determinar si los datos adquiridos de un experimento son o no significativos.

Este análisis establece que al obtener una probabilidad mayor al 0,05 los datos son estadísticamente significativos, mientras que al obtener una probabilidad menor a 0,05 los datos no son estadísticamente significativos.

En esta investigación se realizó el análisis ANOVA, en la que se estableció un intervalo de confianza del 95 % y un margen de error de 0,05.

a) Manzana Delicia

Al realizar el análisis ANOVA de la manzana Delicia se obtuvo una probabilidad menor al 0,05 es decir que los datos no son estadísticamente significativos a partir de la cuarta hora del secado a 50°C, de la tercera hora del secado a 60° C y de la segunda hora del secado a 70° C.

En los siguientes cuadros se puede observar los datos obtenidos en el análisis de varianza.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1,37555556	2	0,68777778	2,70	0,015	5,14325285
Dentro de los grupos	1,52833333	6	0,25472222			
Total	2,90388889	8				

Cuadro N° 11: Análisis ANOVA de manzana Delicia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	9,14333333	2	4,57166667	14,827027	0,03	9,552094496
Dentro de los grupos	0,925	3	0,30833333			
Total	10,0683333	5				

Cuadro N° 12: Análisis ANOVA de manzana Delicia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	61,1666667	2	30,5833333	3,28892341	0,01	5,14325285
Dentro de los grupos	55,7933333	6	9,29888889			
Total	116,96	8				

Cuadro N° 13: Análisis ANOVA de manzana Delicia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

b) Manzana Emilia

Al realizar el análisis ANOVA de la manzana Emilia se obtuvo una probabilidad menor al 0,05 es decir que los datos no son estadísticamente significativos a partir de la cuarta hora del secado a 50°C, de la tercera hora del secado a 60° C y de la segunda hora del secado a 70° C.

En los siguientes cuadros se puede observar los datos obtenidos en el análisis de varianza.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3,48722222	2	1,74361111	53,1949153	0,00	5,14325285
Dentro de los grupos	0,19666667	6	0,03277778			

Cuadro N° 14: Análisis ANOVA de manzana Emilia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1,82	2	0,91	6,34883721	0,03	5,14325285
Dentro de los grupos	0,86	6	0,14333333			
Total	2,68	8				

Cuadro N° 15: Análisis ANOVA de manzana Emilia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	169,361667	2	84,6808333	10,1265945	0,01	5,14325285
Dentro de los grupos	50,1733333	6	8,36222222			
Total	219,535	8				

Cuadro N° 16: Análisis ANOVA de manzana Emilia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

3.2.12. Determinación del % de Humedad

El porcentaje de Humedad es un parámetro muy importante en el análisis de la cinética del secado. Cuan mayor sea el contenido de humedad presente en el producto, este requerirá un mayor proceso de secado; influyendo en el tiempo y temperatura.

La humedad obtenida es el resultado de cada hora que conlleva el proceso de secado. En las primeras horas es donde mayor % de humedad pierde la manzana.

Para determinar el porcentaje de humedad en el proceso de secado, se realizó el promedio de pesos obtenidos de las tres repeticiones realizadas por cada temperatura. Estableciendo el % de humedad en muestra fresca que varía en un peso de aproximadamente 85 %. Se ejecutó la representación del porcentaje de humedad a diferentes temperaturas.

Según el porcentaje de humedad final en la manzana Delicia y Emilia, los ratios de secado varían considerablemente.

En los siguientes cuadros se detalla los factores que intervienen en el cálculo del % de humedad, analizando la pérdida de humedad y observando la reducción del % de masa seca que se obtiene.

a) Manzana Delicia

MANZANA DELICIA A 50° C (en gramos) Repetición # 1							
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)	Peso 5 hora (g)	Peso 6 hora (g)
	125,57	75,80	30,80	16,83	16,47	16,30	15,57
Pérdida de humedad		39,63	75,47	86,59	86,89	87,02	87,60
% Masa seca	84,80	60,37	24,53	13,41	13,11	12,98	12,40

Cuadro N° 17: Humedad de la manzana Delicia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

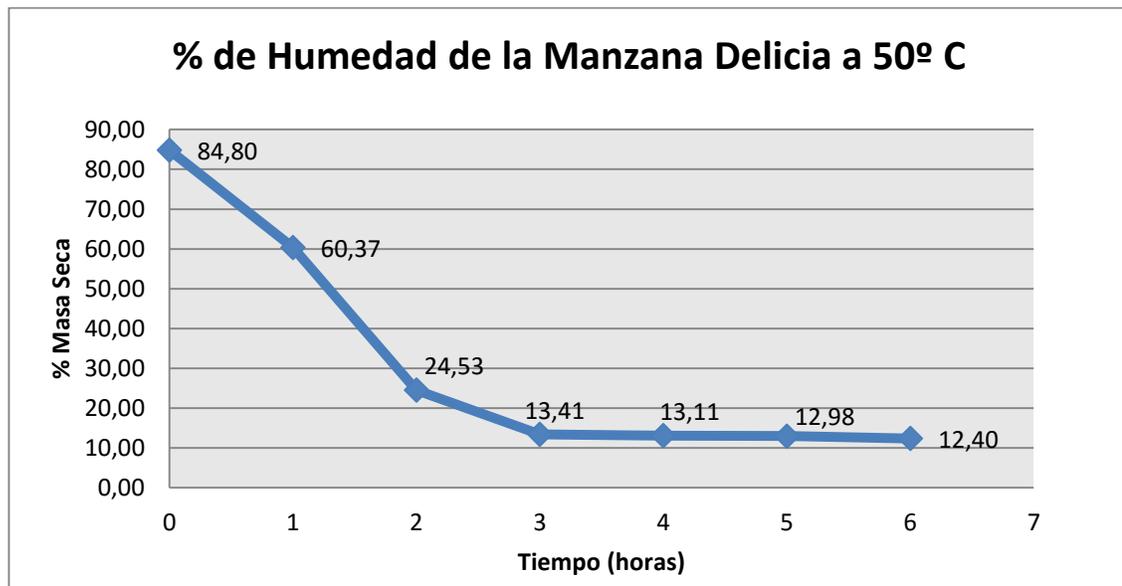


Figura N° 22: Humedad de la manzana Delicia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 60° C (en gramos) Repetición # 1						
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)	Peso 5 hora (g)
	125,37	61,67	21,93	18,47	18,00	15,50
Pérdida de humedad		50,81	82,50	85,27	85,64	87,64
% Masa seca	85,60	49,19	17,50	14,73	14,36	12,36

Cuadro N° 18: Humedad de la manzana Delicia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

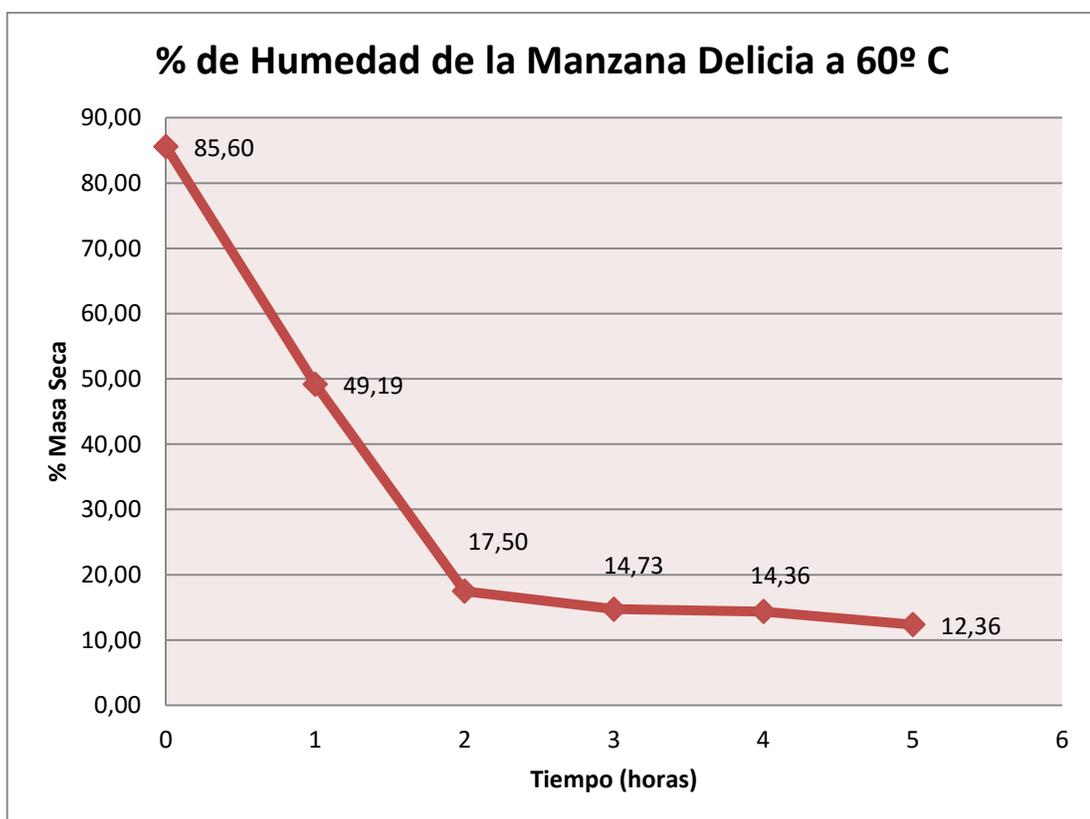


Figura N° 23: Humedad de la manzana Delicia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 70° C (en gramos) Repetición # 1					
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)
	125,50	54,50	21,23	16,07	15,40
Pérdida de humedad		56,57	83,08	87,20	87,73
% Masa seca	84,20	43,43	16,92	12,80	12,27

Cuadro N° 19: Humedad de la manzana Delicia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

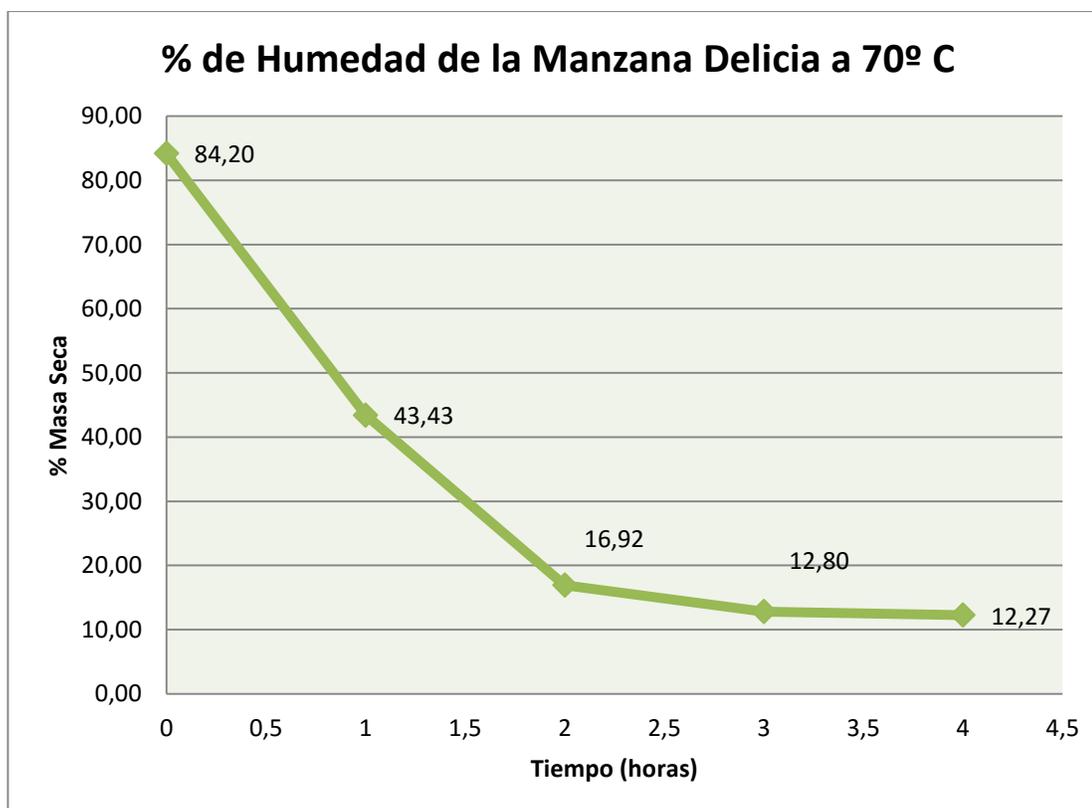


Figura N° 24: Humedad de la manzana Delicia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

b) Manzana Emilia

MANZANA EMILIA A 50° C (en gramos)							
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)	Peso 5 hora (g)	Peso 6 hora (g)
	125,67	79,88	33,67	22,47	16,80	15,67	15,35
Pérdida de humedad		36,43	73,21	82,12	86,63	87,53	87,79
% Masa seca	85,20	63,57	26,79	17,88	13,37	12,47	12,21

Cuadro N° 20: Humedad de la manzana Emilia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

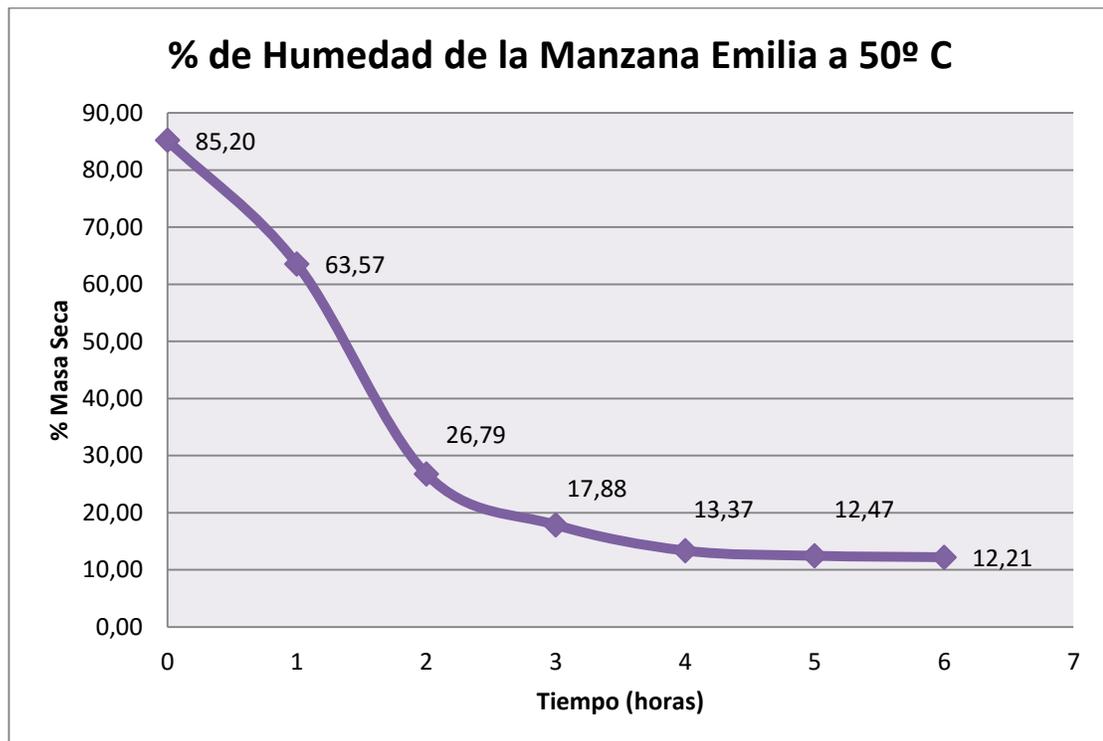


Figura N° 25: Humedad de la manzana Emilia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 60° C (en gramos)						
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)	Peso 5 hora (g)
	126,10	61,57	21,10	16,13	15,53	15,03
Pérdida de humedad		51,18	83,27	87,21	87,68	88,08
% Masa seca	84,80	48,82	16,73	12,79	12,32	11,92

Cuadro N° 21: Humedad de la manzana Emilia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

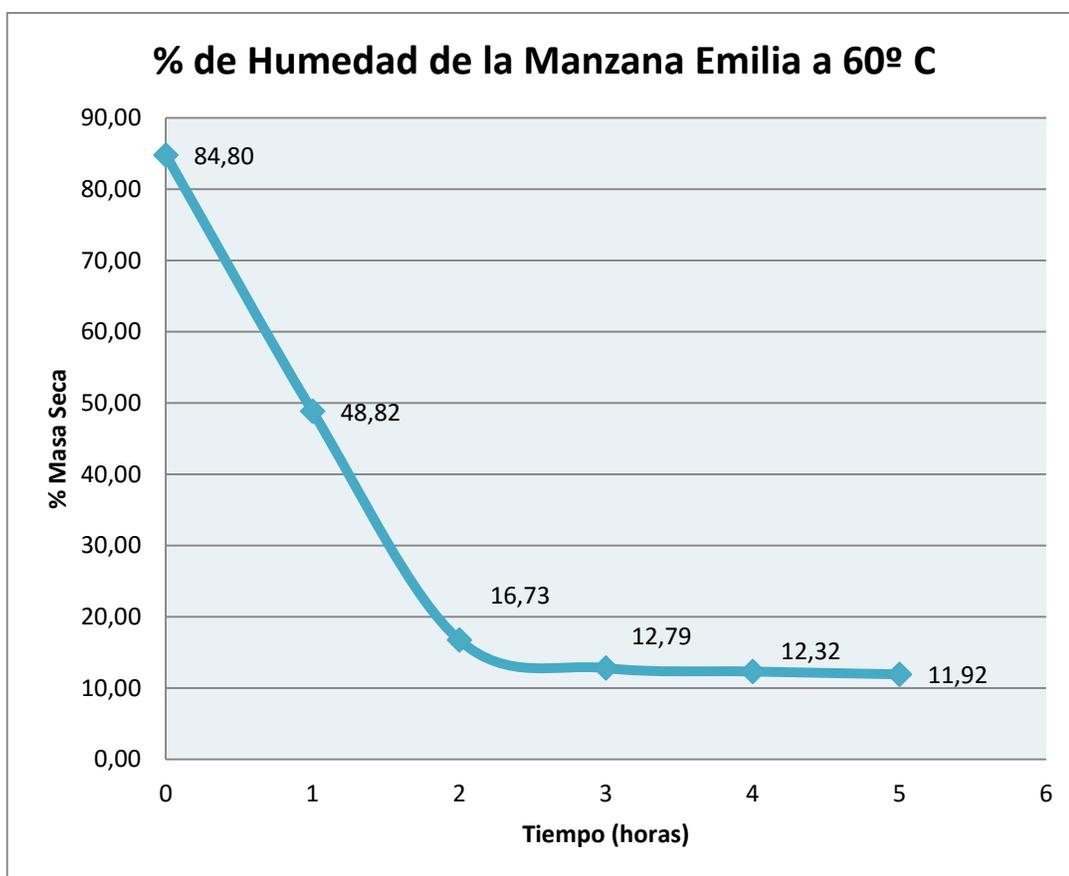


Figura N° 26: Humedad de la manzana Emilia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 70° C (en gramos) Repetición # 2					
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)
		125,80	63,93	24,87	16,10
Pérdida de humedad		49,18	80,23	87,20	87,85
% Masa seca	85,2	50,82	19,77	12,80	12,15

Cuadro N° 22: Humedad de la manzana Emilia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

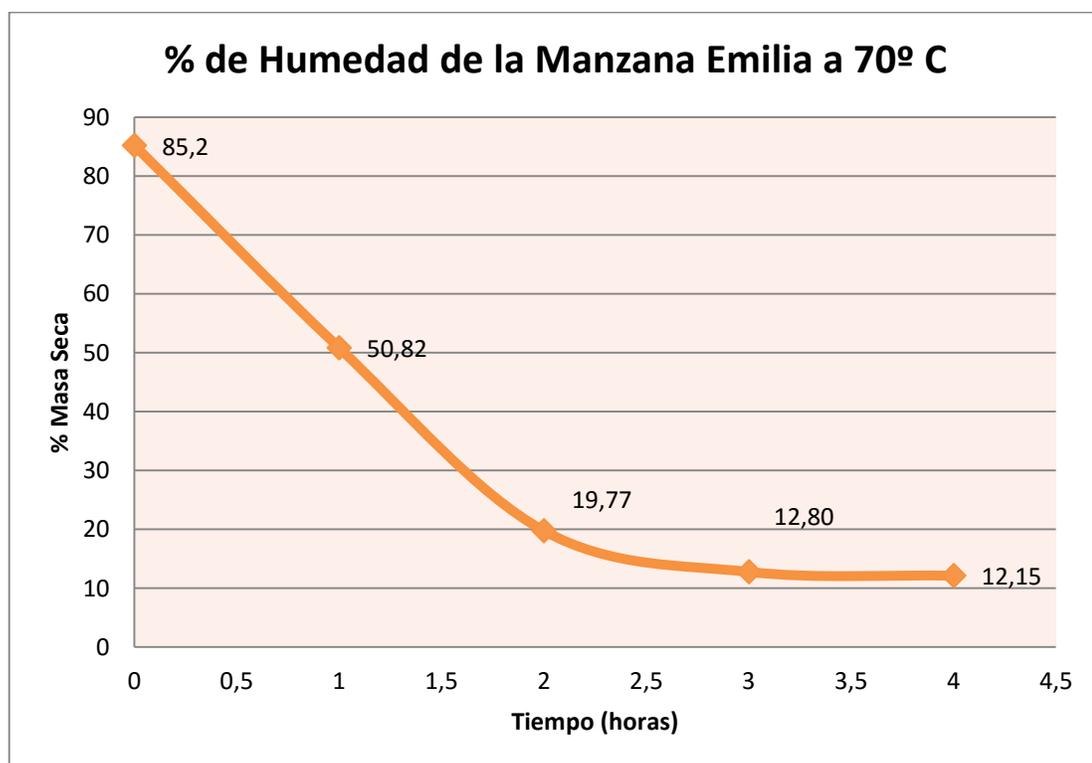


Figura N° 27: Humedad de la manzana Emilia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

3.2.13. Linealización del ratio de secado.

La linealización del ratio de secado se determinó utilizando los pesos promedios obtenidos de cada repetición realizada, se estableció el logaritmo natural, la masa relativa con respecto al tiempo para luego estos datos representarlos mediante curvas estadísticas.

Para la linealización del ratio de secado se tomó como referencia el modelo matemático de la curva característica en el que se aplica la ecuación $y = Ax + B$.

En los siguientes cuadros se especifica la linealización del ratio según los pesos promedios del secado de manzana.

a) Manzana Delicia

MANZANA DELICIA A 50 ° C.							
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4	5	6
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	125,57	75,80	30,80	16,83	16,47	16,30	15,57
MASA RELATIVA	1,00	0,60	0,25	0,13	0,13	0,13	0,12
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,50	-1,41	-2,01	-2,03	-2,04	-2,09

Cuadro N° 23: Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 60 ° C.						
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4	5
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	125,37	61,67	21,93	18,47	18,00	15,50
MASA RELATIVA	1,00	0,49	0,17	0,15	0,14	0,12
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,71	-1,74	-1,92	-1,94	-2,09

Cuadro N° 24: Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 70 ° C.					
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	125,50	54,50	21,23	16,07	15,40
MASA RELATIVA	1,00	0,43	0,17	0,13	0,12
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,83	-1,78	-2,06	-2,10

Cuadro N° 25: Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

b) Manzana Emilia

MANZANA EMILIA A 50 ° C.							
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4	5	6
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	125,67	79,88	33,67	22,47	16,80	15,67	15,35
MASA RELATIVA	1,00	0,64	0,27	0,18	0,13	0,12	0,12
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,45	-1,32	-1,72	-2,01	-2,08	-2,10

Cuadro N° 26: Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 60 ° C.						
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4	5
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	126,10	61,57	21,10	16,13	15,53	15,03
MASA RELATIVA	1,00	0,49	0,17	0,13	0,12	0,12
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,72	-1,79	-2,06	-2,09	-2,13

Cuadro N° 27: Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 70 ° C.					
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	125,80	63,93	24,87	16,10	15,28
MASA RELATIVA	1,00	0,51	0,20	0,13	0,12
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,68	-1,62	-2,06	-2,11

Cuadro N° 28: Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

3.2.14. Curvas de secado.

Se realizó curvas de secados utilizando ecuaciones anti logarítmicas. El proceso de secado se representa mediante curvas que describen el peso del producto en función al tiempo y masa relativa.

Para la determinación de las curvas de secado las ecuaciones que más se ajustaron fueron las ecuaciones lineales y exponenciales.

3.2.14.1. Curva de secado de Logaritmo Natural de la Masa Relativa en función del tiempo.

Con los datos obtenidos al realizar la linealización del ratio del promedio total de pesos obtenidos de secado de manzana, se determinaron las curvas de secado; relacionando el logaritmo natural por la masa relativa en función al tiempo. Las ecuaciones lineales fueron las que más se ajustaron a un coeficiente de correlación de uno.

En las siguientes figuras se pueden observar las curvas de LN MR en función al tiempo.

a) Manzana Delicia

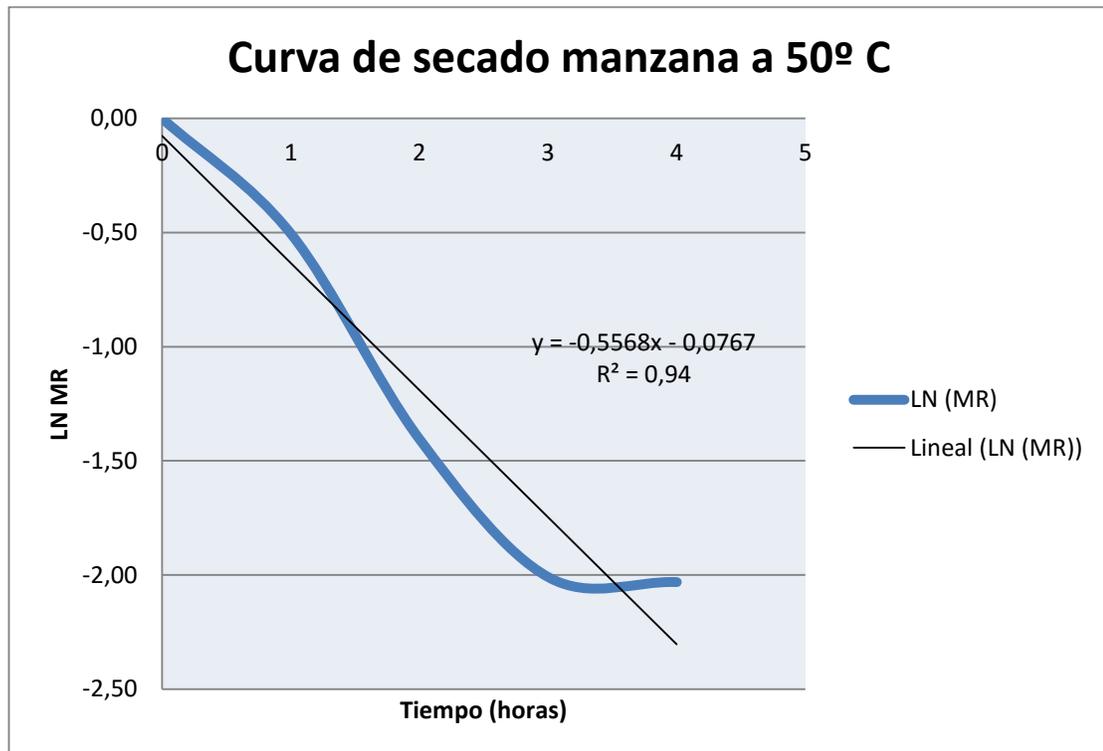


Figura N° 28: LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

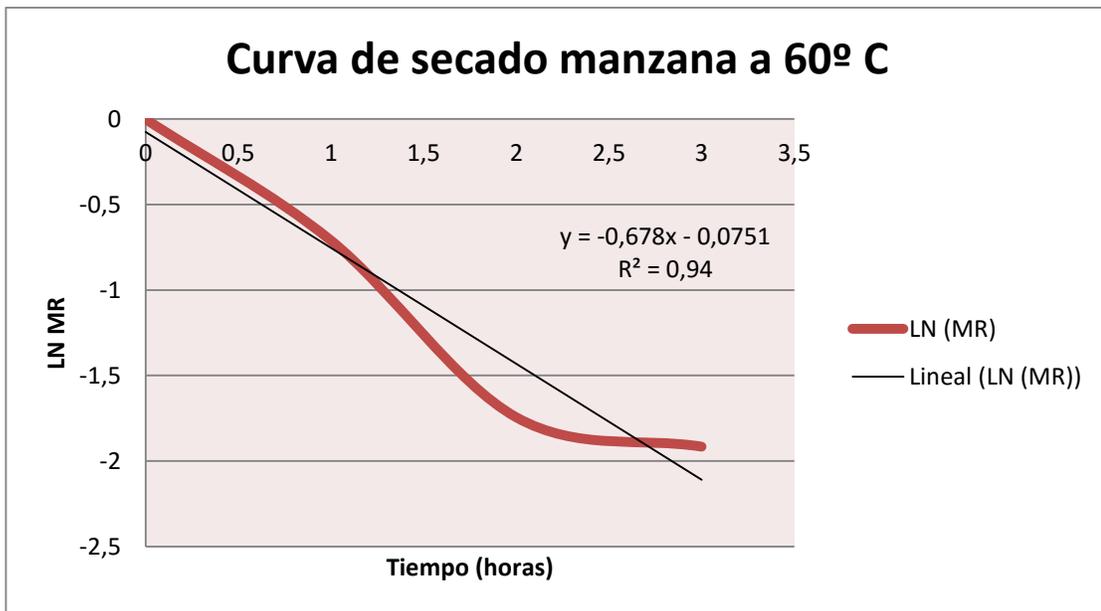


Figura N° 29: LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

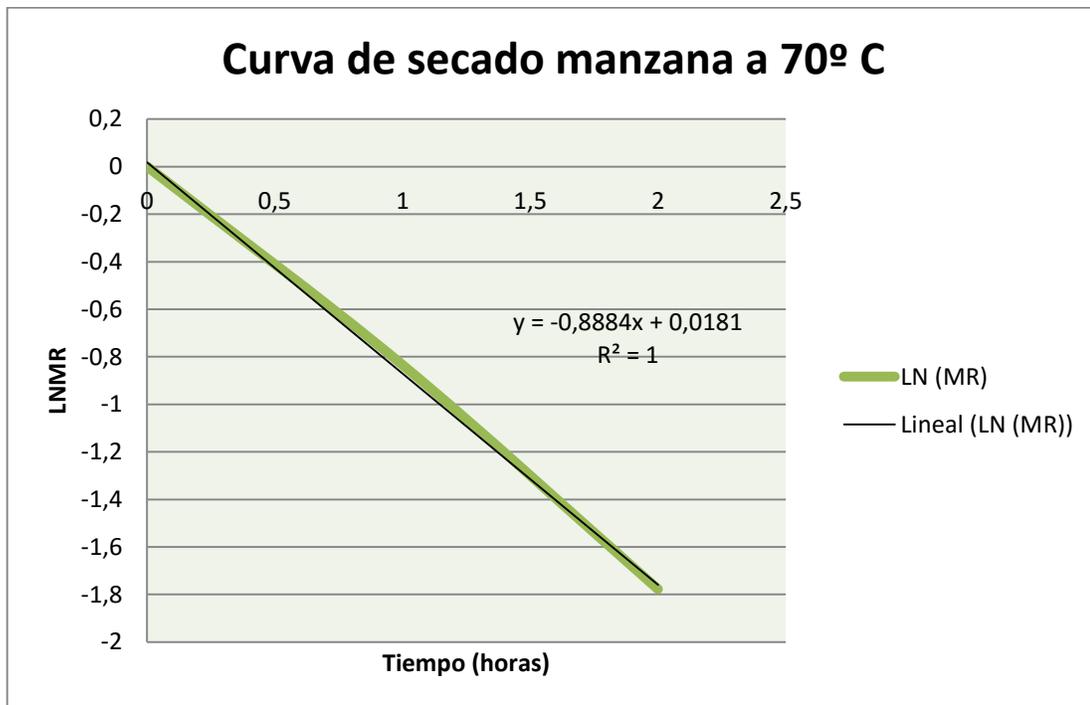


Figura N° 30: LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

b) Manzana Emilia

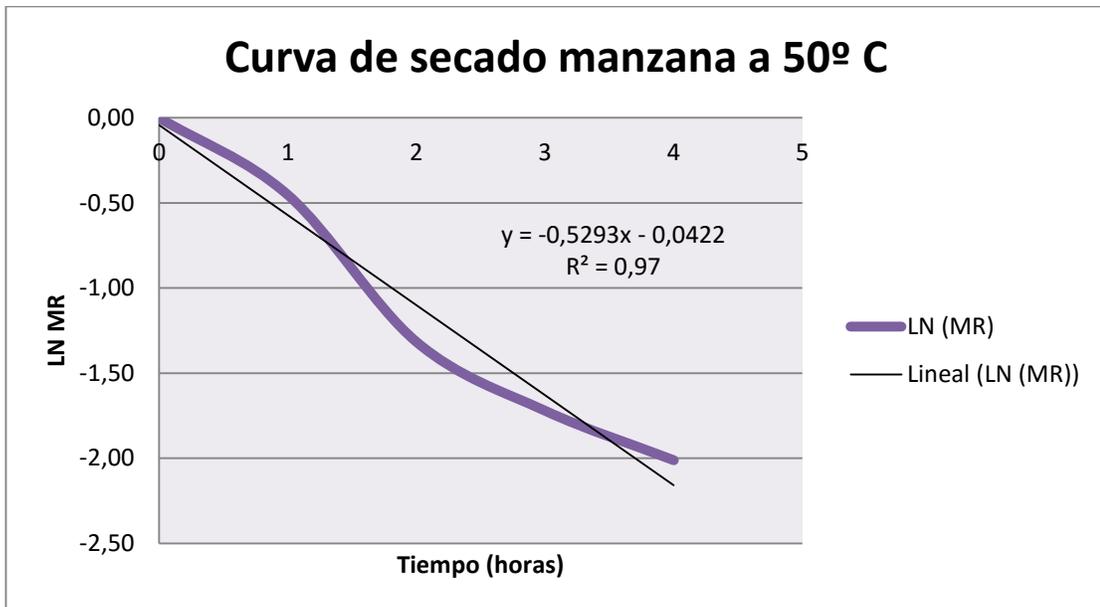


Figura N° 31: LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

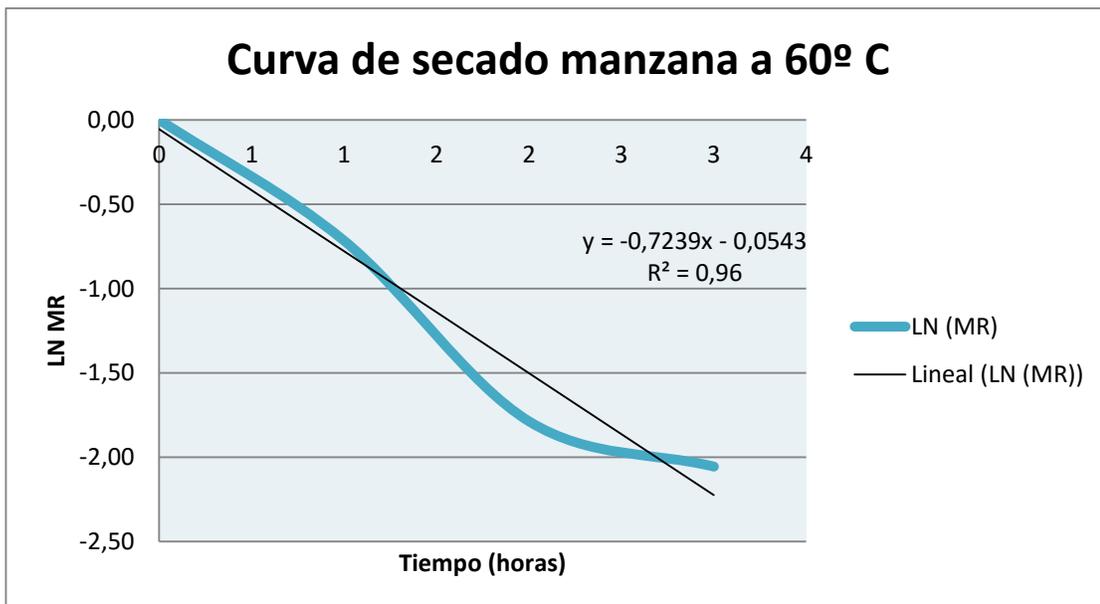


Figura N° 32: LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

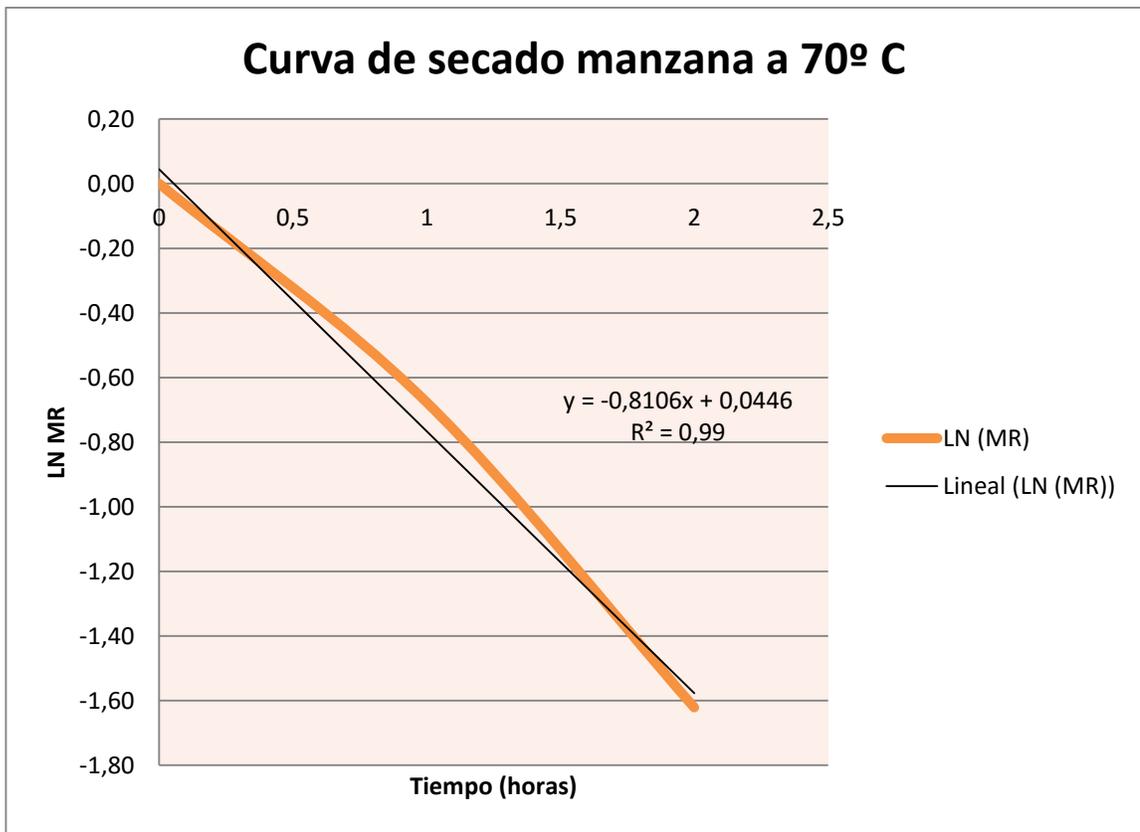


Figura N° 33: LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

3.2.14.2. Curva de secado de la Masa Relativa en función del tiempo.

Al obtener los datos de la linealización del ratio del promedio total de pesos obtenidos de secado de manzana, se determinaron las curvas de secado de MR; relacionando la masa relativa en función al tiempo.

Las ecuaciones exponenciales fueron las que más se ajustaron a un coeficiente de correlación de uno.

En las siguientes figuras se pueden observar las curvas de MR en función al tiempo.

a) Manzana Delicia

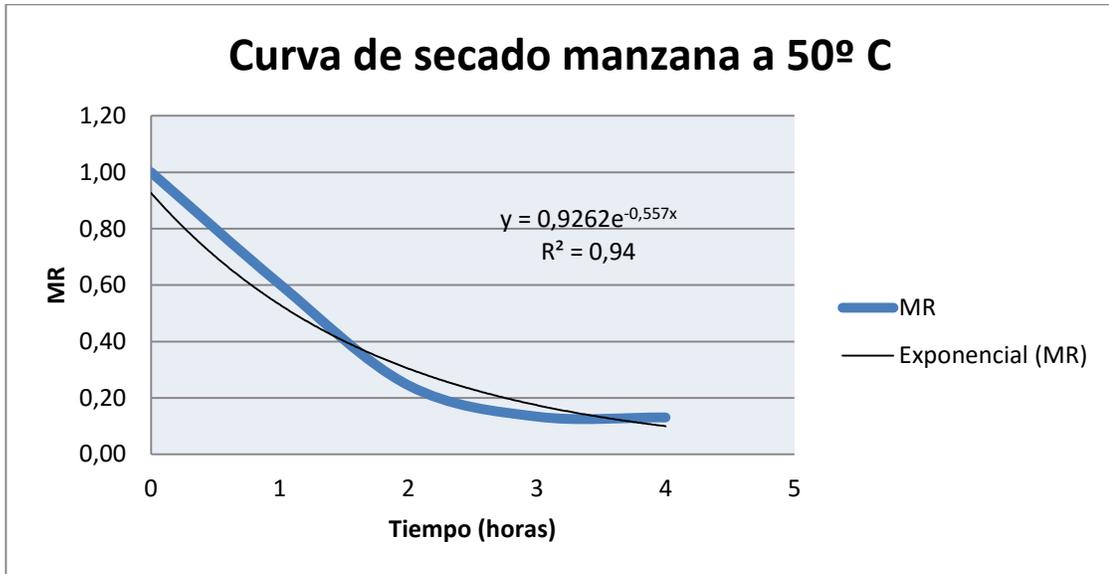


Figura N° 34: MR vs tiempo de manzana Delicia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

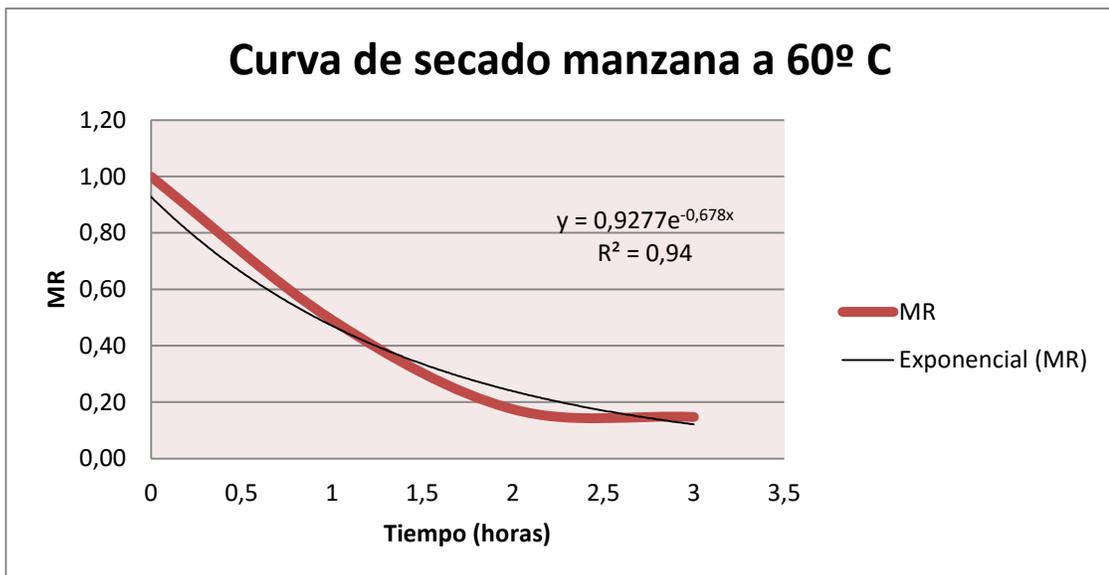


Figura N° 35: MR vs tiempo de manzana Delicia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

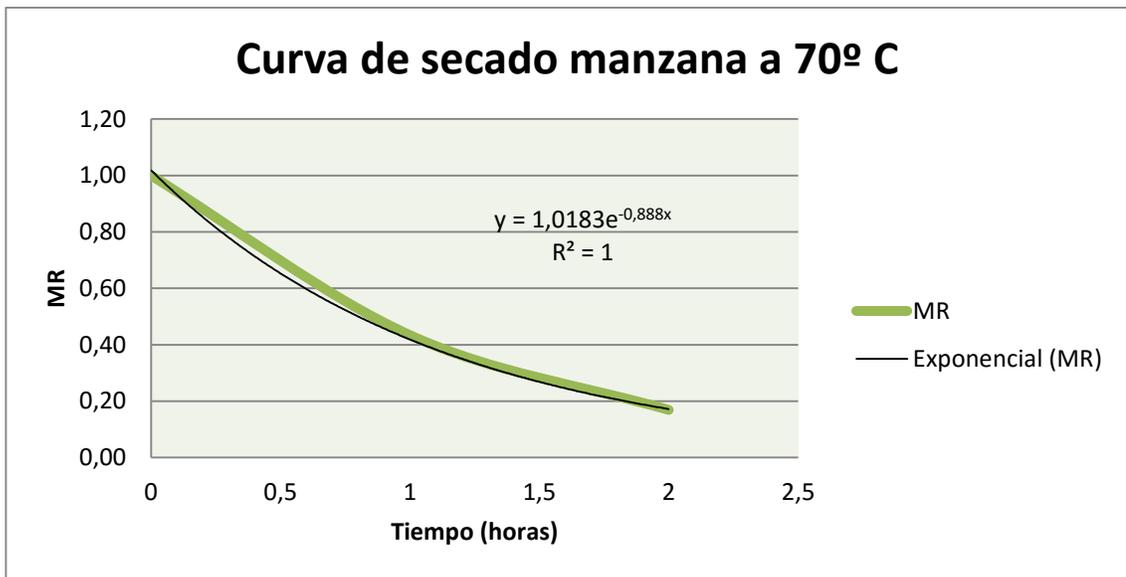


Figura N° 36: MR vs tiempo de manzana Delicia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

b) Manzana Emilia

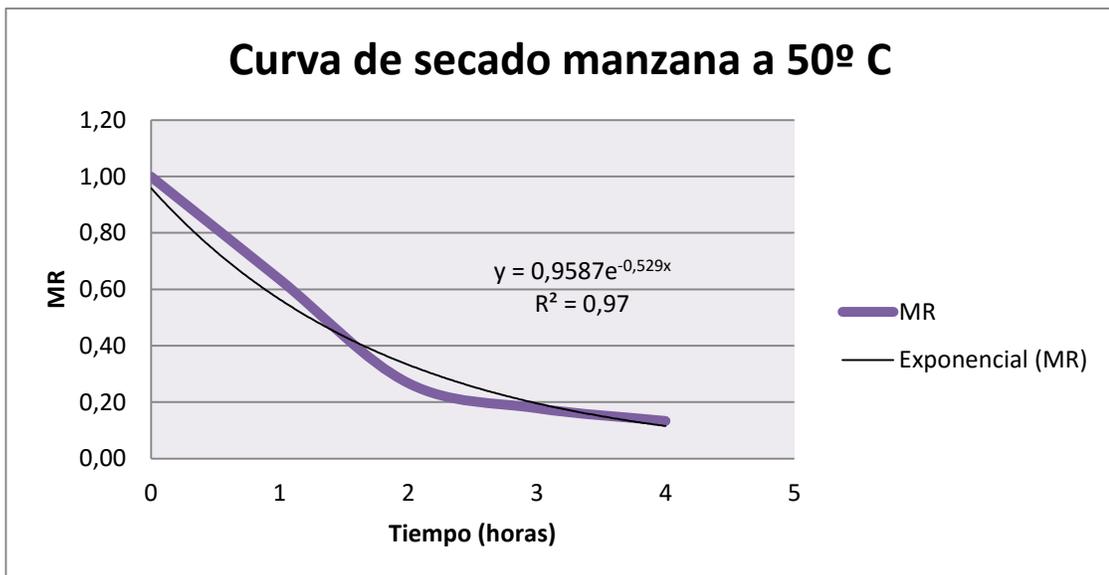


Figura N° 37: MR vs tiempo de manzana Emilia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

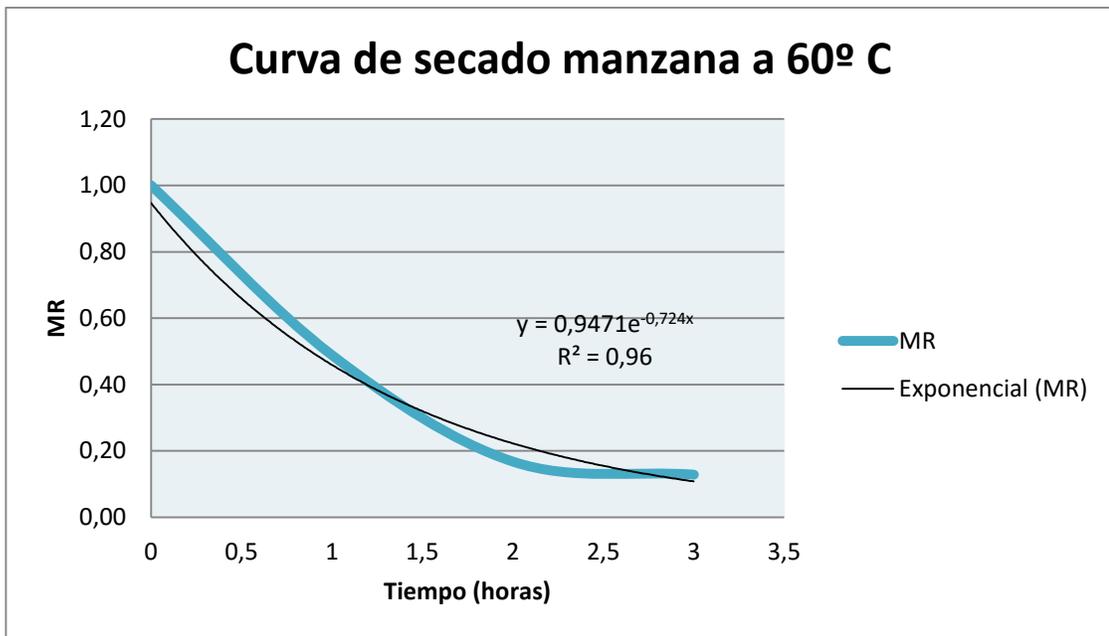


Figura N° 38: MR vs tiempo de manzana Emilia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

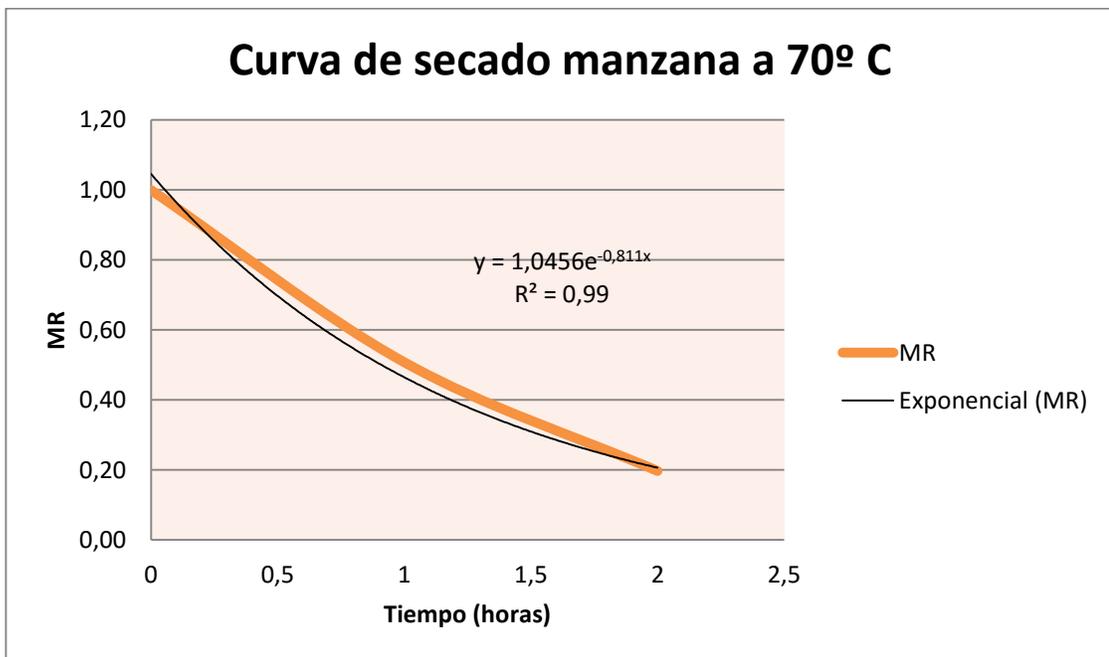


Figura N° 39: MR vs tiempo de manzana Emilia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

3.2.15. Determinación de la constante "A".

La constante "A" de la manzana es una constante de regresión que se obtiene de las curvas de secado de LN (MR) en función del tiempo aplicando los datos conseguidos de y.

Esta constante determina el decremento de la difusividad térmica con relación a la temperatura a la que está expuesta el producto.

En las siguientes figuras se pueden observar las curvas de "A" en función al tiempo.

a) Manzana Delicia

TEMPERATURAS	A
50° C	-0,0767
60 ° C	-0,0751
70 ° C	0,0181

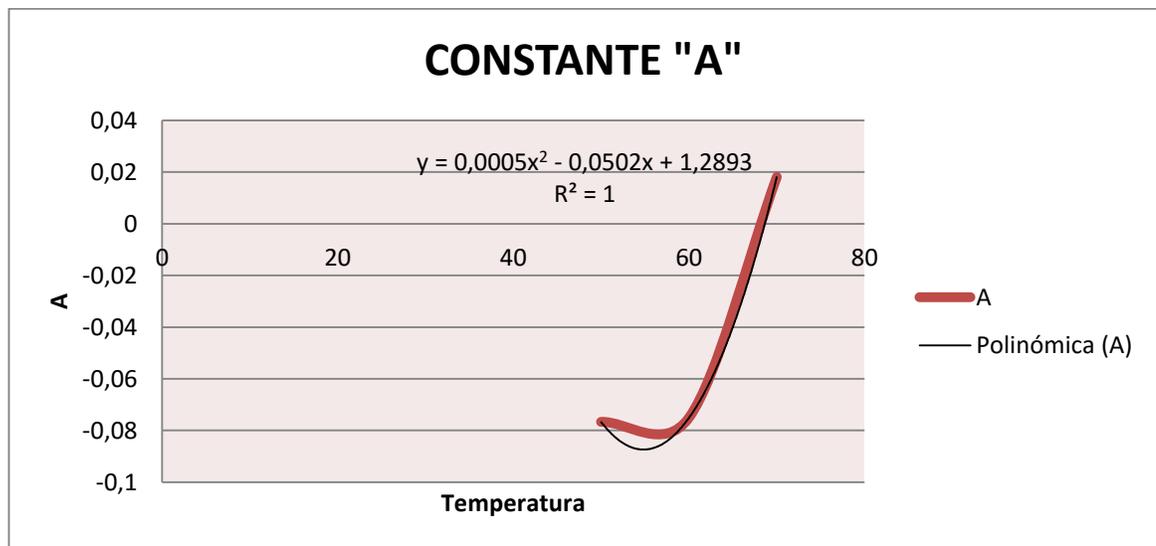


Figura N° 40: Variable "A" manzana Delicia

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

b) Manzana Emilia

TEMPERATURAS	A
50° C	-0,0422
60° C	-0,0543
70° C	0,0446

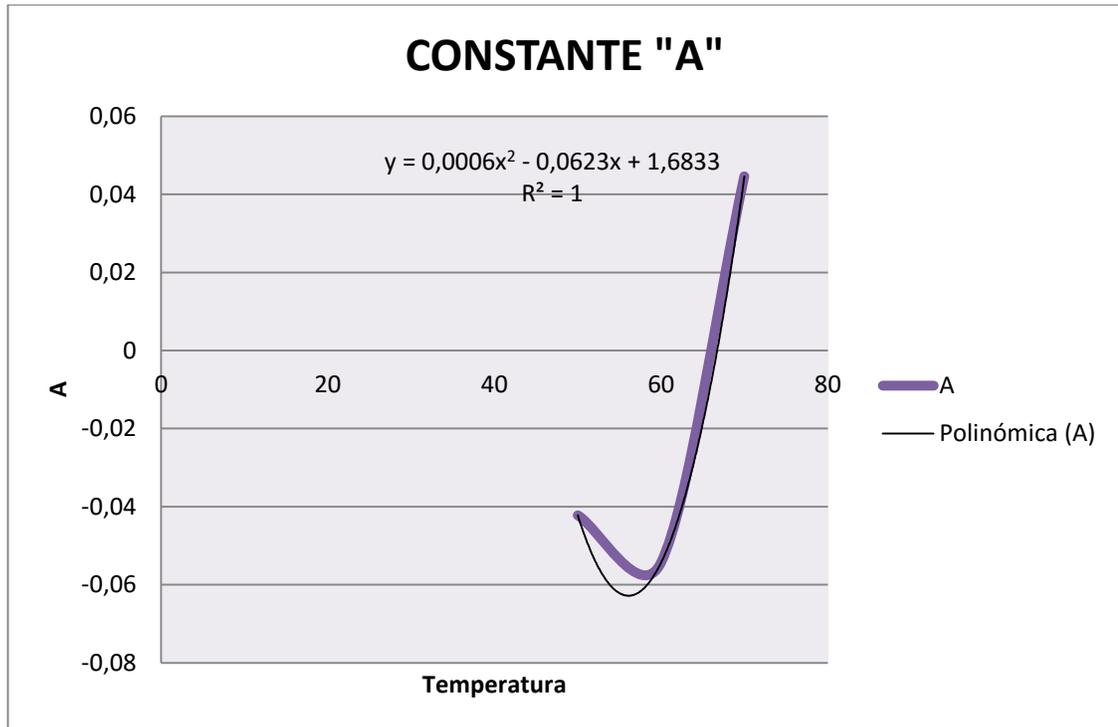


Figura N° 41: Variable "A" manzana Emilia

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

3.2.16. Determinación de la constante “B” de la manzana

La constante “B” de la manzana se estableció utilizando los datos conseguidos de las curvas de secado de LN (MR) en función del tiempo aplicando los datos logrados según las temperaturas de secado.

Esta constante determina la dinámica del secado del producto con relación a la temperatura a la que está expuesta el producto.

En las siguientes figuras se pueden observar las curvas de “B” en función al tiempo.

a) Manzana Delicia

TEMPERATURAS	B
50° C	-0,5568
60° C	-0,678
70° C	-0,8884

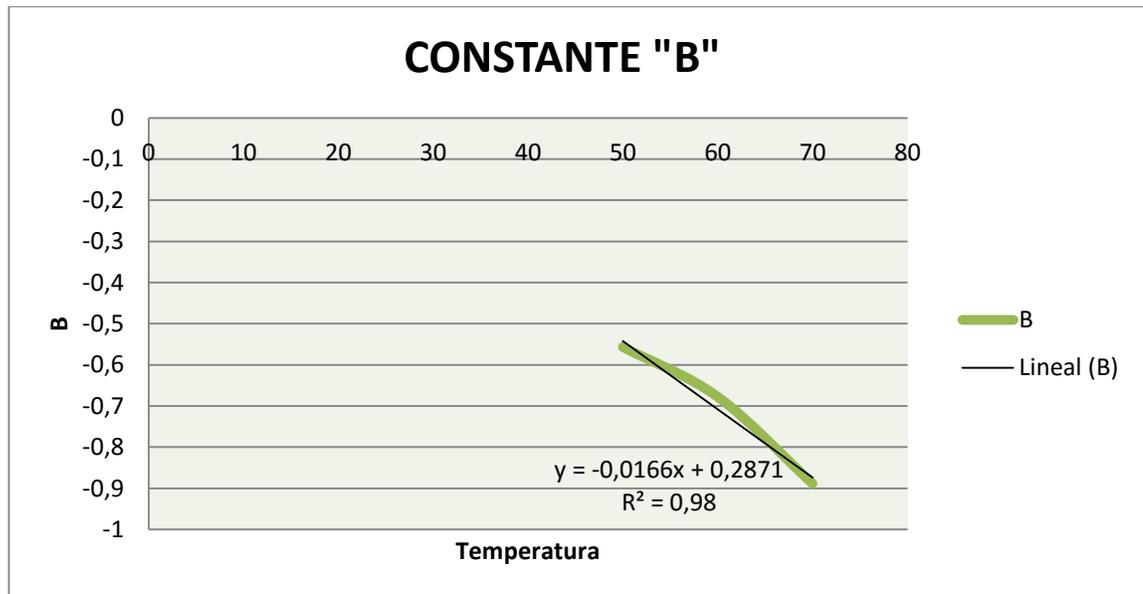


Figura N° 42: Constante “B” manzana Delicia

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

b) Manzana Emilia

TEMPERATURAS	B
50° C	-0,5293
60° C	-0,7239
70° C	-0,8106

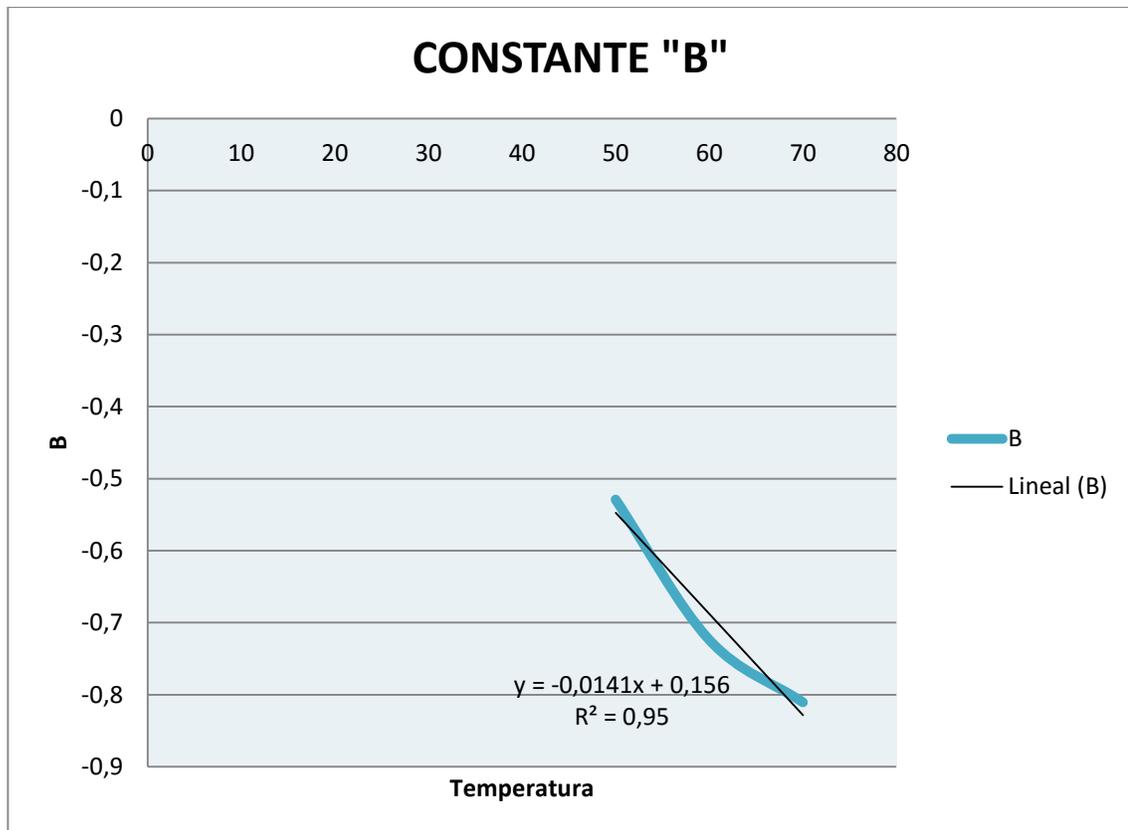


Figura N° 43: Constante "B" manzana Emilia

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

3.2.17. Ratio de secado.

El ratio de secado representa el tiempo que transcurre desde que un producto en estado húmedo se somete a un proceso de secado hasta que el producto haya alcanzado el contenido de humedad deseado.

Según los datos obtenidos del contenido de humedad del producto con respecto al tiempo establecerán el ratio de secado.

3.2.17.1. Determinación del tiempo de secado.

Para determinar el tiempo de secado de manzana se utilizó los datos obtenidos en las curvas de “A” y “B” logrando el tiempo de secado que transcurre en el proceso a diferentes temperaturas. El tiempo de secado se ajusta a la cantidad de masa relativa a la que se pretende llegar, en esta investigación la masa relativa llegó al 15 %.

En los siguientes cuadros se especifica los tiempos de secado de manzana Delicia y Emilia, obtenidos de un modelamiento de ratio de secado.

a) Manzana Delicia

Temperatura de secado (°C)	50
MR (%)	15
A	0,0293
B	-0,5429
Tiempo de secado (horas)	4

Cuadro N° 29: Tiempo de secado de manzana Delicia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Temperatura de secado (°C)	60
MR (%)	15
A	0,0773
B	-0,7089
Tiempo de secado (horas)	3

Cuadro N° 30: Tiempo de secado de manzana Delicia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Temperatura de secado (°C)	70
MR (%)	15
A	0,2253
B	-0,8749
Tiempo de secado (horas)	2:30

Cuadro N° 31: Tiempo de secado de manzana Delicia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

b) Manzana Emilia

Temperatura de secado (°C)	50
MR (%)	15
A	0,0683
B	-0,549
Tiempo de secado (horas)	4

Cuadro N° 32: Tiempo de secado de manzana Emilia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Temperatura de secado (°C)	60
MR (%)	15
A	0,1053
B	-0,69
Tiempo de secado (horas)	3

Cuadro N° 33: Tiempo de secado de manzana Emilia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Temperatura de secado (°C)	70
MR (%)	15
A	0,2623
B	-0,831
Tiempo de secado (horas)	2:30

Cuadro N° 34: Tiempo de secado de manzana Emilia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

3.2.17.2. Modelamiento del ratio de secado.

El ratio de secado describe los parámetros de deshidratado de manzana en función a bases numéricas antilogaritmicas de la masa relativa que determina el tiempo óptimo para desarrollar un proceso de secado.

Para obtener el modelo de ratio se aplicó las ecuaciones resultantes de la determinación de las constantes “A” y “B”.

En las siguientes curvas se puede observar el decremento de la Masa Relativa con respecto al Tiempo.

a) Manzana Delicia

TIEMPO (horas)	MASA RELATIVA
0	1,03
1	0,60
2	0,35
3	0,20
4	0,12
5	0,07
6	0,04
7	0,02
8	0,01
9	0,00
10	0,00

Cuadro N° 35: Modelamiento del ratio de secado de la manzana Delicia a 50° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014



Figura N° 44: Modelamiento del ratio de secado de la manzana Delicia a 50° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

TIEMPO (horas)	MASA RELATIVA
0	1,08
1	0,53
2	0,26
3	0,13
4	0,06
5	0,03
6	0,02
7	0,01
8	0,00
9	0,00
10	0,00

Cuadro N° 36: Modelamiento del ratio de secado de la manzana Delicia a 60° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014



Figura N° 45: Modelamiento del ratio de secado de la manzana Delicia a 60° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

TIEMPO (horas)	MASA RELATIVA
0	1,25
1	0,52
2	0,22
3	0,09
4	0,04
5	0,02
6	0,01
7	0,00
8	0,00
9	0,00
10	0,00

Cuadro N° 37: Modelamiento del ratio de secado de la manzana Delicia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

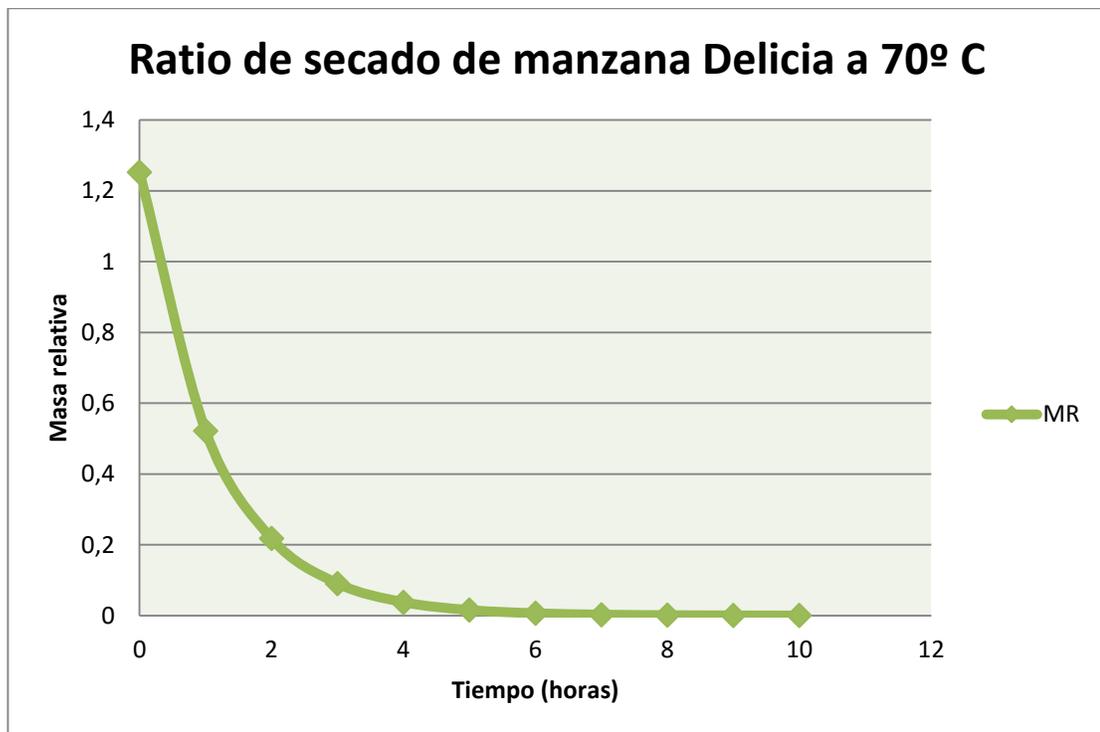


Figura N° 46: Modelamiento del ratio de secado de la manzana Delicia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

b) Manzana Emilia

TIEMPO (horas)	MASA RELATIVA
0	1,07
1	0,62
2	0,36
3	0,21
4	0,12
5	0,07
6	0,04
7	0,02
8	0,01
9	0,01
10	0,00

Cuadro N° 38: Modelamiento del ratio de secado de la manzana Emilia a 50°

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

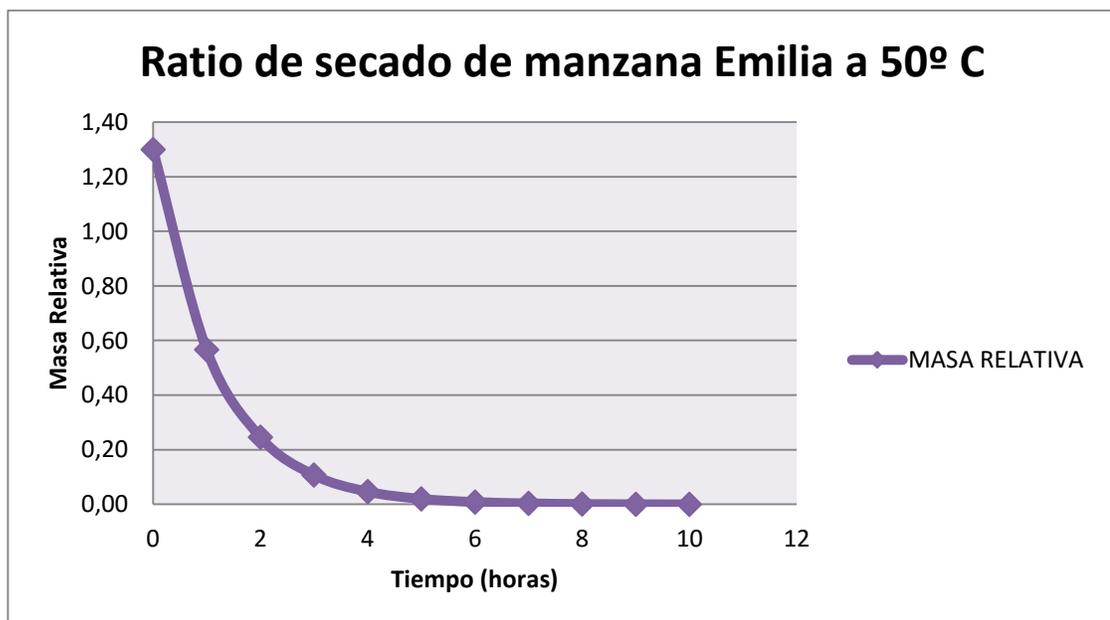


Figura N° 47: Modelamiento del ratio de secado de la manzana Emilia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

TIEMPO (horas)	MASA RELATIVA
0	1,11
1	0,56
2	0,28
3	0,14
4	0,07
5	0,04
6	0,02
7	0,01
8	0,00
9	0,00
10	0,00

Cuadro N° 39: Modelamiento del ratio de secado de la manzana Emilia a 60° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

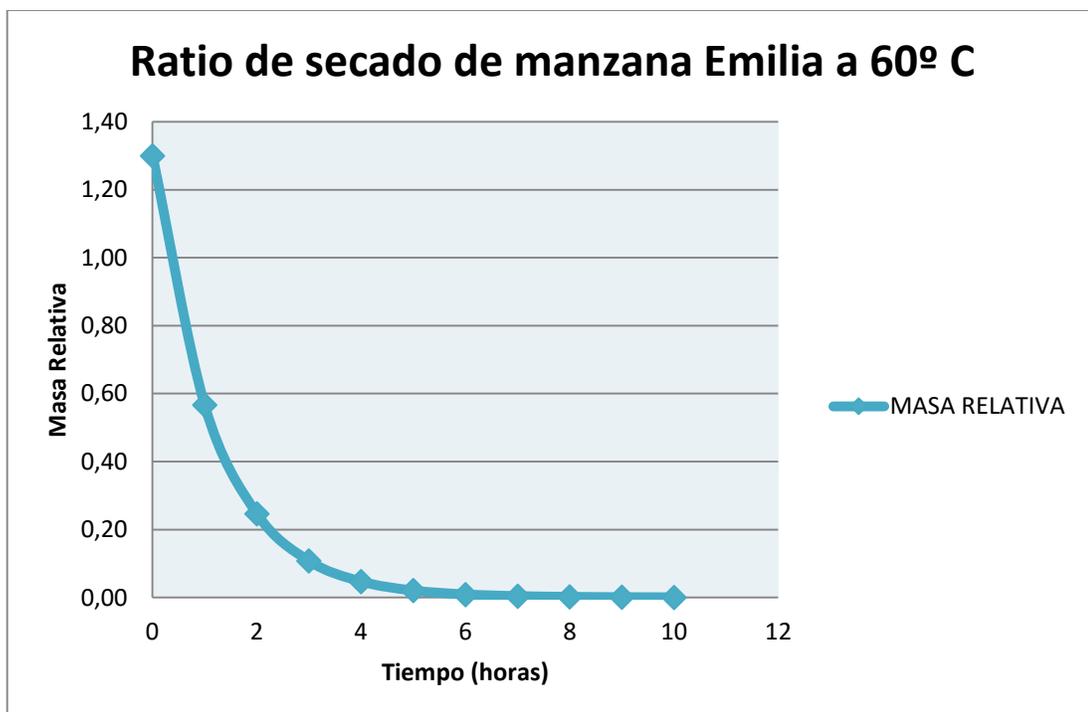


Figura N° 48: Modelamiento del ratio de secado de la manzana Emilia a 60° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

TIEMPO (horas)	MASA RELATIVA
0	1,30
1	0,57
2	0,25
3	0,11
4	0,05
5	0,02
6	0,01
7	0,00
8	0,00
9	0,00
10	0,00

Cuadro N° 40: Modelamiento del ratio de secado de la manzana Emilia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

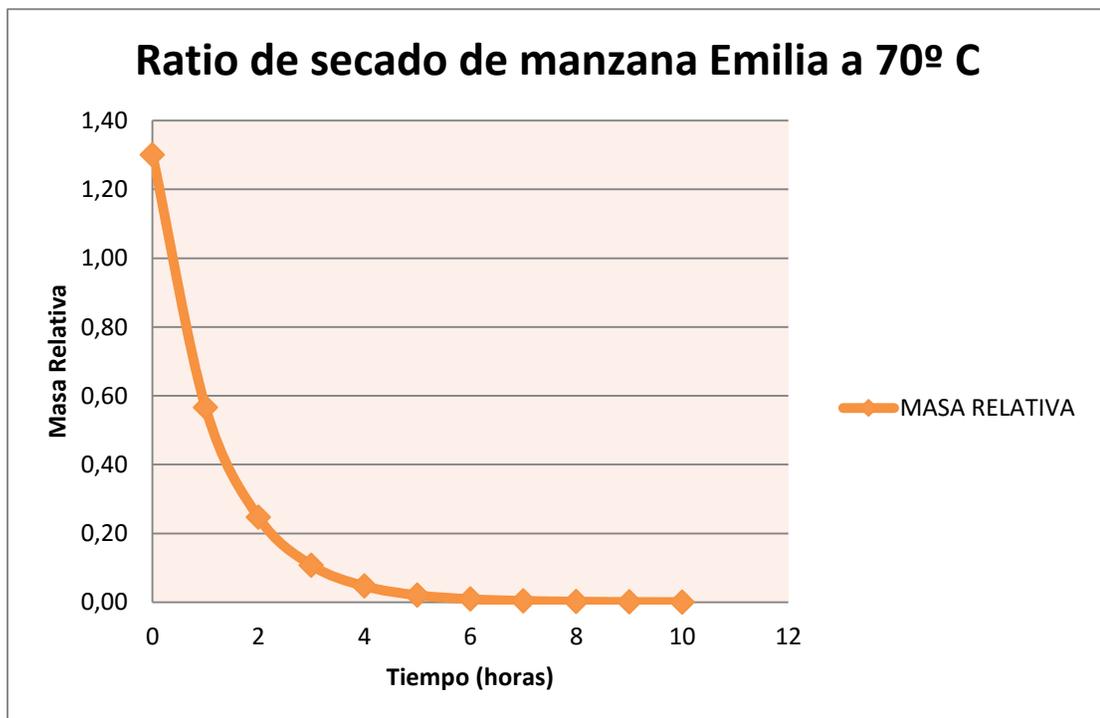


Figura N° 49: Modelamiento del ratio de secado de la manzana Emilia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

3.3. MANZANILLA

3.2.1. Características físicas de la manzanilla deshidratada.

Los cambios en las característica físicas de la manzanilla deshidratada son muy visibles y se puede apreciar simplemente al sentirlas.

La manzanilla deshidratada presenta un color café verdoso. Su olor se intensifica siendo muy agradable al sentido del olfato. El sabor aumenta. Es parecido al sabor de la tisana de manzanilla. Su textura es muy frágil, las flores de la manzanilla se caen, los talles y hojas se parten fácilmente. El tamaño se reduce en un 20% debido a la perdida de humedad.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MANZANILLA DESHIDRATADA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
COLOR	Café verdoso										
OLOR	Agradable										
SABOR	Aumenta										
TEXTURA	Frágil										
TAMAÑO	Reduce										

Cuadro N° 41: Características físicas de la manzanilla deshidratada

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

3.3.2. Promedio del secado.

Se realizó un promedio de los pesos obtenidos en cada repetición a diferentes temperaturas en el proceso de secado de manzanilla.

En los siguientes cuadros se indica los promedios obtenidos en el proceso de secado a distintas temperaturas.

PESOS PROMEDIO DE MANZANILLA A 40° C						
REPETICIONES	PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA	PESO 5HORA
R1	50,40	38,00	26,80	14,70	9,10	8,50
R2	50,75	37,40	25,30	13,20	8,50	8,65
R3	50,60	37,90	26,60	18,00	10,50	8,30
Promedio	50,58	37,77	26,23	15,30	9,37	8,48

Cuadro N° 42: Pesos promedio de manzanilla a 40° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

PESOS PROMEDIO DE MANZANILLA A 50° C				
REPETICIONES	PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA
R1	50,20	23,50	7,90	6,60
R2	50,40	21,00	7,90	7,60
R3	51,00	14,30	9,50	9,50
Promedio	50,53	19,60	8,43	7,90

Cuadro N° 43: Pesos promedio de manzanilla a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

PESOS PROMEDIO DE MANZANILLA 60° C			
REPETICIONES	PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA
R1	50,10	12,10	8,55
R2	50,50	12,80	8,90
R3	50,70	15,00	9,20
Promedios	50,43	13,30	8,88

Cuadro N° 44: Pesos promedio de manzanilla a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

3.3.3. Análisis estadístico ANOVA

Al realizar el análisis ANOVA de la manzanilla se obtuvo una probabilidad mayor a 0,05 es decir que los datos son estadísticamente significativos en todas las horas de secado.

En los siguientes cuadros se puede observar los datos obtenidos en el análisis de varianza.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	4288,35278	5	857,670556	650,434801	3,6026E-14	3,10587524
Dentro de los grupos	15,8233333	12	1,31861111			
Total	4304,17611	17				

Cuadro N° 45: Análisis ANOVA de manzanilla a 40° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2912,99667	3	970,998889	16,2062737	3,0041E-09	4,06618055
Dentro de los grupos	479,32	8	59,915			
Total	3392,31667	11				

Cuadro N° 46: Análisis ANOVA de manzanilla a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3124,79389	2	1562,39694	1883,03616	4,0245E-09	5,14325285
Dentro de los grupos	4,97833333	6	0,82972222			
Total	3129,77222	8				

Cuadro N° 47: Análisis ANOVA de manzanilla a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

3.3.4. Determinación del % de Humedad.

El % de humedad en muestra fresca de la manzanilla es de un porcentaje aproximado de 75 %. Se ejecutó la representación del porcentaje de humedad a diferentes temperaturas.

En los siguientes cuadros y figuras se puede observar el porcentaje de humedad de la manzanilla a diferentes temperaturas.

MANZANILLA 40° C (en gramos)						
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)	Peso 5 hora (g)
	50,58	37,77	26,23	15,30	9,37	8,48
Perdida de humedad		25,34	48,14	69,75	81,48	83,23
% Masa seca	75,20	74,66	51,86	30,25	18,52	16,77

Cuadro N° 48: Humedad de la Manzanilla a 40° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

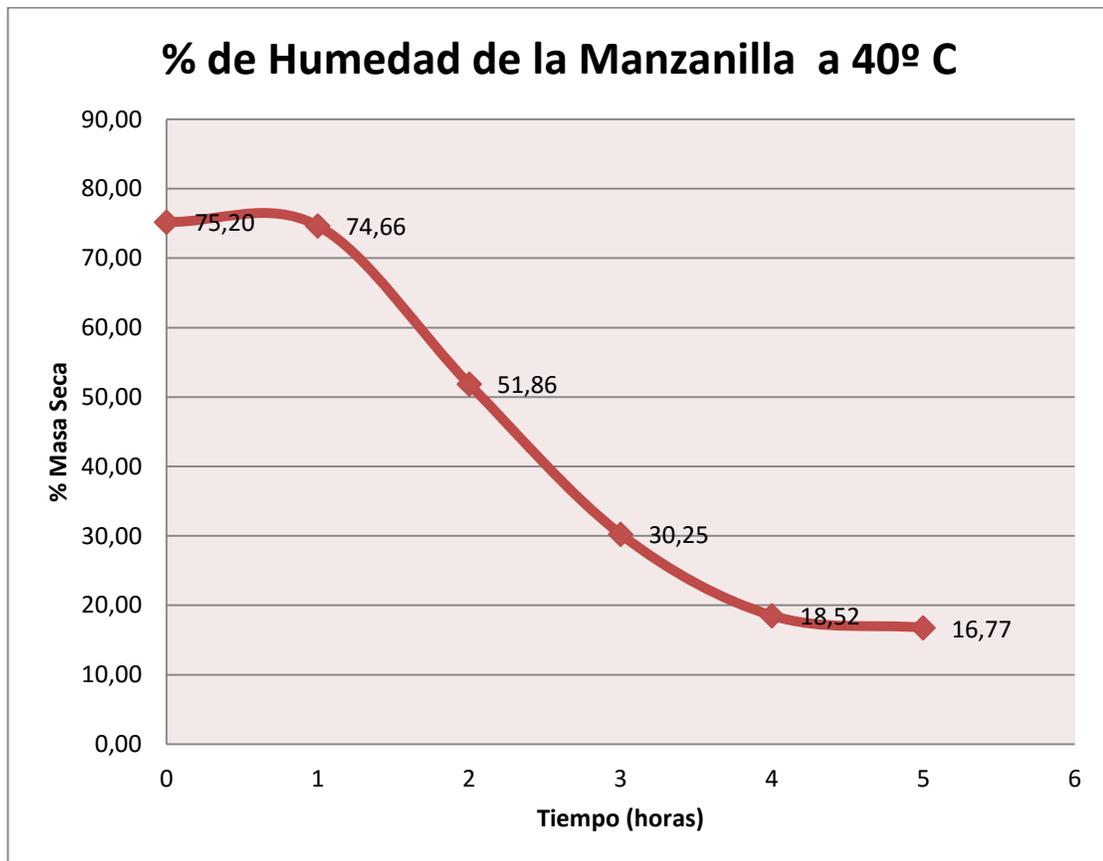


Figura N° 50: Humedad de la Manzanilla a 40° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANILLA 50° C (en gramos)				
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)
	50,53	19,60	8,43	7,90
Perdida de humedad		61,21	83,31	84,37
% Masa seca	74,80	38,79	16,69	15,63

Cuadro N° 49: Humedad de la Manzanilla a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

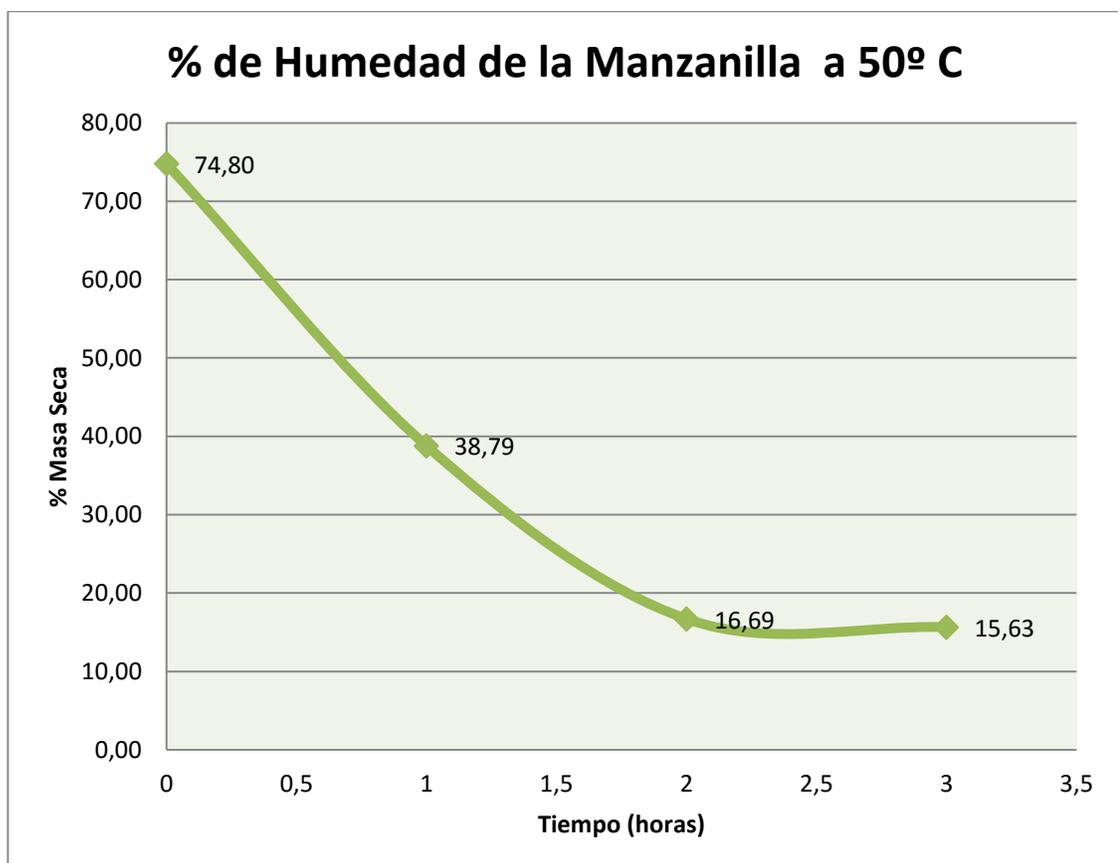


Figura N° 51: Humedad de la Manzanilla a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANILLA 60° C (en gramos)			
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)
		50,43	13,30
Perdida de humedad		73,63	82,39
% Masa seca	75,20	26,37	17,61

Cuadro N° 50: Humedad de la Manzanilla a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

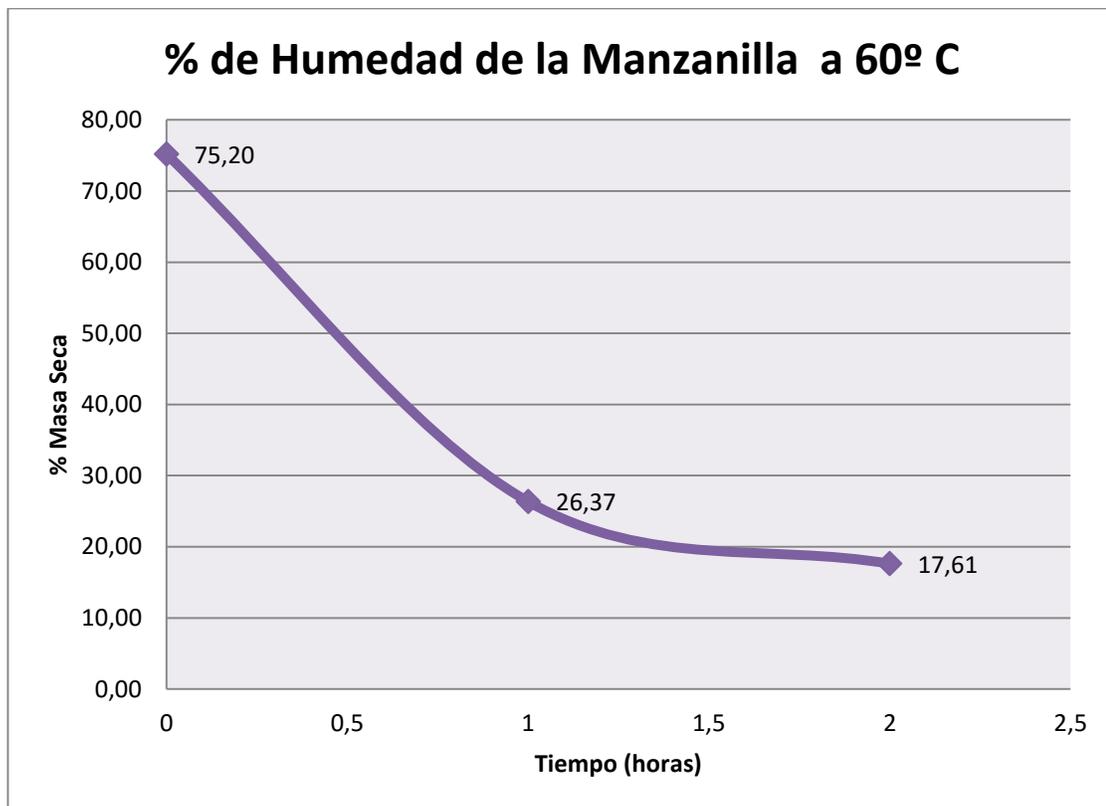


Figura N° 52: Humedad de la Manzanilla a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

3.3.5. Linealización del ratio de secado.

Con los pesos promedios obtenidos del secado de manzanilla de cada repetición realizada se determinó el logaritmo natural, la masa relativa con respecto al tiempo para luego estos datos representarlos mediante curvas.

Para la linealización del ratio de secado se tomó como referencia el modelo matemático de la curva característica.

En los siguientes cuadros se detalla la linealización del ratio según los pesos promedios del secado de manzanilla.

MANZANILLA A 40 ° C						
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4	5
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	50,58	37,77	26,23	15,30	9,37	8,48
MASA RELATIVA	1,00	0,75	0,52	0,30	0,19	0,17
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,29	-0,66	-1,20	-1,69	-1,79

Cuadro N° 51. Linealización del ratio de secado de manzanilla a 40° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANILLA A 50 ° C				
TIEMPO (horas)	0	1	2	3
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	50,53	19,60	8,43	7,90
MASA RELATIVA	1,00	0,39	0,17	0,16
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,95	-1,79	-1,86

Cuadro N° 52. Linealización del ratio de secado de la manzanilla a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANILLA A 60° C			
TIEMPO (horas)	0	1	2
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	50,43	13,30	8,88
MASA RELATIVA	1,00	0,26	0,18
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-1,33	-1,74

Cuadro N° 53. Linealización del ratio de secado de la manzanilla a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

3.3.6. Curvas de secado de manzanilla.

3.3.6.1. Curva de secado de Logaritmo Natural de la Masa Relativa en función del tiempo.

Con los datos logrados al realizar la linealización del ratio del promedio total de pesos obtenidos de secado de manzanilla, se determinó las curvas de secado; relacionando el logaritmo natural por la masa relativa en función al tiempo.

Las ecuaciones lineales fueron las que más se ajustaron a un coeficiente de correlación de uno.

En las siguientes figuras se pueden observar las curvas de LN MR en función al tiempo.

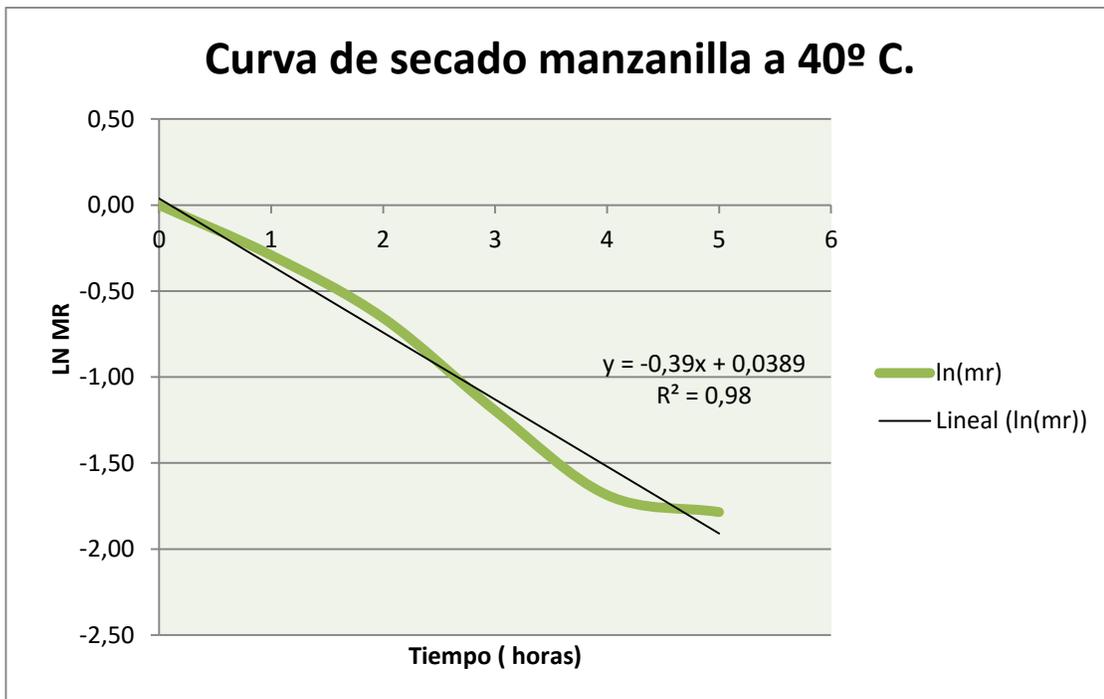


Figura N° 53. LN MR en función del tiempo de la manzanilla a 40° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

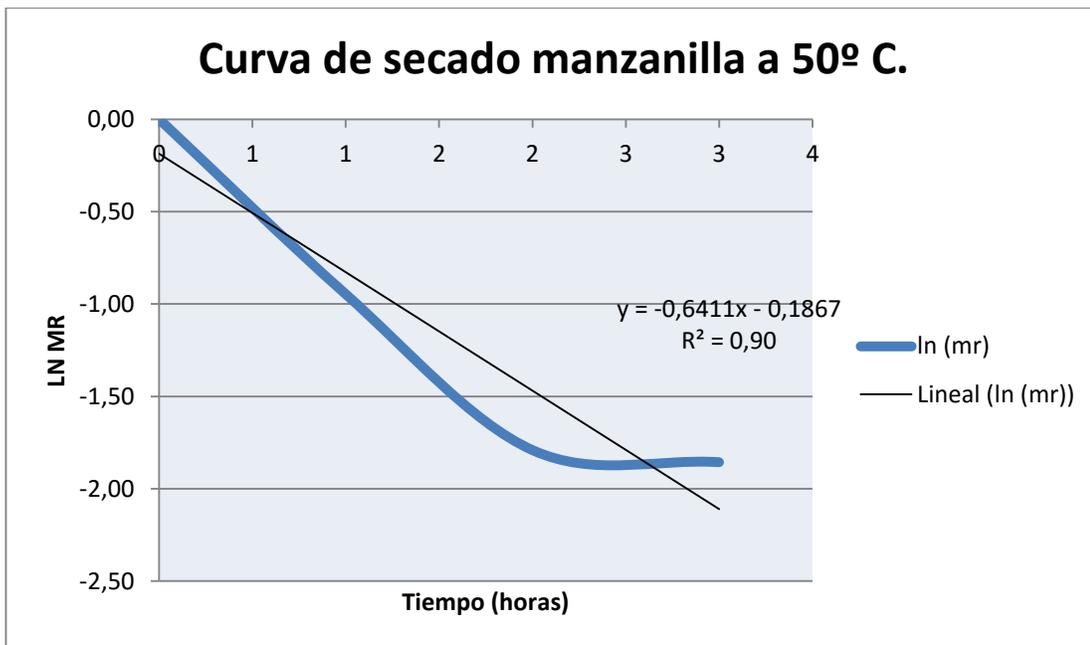


Figura N° 54. LN MR en función del tiempo de la manzanilla a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

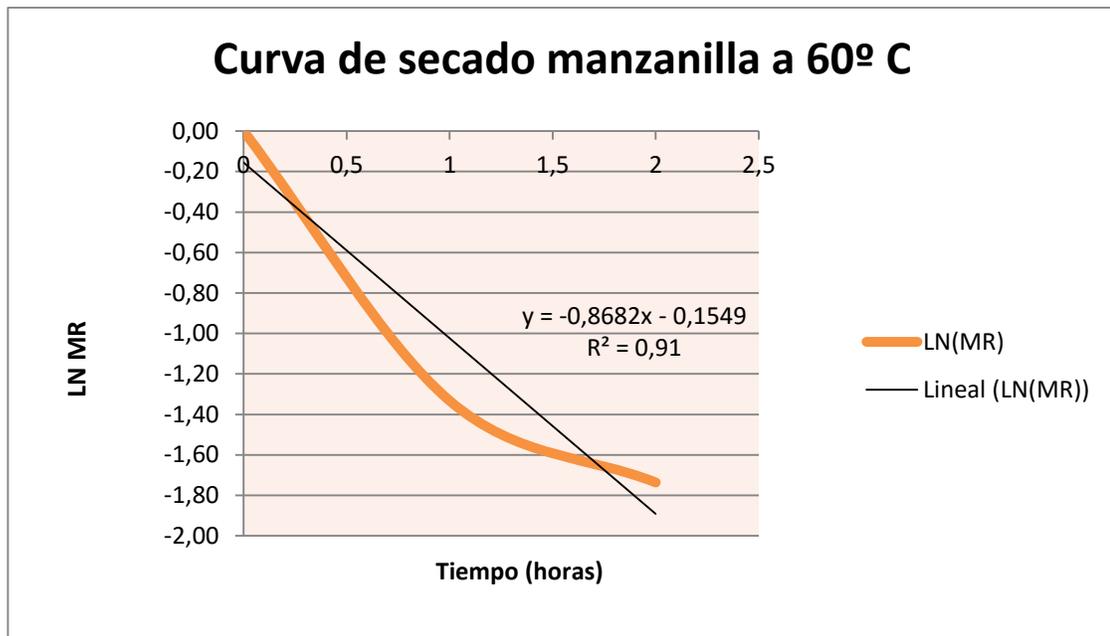


Figura N° 55. LN MR en función del tiempo de la manzanilla a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

3.3.6.2. Curva de secado de la Masa Relativa en función del tiempo.

Al lograr los datos de la linealización del ratio del promedio total de pesos obtenidos de secado de manzanilla, se determinaron las curvas de secado de MR; relacionando la masa relativa en función al tiempo.

Las ecuaciones exponenciales fueron las que más se ajustaron a un coeficiente de correlación de uno.

En las siguientes figuras se pueden observar las curvas de MR en función al tiempo.

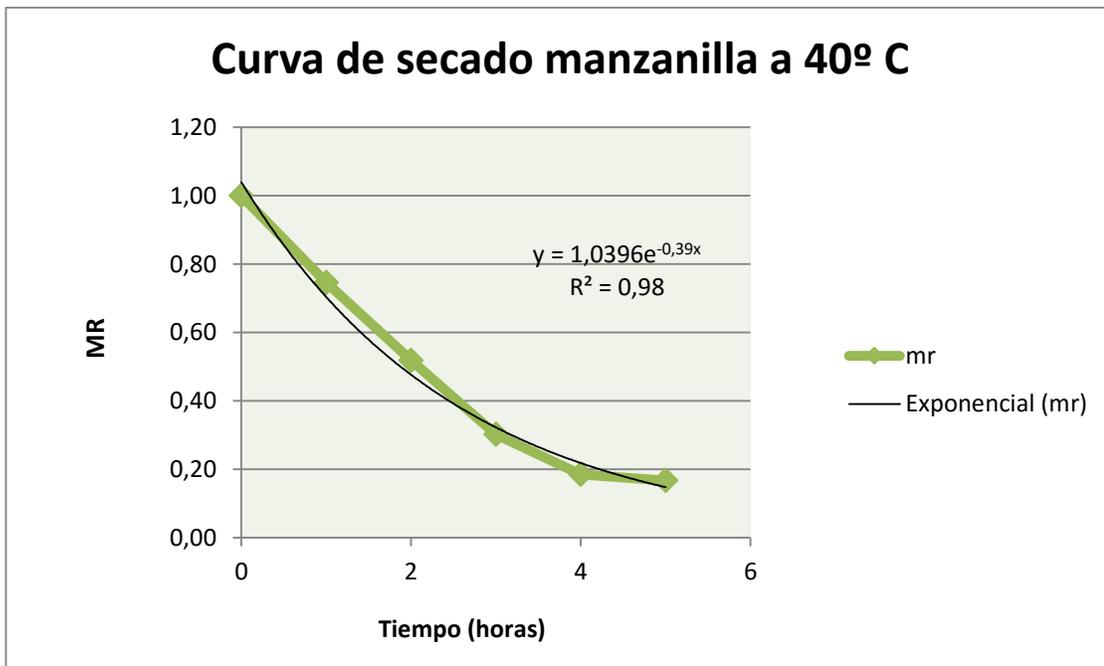


Figura N° 56. MR en función del tiempo de la manzanilla a 40° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

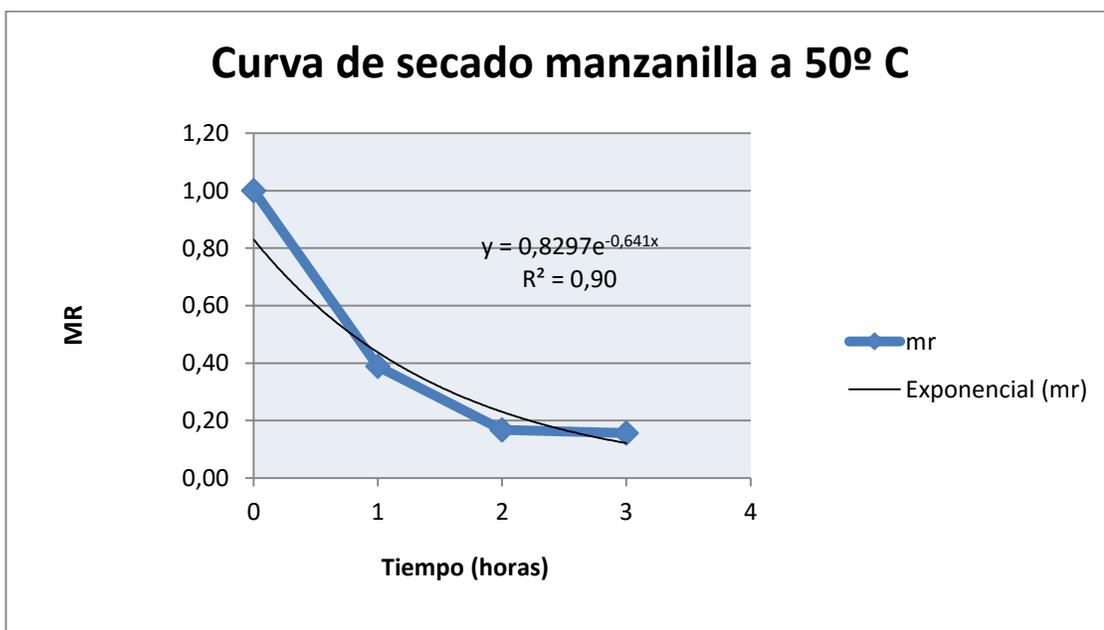


Figura N° 57. MR en función del tiempo de la manzanilla a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

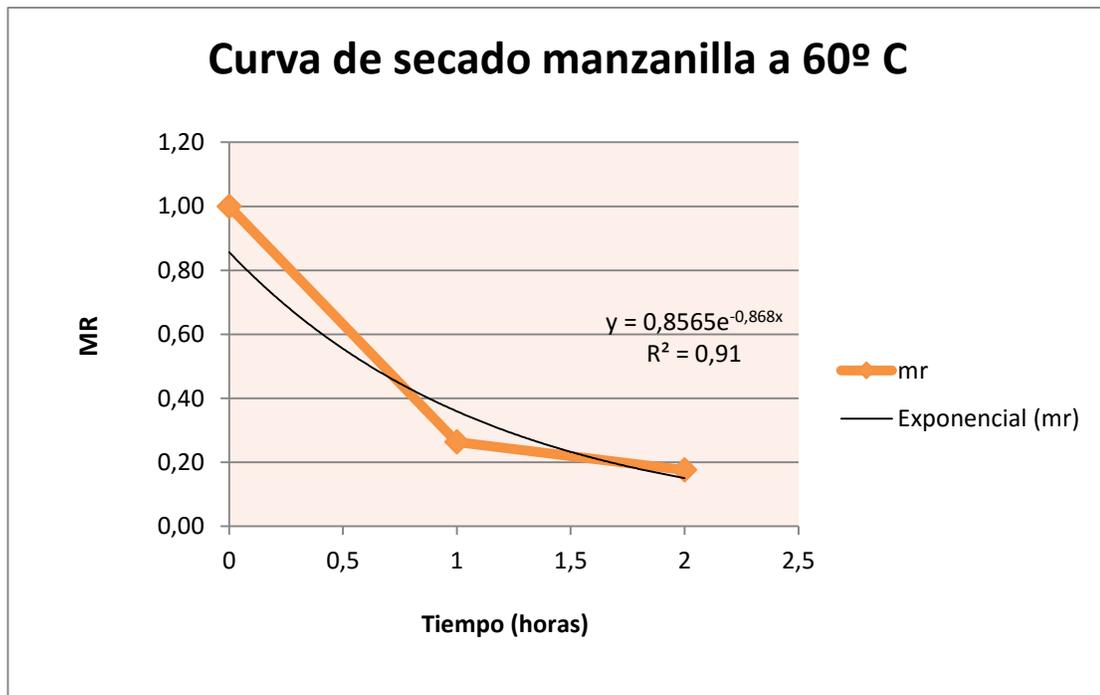


Figura N° 58. MR en función del tiempo de la manzanilla a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

3.3.7. Determinación de la constante “A”.

La constante “A” de la manzanilla se estableció utilizando los datos obtenidos de las curvas de secado de LN (MR) en función del tiempo aplicando los datos conseguidos según las temperaturas de secado.

Es una constante de regresión que determina el decremento de la difusividad térmica con relación a la temperatura a la que está expuesta el producto.

Las ecuaciones polinómicas fueron las que más se ajustaron a un coeficiente de correlación de uno.

En las siguientes figuras se pueden observar las curvas de “A” en función al tiempo de la manzanilla.

TEMPERATURAS	A
40° C	0,0389
50° C	-0,1867
60° C	-0,1549

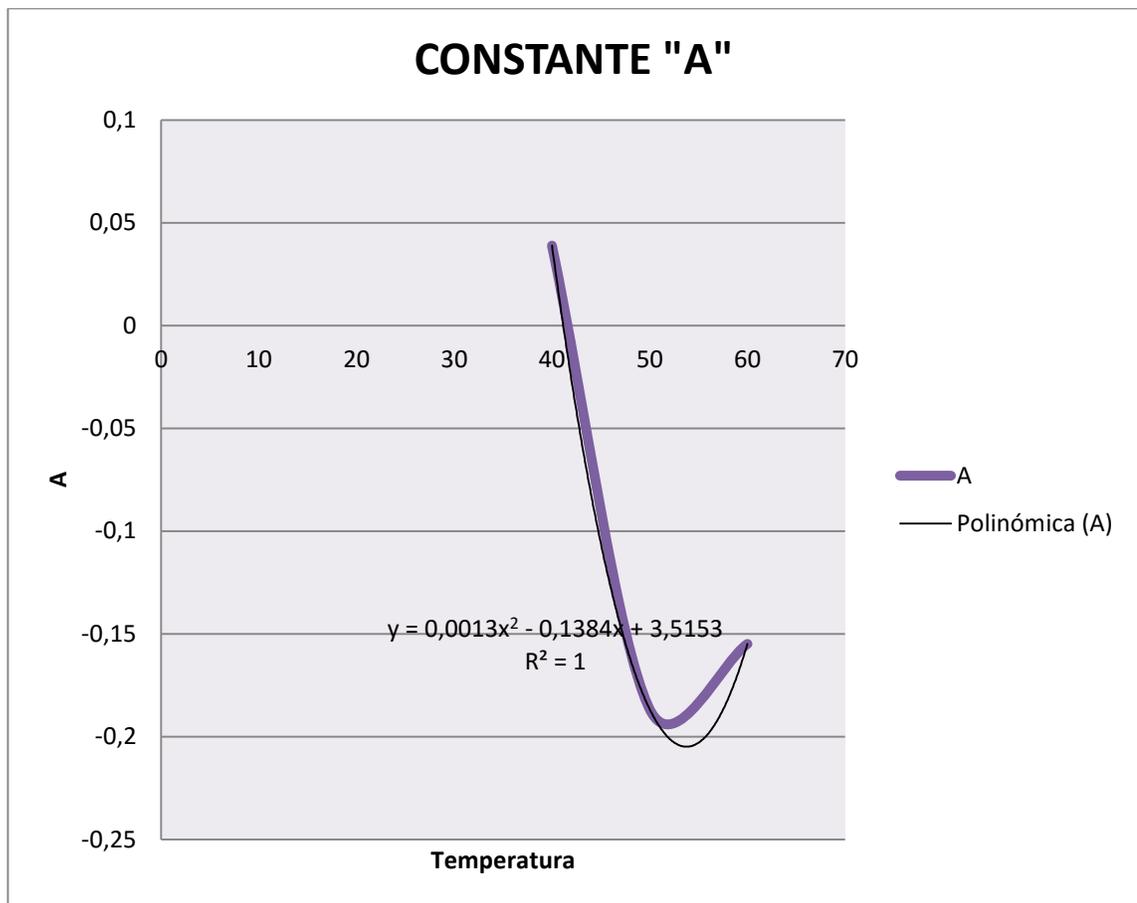


Figura N° 59. Constante "A" manzanilla

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

3.3.8. Determinación de la constante “B” de la manzanilla

La constante “B” de la manzanilla se estableció utilizando los datos conseguidos de las curvas de secado de LN (MR) en función del tiempo aplicando los datos logrados según las temperaturas de secado.

Esta constante determina la dinámica del secado del producto con relación a la temperatura a la que está expuesta el producto.

Las ecuaciones lineales fueron las que más se ajustaron a un coeficiente de correlación de uno.

En las siguientes figuras se pueden observar las curvas de “B” en función al tiempo.

TEMPERATURAS	B
40° C	-0,39
50° C	-0,6411
60° C	-0,868

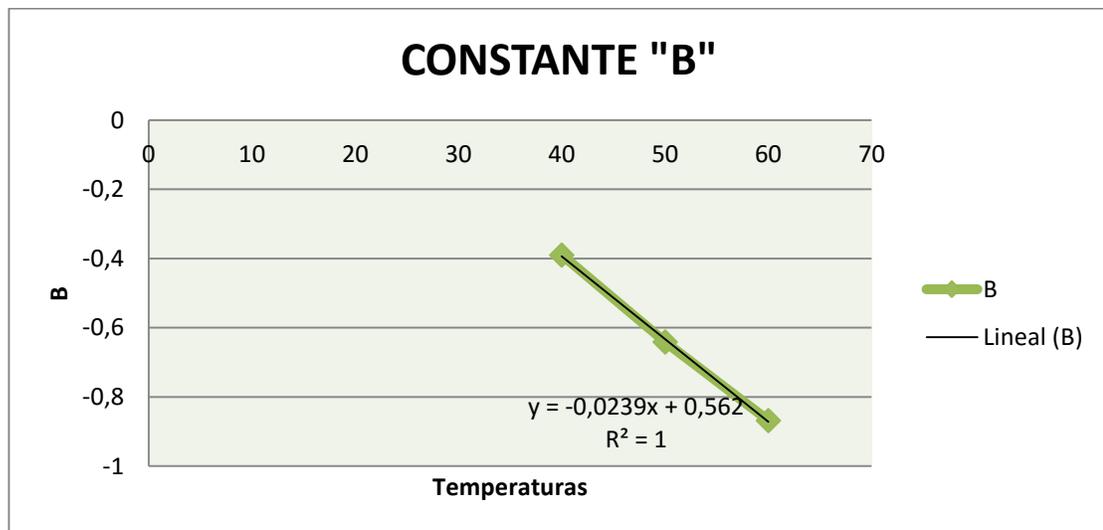


Figura N° 60. Constante “B” manzanilla

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

3.3.9. Ratio de secado.

3.3.9.1. Determinación del tiempo de secado.

Para determinar el tiempo de secado de manzanilla se utilizó los datos obtenidos en las curvas de “A” y “B” logrando el tiempo de secado que transcurre en el proceso a diferentes temperaturas. El tiempo de secado se ajusta a la cantidad de masa relativa a la que se pretende llegar, en esta investigación la masa relativa llego al 15%.

En los siguientes cuadros se especifica los tiempos de secado de manzanilla, obtenidos de un modelamiento de ratio de secado.

Temperatura de secado ° C	40
MR (%)	15
A	0,06
B	-0,39
Tiempo de secado (horas)	5

Cuadro N° 54: Tiempo de secado de manzanilla a 40° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Temperatura de secado ° C	50
MR (%)	15
A	-0,15
B	-0,63
Tiempo de secado (horas)	3

Cuadro N° 55: Tiempo de secado de manzanilla a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Temperatura de secado ° C	60
MR (%)	15
A	-0,11
B	-0,87
Tiempo de secado (horas)	2

Cuadro N° 56: Tiempo de secado de manzanilla a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

3.3.9.2. Modelamiento del ratio de secado.

Para obtener el modelo de ratio se aplicó las ecuaciones resultantes de la determinación de la Variable “A” y “B”.

En las siguientes curvas se puede observar el decremento de la Masa Relativa con respecto al Tiempo.

TIEMPO (horas)	MASA RELATIVA
0	1,06
1	0,72
2	0,48
3	0,33
4	0,22
5	0,15
6	0,10
7	0,07
8	0,05
9	0,03
10	0,02

Cuadro N° 57: Modelamiento del ratio de secado de manzanilla a 40° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

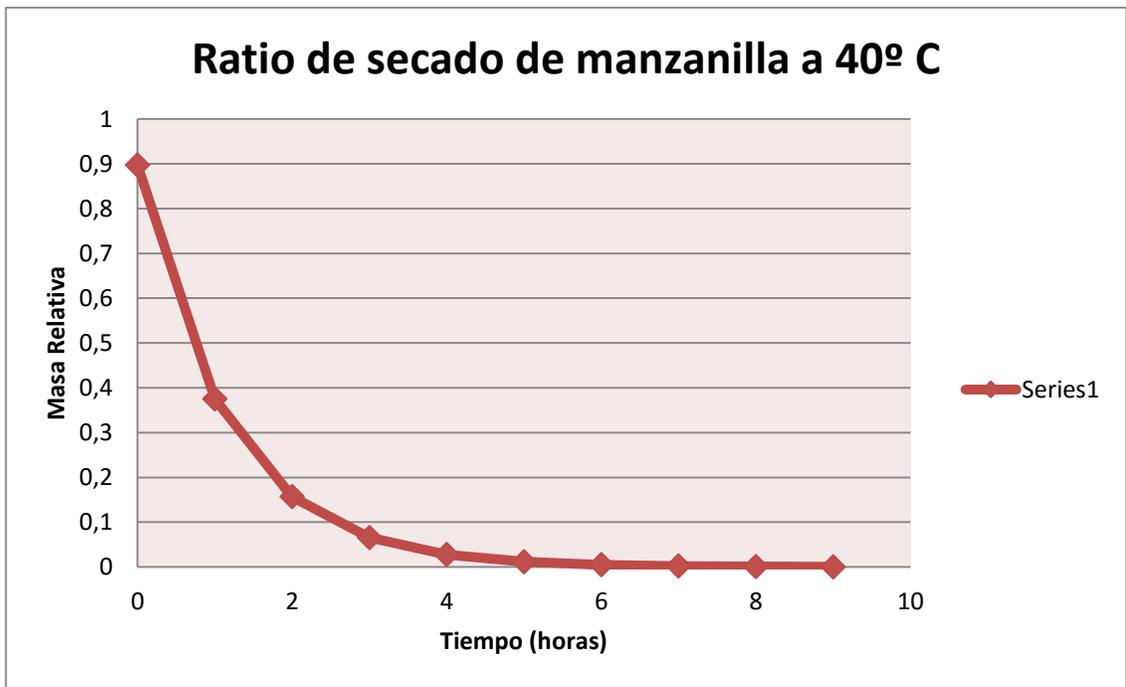


Figura N° 61: Modelamiento del ratio de secado de manzanilla a 40° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

TIEMPO (horas)	MASA RELATIVA
0	0,86
1	0,45
2	0,24
3	0,13
4	0,07
5	0,04
6	0,02
7	0,01
8	0,01
9	0,00
10	0,00

Cuadro N° 58: Modelamiento del ratio de secado de manzanilla a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

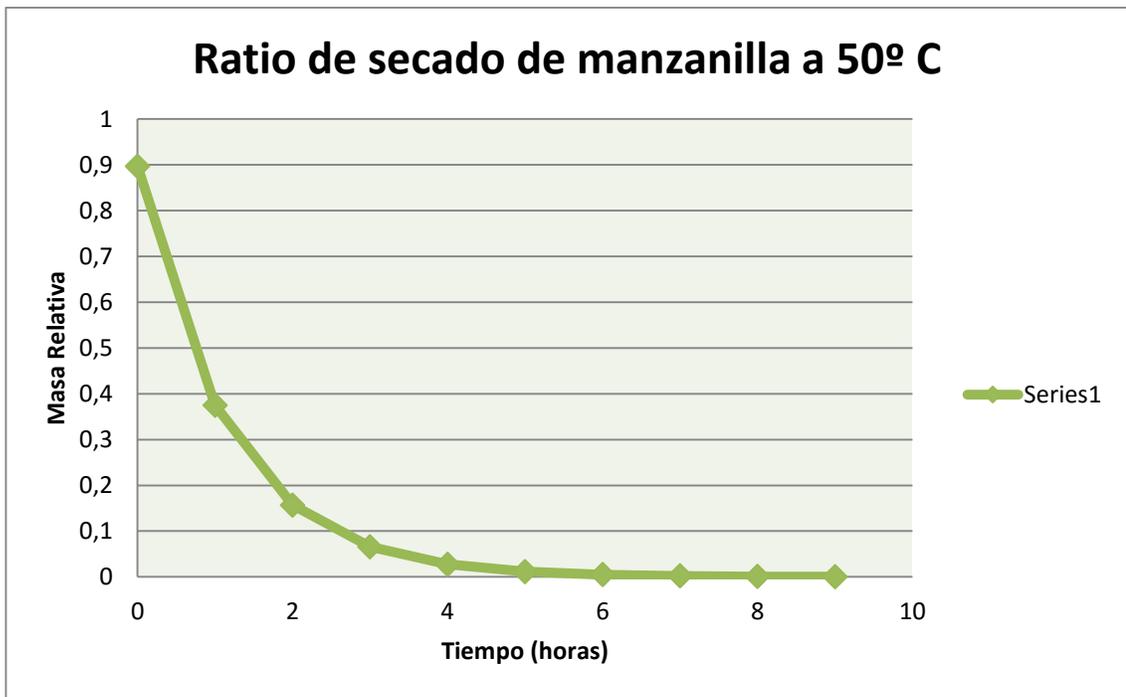


Figura N° 62: Modelamiento del ratio de secado de manzanilla a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

TIEMPO (horas)	MASA RELATIVA
0	0,90
1	0,38
2	0,16
3	0,07
4	0,03
5	0,01
6	0,00
7	0,00
8	0,00
9	0,00
10	0,00

Cuadro N° 59: Modelamiento del ratio de secado de manzanilla a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

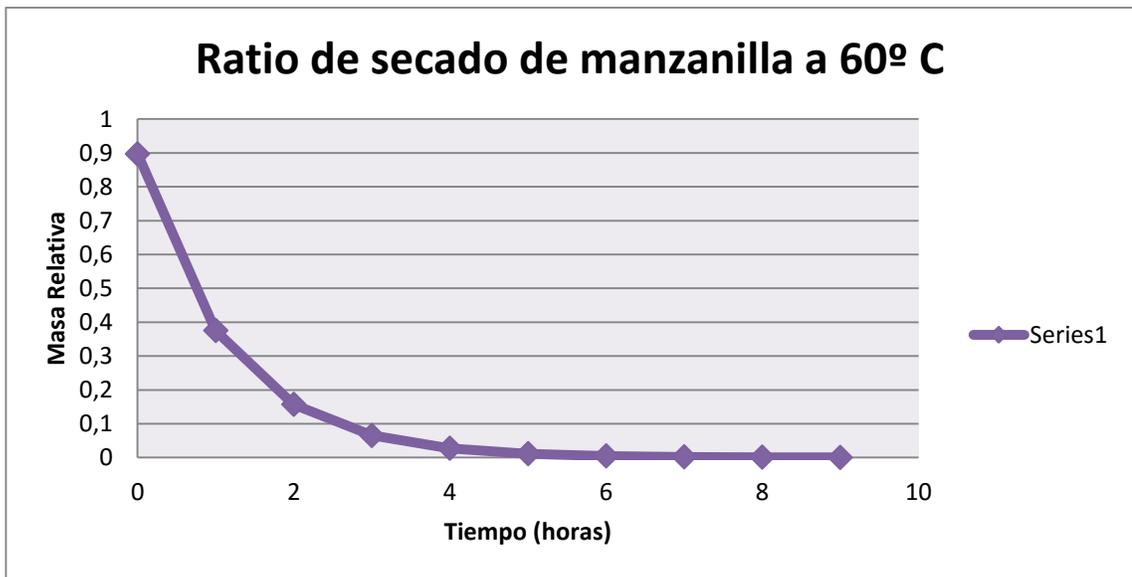


Figura N° 63: Modelamiento del ratio de secado de manzanilla a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN

En la presente investigación se determinó un modelo de ratio de secado en manzana y manzanilla para lograr la eficiencia de secado del producto en la provincia de Chimborazo, tomando como referencia el modelo matemático de la curva característica del secado en el que se aplica la ecuación $y = Ax + B$, donde y es el ratio de secado que se determinó, A y B son las constantes de regresión lineal y x es la temperatura empleada en el proceso de secado.

El modelo matemático de la curva característica surge al analizar el peso de las muestras en cada fase del secado, abarcando la reducción del peso, tiempos, temperaturas y humedad en el proceso.

Se realizó un secado de manzana Delicia y Emilia a temperaturas de 50, 60, 70 grados centígrados, hasta conseguir pesos constantes. El tiempo utilizado en el secado de manzana varía de cuatro a seis horas, en los cuales los últimos pesos no tienen significancia estadística lo cual se ha comprobado mediante un análisis ANOVA.

Por efecto del secado de la manzana sus propiedades físicas presentaron variaciones en color, olor, sabor, textura y tamaño, mejorando cada una de estas con respecto a la muestra fresca.

Se determinó que en las primeras horas de secado la manzana pierde alrededor del 40% de humedad; la masa seca de la manzana se reduce a un porcentaje aproximado

del 15% al 20% comprobando con lo que menciona el Manual de Frutas y verduras deshidratadas de Gastronomía Solar.

El modelo de ratio de la manzana determinó que a temperaturas de 50° C la manzana se seca en un periodo de 4 horas, a 60° C en 3 horas y a 70° C a 2 horas, estos valores coinciden con los obtenidos en la parte experimental a partir de estas horas establecidas por el modelo los pesos son constantes. Es necesario mencionar que se alargó el proceso de secado para obtener una mejor textura del producto final puesto que a partir de las horas establecidas por el modelo la manzana estuvo seca pero no se alcanzó la crocantes que hiciera de este producto un alimento más apetecible por el consumidor.

El secado de manzanilla se realizó a temperaturas de 40, 50, 60 grados centígrados, en intervalos de tiempos que oscilan de dos a cinco horas.

Las propiedades físicas del producto final del secado de manzanilla mostraron variaciones en color, olor, sabor, textura y tamaño con respecto a la muestra fresca.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la parte experimental del secado de manzanilla se pudo determinar que en las primeras horas de secado el producto pierde alrededor del 50% de humedad, la masa seca de la manzanilla se reduce a un porcentaje aproximado del 15% al 18%.

El modelo de ratio de la manzanilla estableció que a temperaturas de 40° C la manzanilla se seca en un periodo de 5 horas a 50° C en 3 horas y a 60° C a 2 horas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación se pudo determinar un modelo de ratio de secado en manzanilla y manzana para mejorar la eficiencia en el secado.
- Las características físicas de la manzana varían en función de la humedad obteniendo un mejor sabor, color, textura, olor y elasticidad.
- Las características físicas de la manzanilla se fortalecieron con el proceso de secado obteniendo un mejor sabor, color, textura, olor.
- Se estableció la variación de la humedad en función del tiempo y la temperatura de secado en la manzanilla y en la manzana.
- En la parte experimental del secado de manzana se determinó que el proceso debe prolongarse para conseguir una mejor crocantes del producto final, a partir de las horas establecidas por el modelo los datos obtenidos no son significativos.

- Con la determinación del ratio de secado basado en el método de la curva característica se puede controlar el tiempo real que conlleva el proceso, según la masa relativa que se desee alcanzar.

5.2. RECOMENDACIONES

- Emplear el modelo de ratio obtenido en diferentes alimentos para lograr la eficiencia en el secado.
- En el secado de frutas se recomienda realizarse a temperaturas que oscilen desde los 40 a 80 grados centígrados. Mientras que en el secado de plantas aromáticas y medicinales se recomienda secar a temperaturas que oscilen de 30 a 60 grados centígrados para así no afectar las características físicas del producto.
- Se recomienda realizar la toma de datos del secado en las primeras horas, puesto que es el tiempo en el cual el producto pierde la mayor cantidad de agua.
- Procurar usar un desecador para evitar el aumento de humedad en el producto al pesar las muestras. Dejar enfriar las muestras por un periodo de 10 a 15 minutos para obtener datos más precisos en el pesado.
- Es necesario controlar periódicamente la velocidad del viento dentro del secador durante el proceso de secado.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.8.TITULO DE LA PROPUESTA

APLICACIÓN DEL MODELO DE RATIO DE SECADO DE LA CURVA CARACTERÍSTICA PARA LOGRAR LA EFICIENCIA DE SECADO DE PRODUCTOS DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO.

6.9.INTRODUCCIÓN

Actualmente existe un aumento en el consumo de productos alimenticios en diferentes presentaciones en nuestro país, debido a que la población se incrementa día tras día.

El secado es una fase importante dentro del proceso de transformación de alimentos, este proceso ayuda a prolongar la vida útil de distintos productos.

En la presente propuesta se plantea analizar diferentes muestras de alimentos con el objetivo de modelar las cinéticas de secado utilizando el método de la curva característica.

La aplicación del modelo de ratio facilitará el uso de secadores tomando en cuenta las variaciones en las características físicas y químicas, basándose en temperaturas y

tiempos establecidos, comprobados por la autora. Este modelo de ratio además proporcionará el porcentaje de humedad inicial y final de un producto.

Los análisis de las muestras a analizarse deberán realizarse a diferentes temperaturas, aplicando el modelo para estudiar la evolución del contenido de humedad con respecto al tiempo.

6.10. OBJETIVOS

6.10.1. General

Aplicar el modelo de ratio de secado de la curva característica para lograr la eficiencia de secado de productos de la provincia de Chimborazo.

6.10.2. Específicos

- Determinar las características físicas del producto en función de la humedad.
- Establecer la variación de la humedad en función del tiempo y la temperatura de secado del producto.
- Aplicación de la curva de ratio de secado en los productos para optimizar recursos.

6.11. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO –TÉCNICA

6.11.1. Modelo matemático de la curva característica.

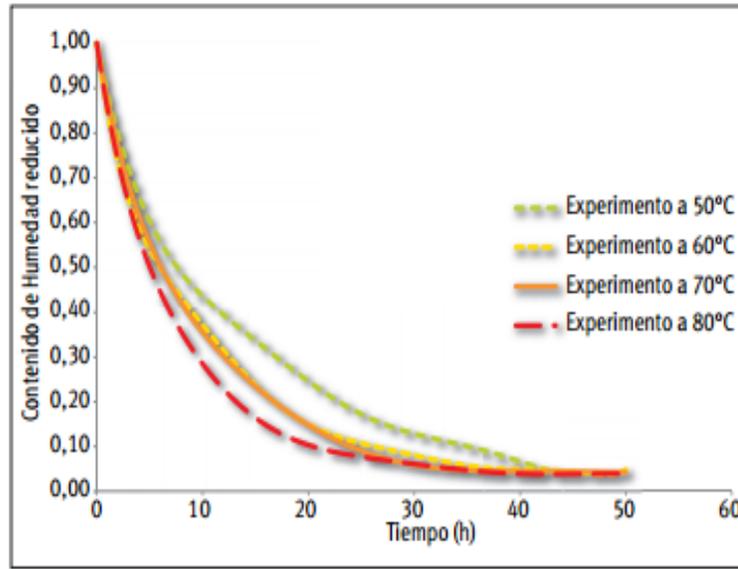


Figura N° 64: Modelo de la curva característica

Fuente: Instituto Tecnológico de Oaxaca (México)

6.4.1.1. Definición

El método de la curva característica de secado modela la cinética de secado partiendo de datos experimentales y de la identificación de diferentes fases en la velocidad de secado, considerando una rapidez de secado de referencia y estableciendo la hipótesis de que los mecanismos de transporte de humedad dependen principalmente del potencial de humedad reducido.

De lo anterior se tiene la presencia de dos zonas, una superficial en el dominio higroscópico, donde la migración de humedad está regida por la difusión de vapor de agua simultáneamente con difusión de agua líquida, y una zona interior donde el agua libre migra por capilaridad. [5]

6.4.1.2. Requerimientos

Este modelo requiere el cálculo de parámetros, para determinar cada uno de estos valores resulta conveniente adoptar un sistema de análisis lo más sencillo posible y que permita optimizar los ensayos realizados. Los parámetros del modelo se estiman reduciendo la diferencia cuadrática entre las curvas experimentales y las teóricas. [5]

6.4.1.3. Selección y preparación de muestras

Con el objetivo de determinar el contenido de humedad de una muestra a diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa, se selecciona distintas muestras sin secar, en estado fresco, con buena apariencia. [5]

6.4.1.4. Experimentos de secado

El túnel de secado utilizado en las cinéticas debe estar diseñado para que se logre un flujo de aire con velocidad y temperatura, uniforme y controlada. [5]

6.4.1.5. Medición de temperatura

La medición de la temperatura se da a través de termopares tipo J, conectados simultáneamente y aislados eléctricamente para reducir el error del sistema, estos termopares se encuentran dentro de una jaula (soporte) en la cual se coloca la muestra, con la finalidad de medir la temperatura interior y exterior de la muestra. [5]

6.4.1.6. Velocidad del aire

La velocidad del aire se regula con un variador de frecuencia conectado al motor del ventilador centrífugo, el flujo del aire producido en el conducto en cada frecuencia del motor del ventilador se mide con un anemómetro. [5]

6.4.1.7. Control de pesos

El peso de la muestra durante el proceso es registrado por un sistema de adquisición de datos conectado a una celda de carga que mide la tensión que se produce por el peso de la muestra.

Los datos del proceso se registran dependiendo de las condiciones de temperatura. [5]

6.4.1.8. Determinación del contenido de Humedad

Para la determinación del contenido de humedad se utilizan métodos gravimétricos introduciendo muestras a secadores a diferentes temperaturas hasta obtener pesos constantes. Se hace uso de una balanza analítica con una precisión de 0,01 g. [5]

6.12. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

La presente propuesta tiene como principio fundamental la aplicación de un modelo de ratio de secado utilizando el modelo de la curva característica que se basa en la ecuación $y = Ax + B$, con la finalidad de usar en el proceso de secado.

La aplicación del modelo de ratio de secado será de gran utilidad para aquellos expendedores de productos deshidratados que deseen alcanzar la eficiencia de secado en los mismos, para así mejorar sus condiciones de vida, al obtener productos de calidad, en menor tiempo y con mejores características. Para la aplicación del ratio de secado se utiliza una hoja de cálculo en el programa Excel.

Con el fin de obtener niveles óptimos de humedad se determinará las características físicas de los productos a secarse tomando en cuenta el olor, color, sabor, tamaño.

Las condiciones y niveles óptimos en el proceso de secado se lograrán con la determinación de la variación de la humedad en función del tiempo y la temperatura del proceso de secado de distintos productos. Para la determinación del % de humedad se aplican las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ Pérdida de Humedad} = \frac{\text{Peso inicial de la muestra} - \text{Peso final de la muestra}}{\text{Peso inicial de la muestra}} * 100$$

$$\% \text{ Masa Seca} = 100 - \% \text{ de Pérdida de Humedad}$$

Utilizando los pesos tomados en el proceso de secado se realiza la linealización del ratio obteniendo la masa relativa y el logaritmo natural de la masa relativa en función al tiempo. Estos datos son fundamentales para representar mediante curvas la evolución del secado. Para la determinación de la linealización del ratio se aplican las siguientes ecuaciones:

$$\text{Masa Relativa} = \frac{\text{Peso final de la muestra}}{\text{Peso inicial de la muestra}}$$

$$\ln \text{ MR} = \ln * \text{ MR}$$

Con las ecuaciones anti logarítmicas resultado de las curvas del logaritmo natural de la masa relativa en función al tiempo se determina la constante A y B. A partir de estas constantes se determina el ratio de secado, obteniendo el tiempo óptimo de secado a diferentes temperaturas.

En la siguiente figura se puede observar la ecuación cuadrática que nos ayuda a la determinación del ratio de secado.

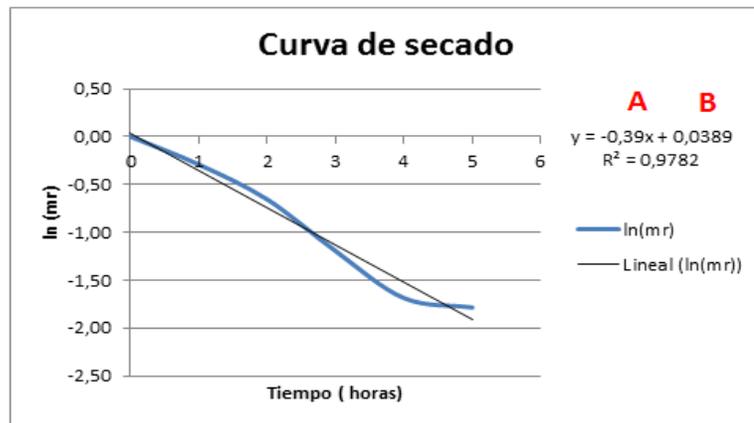


Figura N° 65: $y = Ax + B$

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Para la determinación del tiempo óptimo de secado se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{Tiempo de secado} = \frac{(\ln(MR) - A)}{B}$$

6.13. DISEÑO ORGANIZACIONAL.

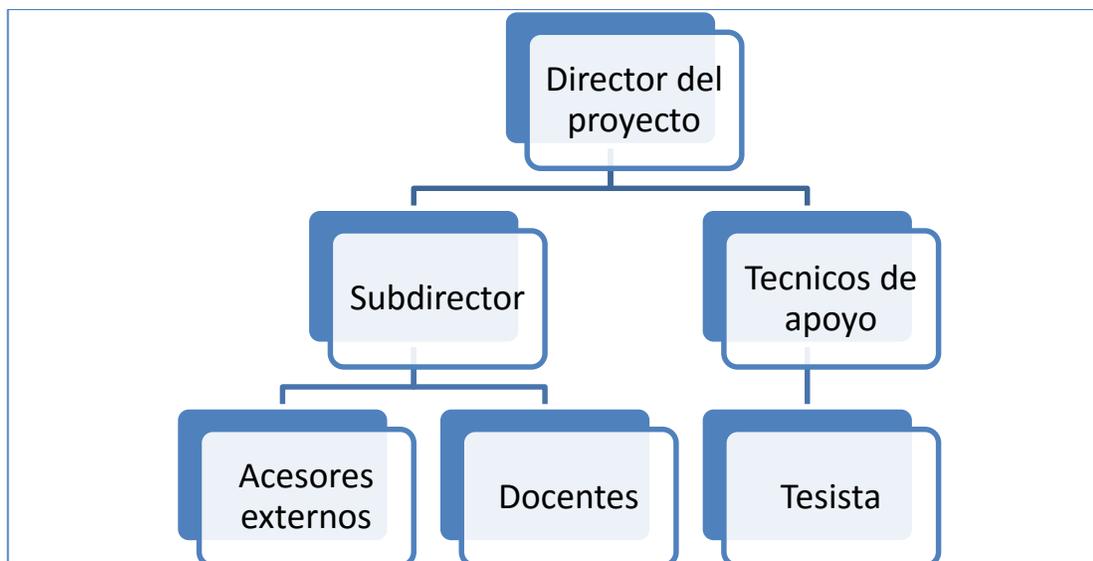


Figura N° 66: Diseño organizacional de la Propuesta

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

6.14. MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA

ACTIVIDADES	MESES																											
	1				2				3				4				5				6							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Revisión bibliográfica	x	x	x	x																								
Secado de distintos productos de la Provincia de Chimborazo.																												
Determinación de las características físicas de distintos productos de la Provincia de Chimborazo																												
Determinación de la variación de la humedad en función del tiempo y temperatura.																												
Aplicación del modelo ratio que se ajuste a las variaciones de los productos en el proceso de secado																												
Análisis de resultados																												
Procesamiento de datos																												

Cuadro N° 60: Diseño organizacional de la Propuesta

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Andrade, L y Rodríguez, H. (2009). “Diseño de una maquina secadora de hojas aromáticas”. Ecuador. pp. 206.
- [2] Bermúdez, J y Maíz, Vander. (2004). “Diseño y construcción de un secador de alimentos de origen vegetal en el Estado Amazonas”. Caracas. pp 129.
- [3] Cabezas, M. (2008). “Evaluación nutritiva y nutraceútica de la mora de castilla (*Rubus glaucus*) deshidratada a tres temperaturas por el método de secado en bandejas”. Ecuador. pp 190.
- [4] Cárdenas, G. (2009). “Optimización del proceso de secado de la manzanilla (*Matricaria Chamomilla*) y del toronjil (*Melissa Officinalis*) con la unión de comunidades indígenas campesinas de Juan Montalvo”. Ecuador. pp 172.
- [5] Instituto tecnológico de Oaxaca. “Modelización del secado de madera de *Pinus pseudostrobus* utilizando el método de la curva característica”. México. pp 12.
- [6] Montero, I. (2005). “Modelado y construcción de un secadero solar hibrido para residuos biomásicos”. Universidad de Extremadura. pp 286.
- [7] Ramírez, M. (2012). “Determinación de isotermas de sorción en harina de maíz a tres temperaturas y su ajuste a modelos matemáticos”. México. pp 99

- [8] Recalde, D. (2012). “Elaboración de una bebida alcohólica de Jícama (*Smallanthus sonchifolius*) y manzana (*Pyrus malus L*)”. Ecuador. pp 138.
- [9] Tonguino, M. (2011). “Determinación de las condiciones óptimas para la deshidratación de dos plantas aromáticas; menta (*Mentha piperita L*) y orégano (*Origanum vulgare L*)”. Ecuador. pp 196.
- [10] Vallejos, C. (2013). “Modelación, simulación, control PID y control predictivo de un secador rota disco en la industria pesquera”. Perú. pp 129.
- [11] Vargas, F. (2012). “Diseño de sistema híbrido con ahorro de energía: bomba de calor- energía solar”. Mexico. pp 105.
- [12] Vargas, V. (2013). “Elaboración de té aromático a base de plantas cedrón (*Aloysia Citrodora*) y toronjil (*Mellisa Officinalis*) procesado con stevia (*Steviarebaudiana Bertoni*) endulzante natural, utilizando el método de deshidratación”. Ecuador. pp 123.

ANEXOS

Anexo N° 1

ANTEPROYECTO DE TESIS

1. TÍTULO DEL PROYECTO

DETERMINACIÓN DE UN MODELO DE RATIO DE SECADO EN MANZANA Y MANZANILLA PARA LOGRAR LA EFICIENCIA DE SECADO DEL PRODUCTO EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO

2. PROBLEMATIZACIÓN

2.1. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La Universidad Nacional de Chimborazo cuenta con un secador, disponible para docentes y estudiantes; este puede servir para deshidratar plantas medicinales, aromáticas, frutas, semillas, madera, etc. Sin embargo no existen modelos de ratio que logren la eficiencia de secado de estos productos que se dan en nuestra zona, bajo condiciones climáticas y físicas particulares de la misma, que ayuden a predeterminar la dinámica del secado para aplicar en diferentes procesos, como son: los de simulación matemática en secadores artificiales, como es el caso de los secadores solares, y que permitiría el diseño eficiente de los mismos.

Al no contar con un modelo de ratio adecuado o usar otras que se han desarrollado en otras condiciones, que facilite el uso del pueden presentarse resultados no deseados en los productos como: variaciones en las características físicas y químicas, el periodo de vida útil del producto es más corto; produciendo pérdidas económicas y reduciendo la calidad del mismo.

Por lo que en el presente trabajo se propone desarrollar un estudio de la manzanilla y manzana, para establecer su ratio de secado, según las características propias de la zona en la que se están produciendo en nuestra provincia.

2.2. ANÁLISIS CRÍTICO

La falta de investigación y el conformismo de los entes involucrados ha tenido como resultado la reducción en la producción de ciertos productos. Sin embargo cada día la tecnología nos sorprende con nuevos equipos que nos ayuda a mejorar la producción en calidad y cantidad, y a obtener mejores réditos económicos.

Tal es el caso de la utilización de nuevos sistemas de secado, como el uso de un secador solar que en nuestro medio es desconocido debido a su poca difusión y a la carencia de conocimientos de su manejo, a pesar de que las condiciones, de la zona ecuatorial en la que nos encontramos son muy favorables para este tipo de procesos.

La poca acogida que tiene el uso de un secador se debe a que en nuestra ciudad no existen parámetros que ayuden a su buen funcionamiento. La disponibilidad de modelos, fórmulas matemáticas servirán para la utilización del mismo, en procesos de industrialización de diversos productos como es el caso de la manzanilla y la manzana.

2.3. PROGNOSIS

Al disponer de un modelo de ratio que ayude a lograr la eficiencia de secado de manzanilla y manzana se mejorará el diseño del secador, optimizando tiempo y recursos; permitiendo la evolución del proceso de secado hasta llegar a un nivel óptimo.

Este modelo de ratio ayudará al desarrollo tecnológico y científico del Secador; probando su funcionamiento con diferentes productos de nuestra región como hierbas medicinales y aromáticas; con el fin de mejorar la competitividad de los mismos y preservarlos de mejor manera en el tiempo.

La utilización del modelo de ratio ayudará a poner en práctica los conocimientos que se imparten en las aulas a los estudiantes de la universidad, especialmente de la Facultad de Ingeniería o de otras universidades de nuestro país que se interesen.

2.4. DELIMITACIÓN

TIEMPO: Seis meses

ESPACIO: Universidad Nacional de Chimborazo

TERRITORIO: Chimborazo

2.5. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Con la determinación del modelo ratio de secado según las características que posee la manzanilla y manzana se mejorará la eficiencia en el secado del producto?

2.6. OBJETIVOS

2.6.1. General

Determinar un modelo de ratio de secado en manzanilla y manzana para mejorar la eficiencia en el secado.

2.6.2. Específicos

- Determinar las características físicas de la manzanilla y la manzana en función de la humedad.
- Establecer la variación de la humedad en función del tiempo y la temperatura de secado en la manzanilla y en la manzana.
- Crear un modelo de ratio de secado que se ajuste a las variaciones de las características que se presentan en la manzanilla y en la manzana.

2.7. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación tiene como principio fundamental determinar un modelo de ratio de secado en manzanilla y manzana, con la finalidad de usar en el proceso de secado en condiciones físicas y meteorológicas de nuestra zona.

Con el fin de obtener niveles óptimos de humedad se determinará las características físicas de la manzanilla y la manzana.

Las condiciones y niveles óptimos en el proceso de secado se lograrán con la determinación de la variación de la humedad en función del tiempo y la temperatura en la manzanilla y la manzana en el proceso de secado.

El modelo de ratio de secado que se ajuste a las características de la manzanilla y la manzana en el proceso de secado, se lo realizará con el fin de alcanzar la eficiencia en el secado.

Como estudiante y habitante de la Provincia de Chimborazo me he motivado a la ejecución de esta investigación, puesto que nuestra provincia se merece un avance integral en todas sus áreas productivas.

La determinación del modelo de ratio de secado será de gran utilidad para aquellos productores de productos deshidratados que deseen alcanzar la eficiencia de secado en los mismos, para así mejorar sus condiciones de vida, al obtener productos de calidad, en menor tiempo y con mejores características.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. ANTECEDENTES DEL TEMA

En la Universidad Nacional de Chimborazo actualmente no existe una metodología apropiada que sirva para el buen funcionamiento de secadores, existe la carencia de modelos de ratio, que impiden su adecuado manejo.

El diseño de nuevos modelos de ratio que ayuden al uso de equipos, como el uso del secador ha alcanzado un papel determinante en la ciencia y la técnica.

El desarrollo teórico y experimental del secador se remonta desde 1960, donde se aprecia el avance en el diseño de los secadores de distintos tipos, con buenas características y adecuados costos.

En nuestro país el conocimiento del diseño y funcionamiento de secadores es escaso, sin embargo se han realizado diferentes investigaciones en su construcción y manejo en los cuales se han podido determinar modelos de ratios aplicadas en el secado de distintos productos. Existen investigaciones acerca de:

- Ortega, V. (2011). “Comparación del rendimiento del ácido carmínico entre dos procesos de deshidratación de la Cochinilla de tunas cultivada en Guano”, realizada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Coronado, G. (2013). “Evaluación de los centros de secado del sector maicero: propuesta de administración cooperativista y su incidencia en el nivel de vida de los pequeños y medianos productores de maíz de los cantones Quevedo y Ventanas”, desarrollada en la Universidad Politécnica Salesiana.
- Padilla, J. (2014). “Estudio de perfectibilidad para la elaboración y comercialización de uvilla deshidratada, para la empresa Sumak Mikuy”, efectuada en la Universidad Técnica del Norte.
- Cárdenas, G. (2009). “Optimización del proceso de secado de la manzanilla (*Matricaria Chamomilla*) y del toronjil (*Melissa Officinalis*) con la unión de comunidades indígenas campesinas de Juan Montalvo”, desarrollada en la Escuela Politécnica Nacional.
- Andrade, L. (2009). “Diseño de una máquina secadora de hojas aromáticas”, ejecutada en la Escuela Politécnica Nacional.

En otros países se han realizado trabajos importantes en este sentido, como es el caso de:

- Borda, V. (2012). “Sistema híbrido Termo-fotovoltaico: Modelo termodinámico para el secado de hoja de Yuca Forrajera (*Manihot esculenta*, Crantz)”, realizada en la Universidad Nacional de Colombia.
- Bayona, C. (2011). “Modelamiento matemático de un secador solar de plantas aromáticas”, efectuada en Universidad Nacional de Colombia.

- Montero, I. (2005). “Modelado y construcción de un secadero solar híbrido para residuos biomásicos”, desarrollada en la Universidad de Extremadura
- López, R. (2012). “La simulación y optimización del captador de un secadero solar”, estudiado en la Universidad Carlos III de Madrid.

Para diseñar modelos de ratios de secado que ayuden a determinar la eficiencia de secado de la manzanilla y la manzana no existen investigaciones que contribuyan a su utilización, dificultando de esta manera la aplicación del modelo.

3.2. ENFOQUE TEÓRICO

3.2.1. Manzanilla

3.2.1.1. Taxonomía

Familia: *Asteraceae*

Género: *Compositae*

Nombre científico: *Matricaria chamomilla L*

Nombres comunes: Manzanilla, Camomila, Matricaria

3.2.1.2. Descripción.

Según Cárdenas, G. (2009). La manzanilla es una planta herbácea anual, se caracteriza por presentar una altura aproximada de 60 centímetros de altura, posee:

- **Raíz.** La manzanilla posee una raíz pivotante, perenne, articulada y fibrosa.

- **Tallo.** Presenta un tallo ramificado, cilíndrico, vellosa de color verde blanquecino; puede alcanzar de 40 a 70 centímetros de altura.
- **Hojas.** Son sésiles, finas y con ramitas terminadas en cabezuela de botón amarillo y lígulas blancas.
- **Flores.** Son hermafroditas amarillas, tubulosas.
- **Fruto.** Es pequeño de color verde amarillento.

3.2.1.3. Cultivo

La manzanilla crece en suelos que presentan una buena profundidad y un buen sistema de drenaje y materia orgánica. El suelo donde se desarrolla debe tener una humedad constante.

Su siembra es directa o sexual o por plantación asexual en esquejes.

Se recomienda que el cultivo de esta planta se realice en lugares que tengan gran exposición a la radiación solar, teniendo la precaución de otorgarles sombra durante las horas de mayor intensidad de la misma.

Lo ideal para sembrar la manzanilla desde semilla, es recolectar flores de esta planta que se encuentren medias secas, estas se desmenuzan y de esta forma las semillas caerán sobre la tierra para germinar a los pocos días.

3.2.1.4. Siembra

Las semillas de manzanilla son colocadas en semilleros con tierra fértil o directamente en el suelo. El terreno debe estar preparado y surcado a 50 cm de

separación entre cada surco, dividiendo en parcelas de 10 x10 cm y separadas una de otra para facilitar el riego.

3.2.1.5. Fertilización

El cultivo de manzanilla requiere de Nitrógeno y Fósforo, estos elementos ayudan a la formación de hojas, ramas y raíces; son aplicados a través del compost.

3.2.1.6. Labores culturales

En las primeras etapas de vida de la manzanilla se realizan tareas de deshierba, para evitar la presencia de plagas y enfermedades y para ayudar a que la planta absorba los nutrientes del suelo necesarios para su desarrollo.

3.2.1.7. Riego

No existe un riego constante pero es necesario que en el terreno exista una buena distribución de humedad para asegurar la calidad de la producción. Es necesario que el cultivo posea drenajes para evitar el exceso de agua que puede ocasionar el ataque de plagas y enfermedades.

3.2.1.8. Recolección

Las ramas o hierbas de manzanilla se recolectan cuando están sanas y verdes, utilizando pequeños cuchillos o tijeras de podar con el fin de no maltratar la planta.

3.2.1.9. Postcosecha

Las labores postcosecha adecuadas que debe seguir la manzanilla son:

- Labores de limpieza.
- Eliminación de las partes maltratadas de la manzanilla durante la cosecha.
- Es indispensable realizar un secado de la manzanilla.

3.2.2. Manzana

3.2.2.1. Taxonomía

Familia: *Rosaceae*

Género: *Malus*

Nombre científico: *Pyrus malus L.*

Nombres comunes: Manzana, manzano

3.2.2.2. Descripción

Según Recalde, D. (2010). La manzana es una de las frutas de mayor consumo en el mundo, se adapta muy bien a una gran variedad de climas y suelos; es uno de los frutos más completos por sus valores alimenticios. En la actualidad su cultivo está extendido en todo el mundo. En nuestro país un gran número de campesinos de las Provincias de Tungurahua y Chimborazo se dedican al cultivo de esta fruta como un medio económico para sobrevivir.

La planta de manzana alcanza hasta los 10 metros de altura, aunque normalmente oscila entre 2.0 y 2.5 m de altura; pose un tallo o tronco grueso, de color verde

oscuro, en el cual se insertan las ramas. Las hojas son blandas, de color verde claro; las flores son grandes pedunculadas y hermafroditas.

Los frutos son ovoides, la pulpa puede ser dura o blanda, dependiendo de la variedad y madurez del fruto, con un sabor agradable y dulce por su contenido de azúcares comunes (fructosa y glucosa) y presenta numerosas semillas de color pardo.

3.2.2.3. Siembra

Antes de sembrar la planta de manzana es muy importante preparar el suelo, debido a que el árbol permanece plantado por algunos años. Para la siembra se realiza operaciones de arado hasta una profundidad de 60 cm, la plantación debe ser de 2,0 a 3,0 metros de distancia de una con otra y 4.0 a 4.5 metros entre hileras.

La planta de manzana puede ser sembrada en cualquier época del año, tomando en cuenta que exista humedad en el suelo. Es fundamental no sembrar en época de vientos, para impedir la destrucción del árbol.

3.2.2.4. Propagación

Para la propagación de la manzana se lo realiza mediante injertos, semillas o por estaca. El más utilizado es el método mediante injertos que se lo hace a través de yema y de púa.

El injerto de yema se realiza cuando la planta está en crecimiento, a una altura de 20 a 25 centímetros; mientras que el injerto de púa, se realiza en el período de dormancia de las plantas.

3.2.2.5. Riego

Los sistemas de riego más utilizados son: mediante inundación o goteo.

3.2.2.6. Fertilización

Esta actividad debe ir acompañada de estudios físicos y químicos de los suelos. La planta de manzana requiere de:

- 30 a 60 Gramos de Nitrógeno puro al año, dependiendo de la edad.
 - 90 a 180 Gramos de urea,
 - En suelos con pH normal (6.0 a 6.5) de 150 a 300 gramos de sulfato de amonio.
- Se debe aplicar alrededor de 30 a 40 días después de la caída de los pétalos si existe humedad suficiente.

3.2.2.7. Recolección

El fruto de la manzana se recolecta de forma manual o mecánica, evitando golpes, laceración, que afecte la calidad de la fruta.

Un mal manejo postcosecha de la manzana produce pérdidas que oscilan entre el 5 y el 50%, como consecuencia de un daño mecánico como golpes que aceleran la pérdida de agua originando la degradación del producto.

3.2.3. Secado

3.2.3.1. Secado natural

Según Reinoso, E. (2006). Estos secadores hacen uso de la acción natural de la radiación solar; de la temperatura, humedad y movimiento del aire ambiente para lograr el secado.

Para este tipo de secado, no se utilizan equipos, el producto se seca por la acción del viento que circula en ese momento, por lo que este tipo de secado dependerá de las condiciones atmosféricas, por lo que se torna en un tipo de secado difícil de controlar.

La mano de obra se reduce al mínimo, ya que aparte de la recolección, la operación adicional es colocar el producto esparcido en un patio de cemento para la acción del sol.

Es un método muy económico en los climas cálidos y secos, en el caso de las hierbas aromáticas, estas se las extiende sobre lienzos o bandejas, las cortezas y raíces, soportan bien los rayos solares. Pero este procedimiento está contra indicado para las flores, que decolora, y para las plantas que contienen aceites esenciales, las cuales pierden parte de sus componentes volátiles. Al ser un proceso lento, no existe un control sobre la duración del proceso o sobre la acción de los microorganismos que pudieran desarrollarse por el largo periodo de secado.

El secado natural de las plantas aromáticas medicinales, también se lo hace a la temperatura ambiente, en cobertizos, graneros; siendo este el proceso más utilizado a escala artesanal. Se extienden las plantas sobre papeles, lonas o sobre telas metálicas, de tal forma que se permita un mejor flujo de aire.

Se construyen secadores formados por bandejas de madera, cuyo fondo está provisto por una tela metálica, sobre la cual se colocan las hojas de las plantas medicinales. Las plantas enteras suelen también colocarse sobre alambre, formando ramilletes, la ventilación debe ser buena.

3.2.3.2. Secado con colectores solares planos.

Una de las alternativas de la energía solar es el secado de productos agrícolas, mediante la utilización de un colector solar, para el calentamiento del aire necesario para tal proceso. Es un sistema de secado indirecto, con un colector que capta la energía solar en una forma más eficiente que la simple exposición del producto al sol.

3.2.3.3. Secado por convección natural.

La convección es estrictamente un medio de mover energía de un lugar a otro: es un transporte de energía, esto se da porque un fluido en movimiento (en este caso aire), recoge energía de un cuerpo caliente y la entrega a un cuerpo más frío.

En el secado solar por convección natural los rayos solares atraviesan las cubiertas transparentes del colector, incidiendo sobre la placa colectora, creando un gradiente de temperatura entre estos y el medio que los rodea, en el colector ocurre una transferencia de calor por convección natural entre el aire que se encuentra dentro de él y la placa caliente, con lo que se eleva la temperatura del aire; este aire caliente disminuye su densidad, con lo que fluye hacia arriba, dejando un espacio que es ocupado por aire fresco que entra al colector.

3.2.4. Ratio de un secador

Según Montero, I. (2005). La duración del proceso de secado es el parámetro más indispensable en la evaluación de un secador. Se estima como el tiempo que transcurre desde que el secador es cargado con el producto húmedo hasta que el producto haya alcanzado el contenido de humedad deseado, frecuentemente dado en horas o días, incluyéndose en este tiempo los períodos en los que se dispone de radiación solar.

Las variaciones del contenido de humedad del producto frente al tiempo marcarán el ratio de secado. La comparación de ratios de secado de diferentes subproductos o modos de funcionamiento ha sido ampliamente estudiada, correspondiendo para un mismo instante los valores más bajos del ratio de secado al proceso más óptimo. Para secadores de gran capacidad, es importante analizar el ratio de secado en diferentes localizaciones para controlar la uniformidad alcanzada.

3.2.4.1. Curvas de secado de un producto.

En el proceso de secado se distinguen tres fases:

- **Primera Fase (Período de velocidad de secado creciente).**

Corto período transitorio en el que se produce un calentamiento inicial del producto y la velocidad de secado aumenta.

- **Segunda Fase (Período de velocidad de secado constante).**

El secado tiene lugar solo en la superficie, produciéndose exclusivamente la evaporación de la humedad superficial.

- **Tercera Fase (Período de velocidad de secado decreciente).**

Comienza al finalizar el período constante. La resistencia interna del material, se hace más importante, dificultando el paso de humedad; ya no existen condiciones de saturación en la superficie y se produce la eliminación de la humedad interna. Este período depende fundamentalmente de la difusión de humedad del interior del producto hacia la superficie, así como de la evaporación superficial.

3.2.5. Función matemática del ratio de un secador

3.2.5.1. Ratio de humedad

El ratio de humedad, MR, se expresa generalmente según la ecuación:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e}$$

Donde MR es el ratio de humedad, M_t es el contenido de humedad en cada instante, M_o es el contenido de humedad inicial y M_e es el contenido de humedad de equilibrio

3.2.5.2. Ratio de secado

La velocidad de secado en función del tiempo de operación o ratio de secado puede expresarse como:

$$DR = \frac{M_t + dt - M_t}{dt}$$

Donde, dt es la variación de tiempo, M_t es el contenido de humedad en cada instante y DR el ratio de secado.

3.2.5.3. Eficiencia del secado.

Existen diferentes ratios para evaluar las prestaciones energéticas de un proceso de secado. Uno de los más importantes es el consumo energético unitario (CEU), definido como la cantidad de energía suministrada por cantidad de agua evaporada.

$$CEU = \frac{\text{energía suministrada}}{\text{agua evaporada}}$$

La eficiencia de un secador se puede definir mediante:

$$\varepsilon = \frac{\text{energía utilizada}}{\text{energía utilizada} + \text{energía perdida en el aire a la salida}}$$

3.3. HIPÓTESIS

3.3.1. General

- ¿Con la determinación de un modelo de ratio de secado en manzanilla y manzana se mejorará la eficiencia de secado en la Provincia de Chimborazo?

3.3.2. Específicas

- ¿Al determinar las características físicas de la manzanilla y la manzana en función de la humedad, se obtendrá los niveles óptimos de humedad?
- ¿Al establecer la variación de la humedad en función del tiempo y la temperatura en la manzanilla y la manzana, se podrá obtener condiciones y niveles óptimos de secado en el proceso?
- ¿Al establecer un modelo de ratio de secado que se ajuste a las características de la manzanilla y la manzana, se podrá lograr la estandarización de secado?

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

3.4.1. Variable independiente

- Ratio de secado de la manzanilla y la manzana bajo condiciones físicas y meteorológicas de nuestra zona, en la UNACH.

3.4.2. Variable dependiente

- Temperatura de secado de la manzanilla y la manzana
- Humedad de secado de la manzanilla y la manzana en el proceso de secado.
- Tiempo de secado de la manzanilla y la manzana en el proceso de secado.

4. METODOLOGÍA

4.1. TIPO DE ESTUDIO

- **Experimental**

Es un estudio objetivo, sistemático y altamente controlado con el propósito de predecir y controlar fenómenos.

- **Exploratorio.**

Porque el objetivo es examinar un problema poco estudiado.

- **Descriptivo.**

Porque nos permite describir los procesos que conlleven a establecer modelos matemáticos para calcular el ratio de secado de la manzanilla y manzana para lograr la eficiencia de secado tomando en cuenta las condiciones físicas y meteorológicas de esta zona.

- **Bibliográfico.**

Se utilizará libros, tesis, páginas web para obtener información.

4.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Por ser una investigación en la cual la práctica y el análisis en el laboratorio es fundamental, se consideró realizar 5 muestras aleatorias de manzanilla y manzana que se produce en la provincia de Chimborazo.

4.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Cuadro # 1
OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLE	CONCEPTO	INDICADOR	DIMENSIÓN	INSTRUMENTOS
Independiente				
Ratio de secado de la manzanilla y manzana	Tiempo que transcurre desde que el secador es cargado con el producto húmedo hasta que el producto haya alcanzado el contenido de humedad deseado.	Temperatura Tiempo Peso Curvas de secado	° C Horas Gramos Gráficos logarítmicos y lineales	Termómetro Reloj Balanza analítica Excel
Dependiente				
Manzana	Fruta comestible, de forma redonda, de color verde, amarillo o rojo, carne blanca y jugosa.	Humedad en muestra fresca	%	Secador tipo túnel de bandejas
Manzanilla	Planta herbácea de tallos débiles, hojas abundantes y flores olorosas con el centro amarillo y los pétalos blancos.	Humedad final muestra seca	%	

Elaborado por: María Fernanda Rojas 2014

4.4. PROCEDIMIENTOS

- Revisión bibliográfica.
- Determinación de las características físicas de la manzanilla y la manzana en función de la humedad.
- Determinación de la variación de la humedad en función del tiempo y la temperatura de la manzanilla y la manzana.
- Determinación del modelo de ratio que se ajuste a las variaciones de la manzanilla y la manzana.
- Análisis de resultados
- Procesamiento de datos

4.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

- **Revisión bibliográfica.**

Para el desarrollo de esta investigación se buscará y analizará información utilizando libros, papers, tesis y artículos de internet.

- **Determinación de las características físicas de la manzanilla y la manzana en función de la humedad.**

La variación de humedad de la manzana y manzanilla se realizará a través del proceso de secado que será alto medio o bajo los cuales serán representados en curvas estadísticas de secado; tomando en cuenta diferentes % de humedad. Estas pruebas se realizarán en el laboratorio.

- **Determinación de la variación de la humedad en función del tiempo y la temperatura de la manzanilla y la manzana.**

a) Función del tiempo

Corto

Mediano

Largo

b) Temperatura

20°C

30°C

40°C

- **Determinación del modelo de ratio que se ajuste a las variaciones de la manzanilla y la manzana en el proceso de secado**

El modelo de ratio se establecerá tomando en cuenta las condiciones y niveles óptimos en el proceso de secado, con la determinación de:

a) Condiciones de secado (Óptimo, medio, irregular)

b) Niveles de secado (Alto, medio, bajo)

c) Función del tiempo (Corto, Mediano, Largo)

d) Temperatura (20°C, 30°C, 40°C)

- **Análisis de resultados**

Utilizando los datos obtenidos en el laboratorio y en el secador se analizarán los tiempos, temperaturas, % de humedad más óptimos en el secado de la manzana y manzanilla.

Se realizará una regresión lineal para obtener la función que permita la determinación del ratio de secado.

Se desarrollará una prueba de hipótesis utilizando test estadísticos para la comparación de resultados.

- **Procesamiento de datos**

Se deberá tabular los resultados y datos obtenidos en el laboratorio y en el secador.

5. MARCO ADMINISTRATIVO

5.1. RECURSOS

Cuadro # 2
Recursos

ECONÓMICOS	TECNOLÓGICOS	HUMANOS
Materia Prima	Secador	Tesista
Materiales y reactivos	Instrumentos de laboratorio	Director de tesis, asesores

Elaborado por: María Fernanda Rojas 2014

5.2. PRESUPUESTO

Cuadro # 3
Presupuesto

INSUMOS	DÓLARES
Materia prima	\$ 200
Reactivos	\$ 100
Bibliografía	\$ 200
Computadora	\$ 600
Impresiones	\$ 40
TOTAL	\$ 1140

Elaborado por: María Fernanda Rojas 2014

5.3. CRONOGRAMA

Cuadro # 4
Cronograma

ACTIVIDADES	MESES																											
	1				2				3				4				5				6							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Revisión bibliográfica	x	x	x	x																								
Determinación de las características físicas de la manzanilla y la manzana en función de la humedad.																												
Determinación de la variación de la humedad de la manzanilla y la manzana en función del tiempo y temperatura.																												
Determinación del modelo ratio que se ajuste a las variaciones de la manzanilla y la manzana en el proceso de secado																												
Análisis de resultados																												
Procesamiento de datos																												

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

6. BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, L. (2009). “Diseño de una maquina secadora de hojas aromáticas”. Ecuador. pp. 206.
- Bayona, C. (2011). “Modelamiento matemático de un secador solar de plantas aromáticas”. Colombia. pp 144.
- Borda, V. (2012). “Sistema híbrido Termo-fotovoltaico: Modelo termodinámico para el secado de hoja de Yuca Forrajera (*Manihot esculenta*, Crantz)”. Colombia. pp 72.
- Cárdenas, G. (2009). “Optimización del proceso de secado de la manzanilla (*Matricaria Chamomilla*) y del toronjil (*Melissa Officinalis*) con la unión de comunidades indígenas campesinas de Juan Montalvo”. Ecuador. pp 172.
- Coronado, G. (2013). “Evaluación de los centros de secado del sector maicero: propuesta de administración cooperativista y su incidencia en el nivel de vida de los pequeños y medianos productores de maíz de los cantones Quevedo y Ventanas”. Ecuador. pp 228.
- López, R. (2012). “La simulación y optimización del captador de un secadero solar”. Madrid. pp 104.
- Montero, I. (2005). “Modelado y construcción de un secadero solar hibrido para residuos biomásicos”. Universidad de Extremadura. pp 286.
- Ortega, V. (2011). “Comparación del rendimiento del ácido carmínico entre dos procesos de deshidratación de la Cochinilla de tunas cultiva en Guano”. Ecuador. pp 153.

- Padilla, J. (2014). “Estudio de perfectibilidad para la elaboración y comercialización de uvilla deshidratada, para la empresa Sumak Mikuy”. Ecuador. pp 247.

7. ANEXOS

SECADOR TIPO TUNEL DE BANDEJAS



Anexo N° 2

PRUEBAS DEL SECADO DE MANZANA

(Por repetición).

a) Manzana Delicia

MANZANA DELICIA A 50° C (en gramos) Repetición 1						
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA	PESO 5HORA	PESO 6 HORA
125,40	71,80	28,20	16,00	15,70	15,50	15,30
125,00	72,60	31,60	16,00	15,90	15,80	15,50
125,20	72,20	29,90	16,00	15,80	15,65	15,40

Cuadro N° 61: Repetición 1. Toma de datos de manzana Delicia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 50° C (en gramos) Repetición 2						
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA	PESO 5HORA	PESO 6 HORA
125,80	78,40	35,00	17,10	16,40	16,30	15,00
126,20	80,20	33,40	17,30	16,80	16,60	16,00
126,00	79,30	34,20	17,20	16,60	16,45	15,50

Cuadro N° 62: Repetición 2. Toma de datos de manzana Delicia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 50° C (en gramos) Repetición 3						
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA	PESO 5HORA	PESO 6 HORA
124,80	72,80	28,60	17,40	17,20	17,00	16,20
126,20	79,00	28,00	17,20	16,80	16,60	15,40
125,50	75,90	28,30	17,30	17,00	16,80	15,80

Cuadro N° 63: Repetición 3. Toma de datos de manzana Delicia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 60° C (en gramos) Repetición 1					
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA	PESO 5HORA
125,80	64,80	24,00	18,60	18,40	15,80
125,20	65,60	22,20	18,20	18,00	15,20
125,50	65,20	23,10	18,40	18,20	15,50

Cuadro N° 64: Repetición 1. Toma de datos de manzana Delicia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 60° C (en gramos) Repetición 2					
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA	PESO 5HORA
126,20	57,80	21,60	20,20	18,80	15,40
124,80	54,60	18,80	15,60	15,20	14,80
125,50	56,20	20,20	17,90	17,00	15,10

Cuadro N° 65: Repetición 2. Toma de datos de manzana Delicia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 60° C (en gramos) Repetición 3					
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA	PESO 5HORA
125,00	65,20	23,60	19,80	19,40	16,20
125,20	62,00	21,40	18,40	18,20	15,60
125,10	63,60	22,50	19,10	18,80	15,90

Cuadro N° 66: Repetición 2. Toma de datos de manzana Delicia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 70° C(en gramos) Repetición 1				
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA
125,80	59,00	26,00	16,40	15,40
126,00	63,40	28,00	16,20	16,00
125,90	61,20	27,00	16,30	15,70

Cuadro N° 67: Repetición 1. Toma de datos de manzana Delicia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 70° C(en gramos) Repetición 2				
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA
125,40	52,00	18,80	15,20	15,00
126,40	56,80	21,20	16,60	16,20
125,90	54,40	20,00	15,90	15,60

Cuadro N° 68: Repetición 2. Toma de datos de manzana Delicia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 70° C(en gramos) Repetición 3				
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA
124,80	51,00	17,20	16,80	15,20
124,60	44,80	16,20	15,20	14,60
124,70	47,90	16,70	16,00	14,90

Cuadro N° 69: Repetición 3. Toma de datos de manzana Delicia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

b) Manzana Emilia

MANZANA EMILIA A 50° C (en gramos) Repetición 1						
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA	PESO 5HORA	PESO 6 HORA
125,20	85,40	40,40	24,20	16,80	16,00	15,40
126,20	77,80	33,20	21,80	16,20	15,60	15,40
125,70	81,60	36,80	23,00	16,50	15,80	15,40

Cuadro N° 70: Repetición 1. Toma de datos de manzana Emilia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 50° C (en gramos) Repetición 2						
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA	PESO 5HORA	PESO 6 HORA
125,40	77,60	30,40	21,10	16,80	15,60	15,20
124,80	75,80	30,80	21,80	17,10	15,80	15,60
125,10	76,70	30,60	21,45	16,95	15,70	15,40

Cuadro N° 71: Repetición 2. Toma de datos de manzana Emilia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 50° C (en gramos) Repetición 3						
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA	PESO 5HORA	PESO 6 HORA
125,80	82,50	35,20	23,10	16,80	15,40	15,20
126,60	80,20	32,00	22,80	17,10	15,60	15,30
126,20	81,35	33,60	22,95	16,95	15,50	15,25

Cuadro N° 72: Repetición 3. Toma de datos de manzana Emilia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 60° C (en gramos) Repetición 1					
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA	PESO 5HORA
125,80	61,40	17,80	15,00	14,80	14,40
126,20	71,00	26,60	16,20	15,40	15,40
126,00	66,20	22,20	15,60	15,10	14,90

Cuadro N° 73: Repetición 1. Toma de datos de manzana Emilia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 60° C (en gramos) Repetición 2					
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA	PESO 5HORA
126,40	53,80	19,00	17,20	16,00	15,20
125,20	53,20	16,00	15,60	15,00	15,00
125,80	53,50	17,50	16,40	15,50	15,10

Cuadro N° 74: Repetición 2. Toma de datos de manzana Emilia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 60° C (en gramos) Repetición 3					
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA	PESO 5HORA
126,20	62,60	21,60	15,80	15,40	14,80
126,80	67,40	25,60	17,00	16,60	15,40
126,50	65,00	23,60	16,40	16,00	15,10

Cuadro N° 75: Repetición 3. Toma de datos de manzana Emilia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 70° C (en gramos) Repetición 1				
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA
126,40	73,60	30,20	16,10	15,40
125,00	72,00	29,40	15,60	15,10
125,70	72,80	29,80	15,85	15,25

Cuadro N° 76: Repetición 1. Toma de datos de manzana Emilia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 70° C (en gramos) Repetición 2				
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA
125,80	57,80	21,40	16,80	15,60
125,40	54,20	18,20	15,90	15,20
125,60	56,00	19,80	16,35	15,40

Cuadro N° 77: Repetición 2. Toma de datos de manzana Emilia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 70° C (en gramos) Repetición 3				
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA
126,00	67,80	24,60	16,20	15,30
126,20	58,20	25,40	16,00	15,10
126,10	63,00	25,00	16,10	15,20

Cuadro N° 78: Repetición 3. Toma de datos de manzana Emilia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Anexo N° 3

PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LA MANZANA

(Por repetición)

a) Manzana Delicia

MANZANA DELICIA A 50° C (en gramos) Repetición # 1							
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)	Peso 5 hora (g)	Peso 6 hora (g)
	125,20	72,20	29,90	16,00	15,80	15,65	15,40
Pérdida de humedad		42,33	76,12	87,22	87,38	87,50	87,70
% Masa seca		57,67	23,88	12,78	12,62	12,50	12,30

Cuadro N° 79: Repetición 1. Humedad de la manzana Delicia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 50° C (en gramos) Repetición # 2							
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)	Peso 5 hora (g)	Peso 6 hora (g)
	126,00	79,30	34,20	17,20	16,60	16,45	15,50
Pérdida de humedad		37,06	72,86	86,35	86,83	86,94	87,70
% Masa seca		62,94	27,14	13,65	13,17	13,06	12,30

Cuadro N° 80: Repetición 2. Humedad de la manzana Delicia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 50° C (en gramos) Repetición # 3							
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)	Peso 5 hora (g)	Peso 6 hora (g)
	125,50	75,90	28,30	17,30	17,00	16,80	15,80
Pérdida de humedad		39,52	77,45	86,22	86,45	86,61	87,41
% Masa seca		60,48	22,55	13,78	13,55	13,39	12,59

Cuadro N° 81: Repetición 3. Humedad de la manzana Delicia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 60° C (en gramos) Repetición # 1						
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)	Peso 5 hora (g)
	125,50	65,20	23,10	18,40	18,20	15,50
Pérdida de humedad		48,05	81,59	85,34	85,50	87,65
% Masa seca		51,95	18,41	14,66	14,50	12,35

Cuadro N° 82: Repetición 1. Humedad de la manzana Delicia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 60° C (en gramos) Repetición # 2						
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)	Peso 5 hora (g)
	125,50	56,20	20,20	17,90	17,00	15,10
Pérdida de humedad		55,22	83,90	85,74	86,45	87,97
% Masa seca		44,78	16,10	14,26	13,55	12,03

Cuadro N° 83: Repetición 2. Humedad de la manzana Delicia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 60° C (en gramos) Repetición # 3						
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)	Peso 5 hora (g)
	125,10	63,60	22,50	19,10	18,80	15,90
Pérdida de humedad		49,16	82,01	84,73	84,97	87,29
% Masa seca		50,84	17,99	15,27	15,03	12,71

Cuadro N° 84: Repetición 3. Humedad de la manzana Delicia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 70° C (en gramos) Repetición # 1					
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)
	125,90	61,20	27,00	16,30	15,70
Pérdida de humedad		51,39	78,55	87,05	87,53
% Masa seca		48,61	21,45	12,95	12,47

Cuadro N° 85: Repetición 1. Humedad de la manzana Delicia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 70° C (en gramos) Repetición # 2					
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)
	125,90	54,40	20,00	15,90	15,60
Pérdida de humedad		56,79	84,11	87,37	87,61
% Masa seca		43,21	15,89	12,63	12,39

Cuadro N° 86: Repetición 2. Humedad de la manzana Delicia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 70° C (en gramos) Repetición # 3					
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)
	124,70	47,90	16,70	16,00	14,90
Pérdida de humedad		61,59	86,61	87,17	88,05
% Masa seca		38,41	13,39	12,83	11,95

Cuadro N° 87: Repetición 3. Humedad de la manzana Delicia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

b) Manzana Emilia

MANZANA EMILIA A 50° C (en gramos) Repetición # 1							
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)	Peso 5 hora (g)	Peso 6 hora (g)
	125,70	81,60	36,80	23,00	16,50	15,80	15,40
Pérdida de humedad		35,08	70,72	81,70	86,87	87,43	87,75
% Masa seca		64,92	29,28	18,30	13,13	12,57	12,25

Cuadro N° 88: Repetición 1. Humedad de la manzana Emilia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 50° C (en gramos) Repetición # 2							
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)	Peso 5 hora (g)	Peso 6 hora (g)
	125,10	76,70	30,60	21,45	16,95	15,70	15,40
Pérdida de humedad		38,69	75,54	82,85	86,45	87,45	87,69
% Masa seca		61,31	24,46	17,15	13,55	12,55	12,31

Cuadro N° 89: Repetición 2. Humedad de la manzana Emilia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 50° C (en gramos) Repetición # 3							
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)	Peso 5 hora (g)	Peso 6 hora (g)
	126,20	81,35	33,60	22,95	16,95	15,50	15,25
Pérdida de humedad		35,54	73,38	81,81	86,57	87,72	87,92
% Masa seca		64,46	26,62	18,19	13,43	12,28	12,08

Cuadro N° 90: Repetición 3. Humedad de la manzana Emilia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 60° C (en gramos) Repetición # 1						
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)	Peso 5 hora (g)
	126,00	66,20	22,20	15,60	15,10	14,90
Pérdida de humedad		47,46	82,38	87,62	88,02	88,17
% Masa seca		52,54	17,62	12,38	11,98	11,83

Cuadro N° 91: Repetición 1. Humedad de la manzana Emilia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 60° C (en gramos) Repetición # 2						
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)	Peso 5 hora (g)
	125,80	53,50	17,50	16,40	15,50	15,10
Pérdida de humedad		57,47	86,09	86,96	87,68	88,00
% Masa seca		42,53	13,91	13,04	12,32	12,00

Cuadro N° 92: Repetición 2. Humedad de la manzana Emilia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 60° C (en gramos) Repetición # 3						
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)	Peso 5 hora (g)
	126,50	65,00	23,60	16,40	16,00	15,10
Pérdida de humedad		48,62	81,34	87,04	87,35	88,06
% Masa seca		51,38	18,66	12,96	12,65	11,94

Cuadro N° 93: Repetición 3. Humedad de la manzana Emilia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 70° C (en gramos) Repetición # 1					
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)
	125,70	72,80	29,80	15,85	15,25
Pérdida de humedad		42,08	76,29	87,39	87,87
% Masa seca		57,92	23,71	12,61	12,13

Cuadro N° 94: Repetición 1. Humedad de la manzana Emilia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 70° C (en gramos) Repetición # 2					
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)
	125,60	56,00	19,80	16,35	15,40
Pérdida de humedad		55,41	84,24	86,98	87,74
% Masa seca		44,59	15,76	13,02	12,26

Cuadro N° 95: Repetición 2. Humedad de la manzana Emilia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 70° C (en gramos) Repetición # 3					
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)
	126,10	63,00	25,00	16,10	15,20
Pérdida de humedad		50,04	80,17	87,23	87,95
% Masa seca		49,96	19,83	12,77	12,05

Cuadro N° 96: Repetición 3. Humedad de la manzana Emilia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Anexo N° 4

LINEALIZACIÓN DEL RATIO DE SECADO DE MANZANA

(Por repetición)

a) Manzana Delicia

MANZANA DELICIA A 50 ° C. Repetición # 1							
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4	5	6
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	125,20	72,20	29,90	16,00	15,80	15,65	15,40
MASA RELATIVA	1,00	0,58	0,24	0,13	0,13	0,13	0,12
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,55	-1,43	-2,06	-2,07	-2,08	-2,10

Cuadro N° 97: Repetición # 1. Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 50 ° C. Repetición # 2							
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4	5	6
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	125,80	78,40	35,00	17,10	16,40	16,30	15,00
MASA RELATIVA	1,00	0,63	0,28	0,14	0,13	0,13	0,12
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,47	-1,27	-1,99	-2,03	-2,04	-2,12

Cuadro N° 98: Repetición # 2. Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 50 ° C. Repetición # 3							
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4	5	6
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	125,50	75,90	28,30	17,30	17,00	16,80	15,80
MASA RELATIVA	1,00	0,60	0,23	0,14	0,14	0,13	0,13
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,50	-1,49	-1,98	-2,00	-2,01	-2,07

Cuadro N° 99: Repetición # 3. Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 60 ° C. Repetición # 1						
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4	5
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	125,50	65,20	23,10	18,40	18,20	15,50
MASA RELATIVA	1,00	0,52	0,18	0,15	0,15	0,12
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,65	-1,69	-1,92	-1,93	-2,09

Cuadro N° 100: Repetición # 1. Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 60 ° C. Repetición # 2						
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4	5
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	125,50	56,20	20,20	17,90	17,00	15,10
MASA RELATIVA	1,00	0,45	0,16	0,14	0,14	0,12
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,80	-1,83	-1,95	-2,00	-2,12

Cuadro N° 101: Repetición # 2. Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 60 ° C. Repetición # 3						
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4	5
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	125,10	63,60	22,50	19,10	18,80	15,90
MASA RELATIVA	1,00	0,51	0,18	0,15	0,15	0,13
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,68	-1,72	-1,88	-1,90	-2,06

Cuadro N° 102: Repetición # 3. Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 70 ° C. Repetición # 1					
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	125,90	61,20	27,00	16,30	15,70
MASA RELATIVA	1,00	0,49	0,21	0,13	0,12
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,72	-1,54	-2,04	-2,08

Cuadro N° 103: Repetición # 1. Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 70 ° C. Repetición # 2					
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	125,40	52,00	18,80	15,20	15,00
MASA RELATIVA	1,00	0,41	0,15	0,12	0,12
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,88	-1,90	-2,11	-2,13

Cuadro N° 104: Repetición # 2. Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA DELICIA A 70 ° C. Repetición # 3					
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	124,70	47,90	16,70	16,00	14,90
MASA RELATIVA	1,00	0,38	0,13	0,13	0,12
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,96	-2,01	-2,05	-2,12

Cuadro N° 105: Repetición # 3. Linealización del ratio de secado de manzana Delicia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

b) Manzana Emilia

MANZANA EMILIA A 50 ° C. Repetición # 1							
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4	5	6
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	125,70	81,60	36,80	23,00	16,50	15,80	15,40
MASA RELATIVA	1,00	0,65	0,29	0,18	0,13	0,13	0,12
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,43	-1,23	-1,70	-2,03	-2,07	-2,10

Cuadro N° 106: Repetición # 1. Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 50 ° C. Repetición # 2							
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4	5	6
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	125,10	76,70	30,60	21,45	16,95	15,70	15,40
MASA RELATIVA	1,00	0,61	0,24	0,17	0,14	0,13	0,12
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,49	-1,41	-1,76	-2,00	-2,08	-2,09

Cuadro N° 107: Repetición # 2. Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 50 ° C. Repetición # 3							
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4	5	6
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	126,20	81,35	33,60	22,95	16,95	15,50	15,25
MASA RELATIVA	1,00	0,64	0,27	0,18	0,13	0,12	0,12
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,44	-1,32	-1,70	-2,01	-2,10	-2,11

Cuadro N° 108: Repetición # 3. Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 60 ° C. Repetición # 1						
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4	5
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	126,00	66,20	22,20	15,60	15,10	14,90
MASA RELATIVA	1,00	0,53	0,18	0,12	0,12	0,12
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,64	-1,74	-2,09	-2,12	-2,13

Cuadro N° 109: Repetición # 1. Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 60 ° C. Repetición # 2						
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4	5
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	125,80	53,50	17,50	16,40	15,50	15,10
MASA RELATIVA	1,00	0,43	0,14	0,13	0,12	0,12
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,86	-1,97	-2,04	-2,09	-2,12

Cuadro N° 110: Repetición # 2. Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 60 ° C. Repetición # 3						
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4	5
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	126,50	65,00	23,60	16,40	16,00	15,10
MASA RELATIVA	1,00	0,43	0,14	0,13	0,12	0,12
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,86	-1,97	-2,04	-2,09	-2,12

Cuadro N° 111: Repetición # 3. Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 70 ° C. Repetición # 1					
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	125,70	72,80	29,80	15,85	15,25
MASA RELATIVA	1,00	0,58	0,24	0,13	0,12
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,55	-1,44	-2,07	-2,11

Cuadro N° 112: Repetición # 1. Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 70 ° C. Repetición # 2					
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	125,60	56,00	19,80	16,35	15,40
MASA RELATIVA	1,00	0,45	0,16	0,13	0,12
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,81	-1,85	-2,04	-2,10

Cuadro N° 113: Repetición # 2. Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANA EMILIA A 70 ° C. Repetición # 3					
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	126,10	63,00	25,00	16,10	15,20
MASA RELATIVA	1,00	0,50	0,20	0,13	0,12
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,69	-1,62	-2,06	-2,12

Cuadro N° 114: Repetición # 3. Linealización del ratio de secado de manzana Emilia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Anexo N° 5

CURVA DE SECADO DE LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE LA MANZANA (Por repetición)

a) Manzana Delicia

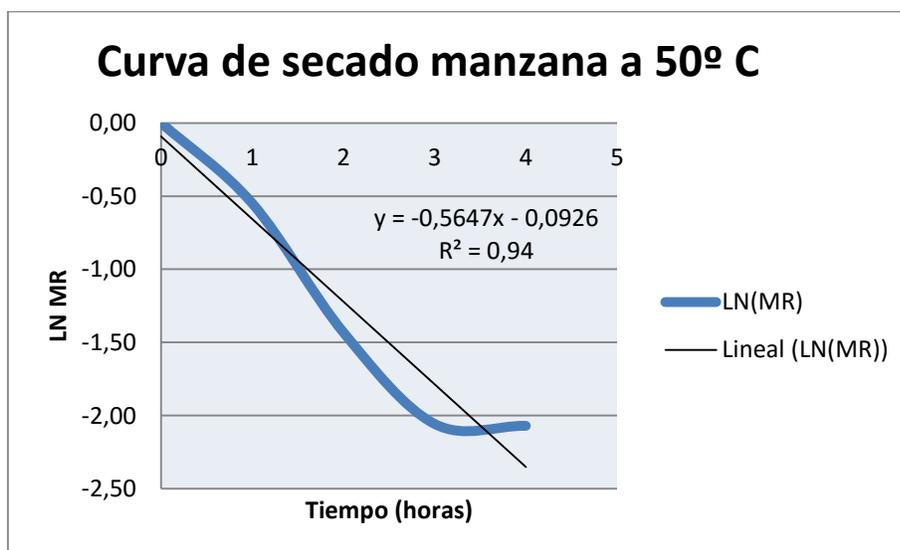


Figura N° 67: Repetición #1. LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

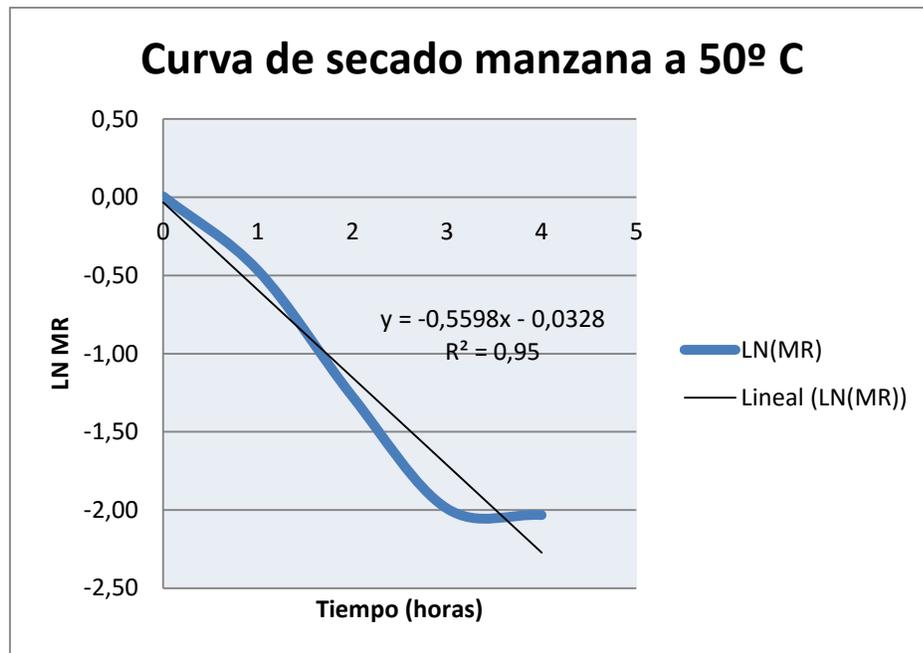


Figura N° 68: Repetición #2. LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 50° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

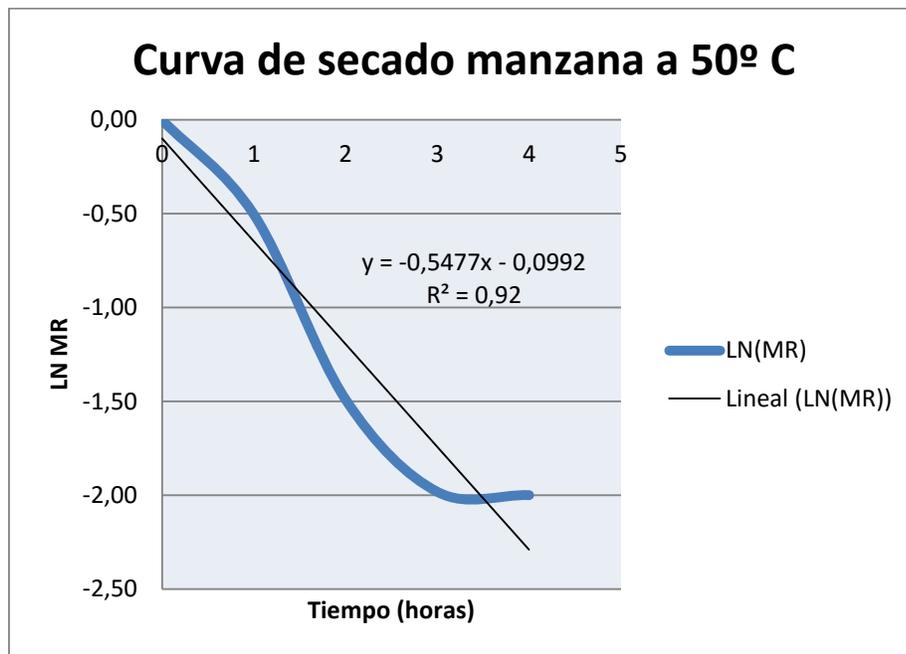


Figura N° 69: Repetición #3. LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 50° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

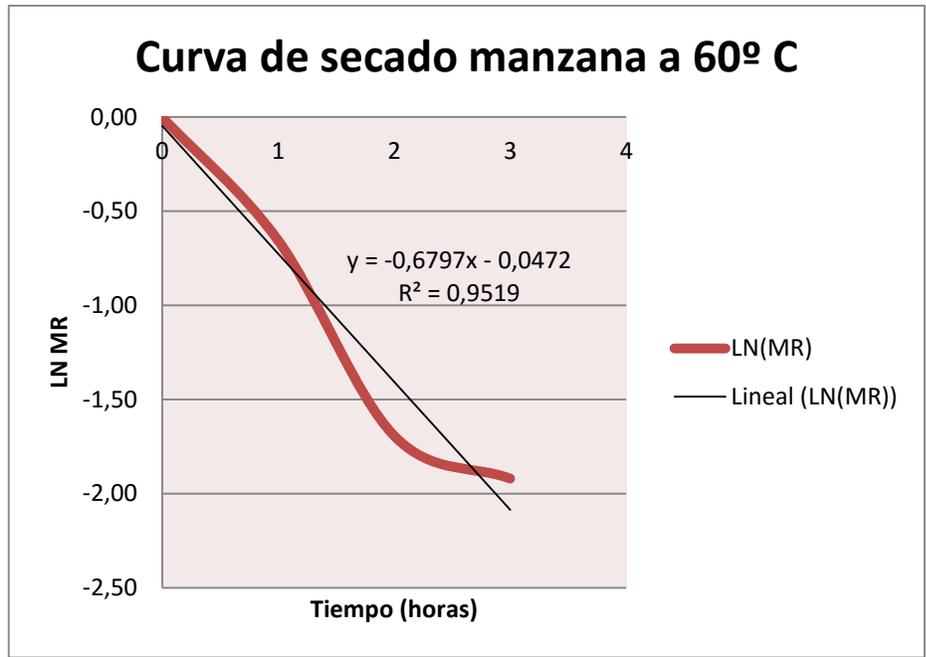


Figura N° 70: Repetición #1. LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 60° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

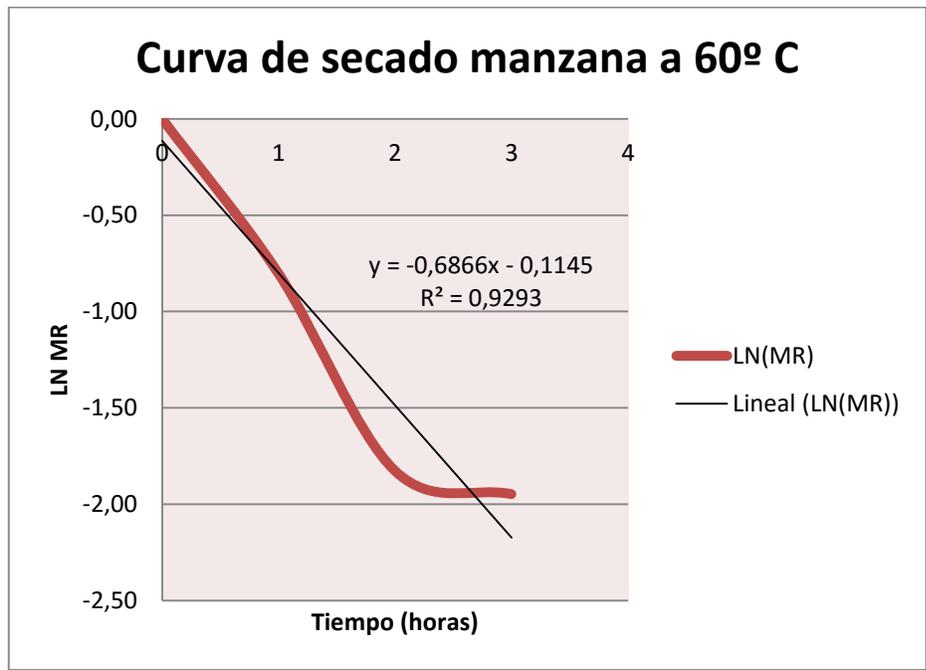


Figura N° 71: Repetición #2. LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 60° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

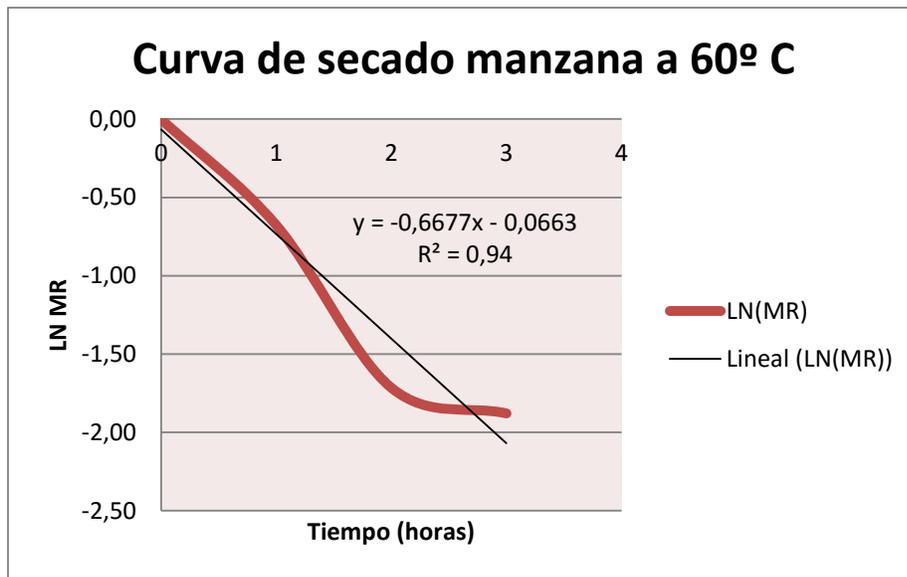


Figura N° 72: Repetición #3. LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 60° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

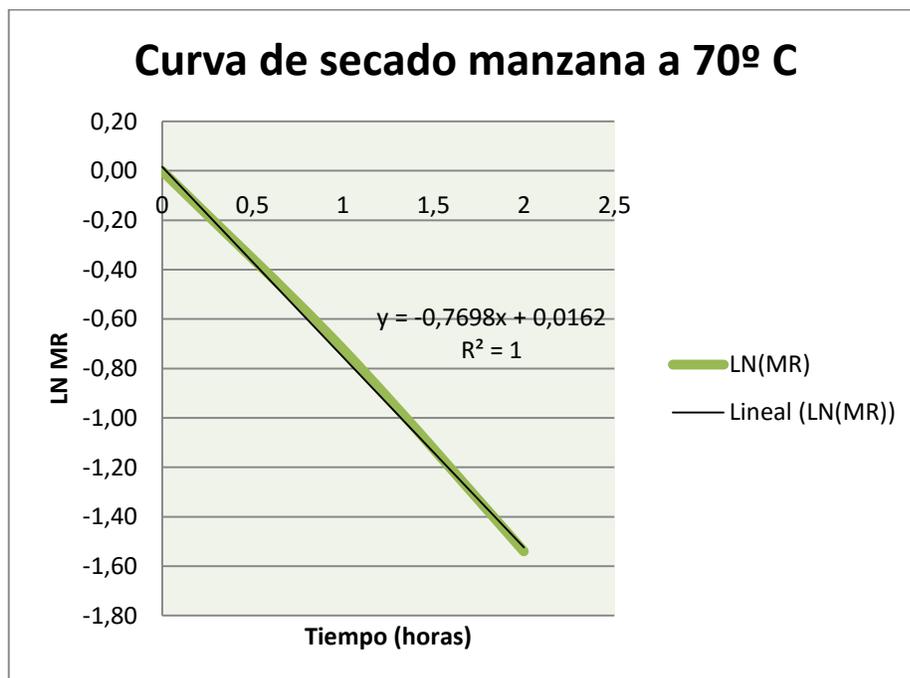


Figura N° 73: Repetición #1. LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 70° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

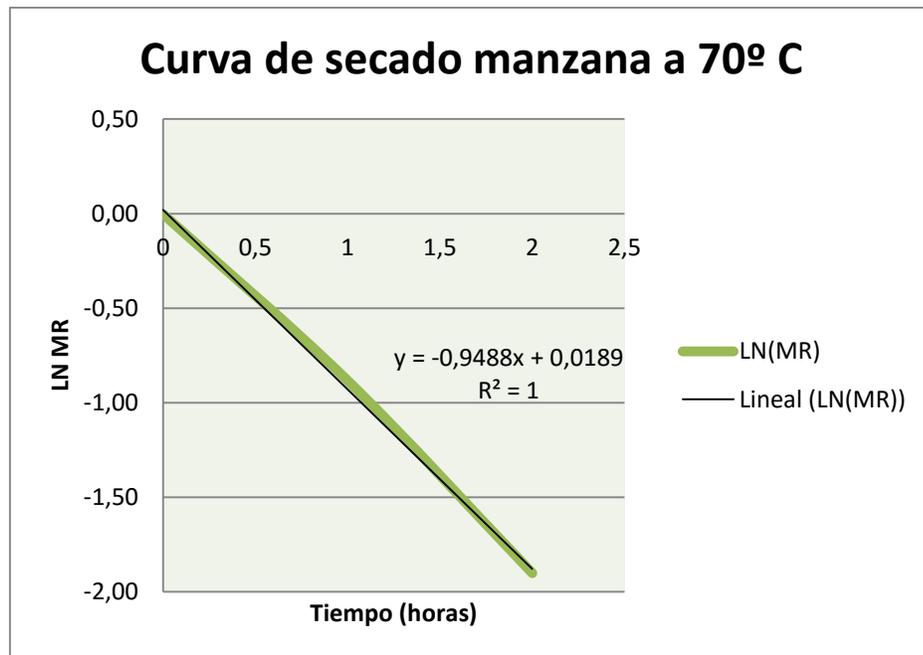


Figura N° 74: Repetición #2. LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 70° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

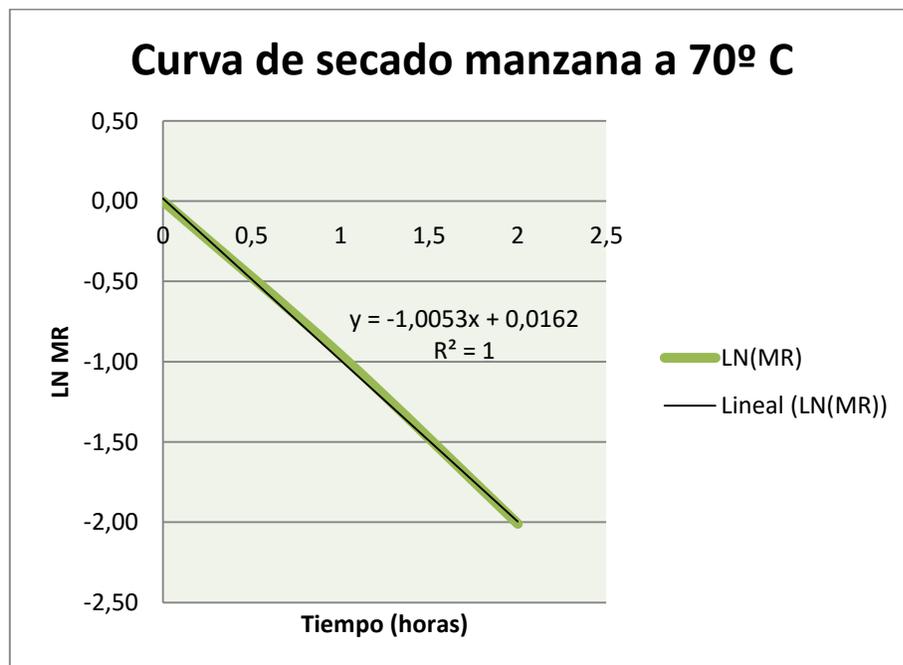


Figura N° 75: Repetición #3. LN MR vs tiempo de manzana Delicia a 70° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

b) Manzana Emilia

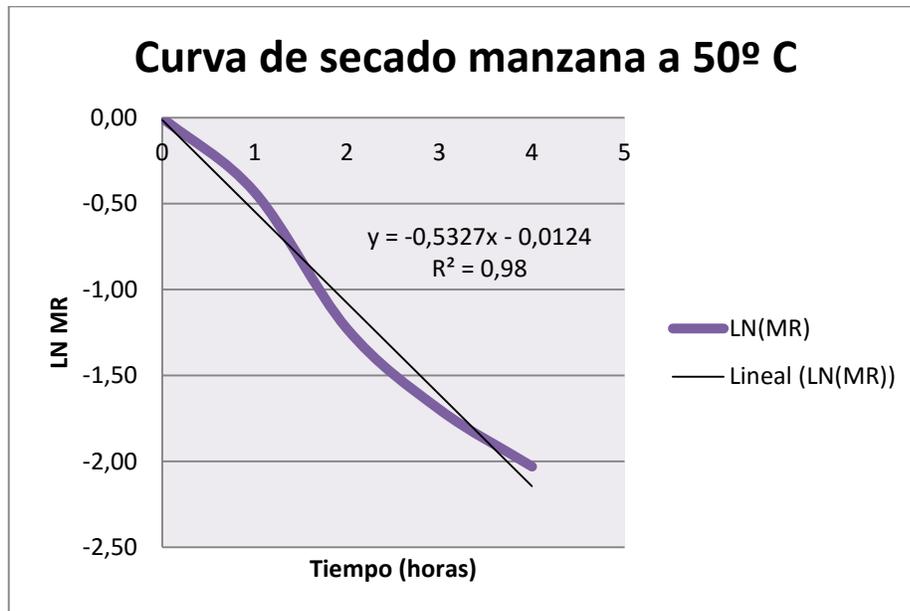


Figura N° 76: Repetición #1. LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

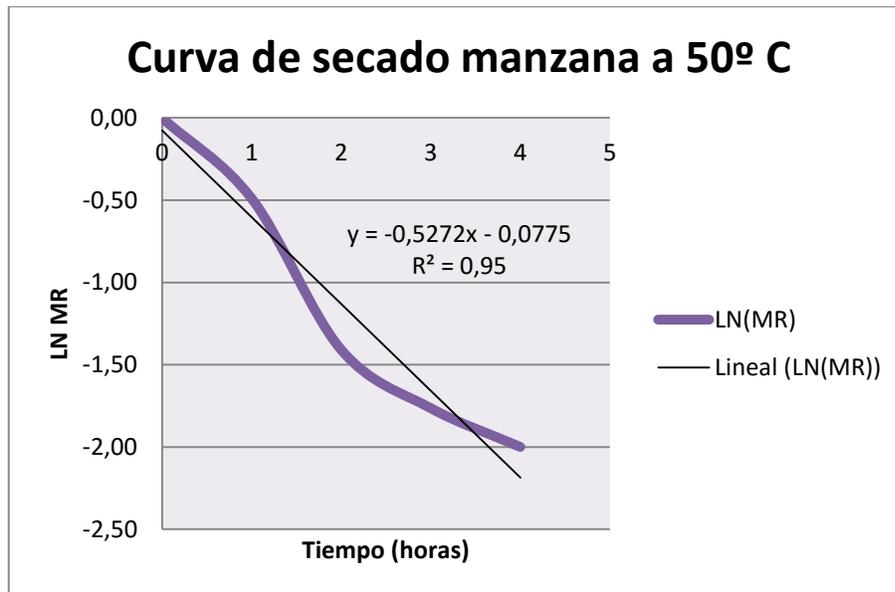


Figura N° 77: Repetición #2. LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

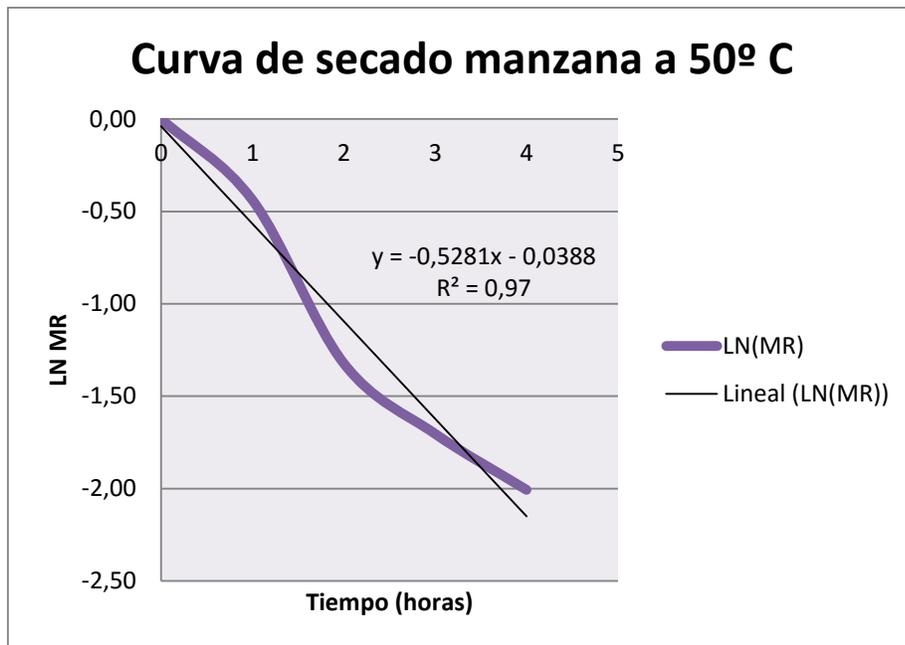


Figura N° 78: Repetición #3. LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 50° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

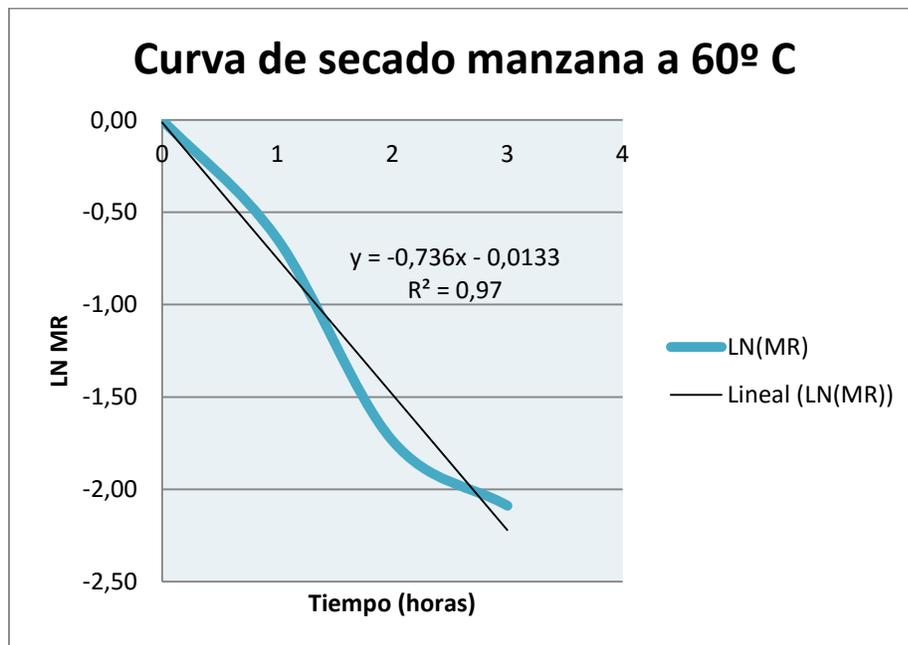


Figura N° 79: Repetición #1. LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 60° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

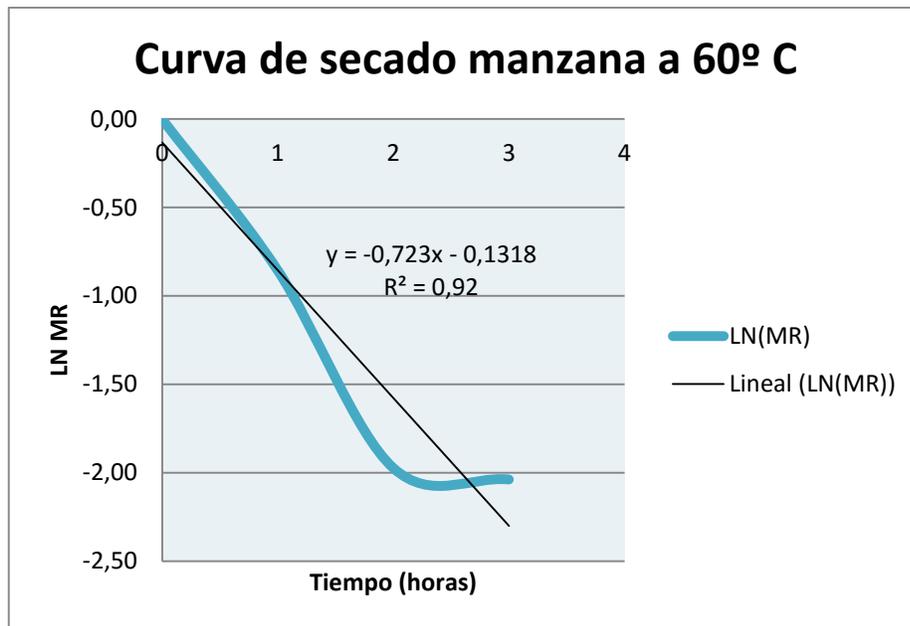


Figura N° 80: Repetición #2. LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 60° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

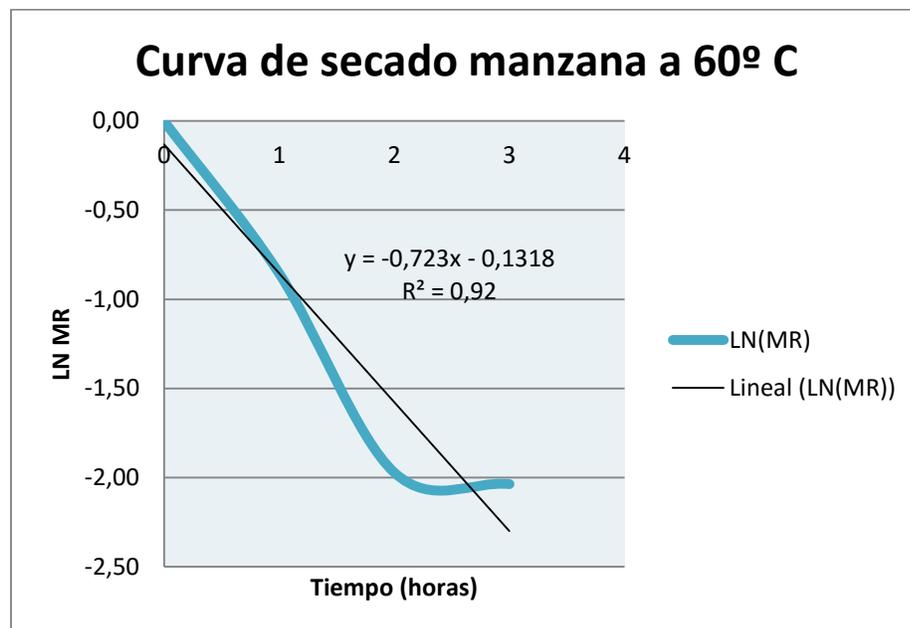


Figura N° 81: Repetición #3. LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 60° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

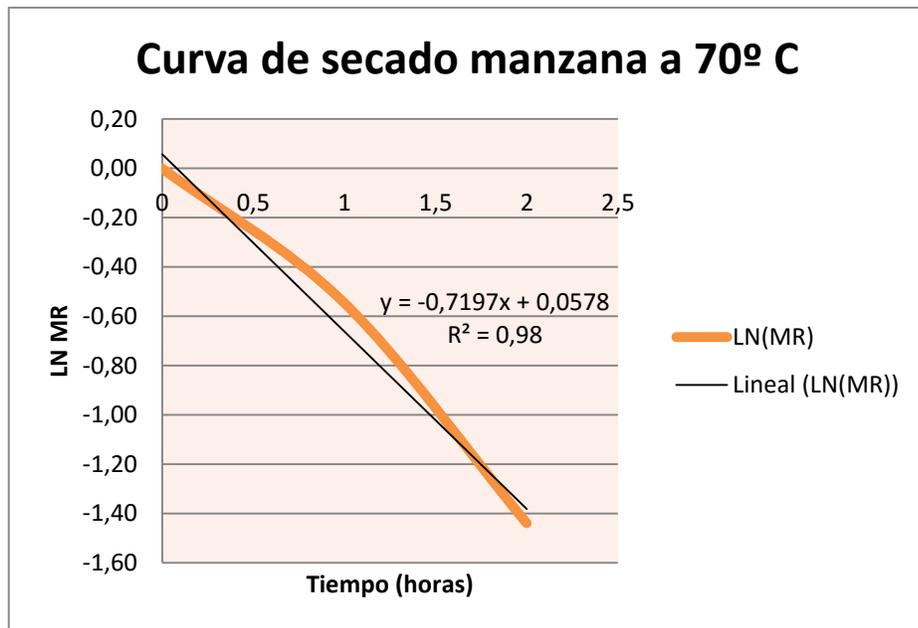


Figura N° 82: Repetición #1. LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 70° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

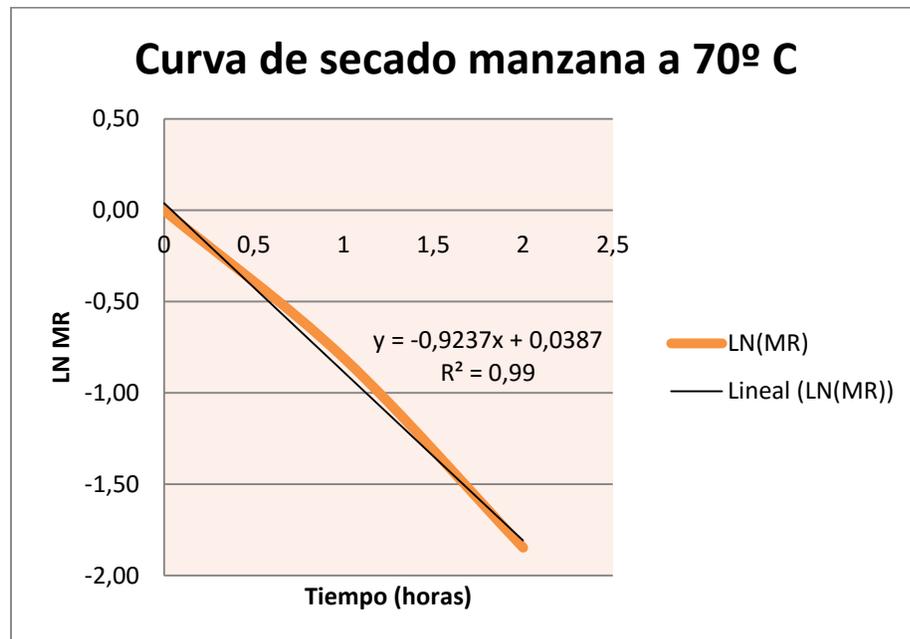


Figura N° 83: Repetición #2. LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 70° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

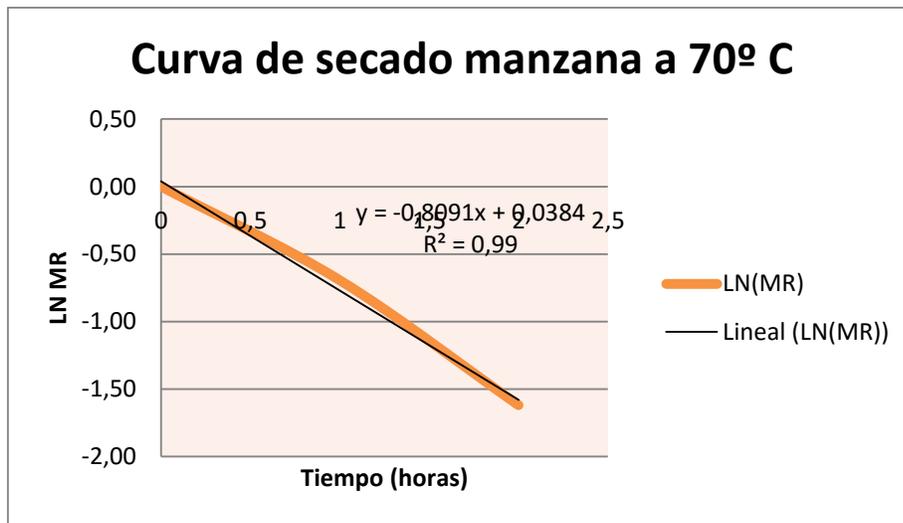


Figura N° 84: Repetición #3. LN MR vs tiempo de manzana Emilia a 70° C
 Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Anexo N° 6

CURVAS DE SECADO DE LA MASA RELATIVA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE LA MANZANA (Por repetición)

a) Manzana Delicia

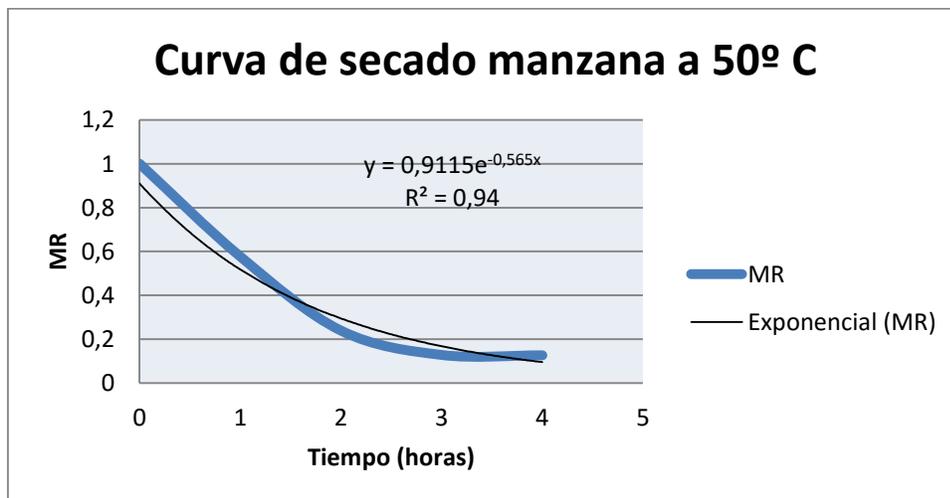


Figura N° 85: Repetición #1. MR vs tiempo de manzana Delicia a 50° C
 Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

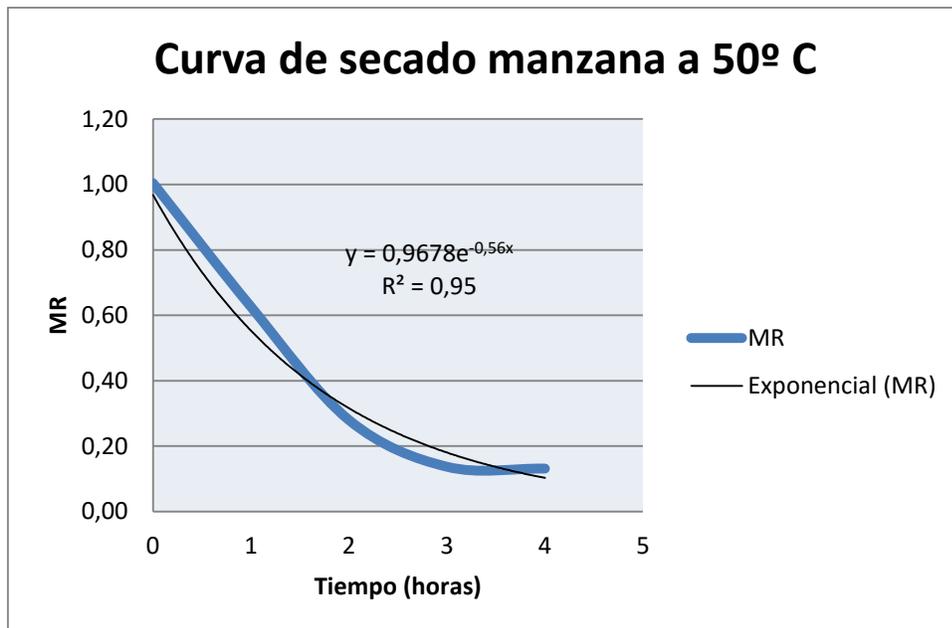


Figura N° 86: Repetición #2. MR vs tiempo de manzana Delicia a 50° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

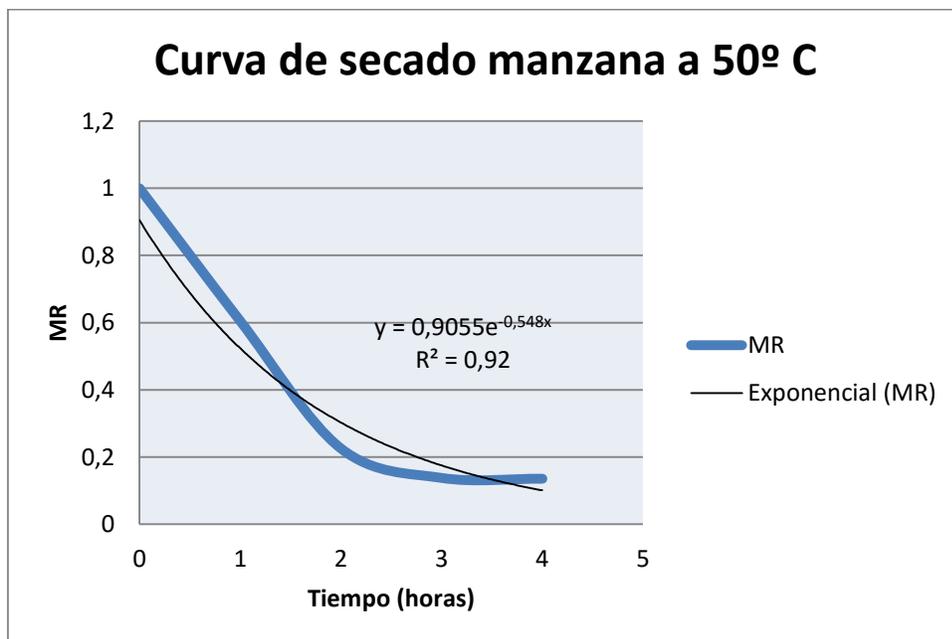


Figura N° 87: Repetición #3. MR vs tiempo de manzana Delicia a 50° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

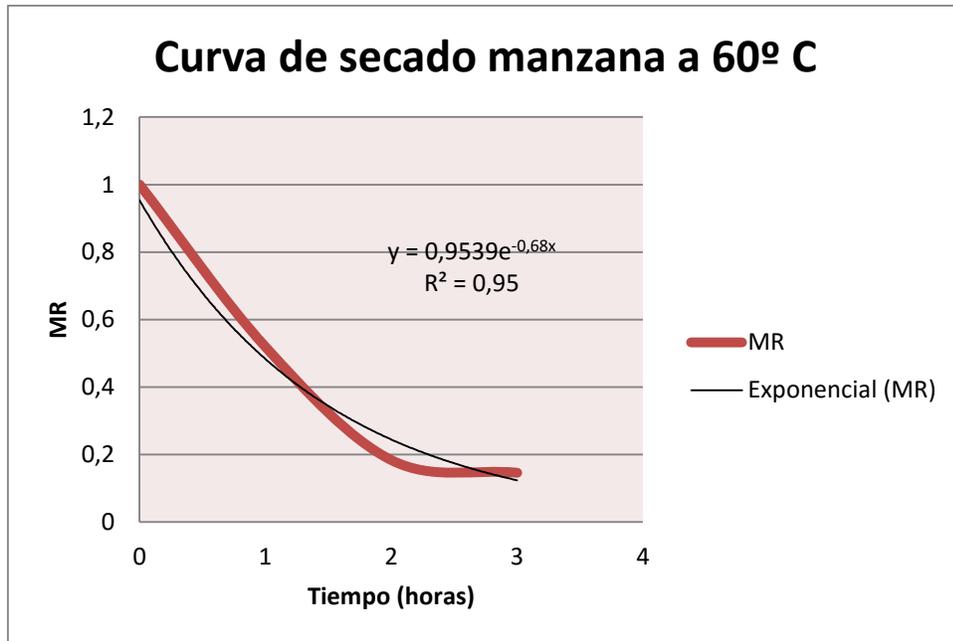


Figura N° 88: Repetición #1. MR vs tiempo de manzana Delicia a 60° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

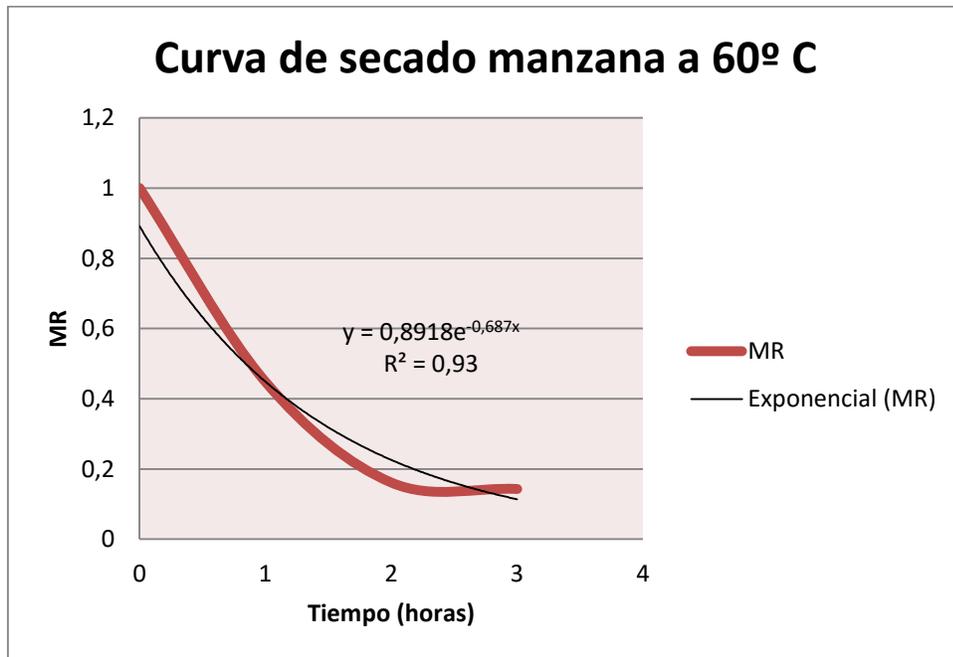


Figura N° 89: Repetición #2. MR vs tiempo de manzana Delicia a 60° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

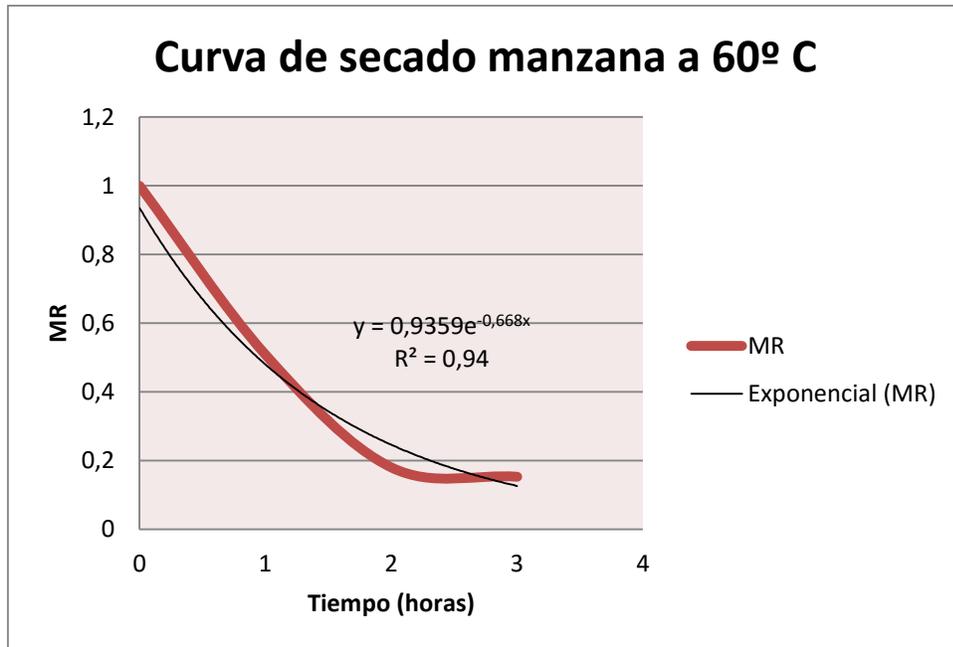


Figura N° 90: Repetición #3. MR vs tiempo de manzana Delicia a 60° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

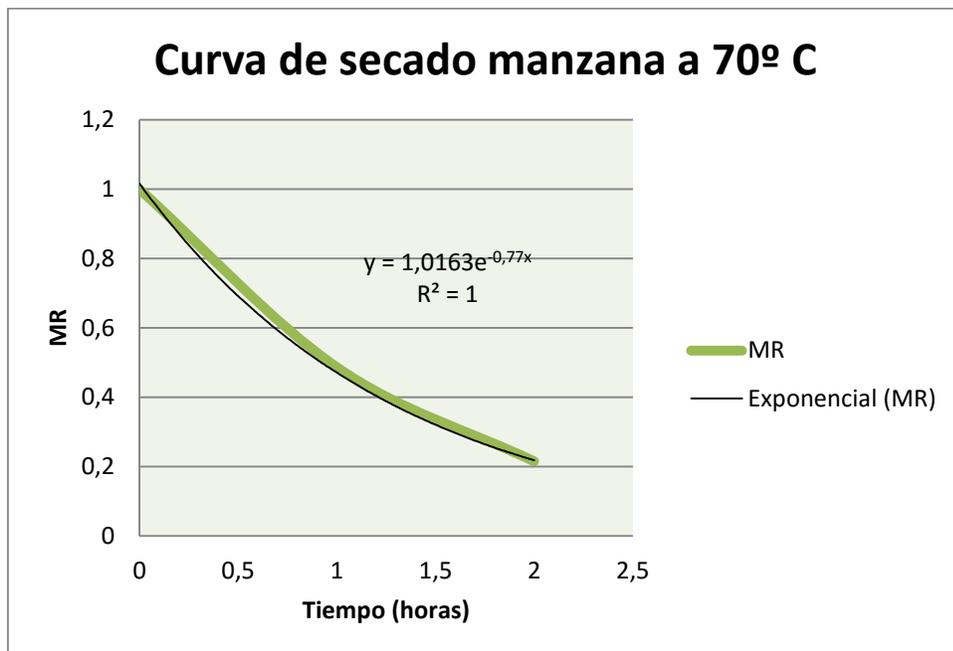


Figura N° 91: Repetición #1. MR vs tiempo de manzana Delicia a 70° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

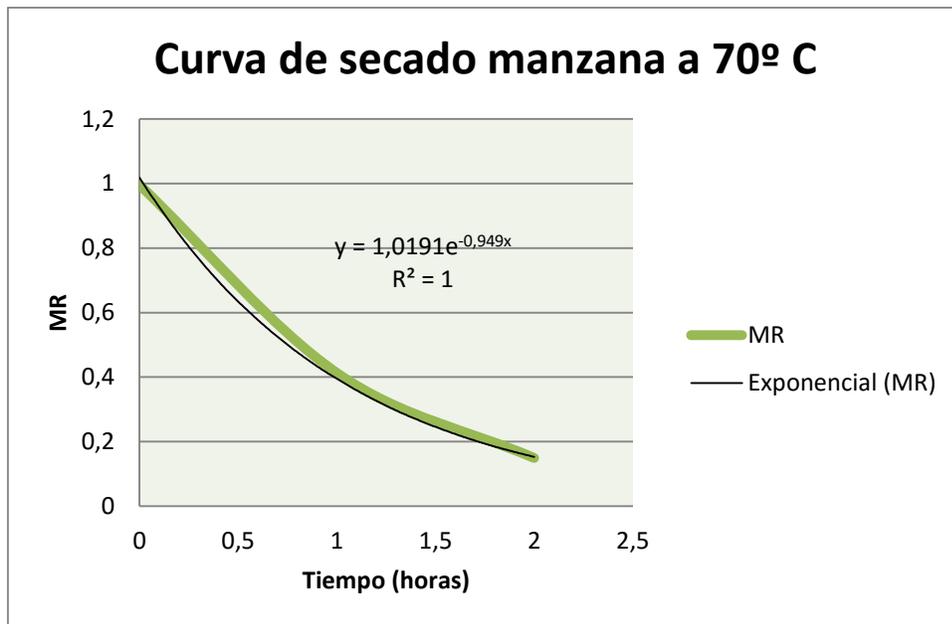


Figura N° 92: Repetición #2. MR vs tiempo de manzana Delicia a 70° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

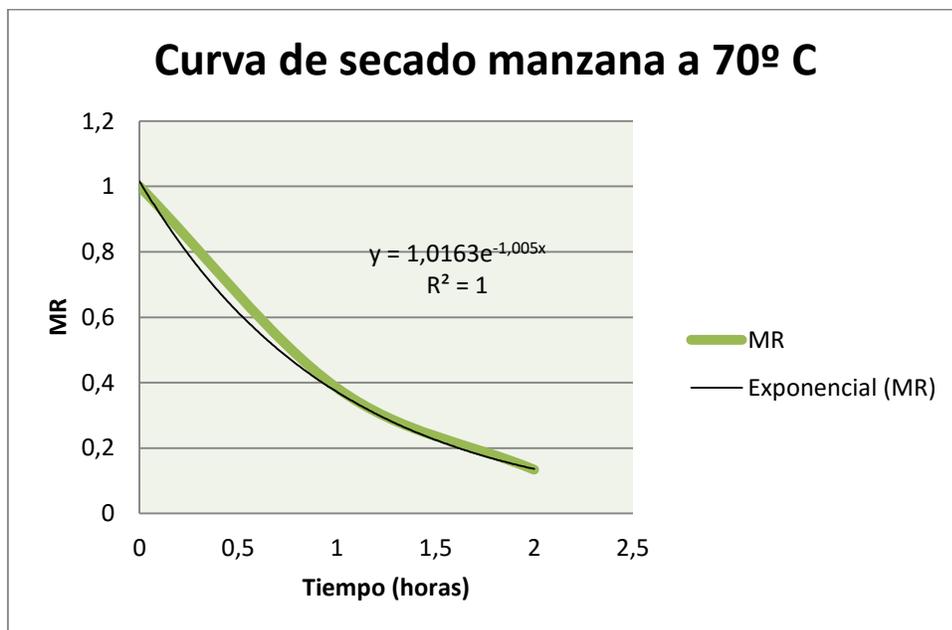


Figura N° 93: Repetición #3. MR vs tiempo de manzana Delicia a 70° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

b) Manzana Emilia

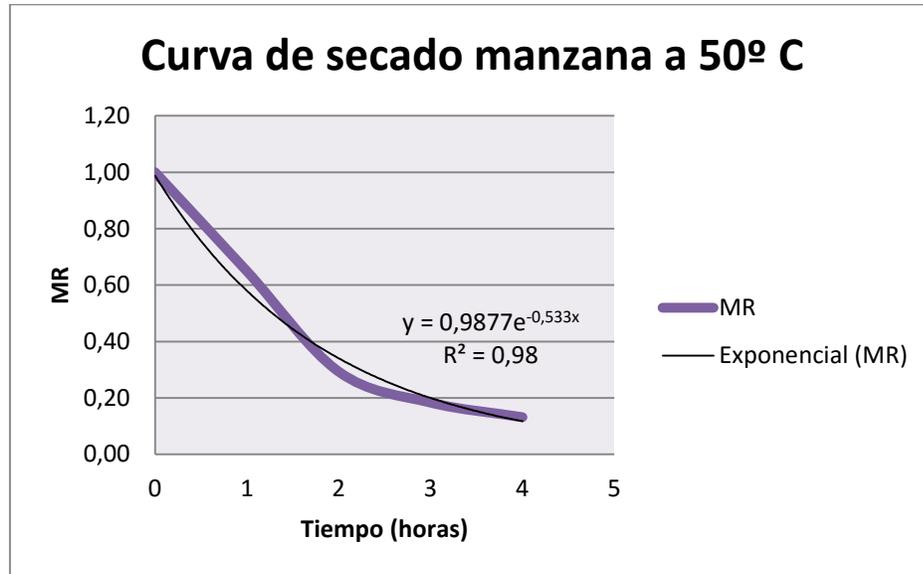


Figura N° 94: Repetición #1. MR vs tiempo de manzana Emilia a 50° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

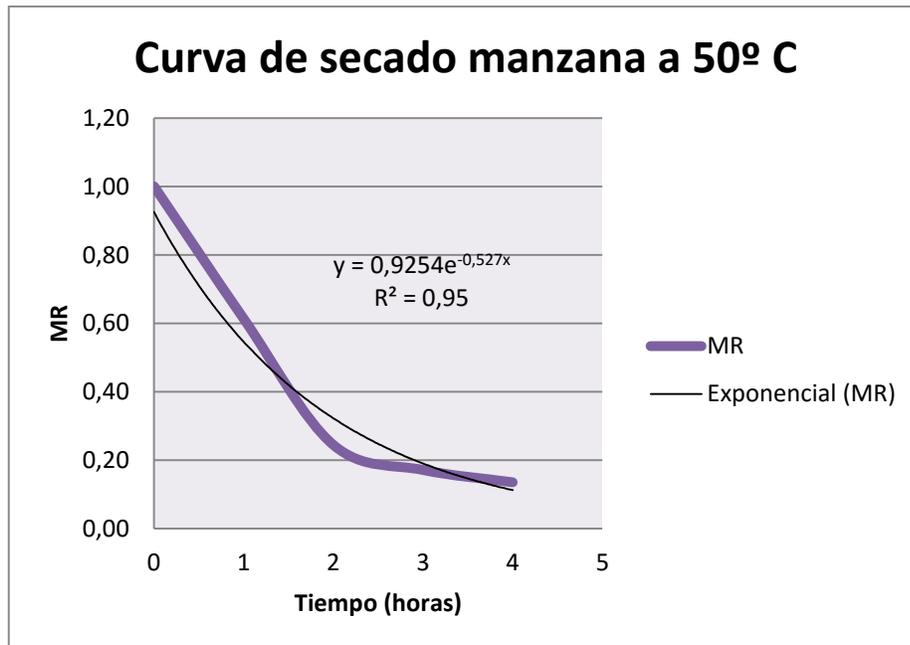


Figura N° 95: Repetición #2. MR vs tiempo de manzana Emilia a 50° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

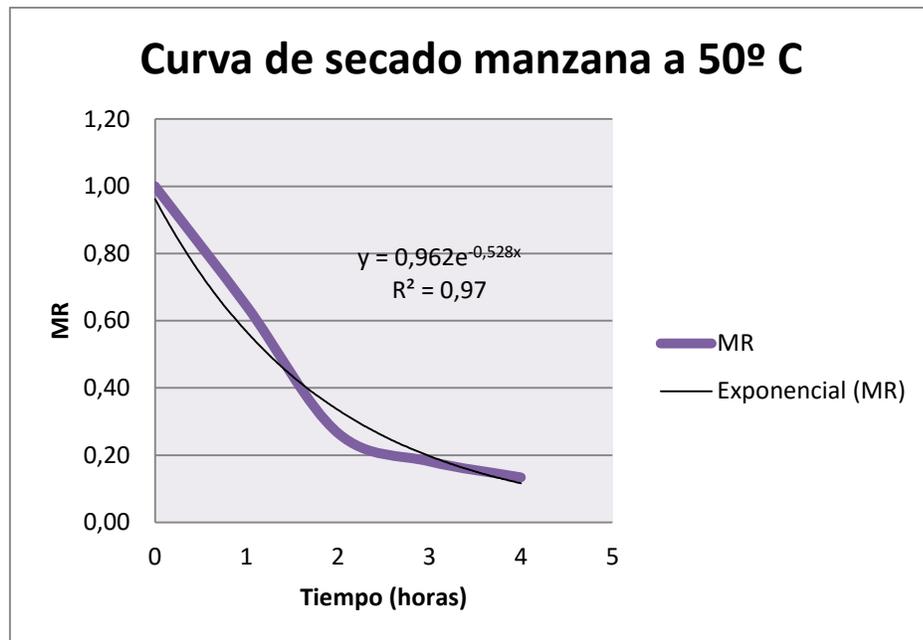


Figura N° 96: Repetición #3. MR vs tiempo de manzana Emilia a 50° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

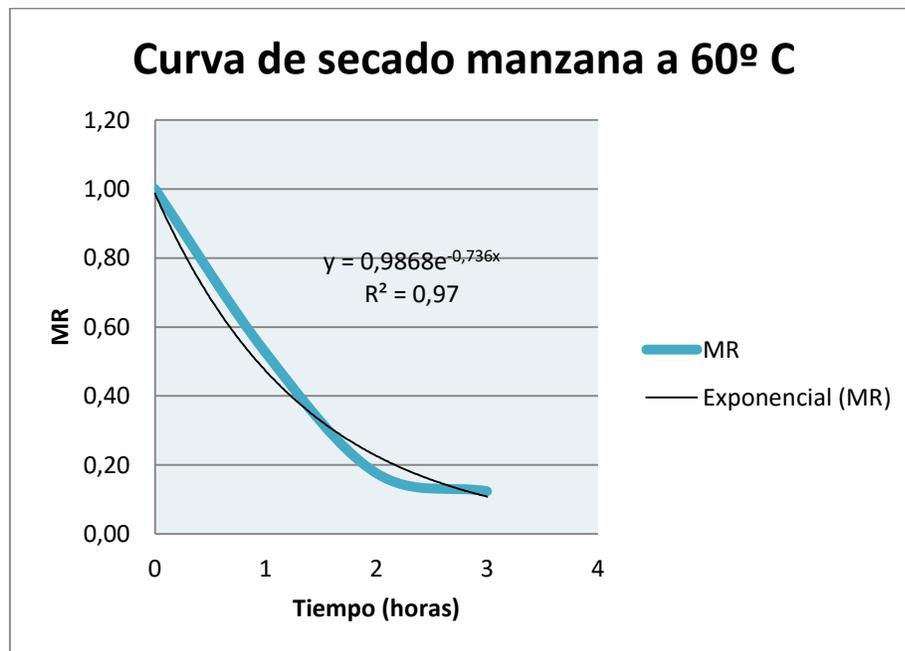


Figura N° 97: Repetición #1. MR vs tiempo de manzana Emilia a 60° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

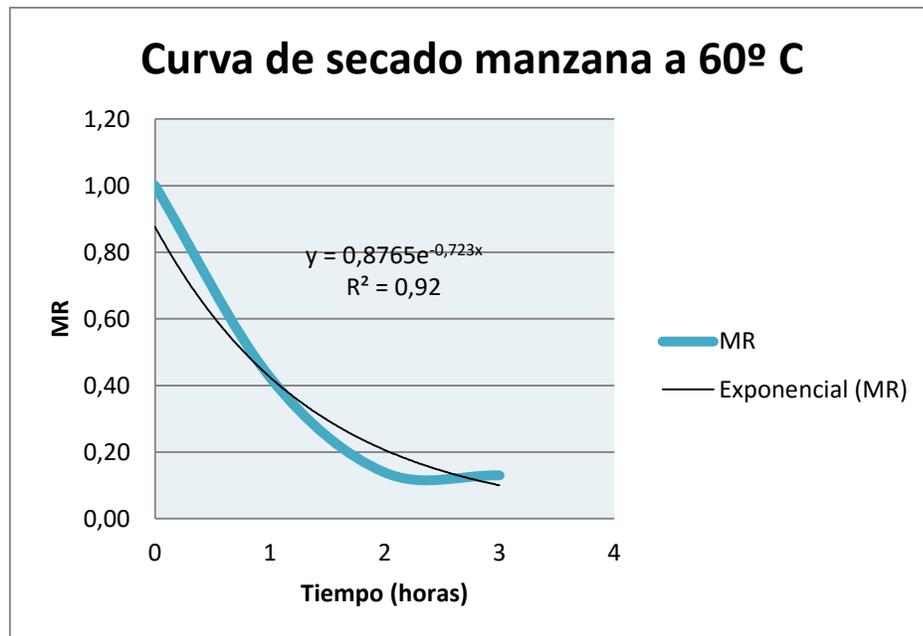


Figura N° 98: Repetición #2. MR vs tiempo de manzana Emilia a 60° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

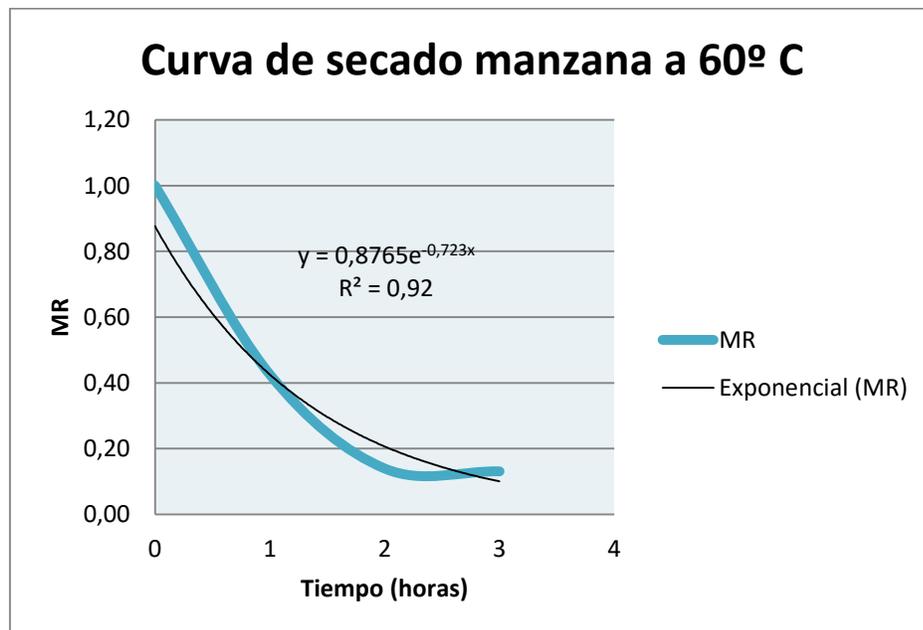


Figura N° 99: Repetición #3. MR vs tiempo de manzana Emilia a 60° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

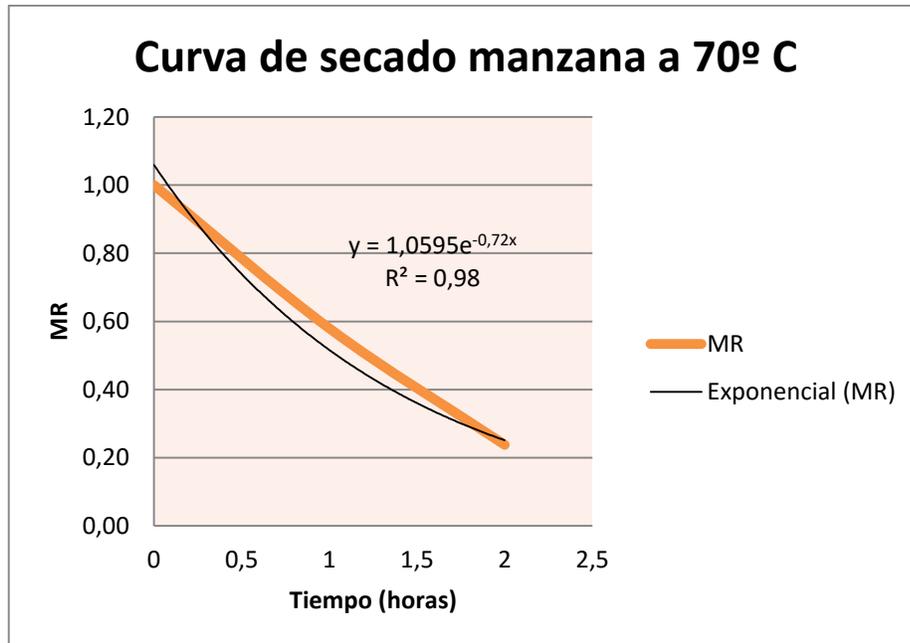


Figura N° 100: Repetición #1. MR vs tiempo de manzana Emilia a 70° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

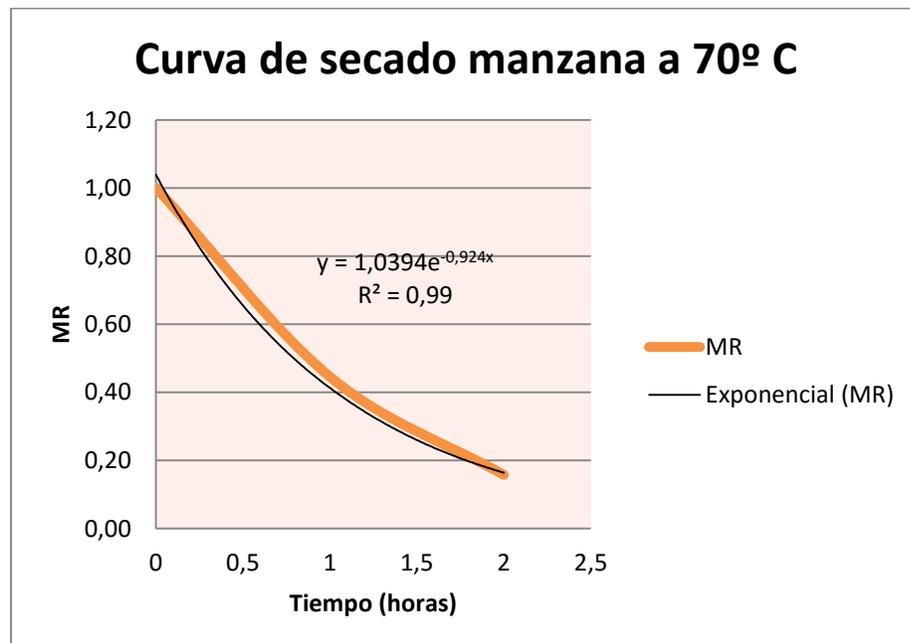


Figura N° 101: Repetición #2. MR vs tiempo de manzana Emilia a 70° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

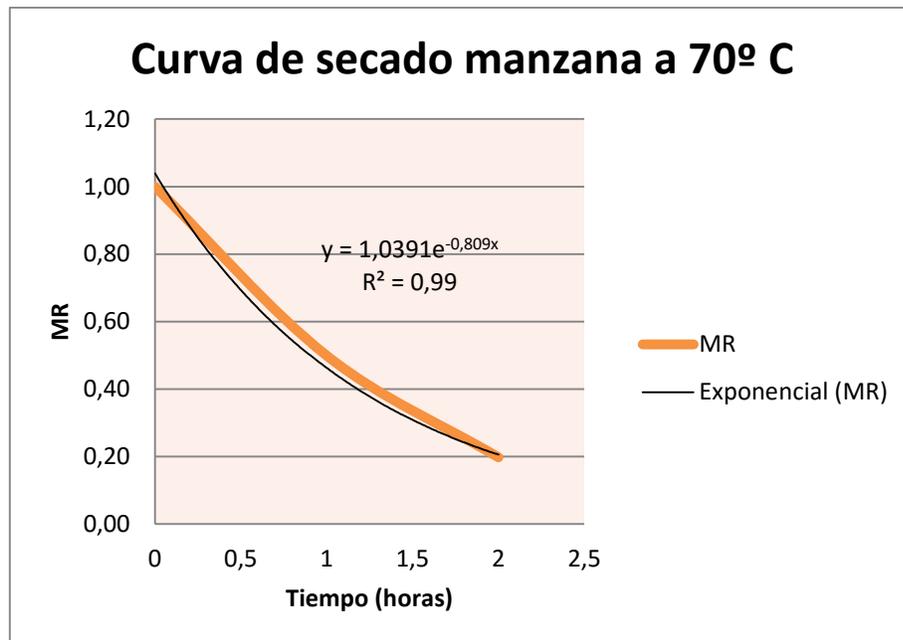


Figura N° 102: Repetición #3. MR vs tiempo de manzana Emilia a 70° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Anexo N° 7

PRUEBAS DEL SECADO DE MANZANILLA

(Por repetición).

MANZANILLA A 40 °C (en gramos) Repetición 1.					
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA	PESO 5HORA
50,60	38,80	27,60	15,80	9,60	8,60
50,20	37,20	26,00	13,60	8,60	8,40
50,40	38,00	26,80	14,70	9,10	8,50

Cuadro N° 115: Repetición 1. Toma de datos de manzanilla a 40° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANILLA A 40° C (en gramos) Repetición 2.					
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA	PESO 5HORA
51,30	37,60	25,60	13,60	8,60	8,90
50,20	37,20	25,00	12,80	8,40	8,40
50,75	37,40	25,30	13,20	8,50	8,65

Cuadro N° 116: Repetición 2. Toma de datos de manzanilla a 40° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANILLA A 40° C (en gramos) Repetición 3.					
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA	PESO 4HORA	PESO 5HORA
49,80	38,00	26,00	18,60	10,00	7,80
51,40	37,80	27,20	17,40	11,00	8,80
50,60	37,90	26,60	18,00	10,50	8,30

Cuadro N° 117: Repetición 3. Toma de datos de manzanilla a 40° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANILLA A 50° C (en gramos) Repetición 1.			
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA
50,60	24,20	8,20	7,40
49,80	22,80	7,60	5,80
50,20	23,50	7,90	6,60

Cuadro N° 118: Repetición 1. Toma de datos de manzanilla a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANILLA A 50° C (en gramos) Repetición 2.			
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA
50,00	21,40	7,60	7,00
50,80	20,60	8,20	8,20
50,40	21,00	7,90	7,60

Cuadro N° 119: Repetición 2. Toma de datos de manzanilla a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANILLA A 50° C (en gramos) Repetición 3.			
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA	PESO 3HORA
5,20	14,60	9,00	9,00
51,80	14,00	10,00	10,00
28,50	14,30	9,50	9,50

Cuadro N° 120: Repetición 3. Toma de datos de manzanilla a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANILLA A 60° C (en gramos) Repetición 1.		
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA
50,20	12,60	8,60
50,00	11,60	8,50
50,10	12,10	8,55

Cuadro N° 121: Repetición 1. Toma de datos de manzanilla a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANILLA A 60° C (en gramos) Repetición 2.		
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA
50,80	14,20	9,20
50,20	11,40	8,60
50,50	12,80	8,90

Cuadro N° 122: Repetición 2. Toma de datos de manzanilla a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANILLA A 60° C (en gramos) Repetición 3.		
PESO INICIAL	PESO 1HORA	PESO 2HORA
51,0	15,8	9,8
50,4	14,2	8,6
50,7	15,0	9,2

Cuadro N° 123: Repetición 3. Toma de datos de manzanilla a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Anexo N° 8

PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LA MANZANILLA (Por repetición)

MANZANILLA 40° C (en gramos) Repetición # 1						
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)	Peso 5 hora (g)
	50,40	38,00	26,80	14,70	9,10	8,50
Pérdida de humedad		24,60	46,83	70,83	81,94	83,13
% Masa seca		75,40	53,17	29,17	18,06	16,87

Cuadro N° 124: Repetición 1. Humedad de la manzanilla a 40° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANILLA 40° C (en gramos) Repetición # 2						
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)	Peso 5 hora (g)
	50,75	37,40	25,30	13,20	8,50	8,65
Pérdida de humedad		26,31	50,15	73,99	83,25	82,96
% Masa seca		73,69	49,85	26,01	16,75	17,04

Cuadro N° 125: Repetición 2. Humedad de la manzanilla a 40° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANILLA 40° C (en gramos) Repetición # 3						
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)	Peso 4 hora (g)	Peso 5 hora (g)
	50,60	37,90	26,60	18,00	10,50	8,30
Pérdida de humedad		25,10	47,43	64,43	79,25	83,60
% Masa seca		74,90	52,57	35,57	20,75	16,40

Cuadro N° 126: Repetición 3. Humedad de la manzanilla a 40° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANILLA 50° C (en gramos) Repetición # 1				
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)
	50,20	23,50	7,90	6,60
Pérdida de humedad		53,19	84,26	86,85
% Masa seca		46,81	15,74	13,15

Cuadro N° 127: Repetición 1. Humedad de la manzanilla a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANILLA 50° C (en gramos) Repetición # 2				
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)
		50,40	21,00	7,90
Pérdida de humedad		58,33	84,33	84,92
% Masa seca		41,67	15,67	15,08

Cuadro N° 128: Repetición 2. Humedad de la manzanilla a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANILLA 50° C (en gramos) Repetición # 3				
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)	Peso 3 hora (g)
		50,60	37,90	26,60
Pérdida de humedad		25,10	47,43	64,43
% Masa seca		74,90	52,57	35,57

Cuadro N° 129: Repetición 3. Humedad de la manzanilla a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANILLA 60° C (en gramos) Repetición # 1			
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)
		50,10	12,10
Pérdida de humedad		75,85	82,93
% Masa seca		24,15	17,07

Cuadro N° 130: Repetición 1. Humedad de la manzanilla a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANILLA 60° C (en gramos) Repetición # 2			
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)
		50,50	12,80
Pérdida de humedad		74,65	82,38
% Masa seca		25,35	17,62

Cuadro N° 131: Repetición 2. Humedad de la manzanilla a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

MANZANILLA 60° C (en gramos) Repetición # 3			
Humedad	Peso inicial (g)	Peso 1 hora (g)	Peso 2 hora (g)
		50,70	15,00
Pérdida de humedad		70,41	81,85
% Masa seca		29,59	18,15

Cuadro N° 132: Repetición 3. Humedad de la manzanilla a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Anexo N° 9

**LINEALIZACIÓN DEL RATIO DE SECADO DE MANZANILLA
(Por repetición)**

Repetición # 1. Linealización del ratio de secado de manzanilla 40° C						
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4	5
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	50,40	38,00	26,80	14,70	9,10	8,50
MASA RELATIVA	1,00	0,75	0,53	0,29	0,18	0,17
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,28	-0,63	-1,23	-1,71	-1,78

Cuadro N° 133: Repetición # 1. Linealización del ratio de secado de la manzanilla a 40° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Repetición # 2. Linealización del ratio de secado de manzanilla 40° C						
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4	5
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	50,75	37,40	25,30	13,20	8,50	8,65
MASA RELATIVA	1,00	0,74	0,50	0,26	0,17	0,17
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,31	-0,70	-1,35	-1,79	-1,77

Cuadro N° 134: Repetición # 2. Linealización del ratio de secado de la manzanilla a 40° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Repetición # 3. Linealización del ratio de secado de manzanilla 40° C						
TIEMPO (horas)	0	1	2	3	4	5
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	50,60	37,90	26,60	18,00	10,50	8,30
MASA RELATIVA	1,00	0,75	0,53	0,36	0,21	0,16
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,29	-0,64	-1,03	-1,57	-1,81

Cuadro N° 135: Repetición # 3. Linealización del ratio de secado de la manzanilla a 40° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Repetición # 1. Linealización del ratio de secado de manzanilla 50° C				
TIEMPO (horas)	0	1	2	3
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	50,20	23,50	7,90	6,60
MASA RELATIVA	1,00	0,47	0,16	0,13
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,76	-1,85	-2,03

Cuadro N° 136: Repetición # 1. Linealización del ratio de secado de la manzanilla a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Repetición # 2. Linealización del ratio de secado de manzanilla 50° C				
TIEMPO (horas)	0	1	2	3
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	50,40	21,00	7,90	7,60
MASA RELATIVA	1,00	0,42	0,16	0,15
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,88	-1,85	-1,89

Cuadro N° 137: Repetición # 2. Linealización del ratio de secado de la manzanilla a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda Rojas 2014

Repetición # 3. Linealización del ratio de secado de manzanilla 50° C				
TIEMPO (horas)	0	1	2	3
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	50,60	37,90	26,60	18,00
MASA RELATIVA	1,00	0,75	0,53	0,36
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-0,29	-0,64	-1,03

Cuadro N° 138: Repetición # 3. Linealización del ratio de secado de la manzanilla a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Repetición # 1. Linealización del ratio de secado de manzanilla 60° C			
TIEMPO (horas)	0	1	2
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	50,10	12,10	8,55
MASA RELATIVA	1,00	0,24	0,17
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-1,42	-1,77

Cuadro N° 139: Repetición # 1. Linealización del ratio de secado de la manzanilla a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Repetición # 2. Linealización del ratio de secado de manzanilla 60° C			
TIEMPO (horas)	0	1	2
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	50,50	12,80	8,90
MASA RELATIVA	1,00	0,25	0,18
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-1,37	-1,74

Cuadro N° 140: Repetición # 2. Linealización del ratio de secado de la manzanilla a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Repetición # 3. Linealización del ratio de secado de manzanilla 60° C			
TIEMPO (horas)	0	1	2
PROMEDIO TOTAL (pesos en gramos)	50,70	15,00	9,20
MASA RELATIVA	1,00	0,30	0,18
LOGARITMO NATURAL DE LA MASA RELATIVA	0,00	-1,22	-1,71

Cuadro N° 141: Repetición # 3. Linealización del ratio de secado de la manzanilla a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Anexo N° 10

CURVA DE SECADO DE LOGARITMO NATURAL (MASA RELATIVA) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE LA MANZANILLA (Por repetición)

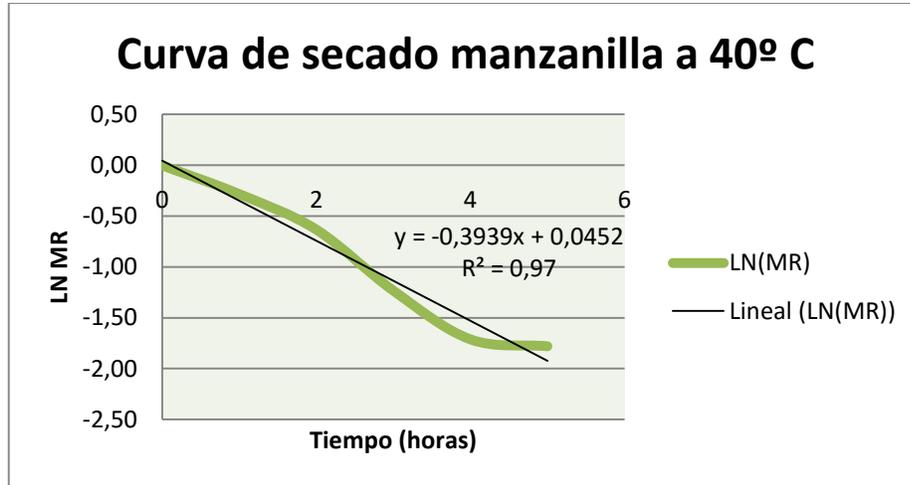


Figura N° 103: Repetición #1. LN MR en función del tiempo a 40° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

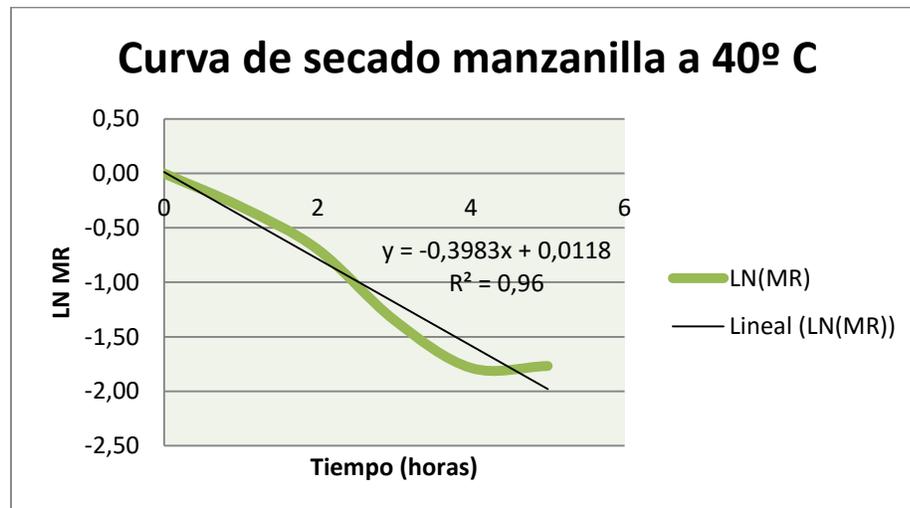


Figura N° 104: Repetición #2. LN MR en función del tiempo a 40° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

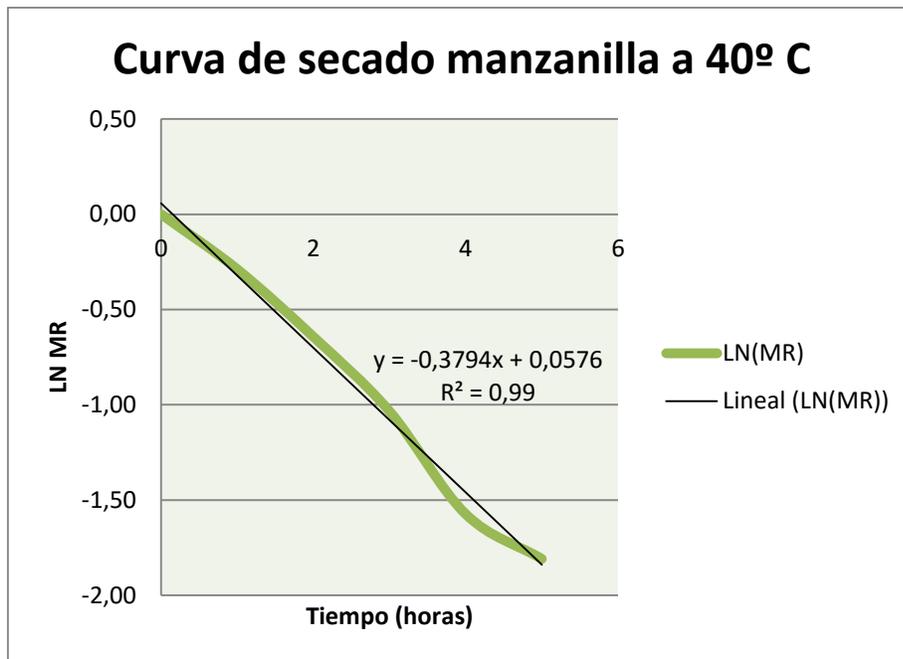


Figura N° 105: Repetición #3. LN MR en función del tiempo a 40° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

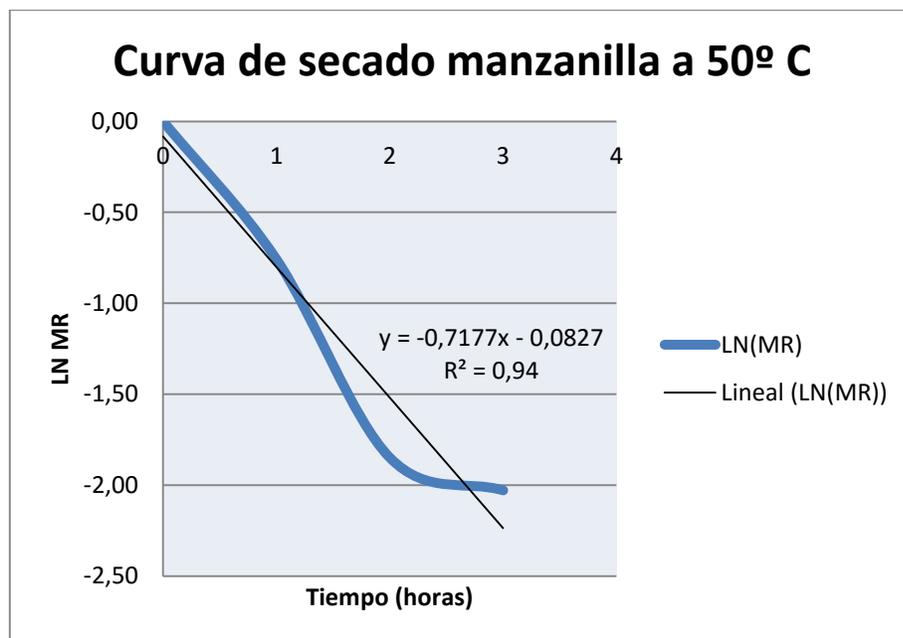


Figura N° 106: Repetición #1. LN MR en función del tiempo a 50° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

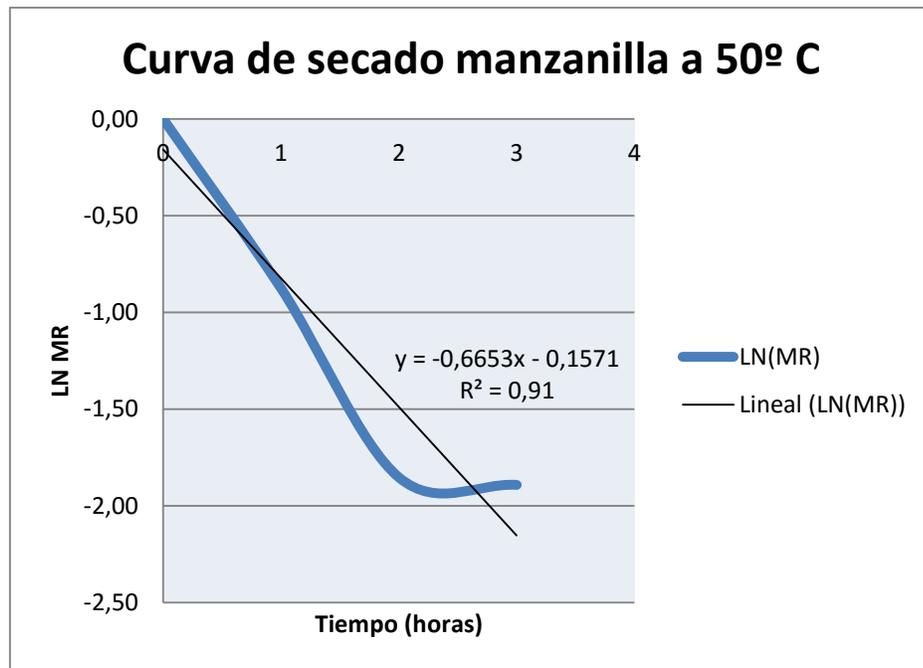


Figura N° 107: Repetición #2. LN MR en función del tiempo a 50° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

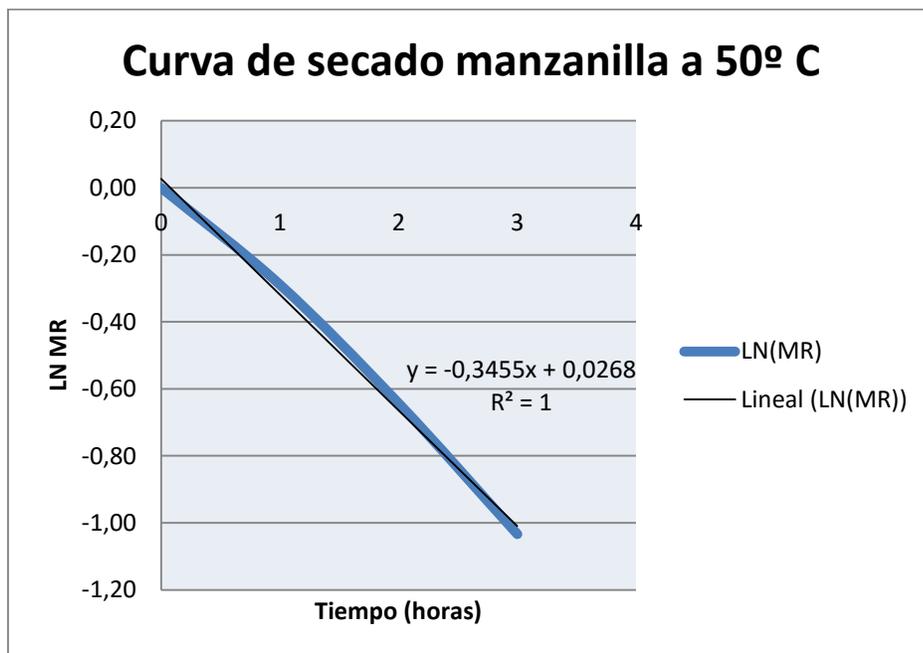


Figura N° 108: Repetición #3. LN MR en función del tiempo a 50° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

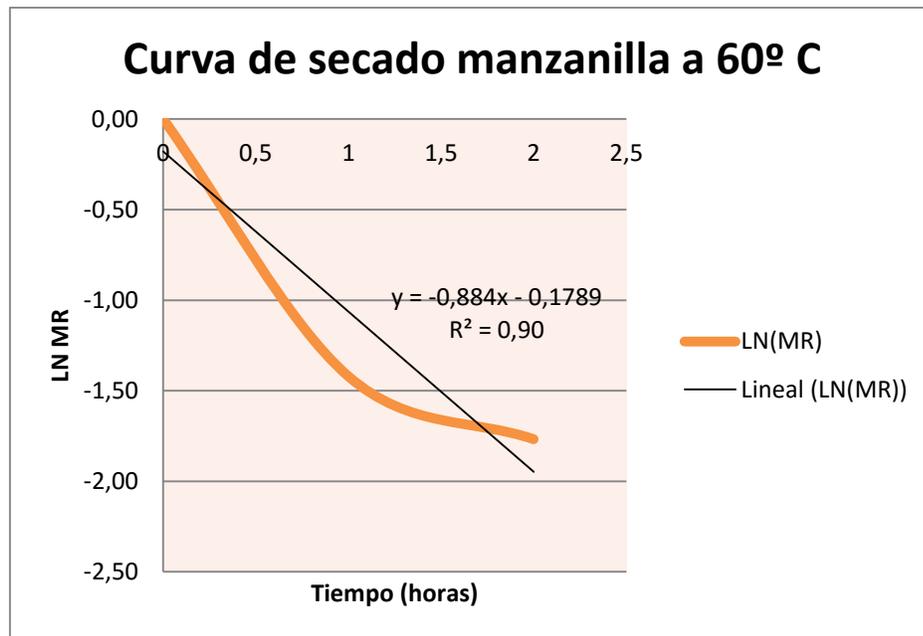


Figura N° 109: Repetición #1. LN MR en función del tiempo a 60° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

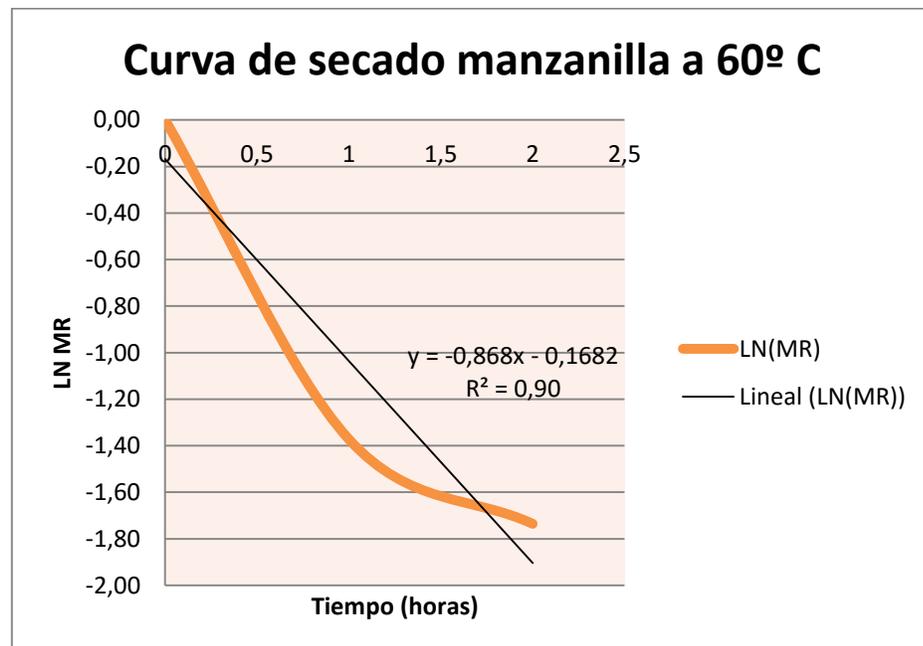


Figura N° 110: Repetición #2. LN MR en función del tiempo a 60° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

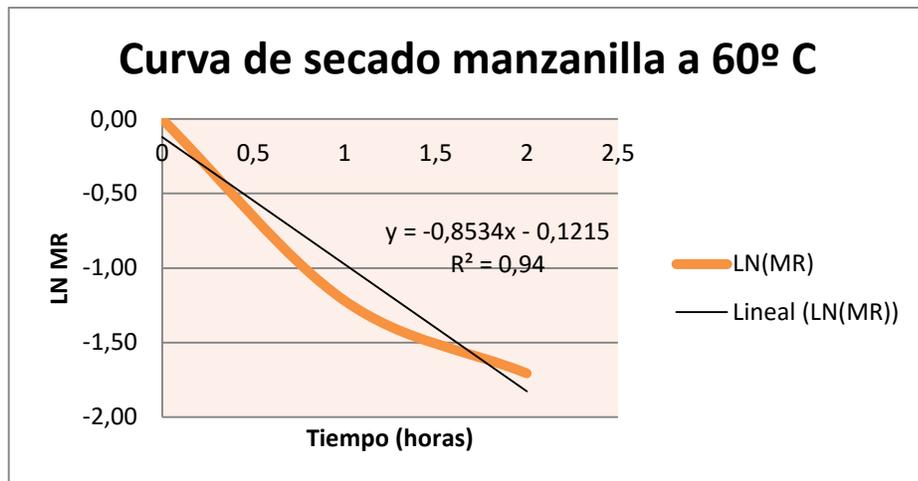


Figura N° 111: Repetición #3. LN MR en función del tiempo a 60° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

Anexo N° 11

CURVAS DE SECADO DE LA MASA RELATIVA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE LA MANZANA (Por repetición)

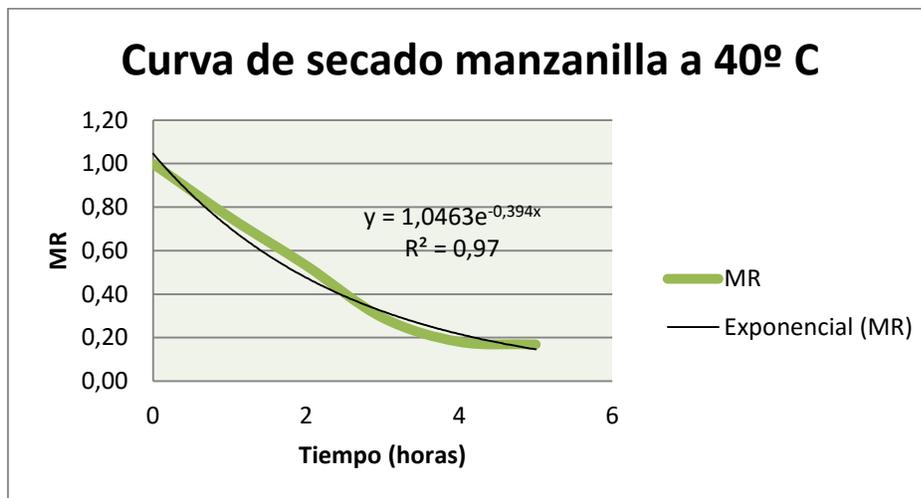


Figura N° 112: Repetición #1. MR en función del tiempo a 40° C
Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

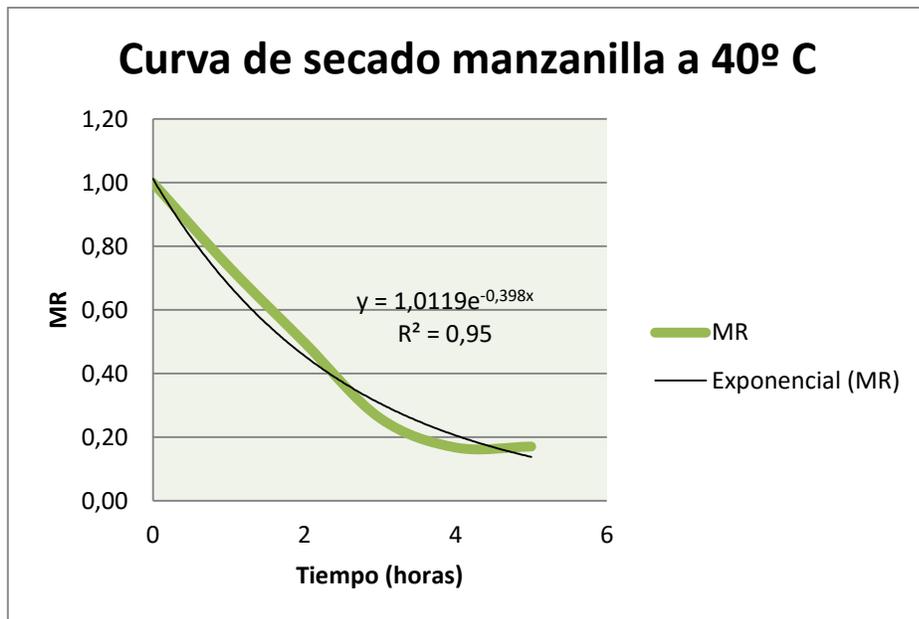


Figura N° 113: Repetición #2. MR en función del tiempo a 40° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

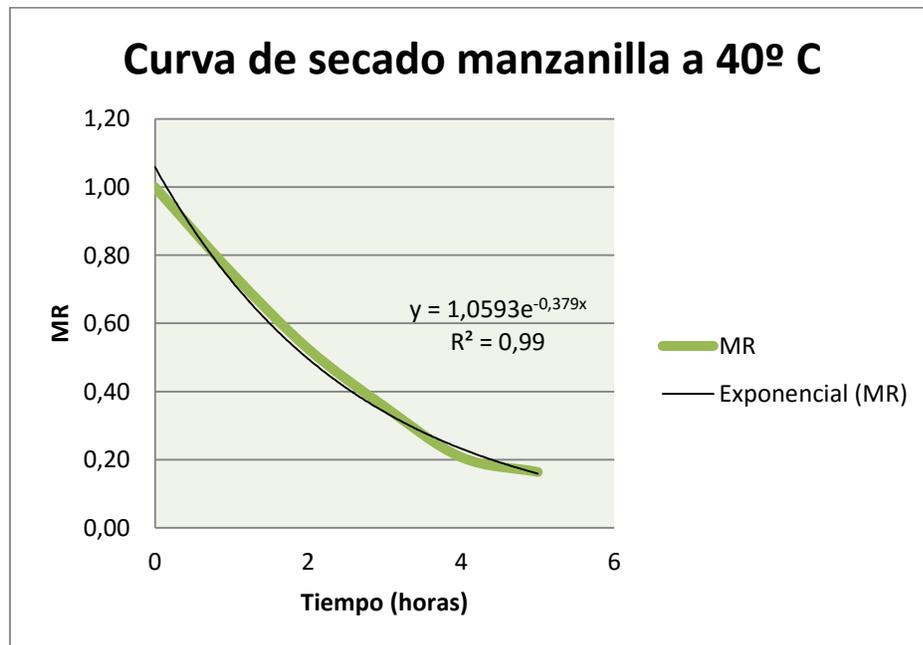


Figura N° 114: Repetición #3. MR en función del tiempo a 40° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

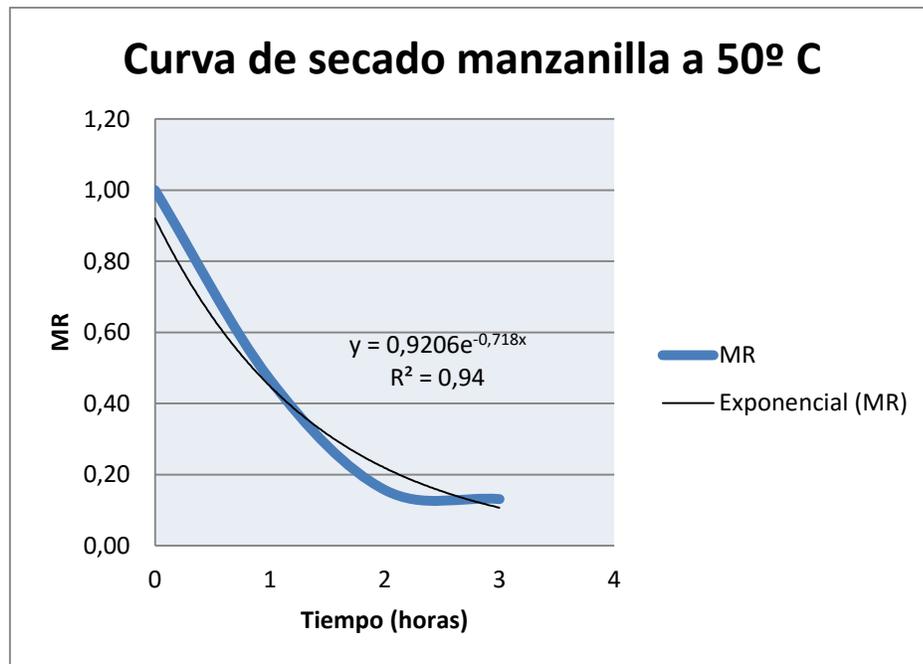


Figura N° 115: Repetición #1. MR en función del tiempo a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

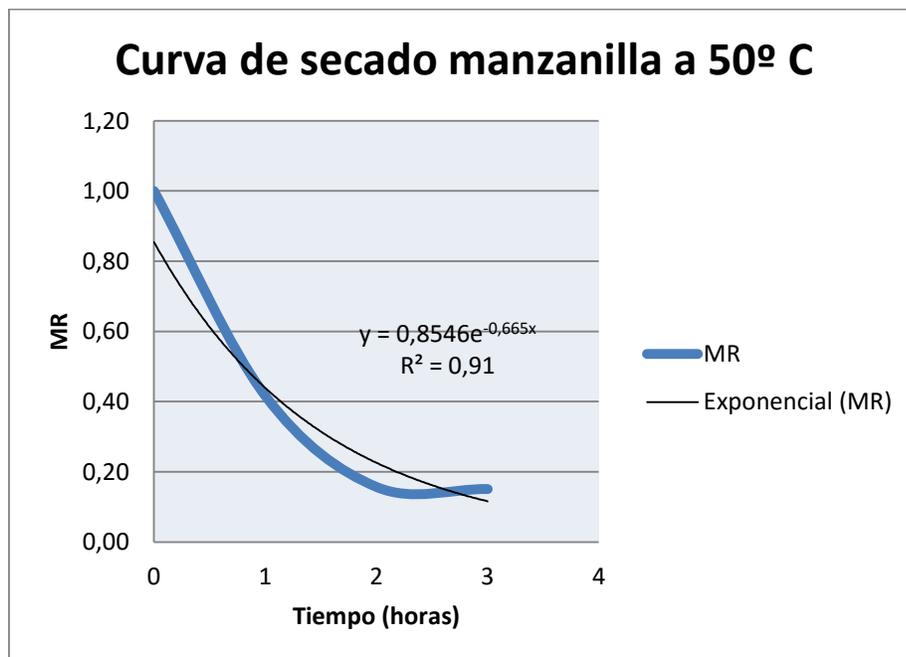


Figura N° 116: Repetición #2. MR en función del tiempo a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

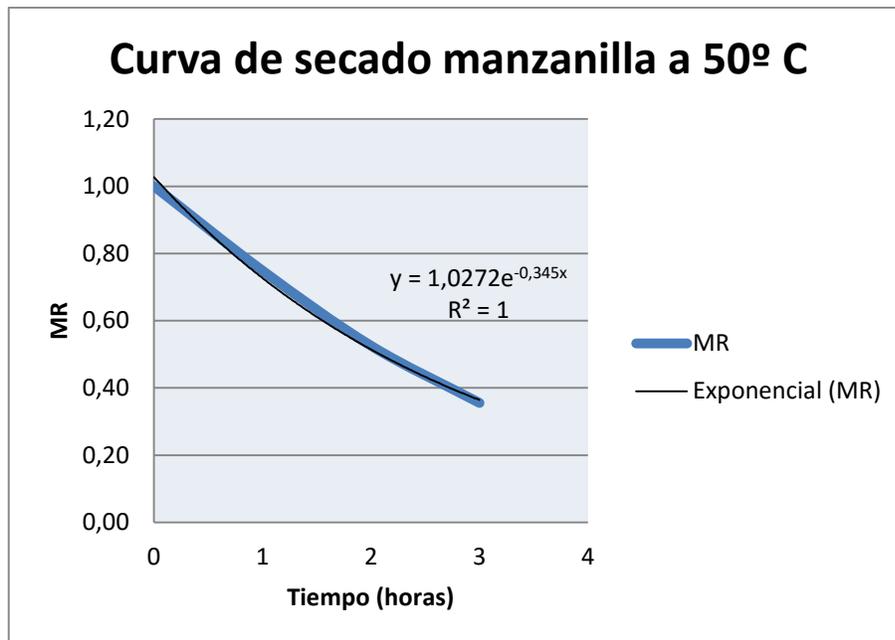


Figura N° 117: Repetición #3. MR en función del tiempo a 50° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

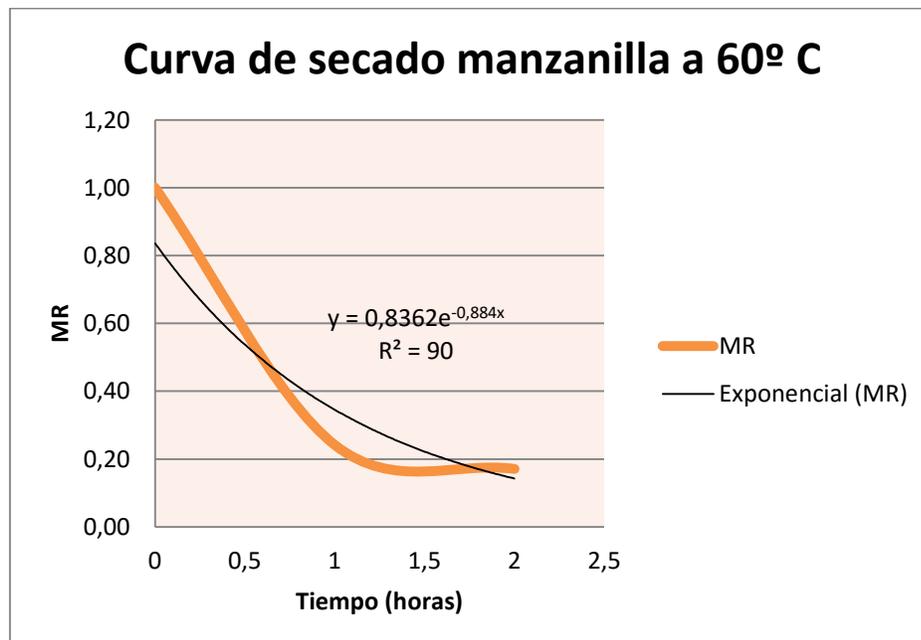


Figura N° 118: Repetición #1. MR en función del tiempo a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

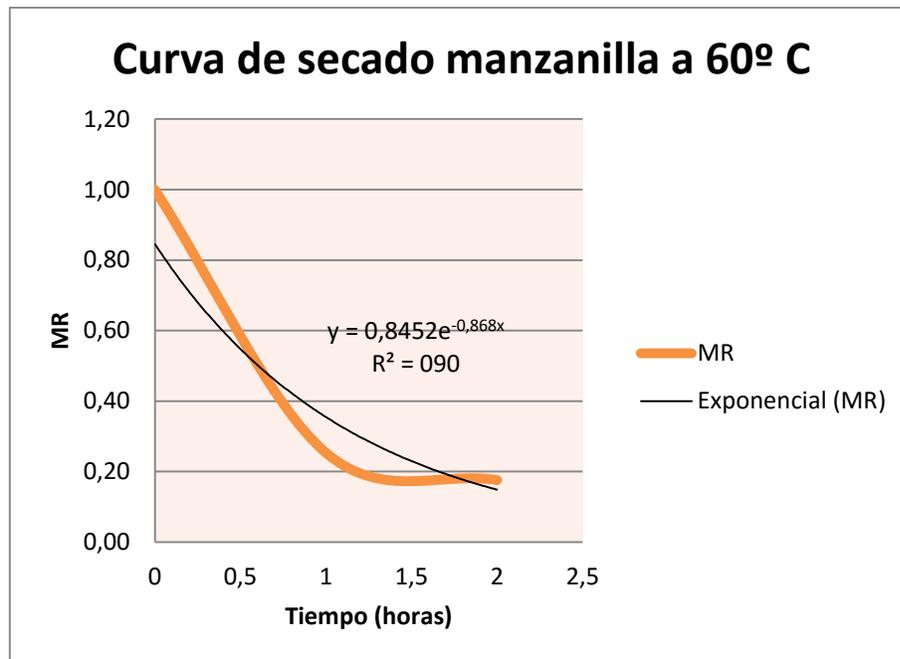


Figura N° 119: Repetición #2. MR en función del tiempo a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014

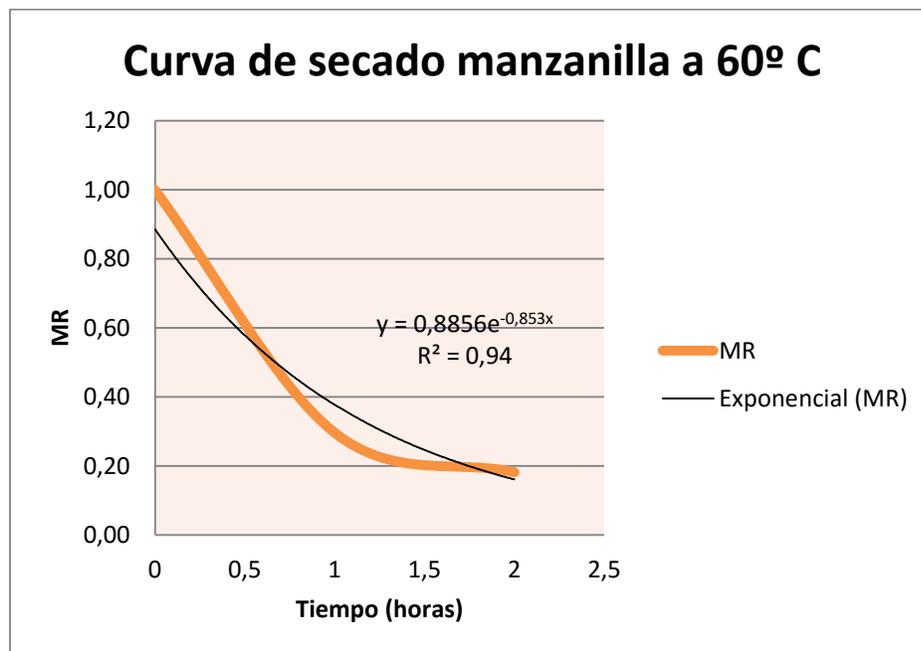


Figura N° 120: Repetición #3. MR en función del tiempo a 60° C

Elaborado por: Rojas María Fernanda 2014