

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA QUÍMICA



**“OPTIMIZACIÓN DE SECADO DEL YAWUARCHUNKA
(*Pleysalis Peruviana Linnaeus*), EMPLEANDO LA TÉCNICA
DE UN PROCESO COMBINADO AIRE CALIENTE-
MICROONDAS “**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN
INGENIERÍA QUÍMICA

LEONARDO RUFINO CARLOS PEREYRA

JORGE AMADOR LOPEZ HERRERA

Callao, Diciembre, 2017

Perú

Two handwritten signatures are present on the right side of the page. The top signature is a simple, stylized 'R' shape. The bottom signature is a more complex, scribbled signature.

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue Sustentada por los señores Bachilleres **CARLOS PEREYRA LEONARDO RUFINO** y **HERRERA LOPEZ JORGE AMADOR** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes Profesores Ordinarios :

Mg	DÍAZ BRAVO PABLO BELISARIO	PRESIDENTE
Mg	GUTIERREZ CUBA CÉSAR	SECRETARIO
Mg	MEDINA COLLANA JUAN TAUMATURGO	MIEMBRO
MSc	TOLEDO PALOMINO MARÍA ESTELA	MIEMBRO
Dr	CARRASCO VENEGAS LUÍS AMÉRICO	ASESOR

Tal como está asentado en el Libro N° 1 de Tesis, Folio N° 4 y Acta N° 2 de fecha **27 DE DICIEMBRE DE 2017**, para optar el Grado Académico de Maestro en Ingeniería Química, de conformidad establecido por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N° 309-2017-CU de fecha 24 de octubre de 2017

DEDICATORIA

A la memoria de todos a aquellos hombres cultores de la ciencia, cristianos o agnósticos que brindaron su genialidad a quienes pretendan penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.

Y también a todos los que estudian, enseñan o admiran a la prodigiosa ciencia de los tamaños, de las formas, de los números, de las medidas, de las funciones, de los movimientos y de las transferencias de masa y energía.

Los autores

ÍNDICE

TABLAS DE CONTENIDO	1
RESUMEN	16
ABSTRACT	17
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.1. Determinación del problema.....	18
1.2. Formulación del problema.....	19
1.2.1. Problema general.....	19
1.2.2. Problemas específicos.....	19
1.3. Objetivos de la investigación.....	20
1.3.1. Objetivo general.....	20
1.3.2. Objetivos específicos.....	20
1.4. Justificación.....	21
1.4.1. Por su aspecto legal.....	21
1.4.2. Por su aspecto económico.....	21
1.4.3. Por su aspecto social.....	24
1.4.4. Por su aspecto tecnológico.....	25
II. MARCO TEÓRICO	26
2.1. Antecedentes de la investigación	26
2.2. Bases teórico científicas.....	42
2.2.1. El yawarchunka.....	42
2.2.2. Composición nutricional.....	44

2.2.3. Composición fisicoquímica.....	46
2.2.4. Propiedades medicinales.....	47
2.2.5. Secado de alimentos.....	52
2.2.6. Secado.....	53
2.2.7. Principio del secado.....	55
2.2.8 Actividad de agua.....	63
2.2.9. Variables físicas que influyen en el potencial de secado.....	74
2.2.10. Transferencia de calor.....	77
2.2.11. Microondas.....	78
2.2.12. Secado por microondas.....	79
2.2.13. Secado combinado	83
2.2.14 Simulación matemática del proceso de deshidratación.....	85
2.2.15 Modelos matemáticos.....	86
2.3. Términos claves.....	87
2.4 Nomenclatura de la terminología utilizada.....	88
III. VARIABLES E HIPÓTESIS.....	90
3.1. Definición de las variables.....	90
3.2. Hipótesis.....	90
3.2.1. Hipótesis general.....	90
3.2.2. Hipótesis específicas.....	91
3.3. Operacionalización de variables.....	91
3.3.1. Definición de las variables de la investigación.....	91

3.3.2. Operacionalización de variables.....	92
IV. METODOLOGÍA.....	93
4.1. Tipo de investigación.....	93
4.1.1. Tipo de investigación.....	93
4.1.2. Nivel de investigación.....	93
4.1.3. Metodología de la investigación.....	93
4.2. Diseño de la investigación.....	93
4.3. Población y muestra.....	94
4.3.1. Población.....	94
4.3.2. Muestra.....	94
4.3.3. Determinación del tamaño de muestra.....	94
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	95
4.4.1. Materiales y equipos.....	95
4.4.2. Primera etapa.....	101
4.4.3. Segunda etapa.....	104
4.5. Plan de análisis estadístico.....	110
4.5.1 Estadística de regresión.....	110
4.5.2. Análisis ANOVA.....	110
V. RESULTADOS.....	111
5.1. Resultados parciales.....	111
5.1.1. Pruebas de secado.....	111
5.1.2. Análisis de ácido ascórbico.....	171
5.2. Resultados finales.....	182

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	190
VII. CONCLUSIONES.....	195
VIII. RECOMENDACIONES.....	196
IX. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	197
ANEXOS.....	204

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. El yawarchunka.....	43
2.2. Valle sagrado de los Incas.....	43
2.3. Variación del TPC y AAC de dos especies comerciales de aguaymanto.....	49
2.4. Secado de alimentos.....	52
2.5. Mecanismo de la transferencia de calor.....	55
2.6. Diagrama de la humedad de equilibrio.....	60
2.7. Isoterma de equilibrio de almidón de yuca.....	66
2.8. Esquema de deshidratación en capa delgada.....	70
2.9. Curva de secado a 50°C de pulpa de cupuaçu (Theobromagrandiflorum) en Rodajas.....	71
2.10. Etapa de velocidad de secado constante. Pulpa de cupuaçu (Theobromagrandiflorum) en rodajas a 50°C.....	72
2.11. Influencia de la temperatura en la velocidad de secado, curvas de secado de pimiento rojo a diferentes temperaturas.....	73
2.12. Influencia de la velocidad del aire en la velocidad de secado, cinética del secado de Lúcumá	74
4.1. Yawarchunka utilizado en los ensayos de secado.....	95
4.2. Secador experimental acoplado a microondas.....	96

4.3. Cámara experimental de secado.....	97
4.4. Panel de control de temperatura.....	97
4.5. Fuente de poder del secador experimental.....	98
4.6 Diagrama de Flujo para el secado combinado de aire – microondas.	99
4.7. Registro de datos.....	101
4.8. Anemómetro digital.....	102
4.9. Balanza registradora de masa.....	102
4.10. Data logger.....	103
4.11. A la Izquierda: muestra para realizar la medida de contenido de humedad inicial; derecha: muestra al finalizar las medidas.....	103
4.12. Pesaje del fruto fresco.....	105
4.13. Licuado del fruto fresco.....	105
4.14. Jugo de yawarchunka fresco para el análisis.....	106
4.15. Pesaje del fruto seco.....	106
4.16. Licuado del fruto seco.....	107
4.17. Jugo de yawarchunka seco para el análisis.....	107
4.18. Titulación del ácido ascórbico del fruto fresco.....	108
4.19. Titulación del ácido ascórbico del fruto seco.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

1.1. Oferta y demanda proyectada para la exportación de yawarchunka.....	23
1.2. Producción de yawarchunka (aguaymanto).....	24
2.1. Composición nutricional de <i>Physalis Peruviana L.</i> por 100 g de producto.....	45
2.2. Reporte de la composición fisicoquímica de <i>Physalis peruviana L.</i> : por 100g de fruto.....	46
3.1 Operacionalización de variables.....	92
5.1. Prueba de secado a 50°C y 0 s de pulsaciones de microondas.....	111
5.2. Prueba de secado a 50°C y 5 s de pulsaciones de microondas.....	113
5.3. Prueba de secado a 50°C y 7 s de pulsaciones de microondas.....	114
5.4. Prueba de secado a 50°C y 9 s de pulsaciones de microondas.....	115
5.5. Prueba de secado a 50°C y 12 s de pulsaciones de microondas.....	117
5.6. Data para la velocidad de secado a 50°C y 0 s de pulsaciones de microondas.....	118
5.7. Data para la velocidad de secado a 50°C y 5 s de pulsaciones de microondas.....	120
5.8. Data para la velocidad de secado a 50°C y 7 s de pulsaciones de microondas.....	123

5.9. Data para la velocidad de secado a 50°C y 9 s de pulsaciones de microondas.....	125
5.10. Data para la velocidad de secado a 50°C y 12 s de pulsaciones de microondas.....	128
5.11. Prueba de secado a 55°C y 0 s de pulsaciones de microondas.....	131
5.12. Prueba de secado a 55°C y 5s de pulsaciones de microondas.....	133
5.13. Prueba de secado a 55°C y 7s de pulsaciones de microondas.....	134
5.14. Prueba de secado a 55°C y 9s de pulsaciones de microondas.....	135
5.15. Prueba de secado a 55°C y 12s de pulsaciones de microondas.....	137
5.16. Data para la velocidad de secado a 55°C y 0 s de pulsaciones de microondas.....	138
5.17. Data para la velocidad de secado a 55°C y 5 s de pulsaciones de microondas	140
5.18 Data para la velocidad de secado a 55°C y 7 s de pulsaciones de microondas.....	143
5.19. Data para la velocidad de secado a 55°C y 9 s de pulsaciones de microondas.....	145
5.20. Data para la velocidad de secado a 55°C y 12 s de pulsaciones de microondas	148
5.21. Prueba de secado a 60°C y 0 s de pulsaciones de microondas	151

5.22. Prueba de secado a 60°C y 5 s de pulsaciones de microondas	153
5.23. Prueba de secado a 60°C y 7 s de pulsaciones de microondas.....	154
5.24. Prueba de secado a 60°C y 9 s de pulsaciones de microondas.....	155
5.25. Prueba de secado a 60°C y 12 s de pulsaciones de microondas.....	156
5.26. Data para la velocidad de secado a 60°C y 0 s de pulsaciones de microondas.....	158
5.27. Data para la velocidad de secado a 60°C y 5 s de pulsaciones de microondas.....	160
5.28 Data para la velocidad de secado a 60°C y 7 s de pulsaciones de microondas	163
5.29. Data para la velocidad de secado a 60°C y 9 s de pulsaciones de microondas	165
5.30. Data para la velocidad de secado a 60°C y 12 s de pulsaciones de microondas	168
5.31. Análisis volumétrico por triplicado del jugo de yawarchunka fresco	172
5.32. Análisis volumétrico por triplicado del jugo de yawarchunka secado a 50°C y 5 s	173
5.33 Análisis volumétrico por triplicado del jugo de yawarchunka secado a 50°C y 7 s	173
5.34. Análisis volumétrico por triplicado del jugo de yawarchunka secado a 50°C y 9 s.....	174

5.35 Análisis volumétrico triplicado del jugo de yawarchunka secado a 50°C y 12s.....	175
5.36 Análisis volumétrico triplicado del jugo de yawarchunka secado a 55°C y 5s.....	176
5.37 Análisis volumétrico triplicado del jugo de yawarchunka secado a 55°C y 7s.....	176
5.38 Análisis volumétrico triplicado del jugo de yawarchunka secado a 55°C y 9s.....	177
5.39 Análisis volumétrico triplicado del jugo de yawarchunka secado a 55°C y 12s.....	178
5.40 Análisis volumétrico triplicado del jugo de yawarchunka secado a 60°C y 5s	179
5.41 Análisis volumétrico triplicado del jugo de yawarchunka secado a 60°C y 7s.....	180
5.42 Análisis volumétrico triplicado del jugo de yawarchunka secado a 60°C y 9s	180
5.43 Análisis volumétrico triplicado del jugo de yawarchunka secado a 60°C y 12s.....	181
5.44 Datos del primer trio de variables y su codificación	183
5.45 Análisis de varianza del primer trio de variables	183
5.46 Resumen del modelo del primer trio de variables	184
5.47 Datos del segundo trio de variables y su codificación.....	186
5.48 Análisis de varianza del segundo trio de variables.....	187
5.49 Resumen del modelo del segundo trio de variables	187
6.1. Tabla de de secado y tiempos de secado obtenidos.....	190
6.2. Tabla de condiciones de secado y concentración de ac. ascórbico	191

ÍNDICE DE GRÁFICOS

5.1 Curva De Secado A 50°C Y 0s De Pulsaciones De Microondas	118
5.2 Variación de masa a 50°C y 0s de pulsaciones de microondas.....	119
5.3 Curva de velocidad de secado a 50°C y 0s de pulsaciones de microondas	119
5.4 Segmento de curva de velocidad de secado a 50°C y 0s de pulsaciones de microondas	120
5.5 Curva de secado a 50°C y 5s de pulsaciones de microondas	121
5.6 Variación de masa a 50°C y 5s de pulsaciones de microondas.....	121
5.7 Curva de velocidad de secado a 50°C y 5s de pulsaciones de microondas	122
5.8 Segmento de curva de velocidad de secado a 50°C y 5s de pulsaciones de microondas	122
5.9 Curva de secado a 50°C y 7s de pulsaciones de microondas	123
5.10 Variación de masa a 50°C y 7s de pulsaciones de microondas.....	124
5.11 Curva de velocidad de secado a 50°C y 7s de pulsaciones de microondas	124
5.12 Segmento de curva de velocidad de secado a 50°C y 7s de pulsaciones de microondas	125
5.13 Curva de secado a 50°C y 9s de pulsaciones de microondas	126
5.14 Variación de masa a 50°C y 9s de pulsaciones de microondas.....	126
5.15 Curva de velocidad de secado a 50°C y 9s de pulsaciones de microondas	127

5.16 Segmento de curva de velocidad de secado a 50°C y 9s de pulsaciones de microondas	127
5.17 Curva de secado a 50°C y 12s de pulsaciones de microondas	128
5.18 Variación de masa a 50°C y 12s de pulsaciones de microondas...	129
5.19 Curva de velocidad de secado a 50°C y 12s de pulsaciones de microondas	129
5.20 Segmento de curva de velocidad de secado a 50°C y 12s de pulsaciones de microondas	130
5.21 Comparativa de curvas de secado a 50°C con diferentes tiempos de pulsaciones de microondas	130
5.22 Comparativa de curvas de velocidad de secado a 50°C con diferentes tiempos de pulsaciones de microondas	131
5.23 Curva de secado a 55°C y 0s de pulsaciones de microondas	138
5.24 Variación de masa a 55°C y 0s de pulsaciones de microondas.....	139
5.25 Curva de velocidad de secado a 55°C y 0s de pulsaciones de microondas	139
5.26 Segmento de curva de velocidad de secado a 55°C y 0s de pulsaciones de microondas	140
5.27 Curva de secado a 55°C y 5s de pulsaciones de microondas	141
5.28 Variación de masa a 55°C y 5s de pulsaciones de microondas.....	141
5.29 Curva de velocidad de secado a 55°C y 5s de pulsaciones de microondas	142
5.30 Segmento de curva de velocidad de secado a 55°C y 5s de pulsaciones de microondas	142
5.31 Curva de secado a 55°C y 7s de pulsaciones de microondas	143

5.32 Variación de masa a 55°C y 7s de pulsaciones de microondas.....	144
5.33 Curva de velocidad de secado a 55°C y 7s de pulsaciones de microondas	144
5.34 Segmento de curva de velocidad de secado a 55°C y 7s de pulsaciones de microondas	145
5.35 Curva de secado a 55°C y 9s de pulsaciones de microondas	146
5.36 Variación de masa a 55°C y 9s de pulsaciones de microondas.....	146
5.37 Curva de velocidad de secado a 55°C y 9s de pulsaciones de microondas	147
5.38 Segmento de curva de velocidad de secado a 55°C y 9s de pulsaciones de microondas	147
5.39 Curva de secado a 55°C y 12s de pulsaciones de microondas	148
5.40 Variación de masa a 55°C y 12s de pulsaciones de microondas...	149
5.41 Curva de velocidad de secado a 55°C y 12s de pulsaciones de microondas	149
5.42 Segmento de curva de velocidad de secado a 55°C y 12s de pulsaciones de microondas	150
5.43 Comparativa de curvas de secado a 55°C con diferentes tiempos de pulsaciones de microondas	150
5.44 Comparativa de curvas de velocidad de secado a 55°C con diferentes tiempos de pulsaciones de microondas	151
5.45 Curva de secado a 60°C y 0s de pulsaciones de microondas	158
5.46 Variación de masa a 60°C y 0s de pulsaciones de microondas.....	159
5.47 Curva de velocidad de secado a 60°C y 0s de pulsaciones de microondas	159

5.48 Segmento de curva de velocidad de secado a 60°C y 0s de pulsaciones de microondas	160
5.49 Curva de secado a 60°C y 5s de pulsaciones de microondas	161
5.50 Variación de masa a 60°C y 5s de pulsaciones de microondas.....	161
5.51 Curva de velocidad de secado a 60°C y 5s de pulsaciones de microondas	162
5.52 Segmento de curva de velocidad de secado a 60°C y 5s de pulsaciones de microondas	162
5.53 Curva de secado a 60°C y 7s de pulsaciones de microondas	163
5.54 Variación de masa a 60°C y 7s de pulsaciones de microondas.....	164
5.55 Curva de velocidad de secado a 60°C y 7s de pulsaciones de microondas	164
5.56 Segmento de curva de velocidad de secado a 60°C y 7s de pulsaciones de microondas	165
5.57 Curva de secado a 60°C y 9s de pulsaciones de microondas	166
5.58 Variación de masa a 60°C y 9s de pulsaciones de microondas.....	166
5.59 Curva de velocidad de secado a 60°C y 9s de pulsaciones de microondas	167
5.60 Segmento de curva de velocidad de secado a 60°C y 9s de pulsaciones de microondas	167
5.61 Curva de secado a 60°C y 12s de pulsaciones de microondas	168
5.62 Variación de masa a 60°C y 12s de pulsaciones de microondas...	169
5.63 Curva de velocidad de secado a 60°C y 12s de pulsaciones de microondas	169

5.64 Segmento de curva de velocidad de secado a 60°C y 12s de pulsaciones de microondas	170
5.65 Comparativa de curvas de secado a 60°C con diferentes tiempos de pulsaciones de microondas	170
5.66 Comparativa de curvas de velocidad de secado a 60°C con diferentes tiempos de pulsaciones de microondas	171
5.67 Superficie de respuesta tridimensional del primer trio de variables.....	185
5.68 Gráfica de optimización del contenido de ácido ascórbico.....	186
5.69 Superficie de respuesta tridimensional del segundo trio de variables.....	188
5.70 Gráfica de optimización del tiempo de secado.....	189

RESUMEN

En este trabajo se determinan las condiciones óptimas de temperatura para un proceso de secado del yawuarchunka (*Physalis Peruviana L.*), empleando la técnica de un proceso combinado-microondas. Se realiza un seguimiento de la degradación del ácido ascórbico con el tiempo y la temperatura. El fruto fue sometido a una terna de temperaturas (50,55 y 60°C) y a una cuaterna con intervalos de pulsaciones (5s,7s,9s y12s) a fin de contrastar al método tradicional con el combinado, evidenciando en la práctica que se emplearon 3,75 h en el tradicional mientras que con el combinado 2,41h ambos sometidos a la temperatura de 60 °C.

La investigación realizada fue del tipo experimental y partió de la preparación de la muestra experimental, la cual fue sometida a ensayos en un equipo diseñado y construido, que permitió hacer variaciones de temperatura de aire caliente y pulsaciones de microondas, con el posterior análisis de ácido ascórbico en cada muestra que pasó a través del proceso de secado a fin de lograr la optimización.

Los resultados óptimos para lograr la máxima retención del ácido ascórbico contenido en yawuarchunka (*Physalis Peruviana L.*), se obtuvieron a la temperatura de 51°C con un intervalo de 5 segundos de pulsaciones, empleando la técnica del proceso combinado aire caliente – microondas. Este resultado servirá de referencia en la aplicación en otras materias primas.

ABSTRACT

In this work we determine the optimal temperature conditions for a drying process of the yawuarchunka (*Physalis Peruviana L.*), using the technique of a combined-microwave process. The degradation of ascorbic acid is monitored with time and temperature. The fruit was subjected to a shortage of temperatures (50.55 and 60 ° C) and a quatern with intervals of pulsations (5s, 7s, 9s and 12s) in order to contrast the traditional method with the combined one, evidencing in practice that they were used 3.75 h in the traditional one while with the combined 2.41 h both subjected to the temperature of 60 ° C.

The research was of the experimental type and started with the preparation of the experimental sample, which was subjected to tests in a designed and constructed equipment, which allowed to make variations of hot air temperature and microwave pulsations, with the subsequent analysis of acid Ascorbic in each sample that went through the drying process in order to achieve optimization.

The optimal results to achieve maximum retention of the ascorbic acid contained in yawuarchunka (*Physalis Peruviana L.*), were obtained at a temperature of 51°C with an interval of 5 seconds of pulsations, using the technique of combined hot air -microondas. This result will serve as reference in the application in other raw materials.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

En Perú, algunas empresas deshidratan al yawarchunka (*Physalis Peruviana L.*) de una manera empírica, basándose comúnmente en pruebas de ensayo y error. En nuestras universidades no existen trabajos de investigación que aborden el secado empleando algún método tecnológico, salvó un par de tesis, pero ninguna de ellas ha determinado algún modelo que permita la simulación del proceso de deshidratación de este fruto incaico.

La ventaja de conocer estos parámetros es que por medio de ellos será factible realizar el modelamiento matemático del proceso de deshidratación de esta fruta ancestral, optimizando el manejo y operación de los equipos en los cuales se realiza este proceso unitario, lo que permite mejorar la calidad del producto final con el ahorro de tiempo y energía.

Desde la simulación en base a resultados obtenidos experimentalmente se va dando el enfoque básico del deshidratado de productos bajo el principio de dividir el proceso en muchos pasos pequeños y calcular el efecto en capas delgadas durante incrementos de tiempos pequeños [26].

Dentro de los productos incaicos que poseen un gran potencial de industrialización, se encuentra el yawarchunka, puesto que a partir de

este fruto podemos obtener productos que actúen como saborizantes, principalmente para la industria de la heladería.

Este fruto es de alta perecibilidad cuando llega a su madurez, tendiendo a descomponerse rápidamente. Además posee una piel delgada lo cual lo hace vulnerable a los esfuerzos mecánicos que se produzcan durante el manipuleo y transporte, desde la cosecha al consumidor [9].

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General

¿Cómo optimizar la velocidad de difusión del agua durante el proceso de secado del yawarchunka (*Physalis Peruviana L.*) a fin de lograr la máxima retención del ácido ascórbico, empleando la técnica del proceso combinado aire caliente –microondas?

1.2.2. Problemas específicos

1. ¿Cómo construir un equipo que nos permita incrementar la velocidad de difusión del agua contenida en los frutos del yawarchunka (*Physalis Peruviana L.*)?
2. ¿Cuáles serán los parámetros cinéticos a controlar durante el proceso de secado del yawarchunka (*Physalis Peruviana L.*) empleando el proceso combinado: aire caliente-microondas?
3. ¿Cuál será la expresión matemática que nos permitirá controlar la transferencia de masa y calor a través del tiempo transcurrido,

admitiendo una forma geométrica homogénea durante el proceso de secado del yawarchunka (*Physalis Peruviana L.*)?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo General

Lograr la máxima retención del ácido ascórbico contenido en este fruto, incrementando la velocidad de difusión del agua durante el proceso de secado del yawarchunka (*Physalis Peruviana L.*), empleando la técnica del proceso combinado aire caliente-microondas.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Construir un equipo para el secado del yawarchunka (*Physalis Peruviana L.*) provisto de un sistema combinado aire caliente-microondas.
2. Realizar pruebas comparativas de secado utilizando únicamente el sistema convencional (aire caliente) y posteriormente con el sistema combinado: aire caliente-microondas.
3. Obtener la ecuación matemática que nos permita obtener la máxima retención del ácido ascórbico, controlando la velocidad de deshidratación en función de las variables de operación, durante el proceso de secado del yawarchunka (*Physalis Peruviana L.*)

1.4. JUSTIFICACIÓN

1.4.1. Por su aspecto legal

La base legal de este fruto ancestral y oriundo del Perú es la Ley N°28477, que declara al "*Physalis Peruviana L.*" como patrimonio natural de la nación (publicado en el diario El Peruano el 22 de Marzo de 2005).

Además existen otras normas internacionales y nacionales como:

- El código internacional recomendado de prácticas de higiene para los alimentos de baja acidez y alimentos acidificados envasados Cac/RCP 23-1979 (Codex-FAO/OMS)
- Código de prácticas de higiene para la elaboración de espárragos en conservas. R.M.N 536-97-SA/DM Digesa-Perú.
- Norma sanitaria aplicable a la fabricación de alimentos envasados de baja acidez y acidificados destinados al consumo humano NTS N° 069-MINSA/DIGESA-V.01
- Guía de exportación de alimentos envasados de baja acidez y acidificados hacia Estados Unidos (LACF/AF)

1.4.2. Por su aspecto económico

Son dos los motivos fundamentales:

- a. Los frutos deshidratados del yawarchunka (*Physalis Peruviana L.*) representan una importante fuente nutricional por desarrollar en el Perú, tornándose en una dieta agradable y saludable por sus propiedades puesto que podrían ser utilizadas en combinación con

diferentes productos alimenticios (pastelería, postres helados, saborizante de helados, yogurts entre otros).

El yawarchunka (*Physalis Peruviana L.*) es un fruto exótico tropical incaico, que ha comenzado a posicionarse a nivel nacional y con gran auge de exportación. Ello gracias a los recientes descubrimientos de sus propiedades medicinales y en esencia por el contenido del ácido ascórbico.

Dicho fruto es usado en la industria terapéutica, química y farmacéutica para prevenir las enfermedades como cataratas, miopía, también se le atribuye bondades curativas infecciosas de garganta y próstata por ser un calcificador, disminuye los riesgos de enfermedades cardiovasculares por tratarse de un antioxidante por excelencia.

- b. En la actualidad el yawarchunka (aguaymanto, capulí, etc) ha conquistado importantes mercados de la Unión Europea (tabla 1.1), donde es conocido como Cape Gooseberry, Goldenberry o Uchuva. Actualmente se cultiva en Ecuador, California, Sudáfrica, Australia, Kenia y Colombia, siendo este último el principal productor y exportador del mundo.

TABLA 1.1
OFERTA Y DEMANDA PROYECTADA PARA LA EXPORTACIÓN DE
YAWARCHUNKA

ANO	DEMANDA	OFERTA	DIFERENCIA (TM)
2017	160,192	416.62	159,776
2018	160,865	443.41	160,422
2019	161,541	470.21	161,071
2020	162,219	497.00	161,722
2021	162,901	523.80	162,377

Fuente: Ministerio de Economía y Finanzas [27]

En el año 2006, el Perú exportó este fruto por un monto de \$28 400, demostrando que el Perú también tiene el potencial de producción para satisfacer al mercado interno y externo. En tal sentido a este fruto andino y oriundo debemos darle el sitio que le corresponde por las bondades nutricionales y medicinales que posee.

La tabla siguiente (tabla 1.2), perteneciente al Ministerio de Economía y Finanzas [3], muestra que la producción anual en los años 2013 y 2014 es aproximadamente 4000 TM /año. No se encontraron reportes de la producción de yawarchunka (aguaymanto) en los años posteriores, por lo que se asumió que la producción se mantuvo casi constante en los años posteriores.

TABLA 1.2
PRODUCCIÓN DE YAWARCHUNKA (AGUAYMANTO)

PRODUCTO	CANTIDAD PRODUCIDA (TONELAJE)		PRECIO UNITARIO S/	VENTAS S/	
	2013	2014		2013	2014
Aguaymanto fresco	3,825.0	3,825.0	3,500	13'387,500	13'387,500

Fuente: Ministerio de Economía y Finanzas [27]

1.4.3. Por su aspecto social

Porque en el área andina del Perú se cultivan muchas frutas nativas siendo una de estas el yawarchunka. Esta fruta se consume principalmente en forma natural sin mayor grado de procesamiento. Por ello la revalorización como fruto nativo, poco conocido o desconocido fuera de sus regiones de origen, resulta de gran beneficio para el poblador rural del interior del Perú que se encuentra entre los grupos poblacionales más pobres de Latinoamérica. El yawarchunka posee fuentes importantes de vitaminas, azúcares, materias gelificantes (pectinas), materia antioxidante, ácido ascórbico, aroma y sabor característico que esperan su identificación y posterior explotación por la industria a fin de elaborar productos novedosos y competitivos en el mercado nacional, regional y mundial como ya lo viene realizando Colombia.

El Perú posee los microclimas más diversos del mundo, en tal sentido se presta para el sembrío y producción tecnificada de este fruto incaico

puesto que es un fruto con gran potencial económico debido a su valor nutricional y medicinal y que crece en la costa, sierra y selva del Perú, pudiendo producir hasta 30 toneladas por hectárea.

1.4.4. Por su aspecto tecnológico

Porque nos permitirá desarrollar nuestra propia tecnología a través del diseño de un equipo de secado de sistema combinado aire caliente-microondas, para un secado de frutas a nivel industrial.

En el presente trabajo damos a conocer el proceso sistemático y tecnológico que nos permite obtener en nuestro país el secado del yawarchunka (*Physalis Peruviana L.*) respetando los estándares permisibles de evacuación bajo el orden siguiente:

- a. Etapa de pre-calentamiento.
- b. Etapa de velocidad constante.
- c. Etapa de velocidad decreciente.
- d. Periodo de velocidad final.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación se presentan los antecedentes, que guardan relación directa e indirecta con el objeto de estudio de esta investigación.

GAMBOA D., IBÁÑEZ D., MELENDEZ M., PAREDES E., PAREDES C., SICHE R., *Secado de lúcuma (*Pouteria abovata*) empleando la técnica de la Ventana Refractante [17]*

En la actualidad una gran cantidad de productos son secados por diversas razones como la preservación, la reducción de peso o volumen, el mejoramiento de su estabilidad etc, (Hernández y Quinto, 2005). Producto de bajo costo y alta calidad no se presenta de forma simultánea por métodos tradicionales de secado de alimentos sólidos. La calidad de productos secos disminuye debido a la sensibilidad al calor de los nutrientes y los cambios adversos en las propiedades fisicoquímicas de la mayoría de frutas y verduras. A pesar de que la liofilización ofrece productos deshidratados con forma preservada, sabor, color, y vitaminas, el costo de esta tecnología es varias veces mayor que el costo asociado a la desecación con el aire caliente (Clarke, 2014).

Para la deshidratación eficaz de los elementos sensibles al calor, una técnica de secado patentado por Magonn en 1986 fue desarrollada por

MCD Technologies, Inc. (Washington, EE UU.) y llamado de refráctense Windows. (RW) (Ochoa- Martínez et al 2012). Esta técnica ofrece una temperatura en el interior del producto de menos de 70°C y tiempo de secado cortos que dependen del espesor del producto secado (3-5 min para materiales de puré) esencialmente, el material a secar en forma de pulpa, jugo, o alimentos en rodajas (fruta o vegetal) se coloca sobre una película de plástico que es transparente a la radiación infrarroja y tiene características especiales con respecto a la refracción. Esta película flota en la superficie de agua caliente mantenido a 95-97°C de modo que la energía térmica para la evaporación de la humedad se transfiere desde el agua caliente para el material húmedo principalmente a través del radiación infrarroja (Nindo et al. 2007). Nindo et al 2003., Kudra y Mujumdar, 2009).

- ❖ **Aporte.-** Esta técnica permite acortar el tiempo de secado creando una temperatura menor a 70°C dentro del producto.

MENDOZA A., ESPINOZA H., LARA E., MARTINEZ C., *Modelación matemática del proceso de secado empleando flujo del aire revertido [2].*

El secado es uno de los métodos más antiguos para deshidratar alimentos, el cual involucra de manera simultánea la transferencia de materia y energía. La transferencia de materia se considera como transición física del agua del estado líquido al de vapor, en donde la transferencia de masa tiene lugar cuando existe una gradiente de concentración o de presión. La búsqueda de alternativa del fenómeno de

secado, a ha sido planteada a través de metodología tradicionales, tales como el uso de secadores en lechos fijos en los que se manejan flujo de aires en una sola dirección. Esto trae consigo en muchas ocasiones la contracción y el agrietamiento del producto durante su deshidratación originando un aumento de tiempo y costo el proceso de elaboración de un producto.

Una manera económica de evitar una gradiente excesiva de contenido de humedad y temperatura en el producto a secar, consiste en cambiar o invertir la dirección del flujo del aire periódicamente en el secado, tomando en cuenta la profundidad del lecho, el espesor de la partícula, la velocidad y la temperatura del aire del secado. Por lo anterior se tomaron en cuenta las variables de secado, que son parámetros significativos en el secado por lotes en lecho fijos con aire revertido. Es por ello la importancia de efectuar una predicción del secado de alimentos empleando un flujo revertido el cual proporcione información sobre su comportamiento, lo que permite reducir tiempo, costos y ahorro de energía en el proceso de este producto.

- ❖ **Aporte.-** Esta nueva técnica predictiva permite reducir el tiempo, costos y ahorro de energía durante el proceso tomando en cuenta los principios de transferencia de masa.

SOCORRO A., HERNANDEZ E., CALDERON S., y PENICHER H.,
Modelo para curvas isotérmicas de humedad de equilibrio en semillas de interés agrícola [37].

La humedad de equilibrio y la temperatura de las semillas que se almacenan en los bancos de germoplasma, son las magnitudes físicas que más influyen en la conservación de las mismas.

Para establecer una relación matemática entre estos dos factores abióticos y longevidad de las semillas se han propuesto modelos dentro de los que figuran el de Ellis y Robert (1980), contruidos a partir de resultados experimentales para numerosas especies vegetales. De igual modo existen varias reglas de manejo de semillas en los bancos de germoplasma para su adecuado almacenamiento, como las de James o la de Harrington, las cuales ajustan de valores óptimos de humedad y temperatura para la conservación de los recursos filogenéticos.

En la práctica, para evaluar el contenido de humedad de la semilla en equilibrio "C*", resulta necesario tomar y procesar muestras del material biológicos (método gravimétrico), cual implica gastar parte de colección almacenada .aunque existe varios modelos que relacionan matemáticamente valores de C*, respecto a la humedad relativa "HR", no todo se ajusta a igual forma ni para todas las especies vegetales.

Por ello este trabajo tiene como objetivo proponer un modelo teórico (ajustable a cultivos cubanos) acerca del proceso isotérmico de absorción de vapor de agua por la semilla así como la relación C* y HR dentro de la cámara de almacenamiento. Esta relación representa una curva de calibración, que resulta útil desde el punto de vista práctico para el manejo de la materia biológico dentro del bando del germoplasma. En la

conclusión de este trabajo o del modelo se deriva una ecuación que relaciona de la humedades de la semilla y de la atmosfera circundante cuando el sistema ha llegado a alcanzan el equilibrio, la cual mediante sus propios parámetros puede caracterizar la susceptibilidad de cada cultivo a retener las moléculas de agua dentro de sus semillas, en equilibrio con la humedad relativa exterior.

- ❖ **Aporte.-** La propuesta de un modelo matemático (teórico) de un proceso de absorción del vapor de agua en una semilla, así como la relación del contenido de humedad en equilibrio y la H.R.

GORI L., CROZZA D., PAGANO A., *Desarrollo de ingeniería de proceso para la deshidratación de frutas (Ciruela president), Estudio experimental del proceso combinado de osmosis y secado por aire caliente [20].*

Una alternativa al secado convencional, que permite obtener producto de mejor calidad y contrarrestar los efectos negativos del secado por aire caliente., es la deshidratación osmótica (DO) Esta técnica, además de mejorar la calidad del producto final (mejor color y sabor) reduce los costos de SO₂ (que se emplea para mantener el color, pero degrada el sabor) Durante la DO se genera dos flujos simultaneo a contracorriente

- a) el agua difunde desde la fruta a la solución y
- b) el azúcar difunde desde la solución hacia la fruta.

También ocurre un tercer flujo, que es despreciable con respectó a las anteriores pero aunque es importante para la calidad del producto final, en la cual solutos naturales difunden de la fruta a la solución.

La DO por sí sola no puede ser considerada como un método de preservación de alimentos, por ello se la emplea como un pretratamiento en lo que se conoce como "métodos combinados de deshidratación". La implementación de esta nueva tecnología emergente trae aparejado diversos beneficios, mejoras en la calidad del producto deshidratado (mínimo cambio en color, sabor y degradación química), reducción del uso de energía, reducción de costo, desarrollo de equipos confiables que requieran poca mano de obra, desarrollo de procesos estables, etc. (Marcotte y Tamguay, 2005; Paulo y Col., 2006).

- ❖ **Aporte.-** Esta técnica de pre-tratamiento del secado, permite mejorar la calidad del producto (mejor color y sabor) reduciendo de este modo costos.

PRIETO J., PRIETO F.ROMAN A.MENDEZ M., OTAZO E., *Correlación de modelos matemáticos de adsorción de humedad en cereales para desayuno [33].*

El fenómeno de adsorción fue desarrollado por Langtur (ZHG ZUC 2002) quien considera que la superficie de adsorbente contiene un número fijo de lugares de adsorción y cada lugar puede adsorber una sola molécula. La adsorción reduce el desequilibrio de fuerzas atractiva que existe en una superficie y por lo tanto, la energía libre superficial de un sistema heterogéneo. En ese aspecto, las consideraciones energéticas relacionadas con la superficie sólida son en principio, la misma que para las superficies líquidas. Las principales diferencias entre las superficies

sólidas y líquidas provienen de hecho de que las primeras son heterogéneas en lo que se refiere a la actividad con propiedades que dependen en cierta medida del tratamiento previo (TRIMEMEN al, 2000).

❖ **Aporte.-** Influencia de la adsorción en el proceso de secado.

SEBASTIAN R., FERREYRA R., ANTONIO R., *Parámetros de transferencia de materia en el secado de Frutas [12].*

Para la obtención de modelos de secado generalmente son consideradas las ecuaciones de transferencia de materia, energía y cantidad de movimiento, surgiendo naturalmente parámetros que influyen en el secado, tales como el coeficiente externo de transferencia de materia entre una fruta y el aire de secado K_m (m/s). La difusividad de agua en una fruta D_{AB} y el número de Biot Bim (adim) uno de los modelos de secado más conocidos es el de Luikov (1966), que está basado en la termodinámica de los procesos irreversibles (Abalone et al. 2000; Luikov 1966, Padel et al. 1999; Wu e Irudayaraj, 1996), El modelo de Luikov es constituido por ecuaciones diferenciales parciales acopladas, en función de la temperatura, la humedad y cuando existe un intenso secado, puede incluir la presión.

Los modelos para frutos y secado están acoplados a través de los flujos de materia y energía, y cantidad de movimiento en la interface fruta/ aire. Lima (1999) se dedicó especialmente al análisis de secado de banana siendo parte de su investigación reproducida en un trabajo posterior (Lima et al 2002). En el trabajo original (Lima, 1999) desarrollo modelos

bidimensionales, analíticos y numéricos, para simular la difusión en sólidos y, particular, ellos fueron empleados para describir la transferencia de materia y energía en el secado de banana. En su investigación se destaca el denominado modelo (III), que es un modelo en condición de contorno de transferencia de humedad y disminución de volumen del fruto.

Según Lima, el modelo III es el más realista de los analizados por él, dando resultados confiables para los coeficientes de transporte; porque están incluidos más efectos físicos que inciden en la cinética del secado, comparados con otros modelos desarrollados por este autor (Lima, 1999); Lima et al., 2002).

- ❖ **Aporte.-** Influencia de los parámetros de transferencia de materia, energía y cantidad de movimiento se emplean en la formulación de modelos matemáticos para simular el control de los parámetros óptimos en un proceso de secado.

ENCINA Z., UREÑA P., *Determinación de la máxima retención de ácido ascórbico de la conserva de Aguaymanto (Physalis Peruviana L.) en almíbar aplicando el método Taguchi [40].*

Se determinaron parámetros de desecado y de tratamiento térmico que hacen máxima la retención de ácido ascórbico en la conserva de aguaymanto (*Physalis peruviana*) en almíbar mediante la aplicación del método Taguchi ($p < 0,05$), en base al criterio de calidad "mayor es mejor". Este ensayo se realizó con frutos provenientes del valle del Mantaro

(Huancayo- Perú).El pH del almíbar y la temperatura del tratamiento térmico resultaron ser los factores de mayor influencia en la retención del ácido ascórbico. Los niveles con los que se retuvo mayor cantidad de ácido ascórbico fueron: tiempo de descerado (90s),temperatura del descerado (80°C),concentración del NaOH en el descerado (0,05%) ,pH del almíbar (2,5), grados Brix del almíbar (30), temperatura (95°C) y tiempo del tratamiento térmico (11,52 min).

Así mismo, se realizó la evaluación del tratamiento térmico en la que se determinaron las características de penetración de calor en el punto de más lento calentamiento (a 4,8cm de la base del envase).

Los parámetros de penetración de calor que caracterizan el tratamiento térmico de la conserva de aguaymanto en almíbar fueron: fb=8,14 min, fc =6,54 min, jh =1,59, jc=1,57; Tpsi h =26,36°C.

❖ **Aporte.-** El logro de la máxima retención del ácido ascórbico, mediante el control de parámetros termodinámicos.

APARCANA A., VILLARREAL L., *Evaluación de la capacidad antioxidante de los extractos etanólicos del fruto de Physalis Peruviana "aguaymanto" de diferentes lugares geográficos del Perú [5].*

Physalis peruviana L."Aguaymanto" es una planta nativa del Perú, utilizada en la medicina tradicional por sus innumerables beneficios para la salud humana y por su valor nutritivo. La presencia de ciertos compuestos antioxidantes como los polifenoles, le atribuye la capacidad de neutralizar la capacidad la acción oxidante de los radicales libres. El

objetivo de este trabajo fue el de valorar y comparar el contenido de polifenoles totales mediante el método de Folin-Ciocalteu y la capacidad antioxidante de los extractos etanólicos del fruto de aguaymanto provenientes de Ancash, Junín, Cajamarca y Huánuco, mediante los métodos del DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazilo) y ABTS (ácido 2,2-azino-bis-3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) encontrando que el fruto *Physalis peruviana* L. procedente de Huánuco presentó mayor contenido de compuestos fenólicos expresados como 149,3 +1,62 mg/Eq de ácido gálico/100 gramos de fruto.

- ❖ **Aporte.-** Como evaluar la capacidad antioxidante de los extractos etanólicos en los frutos nativos del Perú.

REPO R., ENCINA CH., *Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas [35].*

En el tomate de árbol se destacó el contenido relativamente alto de fibra cruda 4,5 g/100g de fruta. El tomate de árbol (*Cyphomandabeteacea*) y el aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) tuvieron mayor cantidad de proteínas (1,9g/100g para ambos frutos) que las otras frutas estudiadas. En cuanto a compuestos fenólicos la papaya de monte (*Caricapubescens*) es la fruta que presentó mayor contenido de estos compuestos (167 mg de equivalente ácido gálico/g de fruto). El *Physalis peruviana* L.), tubo el mayor contenido de ácido ascórbico (43,3 mg/100g). El contenido de carotenoides fue mayor en el tomate de árbol (4mg de caroteno/100g) seguido por el aguaymanto con 2,64 mg-caroteno/100g.

En este trabajo se concluye que el estado de madurez influye en forma directamente proporcional al contenido de compuestos bioactivos en el *Physalis peruviana* L. los que a su vez generan una mayor capacidad antioxidante en el fruto mientras más maduro esté.

❖ **Aporte.-** Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas.

IZLI N., YILDIZ G., UNAL H., ISIK E., UYLASER V., *Effect of different drying methods on drying characteristics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity of Goldenberry (Physalis peruviana L.)* [23].

En este estudio se investigaron los efectos de los métodos convectivos, de secado por microondas y convectivo-microondas y convección sobre el las características de secado, la capacidad fenólica total y la capacidad antioxidante del aguaymanto. Para seleccionar el modelo de secado de capas delgadas más adecuado para los tratamientos de secado, se ajustaron a los datos experimentales a nueve modelos matemáticos de secado. Basados en las pruebas estadísticas utilizadas para la evaluación, los modelos de Midilli et al y Wang fueron considerados los mejores modelos para describir los comportamientos de secado del aguaymanto en todos los métodos de secado. Los valores de color (L^* , a^* y b^*) de la fruta fresca disminuyeron por secado. En comparación con la muestra fresca, las muestras secas mostraron un 64-75% y 65-75% de disminución en el contenido total de fenol y capacidad antioxidante respectivamente. Entre los diferentes tratamientos de secado, los valores

más cercanos a los que mostraban los frutos frescos con respecto a los valores de color, total contenido fenólico y capacidad antioxidante, se encontró que fueron logrados con un método de secado con microondas de 160W.

- ❖ **Aporte.-** Como valorar los efectos de los métodos convectivos de secado por microondas y convectivo-microondas y convección sobre las características de secado.

RABBIE M., SOLIMAN A., DIACONEASA Z., CONSTANTIN B., *Effect of pasteurization and shelf life on the physicochemical properties of Physalis (Physalis Peruviana L.) juice [34].*

El principal objetivo de este trabajo es evaluar las características fisicoquímicas del Aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) después de la pasteurización y la duración por 21 días a 5°C. La pasteurización a 90°C por 2 minutos llevó a una significativa mejora en las características organolépticas del jugo. La pasteurización del jugo redujo el contenido de ácido ascórbico de 38.90 a 30.20 mg/100g durante su duración, mientras que el jugo fresco preservó este componente. El jugo calentado tuvo pérdidas de fenoles totales y % DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) de 20.88 y 28.51%, respectivamente. El ratio de glucosa y fructosa en todos los casos evaluados es de 1:1, mientras que el nivel de sacarosa decreció por 25% por jugo fresco y 16% por jugo pasteurizado. Se determinaron valores numéricos negativos más altos del índice de blancura en la escala de Hunter para la intensidad del color. Después de la pasteurización, se

observó un aumento del 7% en la viscosidad y una disminución del 22% en la nube después de 21 días de vida útil.

❖ **Aporte.-** La evaluación de las características fisicoquímicas del Aguaymanto.

VEGA A., PUENTE L., LEMUS R., MIRANDA M., TORRES M.,
Mathematical modeling of thin-layer drying kinetics of Cape gooseberry (Physalis Peruviana L.) [43].

Se estudiaron y modelaron la cinética de secado del aguaymanto durante el procesamiento a cuatro temperaturas (60, 70, 80 y 90°C). La isoterma de desorción se obtuvo a 40°C dando un contenido en humedad en monocapa de 0,086 g de agua / g de muestra. Las curvas experimentales de secado mostraron que el proceso de secado tuvo lugar sólo en el periodo de la tasa de caída.

Varios modelos de secado en capas delgadas disponibles en la literatura se evaluaron en base a las pruebas estadísticas como el error cuadrático de la suma (SSE), el chi cuadrado (X^2) y el coeficiente de determinación (R^2). La difusividad efectiva de la humedad del aguaymanto estaba en el rango de $4,67-14,9 \times 10^{-10} \text{ m}^2 / \text{s}$. Se determinó un valor de 38,78 kJ / mol como energía de activación. Al comparar los valores experimentales con la predicción de humedad, se encontró que el modelo de Midilli-Kucuk dio la mejor calidad de ajuste (SSE <0.001, X^2 <0.001, R^2 > 0.99), mostrando esta ecuación para predecir con precisión el tiempo de secado del aguaymanto bajo las condiciones de operación estudiadas.

- ❖ **Aporte.-** El modelamiento de la cinética de secado del Aguaymanto tomando cuatro temperaturas referentes para dicha evaluación.

FAWZY M., ALI N., ELSANHOTY R., SITOHY M., Goldenberry (*Physalis Peruviana*) juice rich in health-beneficial compounds suppresses high-cholesterol diet-induced hypercholesterolemia in rats [13].

El aguaymanto (*Physalis peruviana*) es una fruta exótica prometedora que podría ser un tema de muchos alimentos nuevos. No existen informes sobre el efecto de la administración de aguaymantos en diferentes aspectos del perfil sanguíneo en animales de experimentación. El objetivo de este estudio fue investigar el efecto de la alimentación de zumo de aguaymanto sobre la hipercolesterolemia analizando los cambios en el perfil sanguíneo de las ratas con alto contenido de colesterol (HCD). Se determinaron la composición química y las propiedades antirradicales del jugo. En general, las ratas alimentadas con jugo de aguaymanto mostraron niveles más bajos de colesterol total, triacilglicerol total y colesterol total de lipoproteínas de baja densidad, así como niveles más altos de colesterol de lipoproteínas de alta densidad en comparación con animales alimentados con HCD y dieta libre de colesterol. La administración de jugo indujo una disminución en la actividad de la transaminasa glutámica pirúvica en comparación con el grupo de control positivo después de 2 meses de administración.

Se observó una notable disminución de la proteína sérica total, la albúmina y la lobulina en los grupos tratados con jugo de aguaymanto. También se realizó el examen histológico del hígado y el riñón. Los resultados demostraron que el consumo de jugo de aguaymanto puede proporcionar efectos beneficiosos sobre la reversión de los cambios perjudiciales asociados al HCD.

- ❖ **Aporte.-** Efecto del zumo del aguaymanto ingeridos en la alimentación, sobre la hipercolesterolemia, analizando los cambios en el perfil sanguíneo de las ratas con alto contenido de colesterol.

BRAVO K., SEPULVEDA S., LARA O., NAVAS A., OSORIO E.,
Influence of cultivar and ripening time on bioactive compounds and antioxidant properties in Cape gooseberry (Physalis peruviana L.) [7].

El aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) es una fruta exótica altamente valorada por sus propiedades organolépticas y sus compuestos bioactivos. Considerando que la presencia de fenoles y ácido ascórbico podría contribuir a su capacidad funcional, es importante investigar los parámetros de calidad, los contenidos bioactivos y las propiedades funcionales con respecto al genotipo y al tiempo de maduración. En este estudio se evaluó el efecto genotipo en 15 cultivares durante dos tiempos de cosecha diferentes. Los cambios durante la maduración se registraron en dos cultivares comerciales dentro de siete niveles de madurez.

El análisis estadístico multivariado sugirió que el contenido fenólico y el valor de ORAC fueron afectados por el tiempo de cosecha y que el

contenido de ácido ascórbico y el nivel de DPPH fueron afectados principalmente por el genotipo. Además, la acidez, el contenido fenólico, el valor de ORAC y la inhibición de la oxidación de LDL disminuyeron con la madurez, pero el contenido de sólidos solubles, el contenido de ácido ascórbico, el contenido de β -caroteno y la actividad de eliminación de DPPH fueron mayores.

El contenido fenólico, el contenido de ácido ascórbico y las propiedades antioxidantes del aguaymanto fueron fuertemente afectados por el cultivar, el tiempo de cosecha y el estado de madurez. En consecuencia, el tiempo de cosecha debe programarse cuidadosamente para obtener la mayor proporción de compuestos bioactivos de acuerdo con el cultivar específico y el ambiente donde se cultiva.

* El aporte fundamental que hemos recogido de cada uno de estos trabajos radica en el aporte tecnológico y novedoso que cada uno impone en su propio sistema combinado con el objetivo imperativo de lograr la máxima retención del componente valioso, empleando el menor tiempo durante el proceso de secado.

* El otro aporte valiosísimo de estos trabajos radica en la revaloración de este fruto ancestral por sus propiedades organolépticas y sus compuestos bioactivos, incidiendo con la presencia de fenoles y ácidos y que en nuestro caso es el ascórbico.

- ❖ **Aporte.-** Como un análisis estadístico multivariable nos permite identificar como el contenido fenólico y el contenido de ácido ascórbico son afectados por el tiempo de la cosecha de este fruto.

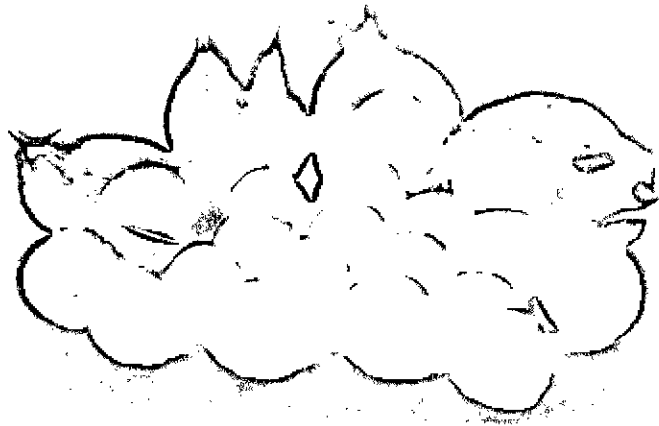
2.2 BASES TEÓRICO CIENTÍFICAS

2.2.1 El yawarchunka

El yawarchunka (*Physalis Peruviana L.*), es un fruto silvestre oriundo del Perú (figura 2.1), que pertenece a la familia de las solanáceas y al género *Physalis*. Cuenta con más de ochenta variedades que se encuentran en estado silvestre y se caracterizan porque sus frutos están encerrados dentro de un cáliz o capacho [26]. Fue consumido en el imperio incaico y cultivado en los jardines reales de la ciudadela de Machu Picchu, siendo el valle sagrado de los incas (figura 2.2) donde se inicia su producción, por ser un excelente antioxidante y energético natural.

Según Fisher [15], el yawarchunka se adapta fácilmente a una amplia gama de condiciones agroecológicas. En Perú se encuentra en la Costa, Sierra y Selva es decir desde nivel del mar hasta las altas cumbres, pero los mejores frutos se logran entre 1800 y 2800 msnm, bajo una temperatura promedio que oscila entre 13 y 25 °C. Además requiere de una humedad relativa promedio de 70% a 80%. Requiere buena iluminación de suelos bien drenados con un pH entre 5,5 y 7,0 y ricos en materia orgánica.

FIGURA 2.1
EL YAWARCHUNKA



Fuente: El comercio

El yawarchunka es una fruta que fue conocida por los incas y su origen se atribuye a los valles bajos andinos de Perú y Chile. Pertenece a la familia de las Solanáceas y al género *Physalis*. La fruta es redonda y ovoide, del tamaño de una uva grande, con piel liza, cetácea, brillante y de color amarillo dorado-naranja o verde según la variedad [21].

FIGURA 2.2
VALLE SAGRADO DE LOS INCAS



Fuente: Conociendo Perú

El yawarchunca es originario del Perú y existen diversas referencias históricas que indican que fue domesticado, cultivado y muy apreciado por los antiguos peruanos. Este posee diferentes nombres comunes los cuales dependen de la región tales como: capulí, bolsa de amor, cereza del Perú, tomatillo silvestre, uchuva, etc., en el aimara se conoce como uchupaocuchuva. Los españoles al llegar a estas tierras y destruir al Imperio Incaico le bautizan a este fruto silvestre como "aguaymanto", nominación despectiva puesto que crecía como mala hierba. La valoración de este fruto incaico se ha iniciado al ser estudiado y descubrir su gran poder proteico, siendo Colombia el primer productor mundial [21].

2.2.2 Composición nutricional

El fruto del yawarchunka (*Physalis Peruviana L.*), contiene valores destacables de nutrientes como: vitamina A, fibras, potasio, fosforo, hierro y zinc. Después del agua, los carbohidratos son los compuestos presentes en mayor proporción en la pulpa, vale destacar también los azúcares, las pectinas y almidones. También se encuentran varios ácidos que le dan el carácter ácido y contribuyen a sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales [5]. A continuación (tabla 2.1) se muestra la composición nutricional del yawarchunka.

TABLA 2.1
COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE *PHYSALIS PERUVIANA L.*
POR 100 g DE PRODUCTO

PARAMETROS NURICIONALES	RANGO
Humedad	79,8 - 85,5%
Proteínas	0,3 - 1,5 g
Grasa	0,15 - 0,5 g
Carbohidratos	11,0 - 19,6 g
Fibras	0,4 - 4,9 g
Cenizas	0,7 - 1,0 g
Carotenos	16 mg
Tiamina	0,1 - 0,18 mg
Riboflavina	0,03 - 0,18 mg
Niacina	0,8 - 1,7 mg
Vitamina C	20 - 43 mg
Potasio	210 - 467 mg
Magnesio	7 - 19 mg
Calcio	2 - 28 mg
Fosforo	27 - 55,3 mg
Hierro	0,3 - ,2 mg
Zinc	0,28 - 0.40 mg

Fuente: Aparcana y Villareal (2014)

2.2.3 Composición fisicoquímica

Numerosas investigaciones reportan la caracterización fisicoquímica del yawarchunka (tabla 2.2). Las cuales coinciden en valores aproximados para parámetros como sólidos solubles como grados Brix, con contenidos que van entre 12,5 y 14,3; el porcentaje de acides expresado como % de ácido cítrico oscila entre 2 y 2,4. En los frutos maduro el p y los grados Brix decrecen, lo que lleva a un aumento de la acides de un 2,0 a 2,1 % [5]

TABLA 2.2
REPORTE DE LA COMPOSICIÓN FISICOQUÍMICA DE PHYSALIS
PERUVIANA L: POR 100G DE FRUTO

Parámetro fisicoquímico	(Mendoza Ch,Rodriguez de S,& Millan,2012)	(Martin A, Cortez R,& Montoya C,2010)	(Márquez C, Trillos G Cartagena V & Cortes T, 2009)	(Restrepo Duque, cortes R,& Márquez C;2009)
Actividad de agua	0,998	0,998
Acidez (%)	2	2,05	2,4	2,1
°Brix	13	14,3	12,5	13,8
Densidad(Kg/m ³)	1,1031	1,038
pH	3,72	3,39	3,56	3,39

Fuente: Aparcana y Villareal (2014)

2.2.4. Propiedades medicinales

Se ha descrito que los extractos de los frutos del género *Physalis* poseen potentes propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y citotóxicas. Sin embargo, en la región noreste de China, las bayas de aguaymanto son cultivadas en gran parte por algunos granjeros, y en lugar de ser utilizados como medicina herbaria, las bayas se venden principalmente como frutas o materias primas deliciosas para producir el jugo, los atascos y el vino. Esta planta se cultiva en Sudamérica, en el Sudeste asiático y también se ha cultivado en los Estados Unidos, especialmente en la parte sur porque han demostrado proporcionar importantes beneficios para la salud debido a su alto contenido de antioxidantes, vitaminas, minerales y fibras. Aunque se han reportado los efectos inmunológicos de las bayas de aguaymanto, pocos informes se centran en los agentes bioactivos o nutritivos de estas bayas, así como otras posibles funciones bioactivas o nutricionales.

Con el fin de determinar los componentes antioxidantes de esta deliciosa fruta, se utilizó el fraccionamiento guiado por bioactividad del aguaymanto [24].

- **Propiedades antioxidantes**

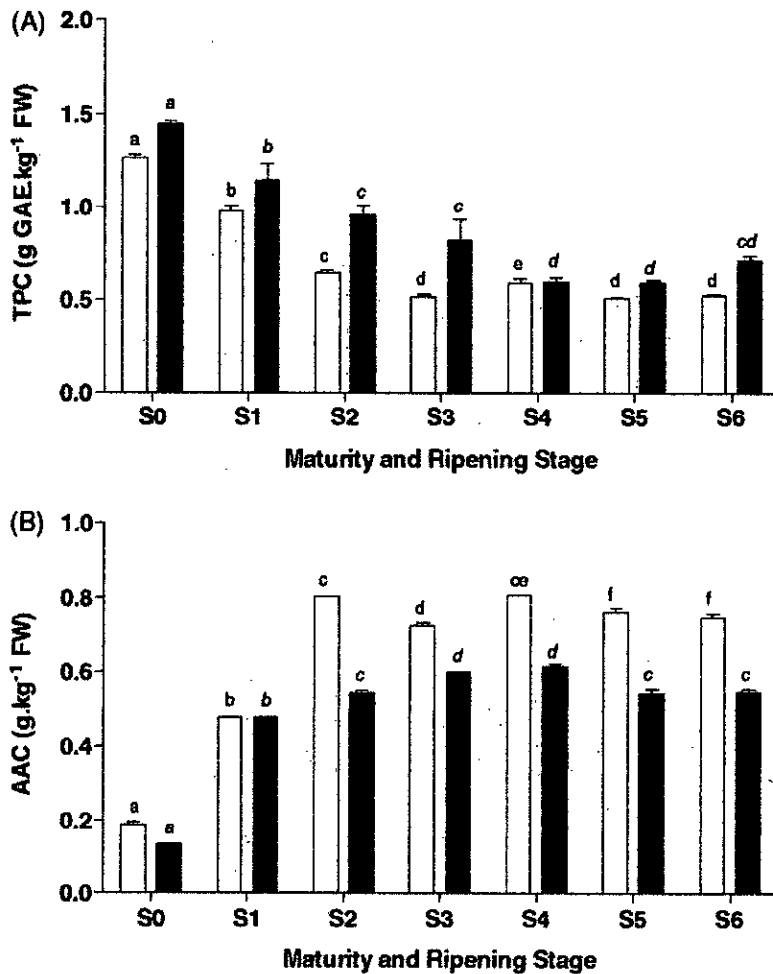
Los beneficios para la salud se han atribuido a compuestos fenólicos y ácido ascórbico debido a su *in vitro* e *in vivo* libre en las actividades de barrido radical en los sistemas biológicos. Así que allí es de gran interés identificar cultivares con niveles mejorados de estos compuestos y

determinar las condiciones apropiadas para cultivo y cosecha (estado de madurez y medio ambiente) obtener propiedades funcionales incrementadas en los alimentos [7].

La figura (2.3), muestra los parámetros nutricionales del aguaymanto en diferentes niveles de maduración para los dos únicos cultivares comerciales de frutas (EC102 y EC120). Estos dos cultivares pertenecen al ecotipo Colombia y, sobre la base de estudios genéticos previos, pueden representar a toda la población (datos no presentados). Por lo tanto, se evaluó el efecto del estado de maduración sobre la calidad nutricional de los frutos mediante la comparación de siete estados de maduración y dos cultivares.

La disminución en los compuestos fenólicos sugiere que se unen progresivamente a las paredes celulares, que es un mecanismo importante por el cual las plantas se defienden contra patógenos y fortalecen las paredes celulares. La disminución de los compuestos fenólicos también podría estar relacionada con la reducción del metabolismo primario en el fruto maduro, dando como resultado una falta de sustratos necesarios para la biosíntesis de dichos compuestos. Curiosamente, se ha descrito un aumento en los compuestos fenólicos durante la maduración de la grosella espinosa del cabo. Este resultado contrastante puede atribuirse a las diferencias en los cultivares, el manejo agronómico y / o las condiciones ambientales (por ejemplo, el cultivo en un invernadero, lo cual no es una práctica común [7].

FIGURA 2.3
VARIACIÓN DEL TPC Y AAC DE DOS ESPECIES COMERCIALES DE
AGUAYMANTO



Fuente: Bravo et al. (2014)

En la figura anterior se trabajó con dos especies comerciales de diferentes cosechas y se pudo observar que la tendencia en la disminución de TPC (contenido fenólico total) y el aumento del AAC (Contenido de ácido ascórbico) tiene también la misma tendencia.

Los datos demostraron que las propiedades TPC, AAC y antioxidantes del aguaymanto fueron fuertemente afectados por el tipo de cultivo, el tiempo de cosecha y el estado de madurez. En algunos casos, hubo interacciones significativas entre el cultivar y el tiempo de cosecha, así como entre el estado de madurez y el cultivar. Los parámetros nutricionales más altos del aguaymanto se encontraron en el estado inmaduro de los frutos, con la excepción del β -caroteno, que estaba altamente concentrado en la fruta naranja. En consecuencia, la cosecha debe ser cuidadosamente programada para obtener la mayor proporción de compuestos bioactivos de acuerdo con el cultivar específico y el ambiente donde se cultiva. Además, los resultados sugieren que tres genotipos deben ser evaluados

A través de ubicaciones y diferentes tiempos de cosecha (ambientes) para ser recomendados como germoplasma paterno para mejorar el valor nutracéutico de los frutos [7].

- **Supresor de colesterol alto**

El colesterol puede ser bueno o malo, dependiendo de su concentración, circulación, acumulación y deposición anormal dentro del cuerpo. Por un lado, el colesterol es esencial ya que tiene cuatro funciones principales en toda la vida animal. En primer lugar, el colesterol es un compuesto importante en las membranas celulares, ya que puede regular la membrana en un rango de temperaturas fisiológicas. En segundo lugar, el colesterol es un precursor para la síntesis de ácidos biliares, que son

emulsionantes de grasas dietéticas y vitaminas grasas para la digestión y la absorción en el intestino delgado. En tercer lugar, es un sustrato para la síntesis de todas las hormonas esteroideas, incluyendo hormonas sexuales, glucocorticoides y mineralocorticoides. En cuarto lugar, la vitamina D se deriva de un derivado del colesterol, 7-deshidrocolesterol. Por otro lado, el colesterol es uno de los "culpables" que se ha utilizado una indicación de la salud general del corazón. Estudios han demostrado una fuerte asociación entre la concentración de colesterol en la sangre y el riesgo de cardiopatía coronaria. También se observa un fuerte vínculo entre una dieta rica en colesterol y la prevalencia de CHD (enfermedades de riesgo coronario). Los resultados del experimento in vivo indican que la administración de jugo de aguaymanto tiene una profunda influencia en el metabolismo de lípidos en ratas alimentadas con un HCD. El jugo de aguaymanto afecta positivamente el perfil de sangre de ratas alimentadas con un HCD. La influencia positiva en los lípidos sanguíneos fue alta en los grupos de ratas alimentadas con jugo de aguaymanto, que posee un alto potencial antioxidante. Los resultados sugieren que el consumo de jugo de aguaymanto tiene importantes actividades hipocolesterolémicas en ratas alimentadas con HCD. Además, el suplemento de este fruto parece proteger el hígado en respuesta al estrés oxidativo (probablemente a través de la elevación de los niveles de enzimas antioxidantes), así como aliviar la magnitud del desarrollo del hígado graso en respuesta a HCD. Por lo tanto, se podría sugerir que el uso de

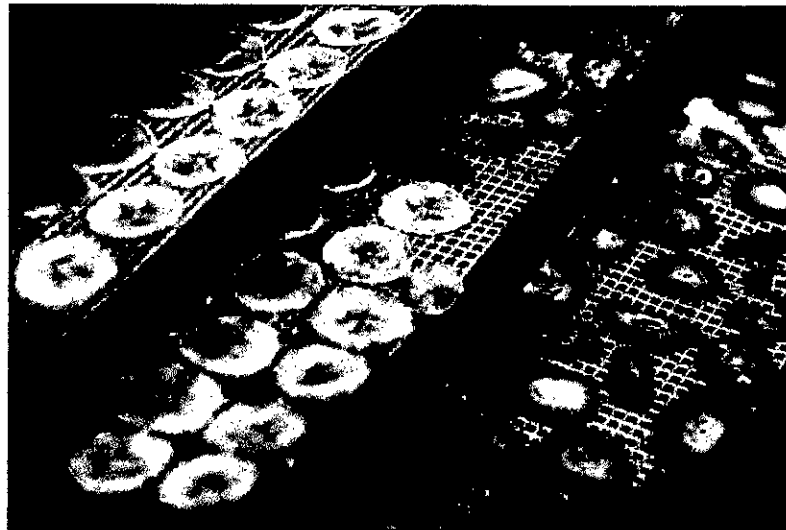
jugo de aguaymanto con alto potencial antioxidante por los pacientes que sufren de CHD evitaría el desarrollo de estas enfermedades [13].

2.2.5 Secado de alimentos

El secado de alimentos (figura 2.4) es el método más antiguo de conservación de los productos perecederos. La utilización del sol para reducir el contenido de agua de un producto, es el procedimiento más ancestral y menos costoso de conservación. Diversos autores indican que en el paleolítico, hace 400.000 años, se secaban al sol alimentos, carnes y pescados especialmente. Hoy todavía se utiliza en la deshidratación de frutas: higos, uvas, melocotones, etc. [8].

FIGURA 2.4

SECADO DE ALIMENTOS



Fuente: Gastronomía solar. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana (2013)

En la actualidad existen numerosos métodos o procesos para secar alimentos y estos pueden ser evaluados desde el punto de vista de

eficiencia energética, tiempo de secado, calidad del producto terminado, entre otros, dependiendo de los requerimientos del mercado. El equilibrio entre estos factores es requerido para alcanzar el objetivo en los procedimientos de fabricación al tiempo que garantiza alimentos con los estándares de calidad que pide el consumidor final [25].

Con la deshidratación de un producto se consigue un incremento en las posibilidades de conservación y una gran reducción de peso, hasta una quinta parte, cuando se trata de raíces y tubérculos [8] y hasta quince veces menor en vegetales de hoja. Estos son los factores más importantes que aconsejan el uso de este proceso, puesto que además de conseguir la conservación del alimento asegura una reducción sustancial de los costos de almacenamiento y/o transporte.

La eliminación del agua de un alimento presenta dos problemas importantes: por una parte, el riesgo de alteración de la calidad nutricional y sobre todo organoléptica del producto tratado y por otra, un consumo notable de energía. La falta de selectividad de la eliminación de agua puede producir pérdidas de aromas, más volátiles que el agua, sobre todo si se realiza al vacío [31].

2.2.6 Secado

Se conceptúa como aquel proceso de remoción térmica de sustancias volátiles (humedad) hasta obtener un producto seco. Es una operación unitaria en la que se da el transporte simultáneo de calor y masa. La transferencia de energía (principalmente como energía calorífica) desde el

medio circundante a fin evaporar la humedad de la superficie y la transferencia de la humedad interna hacia la superficie del sólido y su evaporación posterior (figura 2.3) [30].

La remoción de agua en forma de vapor desde la superficie del sólido depende de las condiciones externas de temperatura, flujo y humedad del aire, área de la superficie del material expuesto y presión mientras que el movimiento del agua a través del sólido de su composición física, la temperatura y su porcentaje de humedad. La transferencia de energía puede ocurrir por convección, conducción o radiación, o en algunos casos por una combinación de ellos [30].

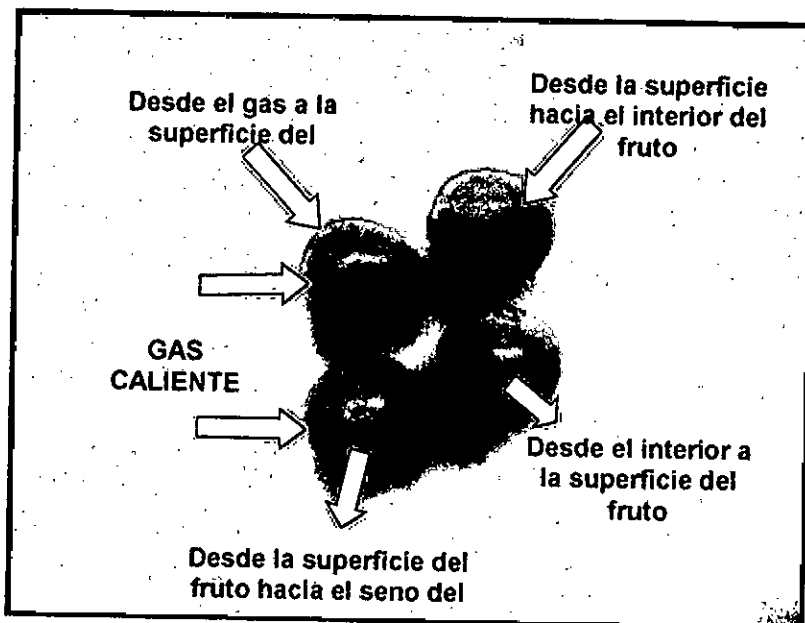
Breve referencia de cada caso (figura 2.5):

- **Convección:** El calor se transfiere al sólido que se está secando mediante una corriente de aire caliente (u otro fluido) que además de transmitir el calor necesario para la evaporación del agua es también el agente transportador del vapor de agua que se elimina del sólido [14].
- **Conducción:** El calor de evaporación se proporciona a través de superficies calentadas (en reposo o en movimiento) colocadas directamente con el material a secar. El calentamiento de estas superficies se realiza normalmente mediante vapor. El agua evaporada se elimina mediante una operación de vacío o través de una corriente de gas cuya función principal es la de eliminar agua [14].

- **Radiación:** Es aquella transmisión de energía a través del espacio por medio de ondas electromagnéticas. Se basa en la transferencia de energía radiante para evaporar la humedad del producto. La energía es absorbida selectivamente por las moléculas de agua, por ende mientras el producto se seca se requiere menos energía. Incluye varias fuentes de radiación electromagnética con longitudes de onda desde el espectro solar hasta microondas (0,2m-0,2mm). Dentro de esta categoría se encuentra el infrarrojo [30].

FIGURA 2.5

MECANISMO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR



Fuente: Elaboración propia

2.2.7 Principio del secado

El mecanismo del secado, al ser controlado por la transferencia de calor y por la transferencia de materia, consiste en el transporte de materia desde

el interior del sólido a su superficie, la vaporización del líquido en o cerca de la superficie, y el transporte del vapor hacia el seno del gas. Simultáneamente se transfiere calor desde el seno del gas hacia la fase sólida, en donde todo o parte de éste da lugar a la vaporización y el remanente se acumula como calor sensible [3].

Los fenómenos de transporte que ocurren en el exterior del sólido son:

- Transferencia de calor desde el seno del gas a la interface.
- Transferencia de materia desde la interface al seno del gas.

Los fenómenos de transporte que ocurren en el interior del sólido son:

- Transferencia de calor desde la interface hacia el interior del sólido.
- Transferencia de materia desde el interior del sólido hacia la superficie, que puede realizarse por capilaridad o por difusión.

La característica principal en la operación de secado es que los fenómenos de transporte en la fase gas ocurren en condiciones estacionarias, mientras que en la fase sólida ocurren en condiciones no estacionarias [3].

En cuanto a los mecanismos de transferencia de materia en el interior del sólido, la difusión es el mecanismo controlante en materiales como jabones, gelatina, goma, lana y en la última etapa del secado de almidones, papel, arcillas, textiles, etc. ; mientras que la capilaridad es el mecanismo controlante en materiales como arena, pigmentos para pinturas, minerales (sólidos granulares), etc. [3].

El término humedad se usa de manera genérica e incluye a todo líquido volátil que es eliminado en la operación de secado. Generalmente la humedad presente en los sólidos es el agua, mientras que el gas que arrastra el vapor formado es el aire [3].

En la mayoría de las aplicaciones industriales del secado no es necesario ni resulta económicamente factible, eliminar todo vestigio de humedad; el sólido seco generalmente contiene una cierta cantidad de humedad, cuyo contenido suele estar condicionado a la calidad del producto y a factores económicos [3].

Así por ejemplo: Sal 0.5 %; carbón 4.0 %; almidón (maíz) 9,0 %, Plomo (arseniato) 4.0 %; alimentos 5.0 %

Son múltiples las razones para efectuar el secado de cierto producto [3]:

- En muchos casos, el objeto es extraer un líquido de un sólido, ya sea para facilitar el manejo de éste en otra operación o por ser inconveniente la humedad en alguna operación subsecuente de elaboración.
- Otra de las razones puede ser que el producto final debe estar seco para que pueda ser utilizado, como sucede con los pigmentos, el rayón, el azúcar etc.
- Otras veces es necesario el secado para eliminar costos de transporte, para asegurar la conservación de un producto durante su almacenamiento o transporte, o para aumentar la capacidad de otros equipos en un proceso de fabricación.

En cuanto al diseño del equipo de secado, los problemas básicos que deben resolverse consisten en [3]:

- Proporcionar un medio eficiente de suministro de energía al sólido húmedo.
- Proporcionar un medio eficiente para remover el vapor producido en la operación de secado.
- Como recolectar eficientemente el sólido seco.

Cálculo de la difusividad térmica aparente

Se realizó de la curva de penetración de calor, de acuerdo con Olson y Jackson (1942), utilizando la ecuación propuesta de estos autores para geometrías paralelepípedos [1].

$$\alpha = \frac{0,933}{\left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2}\right) f}$$

Siendo a, b y c las tres semi aristas del paralelepípedo y f el factor de penetración del calor obtenido calculando la inversa de la pendiente negativa de la curva que se consigue al representar el logaritmo decimal de la diferencia entre la temperatura del recinto y la del producto contra el tiempo de tratamiento [1].

Contenido de humedad, en base húmeda

Es la humedad que contiene un sólido, expresada como la relación del peso de la humedad en el sólido húmedo [3].

$$x = \text{Kg de humedad} / \text{Kg sólido húmedo}$$

$$x = \text{Kg de humedad} / (\text{Kg sólido seco} + \text{Kg humedad})$$

$$\% \text{ BH} = 100 x$$

Contenido de humedad, en base seca

Es la humedad que contiene un sólido, expresada como la relación entre la masa de la humedad y la del sólido seco [3].

$$X = \text{Kg de humedad} / \text{Kg sólido seco}$$

$$\% \text{ BS} = 100 X \quad ; \quad X = x / (1 - x) \quad ; \quad x = X / (1 + X)$$

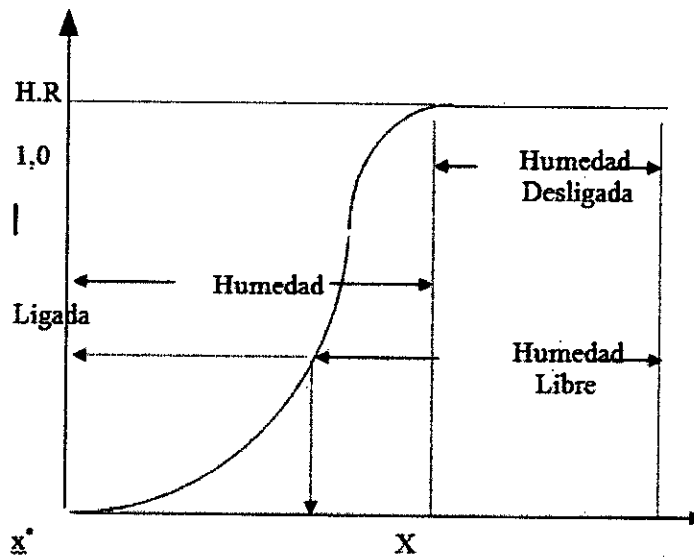
Humedad de equilibrio: X*

Es el límite al cual puede llevarse el contenido de humedad de un sólido, cuando éste se pone en contacto con un gas por un tiempo suficiente y en condiciones determinadas. El comportamiento de un sólido respecto al secado es función de la naturaleza de la temperatura y la humedad relativa) [3].

Cuando un sólido húmedo se pone en contacto con una corriente de un gas a temperatura y humedad determinadas y constantes, utilizándose un gran exceso del gas para que sus condiciones permanezcan invariables. Después de haber expuesto el sólido por un tiempo suficiente, éste podrá perder o ganar humedad hasta alcanzar un contenido de humedad definido. A este valor se le conoce como contenido de humedad de equilibrio del material bajo las condiciones especificadas de humedad y temperatura del gas [3].

FIGURA 2.6

DIAGRAMA DE LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO



Fuente: Elaboración Propia

En este momento se han alcanzado las condiciones de equilibrio, ocurriendo que la presión de vapor que ejerce la humedad del sólido es igual a la presión parcial del vapor que acompaña al gas (presión parcial de equilibrio).

En la figura 2.6 se muestra una curva de humedad de equilibrio, en la cual la presión parcial de equilibrio se ha dividido entre la presión de vapor del componente puro, para representar la humedad relativa del gas versus el contenido de humedad del sólido en base seca. Si un sólido ingresa con una humedad X y se emplea un gas con una humedad relativa M , éste solo podrá secarse hasta alcanzar la humedad de equilibrio (X^*), no se puede llegar a una humedad menor [28].

- **Humedad libre**

Se define como la cantidad de humedad que puede perder un sólido después de un contacto suficientemente prolongado con un gas a condiciones constantes de humedad relativa y temperatura [3].

La humedad libre viene dada por la diferencia entre el contenido de humedad del sólido y el contenido de humedad de equilibrio. Depende tanto de la humedad del sólido como de la humedad relativa del gas, de la temperatura y de la naturaleza del sólido [3].

- **Humedad ligada o límite**

Es la humedad del sólido que está en contacto con el gas, que ejerce una presión parcial menor que la presión de vapor como líquido puro a la misma temperatura ($p < P^o$) [3].

Si la humedad es el agua, la humedad ligada es el agua combinada con el sólido, que puede estar retenida en pequeños capilares o en solución con las paredes celulares o también ligada por un fenómeno de adsorción física o química sobre la superficie del sólido [3].

- **Humedad desligada no límite**

Es la humedad del sólido que está en contacto con el gas, que ejerce una presión parcial igual a la presión de vapor como líquido puro a la misma temperatura ($p = P^o$). Si la humedad es el agua, la humedad desligada sería el agua sin combinar, presente principalmente en los espacios vacíos del sólido [3].

En cualquier proceso de secado, suponiendo que hay un adecuado suministro de calor, la temperatura y la velocidad a la cual ocurre la vaporización de la humedad dependen de la concentración de ésta en el gas de arrastre. En la mayoría de los casos la humedad a evaporar es el agua mientras que el gas de arrastre es el aire. Por tanto el diagrama conocido como Diagrama Psicométrico o Carta de Humedad, donde se representan en forma gráfica las diversas propiedades para el sistema aire - vapor de agua a la presión atmosférica, es de particular importancia para el secado [4].

Los parámetros de mayor importancia para el sistema aire- vapor de agua, que en su mayoría se representan en el diagrama, son los siguientes:

- **Humedad absoluta (Y)**

Es el contenido de humedad de una mezcla aire - vapor de agua, expresado como la relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco.

Si se asume el comportamiento de gas ideal [4]:

$$y_{\text{agua}} = p_{\text{agua}} / P_T \quad y_{\text{aire}} = p_{\text{aire}} / P_T = (P_T - p_{\text{agua}}) / P_T$$

Tomando como base 1 mol de mezcla:

$$\eta_{\text{agua}} = p_{\text{agua}} / P_T \quad ; \quad m_{\text{agua}} = M_{\text{agua}} \cdot (p_{\text{agua}} / P_T) = 18,02 (p_{\text{agua}} / P_T)$$

$$\eta_{\text{aire}} = (P_T - p_{\text{agua}}) / P_T$$

$$m_{\text{aire}} = M_{\text{aire}} \cdot (P_T - p_{\text{agua}}) / P_T = 28,97 (P_T - p_{\text{agua}}) / P_T$$

$$Y = 0,622 p_{\text{agua}} / (P_T - p_{\text{agua}}) \dots\dots\dots(2.1)$$

- **Humedad absoluta de saturación (Y_s)**

Es el contenido de humedad de una mezcla aire - vapor de agua que a una determinada temperatura ejerce una presión parcial igual a la presión de vapor del agua como líquido puro, encontrándose el aire saturado, y expresado como la relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco [4].

$$Y = 0,622 P^{\circ}_{\text{agua}} / (P_T - P^{\circ}_{\text{agua}}) \dots\dots\dots(2.2)$$

• **Humedad relativa (HR):**

Relación entre la presión parcial que ejerce el vapor de agua en la mezcla aire - vapor de agua y la presión de vapor del agua como líquido puro a la misma temperatura [1].

$$HR = p_{\text{agua}} / P^{\circ}_{\text{agua}} \dots\dots\dots(2.3)$$

• **Temperatura de bulbo seco (t_G):**

Es la lectura obtenida mediante un termómetro introducido en la mezcla aire - vapor de agua [4].

2.2.8 Actividad de agua

La actividad de agua (a_w) es la cuantificación de la cantidad de agua de un alimento, que está o no disponible para las interacciones de hidratación, el crecimiento microbiano y las reacciones químicas y enzimáticas [26].

Esta "disponibilidad" varía de un producto a otro según su composición; algunas estructuras retienen más agua que otras, variando incluso para

un mismo producto. Una fruta madura no se comporta de igual manera que una fruta verde [26].

Vanaclocha [42] y Dong Chen et al. [10] definen la actividad de agua como una relación de presión de vapor del sistema más la presión de vapor de agua pura a la misma temperatura. La forma de expresar esta "disponibilidad", es decir el "grado de libertad" del agua de un producto, es la relación entre la presión parcial de agua en el alimento (p) y la presión de vapor de agua pura (p^0) a la misma temperatura.

Se expresa esta relación mediante la ecuación 2.5, en la cual se define la actividad de agua en el producto y su relación con la humedad relativa de equilibrio (%HRE) del medio [42].

$$\frac{a}{\omega} = \frac{P}{P^0} = \frac{\%HR}{100} \dots\dots\dots(2.5)$$

El máximo valor de a_w es 1,0. Cuando se disuelven otras sustancias en agua pura, el valor de la actividad del agua disminuye, o cuando a un alimento se le retira parte del agua su actividad del agua también disminuye. Si esta disminución es en un porcentaje elevado, el alimento adquiere un valor de actividad de agua (a_w) relativamente bajo y se le podrá denominar alimento de humedad intermedia [42].

La actividad del agua de los alimentos influye en la multiplicación y actividad metabólica de los microorganismos (MO), como también en su resistencia y supervivencia. En el intervalo (0.90 - 0.60) de los alimentos de humedad intermedia, algunas bacterias, levaduras y hongos pueden

multiplicarse. La mayoría de estos MO causa daños y algunos producen toxinas. Una inhibición de los MO en los alimentos húmedos no depende solamente de la actividad del agua, sino también son importantes el pH (acidez), el potencial de oxi-reducción, la temperatura, los conservantes y la flora competitiva [26].

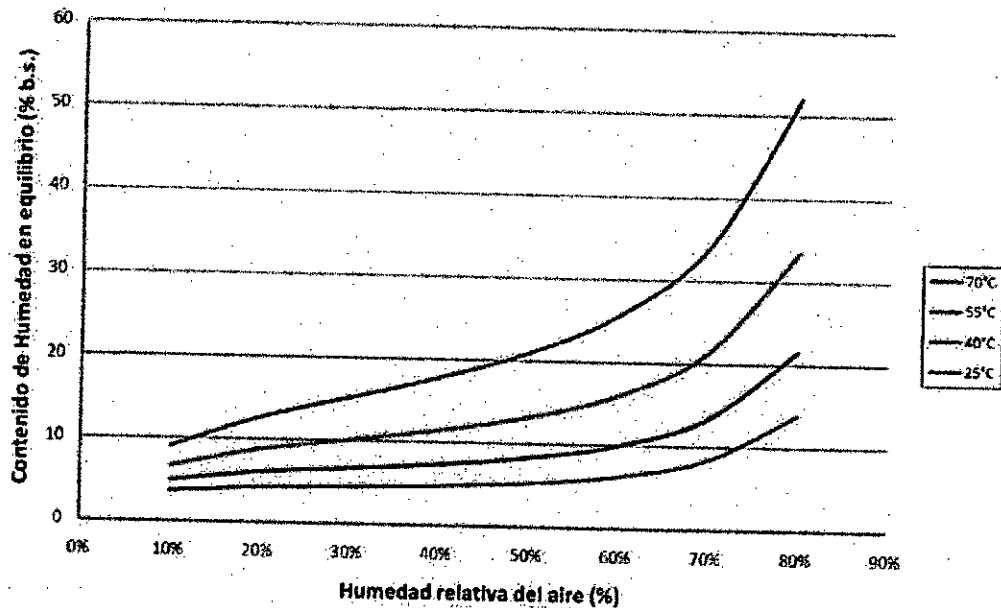
Todo producto alimenticio contiene simultáneamente varias formas de agua: agua libre, agua débilmente ligada y agua fuertemente ligada, estas últimas están retenidas a las moléculas de materia seca por fuerzas relativamente importantes [26].

Durante el proceso de deshidratación, inicialmente se eliminan las moléculas de agua menos ligadas, la fracción que se extrae en último lugar corresponde a las moléculas de agua de estructura, fuertemente ligadas por uniones electrostáticas a macromoléculas orgánicas del extracto seco. El agua libre se comporta como el agua pura, requiere por lo tanto para evaporarse relativamente poca energía (del orden de 2.400 kJ. kg⁻¹ de agua libre); por el contrario la evaporación del agua ligada es más difícil y requiere más energía. Por lo tanto, la cantidad de energía necesaria para evaporar la misma cantidad de agua aumenta durante el proceso de deshidratación el último gramo de agua evaporada necesita más energía que el primero [42].

La grafica que relaciona el contenido de humedad y la actividad de agua se conoce como isoterma de equilibrio. En la Figura 2.7 se muestran las isotermas tipos para almidón de yuca obtenidas [29].

FIGURA 2.7

ISOTERMA DE EQUILIBRIO DE ALMIDÓN DE YUCA



Fuente: Moreno (2008)

A temperatura constante y bajo condiciones de equilibrio, existe una única relación entre el contenido de humedad y la actividad de agua (o la humedad relativa de equilibrio) de un alimento, dependiendo de que el equilibrio se alcance por adsorción o por desorción. La actividad de agua, disminuye al mismo tiempo que lo hace el contenido de agua (w), la curva $w = f(a_w)$ es generalmente sigmoideal, como resultado de varios mecanismos básicos de interacción del agua ligada [42].

En muchos procesos o durante el almacenamiento de los alimentos, el equilibrio no se alcanza, y el concepto de actividad de agua debe usarse con cautela, debido a que solo es válido en condiciones de equilibrio [42].

Aunque la actividad de agua describe el equilibrio en lugar de una propiedad cinética de un sistema o de un producto alimenticio, sin

embargo, se utiliza para evaluar el alcance y el potencial de difusión de la humedad y el deshidratado. Este es uno de los parámetros de frontera clave en los modelos matemáticos que representan el comportamiento del deshidratado [10].

Mecanismos de eliminación de agua

La eliminación del agua de los tejidos vegetales se puede conseguir por vía mecánica o por vía térmica [26].

Eliminación del agua por vía mecánica:

La eliminación de agua por vía mecánica solo permite la separación de una parte del agua libre de los productos tratados. Ningún procedimiento mecánico permite reducir la humedad de un producto más del 60%. Precisamente el hecho de que solo se elimine una fracción del agua no ligada, implica un menor consumo de energía en este tipo de procesos. Así mismo, con los procedimientos mecánicos no se elimina agua pura, sino que se trata de una dispersión o de una solución más o menos rica en extracto seco [42].

Eliminación del agua por vía térmica:

En este caso se trata esencialmente de una operación de transferencia de masa, que requiere una “activación” previa del agua por una cierta cantidad de energía aportada por una transferencia de calor [42].

Dentro de las técnicas de eliminación de agua por vía seca se tienen los métodos por ebullición y por arrastre. En el caso del método de eliminación de agua por ebullición se debe llevar el producto hasta una

temperatura suficiente para que la presión de vapor del agua del producto sea igual a la presión ambiente. En este caso el calor se aporta al producto por conducción a través de una superficie caliente, por convección a partir de vapor de agua recalentado o por el uso de radiaciones. El agua evaporada del producto rodea la superficie del mismo en forma de una atmósfera de vapor de agua pura [42].

En el método de eliminación del agua por arrastre, la energía es aportada generalmente por aire caliente, cuya presión parcial de agua es inferior a la presión de vapor de agua en el producto [26].

Entre los procedimientos descritos el de eliminación del agua por ebullición es energéticamente menos costoso, pero los métodos de ebullición y arrastre, son los únicos que permiten una eliminación completa de agua sin alterar excesivamente la calidad del producto tratado, con una excepción, la liofilización, cuyo principio se asimila a un proceso por ebullición, el cual es el más costoso en energía y el que mejor preserva la integridad del producto [42].

Descripción del proceso de secado o deshidratación

En el proceso de secado el agua del alimento es eliminada, en mayor o menor grado, y con ello se consigue una mayor conservación microbiológica, además de retardar muchas reacciones indeseables [26].

A pesar que los términos de secado y deshidratación se usan indistintamente, no debería ser así, ya que se considera que un alimento

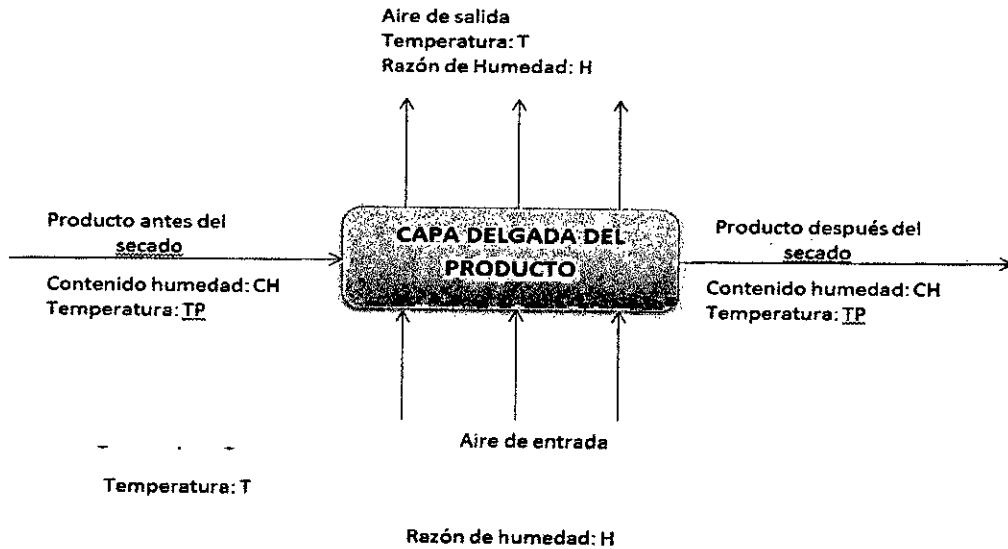
está deshidratado si no contiene más de 2,5% de agua, mientras que uno seco puede contener más de 2,5% de agua (Barbosa-Cánovas, 1996) [6]. A excepción de la liofilización, secado osmótico y secado a vacío, la eliminación del agua del alimento se consigue de forma mayoritaria mediante una corriente de aire seco, que elimina el agua de la superficie del producto hacia el seno de la corriente de aire. El proceso de secado de alimentos no sólo rebaja su contenido en agua, sino que puede afectar otras características físicas y químicas de los mismos, como son destrucción de nutrientes, reacciones enzimáticas y no enzimáticas, entre otras [26].

En el proceso de secado es importante conocer los mecanismos involucrados en el movimiento del agua en el interior y exterior del alimento. Este movimiento puede ser debido a fuerzas capilares, difusión del agua por gradientes de concentración, difusión en la superficie, difusión del vapor de agua en los poros llenos de aire, flujo debido a gradientes de presión y a la vaporización y condensación del agua [26].

El esquema básico de deshidratación en capa delgada se muestra en la figura 2.8. Durante cada intervalo de tiempo, el aire pasa a través de la capa delgada, el producto disminuye su contenido de humedad en ΔCH_y el aire aumenta su razón de humedad en ΔH debido a la remoción de la humedad. Simultáneamente, la temperatura del producto aumenta en ΔTP y la temperatura del aire disminuye en ΔT como consecuencia del enfriamiento y el calentamiento del producto [26].

FIGURA 2.8

ESQUEMA DE DESHIDRATACIÓN EN CAPA DELGADA.



Fuente: Mahecha (2011)

Los sistemas más usuales emplean la convección como mecanismo de transferencia de calor y el aire como vehículo de esta energía, por lo tanto la transferencia de calor dependerá, en este caso, de la temperatura del aire, de su humedad, de su caudal, de la superficie expuesta del alimento y de la presión [42]. El proceso de secado está normalmente dividido en tres fases: una fase inicial de precalentamiento, seguido de otra de velocidad de secado constante y una o más fases de velocidad de secado decreciente [26].

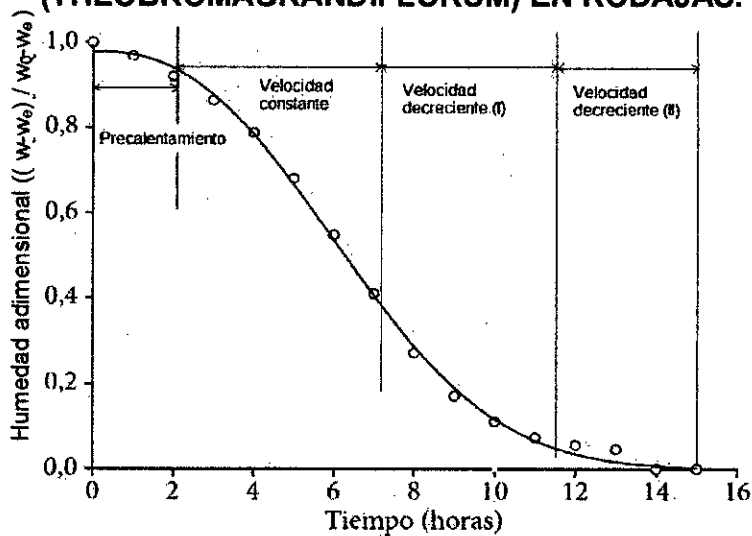
En la figura 2.8 se pueden distinguir las siguientes etapas:

i. **Etapas de pre-calentamiento:**

Esta etapa transcurre mientras el producto y el agua en él contenida se calientan ligeramente, hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo. El producto a secar al principio está frío, su presión de vapor es igualmente baja, por lo que la velocidad de transferencia de masa es muy lenta. El

gradiente de temperatura entre el aire caliente y la superficie fría del producto es elevado, por lo cual la transferencia de calor es alta. La cantidad de calor transferida a la superficie del producto es netamente superior a la cantidad de calor arrastrada por la poca agua evaporada; existe un desequilibrio.

FIGURA 2.9
CURVA DE SECADO A 50°C DE PULPA DE CUPUAÇU
(THEOBROMAGRANDIFLORUM) EN RODAJAS.



Fuente: Giraldo-Zúfiga et al., (2010)

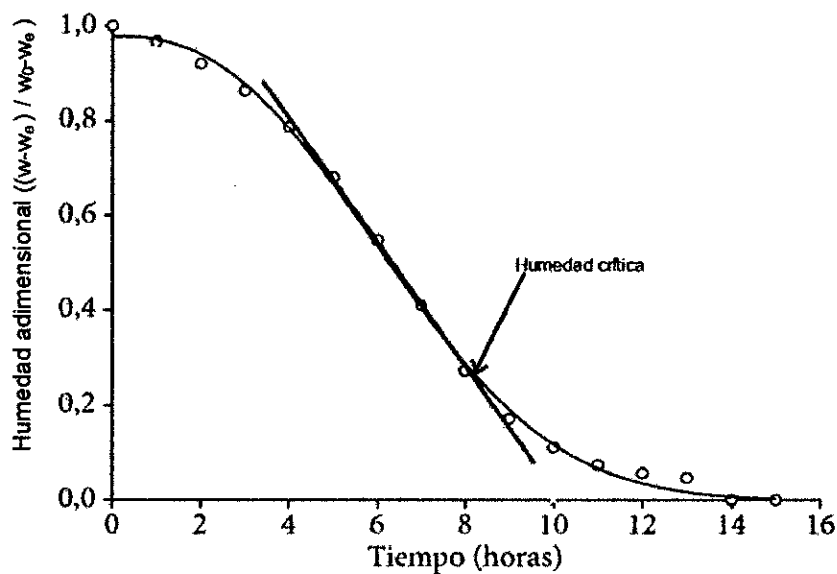
El excedente de calor se utiliza entonces en calentar la superficie del producto, lo cual produce una disminución del gradiente de temperatura, que cesará cuando se alcance el equilibrio estacionario. Este periodo es muy corto en comparación con el tiempo total de secado [42].

ii. Etapa de velocidad constante

En esta etapa de velocidad constante durante el cual se produce una reducción importante del contenido de agua, el agua de imbibición se

elimina con un flujo másico constante. La evaporación se efectúa en la superficie del producto, a temperatura constante, siendo ésta la de bulbo húmedo del aire. Durante este periodo, el flujo de calor intercambiado entre el aire y el producto se utiliza enteramente para la evaporación del agua.

FIGURA 2.10



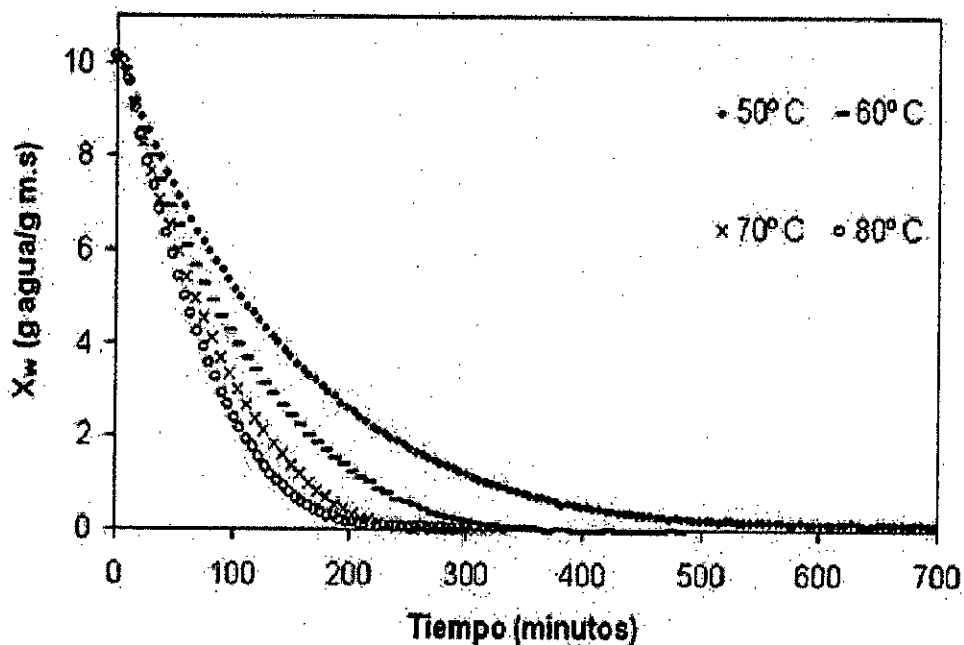
ETAPA DE VELOCIDAD DE SECADO CONSTANTE. PULPA DE CUPUAÇU (THEOBROMAGRANDEFLOSUM) EN RODAJAS A 50°C

Fuente: Giraldo-Zúñiga et al., (2010)

Este periodo continúa mientras que la superficie del producto esté alimentada por agua libre líquida desde el interior, fundamentalmente por capilaridad. En la mayoría de los casos esta etapa de velocidad de secado constante finalizará cuando el contenido medio de humedad del producto alcance el valor de la humedad crítica. Por lo tanto, en la curva

de secado este periodo se deberá ajustar a una recta (la humedad crítica coincide con el punto en que la recta ajustada se separa de la curva de secado) (Figura 2.10) [26].

FIGURA 2.11
INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA VELOCIDAD DE SECADO, CURVAS DE SECADO DE PIMIENTO ROJO A DIFERENTES TEMPERATURAS



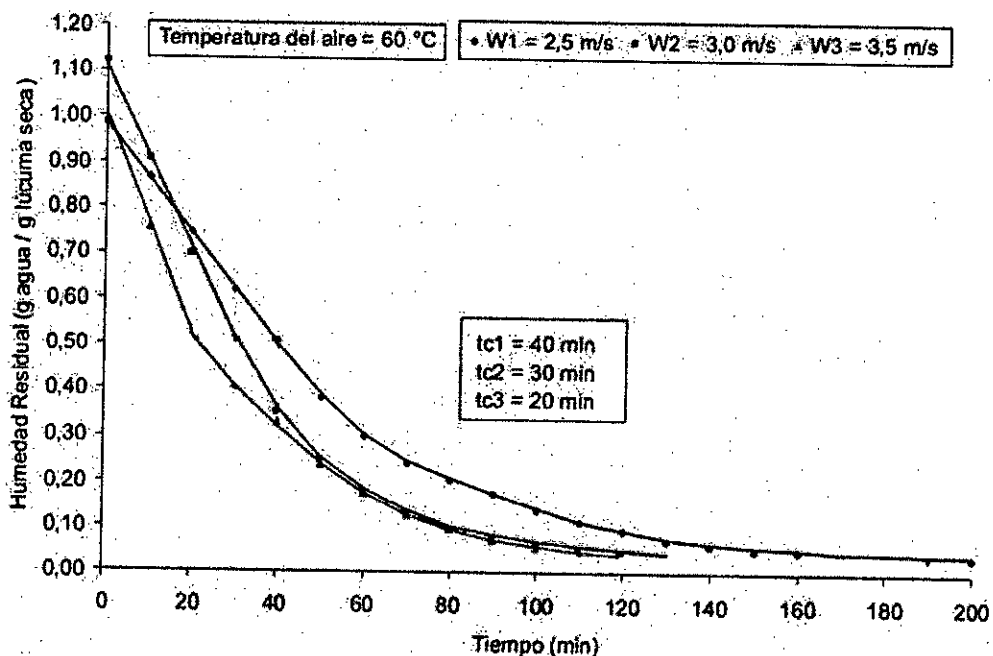
Fuente: Mahecha (2011)

La humedad crítica no es una propiedad del alimento, sino que depende del tamaño de partícula y de las condiciones del aire de secado. En el periodo de velocidad constante, el principal mecanismo de transporte de masa es el flujo capilar de agua líquida, aunque puede existir alguna difusión de líquido. El mecanismo interno de flujo de la humedad no afecta a la velocidad de secado en este periodo, es el entorno secante, el aire, el que impone la velocidad de secado, que se incrementa al hacerlo la temperatura (Figura 2.11). Lo mismo ocurre con la velocidad del aire de

secado, cuanto mayor es ésta mayor es la velocidad del secado (Figura 2.12) [42].

FIGURA 2.12

INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DEL AIRE EN LA VELOCIDAD DE SECADO, CINÉTICA DEL SECADO DE LÚCUMA



Fuente: Mahecha (2011)

2.2.9 Variables físicas que influyen en el potencial de secado

El Potencial de secado es la capacidad que tiene el aire de evaporar el agua de la masa del sólido a secar. Este potencial es referido a la cantidad de humedad que se puede retirar del producto y también a la velocidad con la cual se retira está humedad. La transferencia de masa entre el sólido y el aire que circula, estará determinada por la velocidad, temperatura y humedad del aire, el área de contacto, el espesor del sólido

o su tamaño, entre otros factores [26]. Las variables que influyen en la cinética de secado se pueden diferenciar entre variables externas y variables internas, que se mencionan a continuación:

- **Variables externas**

Estas variables no son propias del producto.

- **Flujo de aire**

Para el caso del secado directo de un material granular el aire puede circular en flujo paralelo, transversal o en lecho fluidizado, tal como se muestra en la figura 2.11. [26].

Tanto la transferencia de calor como la transferencia de masa, son incrementadas si el área de contacto entre el sólido y el gas es mayor. El secado en flujo paralelo presenta menor área de contacto y por consiguiente menor velocidad de secado, pero los consumos de potencia de ventilación son menores que en los otros dos sistemas. Por el contrario el flujo transversal o el fluidizado incrementan el área superficial y disminuyen el tiempo de secado, pero a costo de un mayor consumo de potencia de referentes al aire, e internas, referentes al sólido [29].

- **Velocidad del aire (v):**

Es la velocidad lineal de aire en circulación sobre el sólido a secar. A mayor velocidad el tiempo de secado es menor, pero el consumo de potencia de ventilación aumenta. Temperatura de bulbo seco ($T_{b,s}$): Temperatura del aire que normalmente se determina por medio de la inmersión de un termómetro al aire [30].

- **Temperatura de bulbo húmedo (T_{bh}):**

Es la temperatura indicada por un termómetro cuyo bulbo es cubierto por una mecha húmeda. Esta temperatura es muy cercana a la temperatura de bulbo húmedo termodinámica, que es la temperatura alcanzada por el aire húmedo y el agua si el aire es saturado adiabáticamente por la evaporación del agua [26].

• **Variables Internas**

Estas variables están asociadas al producto [26].

- **Contenido de humedad**

Es el contenido de humedad de un sólido o solución y se expresa como contenido de humedad en base húmeda (CH_{bh}) o como contenido de humedad en base seca (CH_{bs}). El contenido de humedad en base húmeda se describe en función del porcentaje en peso de humedad y se expresa como kg de humedad por kg de sólido húmedo, expresados en porcentaje. [38].

El contenido de humedad en base seca (CH_{bs}) se expresa como kg de humedad por kg de sólido seco expresado en porcentaje de humedad [38]. La ecuación 2.6 expresa la relación que hay entre contenido de humedad en base seca y contenido de humedad en base húmeda.

$$CH_{bs} = \left(\frac{CH_{bh}}{100 - CH_{bh}} \right) * 100 \dots\dots\dots (2.6)$$

▪ **Porosidad del sólido o del lecho**

La porosidad extra granular, se refiere a la porosidad del lecho de partículas, es decir los espacios vacíos entre gránulos y depende del tamaño de partícula y su esfericidad. Las formas esféricas se acomodan mejor dentro del lecho disminuyendo la porosidad. Por esta razón puede suponerse una mayor porosidad del lecho teniendo cilindros y no esferas. La porosidad intra granular se refiere a cada partícula individual [26].

- **Geometría del producto a deshidratar**

La geometría del producto a deshidratar tiene gran importancia, ya que para un tamaño grande de partícula se tiene mayor dificultad de la difusión de la humedad dentro de la misma y por ende menor velocidad de secado. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la geometría, el tamaño y la forma de la partícula define la esfericidad y por consiguiente la porosidad del material a secar [6].

2.2.10 Transferencia de calor

La expresión matemática de la transmisión de calor por conducción se debe a Fourier, quien demostró que la cantidad de calor por unidad de tiempo, transmitida por conducción a través de un cuerpo es proporcional a su superficie y al gradiente de temperatura e inversamente proporcional a su espesor [19]:

$$\dot{Q} = \frac{k.A.(T_1 - T_2)}{e} \quad (2.7)$$

La expresión matemática que expresa la transmisión de calor por convección la enunció Newton:

$$\dot{Q} = h \cdot A \cdot (T_s - T_f) \quad (2.8)$$

Dónde:

\dot{Q} : Flujo de calor transmitido por unidad de tiempo (W).

A: Superficie de intercambio (m^2).

T_1 y T_2 : Temperaturas ($^{\circ}C$).

e: espesor del cuerpo (m).

k: Conductividad térmica del material (W/m.K). Cualidad de los cuerpos que mide su capacidad para conducir el calor.

T_s : Temperatura del sólido ($^{\circ}C$).

T_f : Temperatura del fluido ($^{\circ}C$).

h: Factor de proporcionalidad (coeficiente de convección o de película (W/ $m^2 \cdot ^{\circ}K$). Es difícil determinar, ya que depende de las propiedades del fluido y de las condiciones de circulación de éste.

2.2.11 Microondas

El término Radiofrecuencia o RF, se aplica a la porción del espectro electromagnético en el que se pueden producir ondas electromagnéticas, una onda electromagnética propaga simultáneamente campos eléctricos y magnéticos producidos por una carga eléctrica en movimiento. El flujo saliente de energía de una fuente en forma de ondas electromagnéticas se le denomina radiación electromagnética. La Radiofrecuencia se localiza en el espectro de la radiación electromagnética menos energética, se define como aquella en que las ondas electromagnéticas tienen una frecuencia entre 3 kHz y 300 GHz [36].

Las ondas electromagnéticas son capaces de viajar a través del vacío, a diferencia de las ondas mecánicas que necesitan un medio material para poder hacerlo. Esta radiación electromagnética puede entenderse como el conjunto de ondas eléctricas y magnéticas que conjuntamente se desplazan por el espacio generado por el movimiento de cargas eléctricas que puede tener lugar en un objeto metálico conductor, como una antena. Las ondas electromagnéticas, convenientemente tratadas y moduladas (normalmente, variando de forma controlada la amplitud, fase y/o frecuencia de la onda original), pueden emplearse para la transmisión de información, dando lugar a una forma de telecomunicación [36].

Las microondas son la porción del espectro electromagnético que cubre el rango de frecuencias entre 0.3 GHz y 30 GHz, que corresponde a la longitud de onda en vacío ($\lambda = c / f$) entre 100 cm. y 1 cm, que son señales con longitudes de onda del orden de centímetros y por eso se denominan como ondas centimétricas, señales con longitudes de onda del orden de milímetros se refieren a menudo como ondas milimétricas son las que varían desde los 30GHz hasta los 300 GHz, estas señales por su comportamiento similar a las microonda aún pueden considerarse dentro de la banda de las microondas [36].

2.2.12 Secado por microondas

Las microondas son parte del espectro electromagnético y en consecuencia, se componen de campos magnéticos y eléctricos. En el calentamiento de alimentos por microondas, los campos eléctricos

interaccionan con las moléculas de agua e iones en el alimento, generando calor en forma volumétrica en el interior del mismo. La estructura de la molécula está constituida por un átomo de oxígeno, cargado negativamente y dos átomos de hidrógeno, cargados positivamente. La molécula de agua es un dipolo eléctrico que, cuando se lo somete a un campo eléctrico oscilante de elevada frecuencia, los dipolos se reorientan con cada cambio de polaridad. Así se produce la fricción dentro del alimento que hace posible que el mismo se caliente. [45].

La diferencia principal entre las microondas y la radiación infrarroja es que las microondas inducen una fricción entre las moléculas de agua, que provoca calor; en cambio, la energía infrarroja es simplemente absorbida y convertida en calor. El calor generado por las microondas no es uniforme. En el interior de los alimentos, se producen gradientes de temperatura que ocasionan la difusión del agua y provocan cambios en las propiedades de éstos que a su vez tienen efecto sobre la generación de calor. En síntesis, podemos decir:

Las ondas electromagnéticas son responsables de la generación de calor, la transferencia de humedad y de los cambios bioquímicos y transformaciones físicas que se producen en el alimento. [45]

Estos equipos constan de tres componentes principales:

- El magnetrón que genera los campos electromagnéticos productores de microondas
- Un tubo de aluminio denominado guía. En su interior, la energía se va reflejando y va siendo conducida hasta la cámara de calentamiento.
- Una cámara de calentamiento donde se dispone el alimento para ser calentado.

Las dos propiedades que determinan la interacción del alimento con las microondas son la constante dieléctrica y la pérdida dieléctrica. La constante dieléctrica representa la habilidad del material para almacenar energía electromagnética y el factor de pérdida dieléctrico efectivo tiene en cuenta la disipación de energía o la generación de calor. El aire en el interior del horno de microondas absorbe muy poca energía de las microondas, por lo tanto el alimento es calentado directamente por las ondas electromagnéticas; a excepción de los hornos microondas combinados que también trabajan con convección de aire calentado por una resistencia eléctrica. El tamaño, la forma y las propiedades de los alimentos afectan la distribución espacial de la absorción de las microondas. [45]

Algunas aplicaciones de las microondas:

Su atractivo reside en la elevada velocidad de calentamiento y en que no provoca cambios significativos en la superficie del alimento cuando se trabaja con tiempos y potencias de microondas adecuados. El tratamiento

industrial por microondas se halla restringido por sus costos y la necesidad de sintonizar el magnetrón con diferentes alimentos. La aplicación industrial más importante es la descongelación, la deshidratación y la terminación del horneado. Para productos de pequeño espesor como bizcochos, la eficacia del horneado convencional puede mejorarse sometiéndolos a un tratamiento final por microondas. Los hornos convencionales para lograr una cocción interna buena provocan cambios de color en la superficie; esto se debe a que la conductividad térmica del bizcocho va disminuyendo a medida que se va secando, entonces el tiempo para cocer las partes internas del producto son excesivamente grandes. Para solucionar esto, a la salida de los túneles de horneado se instalan unos calentadores por microondas que completan la cocción sin provocar cambios de color apreciables en la superficie. La utilización de las microondas con alimentos de elevado contenido de humedad ha tenido menos éxito. Ello se debe a la escasa profundidad de penetración alcanzada en piezas muy grandes y al efecto refrigerante que ocasiona la evaporación del agua en la superficie del alimento, que puede ocasionar la supervivencia de los microorganismos en esta zona. [45]

Ventajas y desventajas en el uso de microondas en el secado

Entre las principales ventajas se pueden citar (Mascheroni, 2006):

- Una mayor eficiencia en la difusión de calor y materia.

- Desarrollo de gradientes internos de humedad que aumentan la velocidad de secado.
- Posibilidad de trabajar a menores temperaturas superficiales.
- Mejora en la calidad de producto obtenido ,y

Entre las desventajas tenemos:

- Calentamiento no uniforme del producto.
- Costos de instalación altos.
- Eficiencia energética baja.

No obstante el secado con microondas se considera viable para alimentos que requieren tiempos de secado cortos y una producción significativa. Es decir aquellos alimentos a los cuáles debe eliminarse una baja cantidad de agua. Asimismo, se puede utilizar el secado con microondas en aquellos productos que tienen riesgo de formación de costra en su superficie. Por otra parte, el costo del secado combinado puede reducirse cuando se usa el secado por microondas junto con otro método de menor costo. [45]

2.2.13 Secado combinado

La utilización del secado por aire caliente como tratamiento térmico único, en todas sus variantes, permite procesar cualquier producto alimenticio para la obtención de un producto final estable. Sin embargo produce en los alimentos algunas transformaciones que pueden atentar con su calidad final. Entre ellas podemos mencionar: alteraciones en la forma y la textura del producto; composición y estructura no uniforme, cambios de

sabor y aroma, modificación del color, degradación de componentes nutricionales, mala capacidad de rehidratación, etc. (Mascheroni, 2006).

El objetivo del uso de métodos combinados de secado se centra en tres aspectos fundamentales:

i. Mejora de la calidad caracterizada por una o más de las siguientes propiedades:

- Mínima degradación química
- Cambios de estructura y textura poco significativos
- Mínima variación de sabor y aroma
- Obtención del color deseado
- Control preciso del contenido de humedad

ii. Protección del medio ambiente encarada a través de:

- Minimización del uso de energía en el proceso
- Reducción de las pérdidas de producto en las corrientes de efluentes

iii. Consideraciones económicas entre las que se incluyen:

- Reducción de costos
- Desarrollo de equipos simples, confiables y que requieran poca mano de obra
- Minimización de la proporción de productos fuera de especificación
- Desarrollo de procesos estables capaces de operar en forma continua Actualmente se emplean diferentes modos de secado

combinado que incluyen generalmente dos y raras veces tres de algunas de estas opciones:

- Secado conectivo con aire caliente
- Secado a presión reducida
- Deshidratación osmótica
- Calentamiento por microondas
- Calentamiento por radio frecuencia

En el presente trabajo se empleó la deshidratación osmótica como pretratamiento y luego se secó combinando microondas con convección con aire caliente. También se analizó el secado utilizando solamente microondas.[45]

2.2.14 Simulación matemática del proceso de deshidratación

El secado o deshidratación es un proceso simultáneo de transferencia de calor y de masa. El calor es necesario para evaporar la humedad, la cual es removida de la superficie del producto por medio de un agente secador externo generalmente aire [26].

Los modelos de simulación datan de 1967 y los primeros trabajos fueron hechos en Estados Unidos e Inglaterra, teniendo en cuenta las ecuaciones básicas de transferencia de masa [26].

Este proceso es determinístico, razón por la cual se puede simular matemáticamente mediante el uso de modelos adecuados que permitan predecir el comportamiento de las variables físicas relacionadas en esta operación. La simulación matemática resulta ser una herramienta muy útil

en el diseño de secadores, pues mediante ella es posible definir las condiciones óptimas de operación de una forma sencilla y económica. El primer paso en la simulación del secado, es disponer o generar un modelo matemático que permita establecer los principales parámetros que intervienen en el secado [6].

Realizar una simulación matemática para un proceso de secado trae como ventajas disminuir costos y ganar tiempo cuando se trata de diseñar sistemas de secado, comparado con la realización experimental del proceso físico [26].

2.2.15 Modelos matemáticos

Para el modelamiento matemático del proceso de deshidratación existen diferentes modelos matemáticos, algunos de ellos son modelos empíricos y otros basados en ecuaciones teóricas de transferencia de calor y de masa. Estos modelos requieren métodos numéricos avanzados para su solución. Los modelos semi-empíricos se basan en ecuaciones teóricas del secado y mediante métodos experimentales se correlacionan los parámetros de las ecuaciones para diferentes productos a secar [6].

Para el proceso de deshidratación de yawarchunka no se encuentran trabajo en los cuales se determinen los parámetros requeridos para el proceso de modelamiento.

2.3 TÉRMINOS CLAVES

- **Deshidratación**

La deshidratación es un método de estabilización de alimentos que se basa en la reducción de la actividad del agua (a_w) para ralentizar los procesos de deterioro a los que se ve sometido un alimento. Se distingue muy claramente de la concentración o evaporación porque, aunque ambas operaciones se basan en disminuir la actividad del agua, la concentración u evaporación da productos líquidos, que aun contienen cantidades del orden de hasta el 50% en agua. Los productos de la Deshidratación son sólidos con un contenido en agua inferior al 10%. Utilizamos el término genérico "Deshidratación" porque durante esta operación no solo se retira el agua que actúa como disolvente o inerte que diluye el alimento, sino que se retira agua que entra en la constitución de las estructuras y tejidos del alimento [22].

- **Conducción térmica**

La conducción es uno de los tipos de transferencia térmica que permite que el calor se transmita de un objeto caliente a uno frío. Difiere de la convección en que, en conducción, no hay transporte de materia. El calor, que es una forma de energía, corresponde a la agitación de los átomos de la materia. Involucra propagación, por contacto, de esta agitación, y por ello del calor. La posición media de los núcleos se mantiene fija. Éste es así el principal modo de transferencia de calor en sólidos [11].

- **Convección térmica**

La transferencia de calor por convección de un cuerpo comprende el movimiento de un fluido (líquido o gas) en relación con el cuerpo. La convección natural ocurre debido a diferencias de densidad en el fluido provocadas por un cuerpo a una temperatura diferente que la del fluido que intercambia calor con él. Estas diferencias de densidad provocan una acción de bombeo del fluido con relación al cuerpo [39].

- **Radiación**

La radiación es la emisión, propagación y transferencia de energía en cualquier medio en forma de ondas electromagnéticas o partículas. Una onda electromagnética es una forma de transportar energía (por ejemplo, el calor que transmite la luz del sol) [16].

2.4 NOMENCLATURA DE LA TERMINOGIA UTILIZADA

- (RW)..Ventana refractante.
- (HR).. Humedad relativa.
- (C^*)...Humedad en equilibrio.
- (DO).. Deshidratación osmótica.
- (DAB).. Difusividad del agua en una fruta.
- ($f_{b,c,h}$)...Parámetros de penetración de flujo en forma tridimensional.
- ($T_{psi h}$)..Temperatura respecto a la altura bajo cierta presión.
- (HCD)...Contenido alto de colesterol.

- (ORAC)..Capacidad de absorción de radicales de oxígeno (antioxidante).
- (DPPH)..Es un radical libre que se puede obtener directamente disolviendo el reactivo en un medio orgánico (técnica de medición
- (HDL)..Es el colesterol "bueno", porque parece disminuir el riesgo de ataque al corazón y al cerebro.
- (HDL).. Es el colesterol "malo".
- (RF).. Radio frecuencia.

III. VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES

- **Variable dependiente**

-Optimización paramétrica de secado del yawuarchunka(*Physalis Peruviana L.*) para hacer máxima la retención del ácido ascórbico.

- **Variables independientes**

- Parámetros a emplear en la construcción del secador con sistema combinado: aire caliente-microondas. Potencia (kw), frecuencia (Mhz), flujo de aire (m/s), sección de secado (m²)
- Parámetros cinéticos de operacionalización (temperatura, flujo másico, tiempo, intervalo de pulsaciones) empleando un sistema combinado para el control del secado del yawuarchunka (*Physalis Peruviana L.*)
- Curvas de superficie respuesta obtenidas a partir de la data I experimental o por predicciones de coeficientes de transferencia de masa y transferencia de calor en el secado del yawuarchunka(*Physalis Peruviana L.*)

3.2 HIPÓTESIS

3.2.1 Hipótesis General

La máxima retención del ácido ascórbico durante de secado del yawuarchunka (*Physalis Peruviana L.*), es función del incremento de la velocidad de difusión del agua, empleando la técnica de un proceso combinado: aire caliente-microondas.

3.2.2 Hipótesis específicas

- Empleando este nuevo equipo de secado de sistema combinado aire caliente-microondas para secar yawuarchunka (*Physalis Peruviana L.*), aumentara la velocidad de difusión del agua.
- El tiempo de secado del yawuarchunka (*Physalis Peruviana L.*) utilizando un sistema combinado aire caliente-microondas es menor que el tiempo empleado en el sistema tradicional.
- La función matemática que modela el secado del yawuarchunka (*Physalis Peruviana L.*) bajo los principios del sistema combinado es función de la velocidad de difusión, de la temperatura y del intervalo de pulsaciones.

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Con la finalidad de probar la hipótesis formulada en el presente trabajo, someteremos a un proceso de operacionalización de las variables, identificando a los indicadores claves en cada una de ellas a fin de encontrar las marchas sistemáticas y tecnológicas que nos permitan recoger datos experimentales para modelar el proceso funcional o evaluar la curva característica de alguna función típica.

3.3.1 Definición de las variables de la investigación

La presente investigación se caracteriza por ser longitudinal, estudiando la variable a lo largo del tiempo establecido, por ser este el determinante en la relación causa efecto.

3.3.2 Operacionalización de variables

TABLA 3.1

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE DEP	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
Y= Optimización paramétrica de secado del yawuarchunka (<i>Physalis Peruviana L.</i>) para hacer máxima la retención del ácido ascórbico.	*P* Porcentaje del ácido ascórbico. * Porcentaje de humedad. *Temperatura óptima.	% % °C	- Análisis estadístico
VARIABLES IND.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
X1= Parámetros del diseño y construcción de un secador con sistema combinado: aire caliente-microondas. Potencia (kw), frecuencia (Mhz), flujo de aire (m/s), sección de secado (m ²).	* Capacidad del secado. * Frecuencia * Sección de incidencia *Costo del secador de sistema combinado	Kw Mhz m ² S/	- Pruebas de secado en el sistema combinado: aire caliente-microondas. Experimental
X2= Parámetros cinéticos de operacionalización (temperatura, flujo másico, intervalo de pulsaciones, tiempo) empleando un sistema combinado para el control del secado del yawuarchunka (<i>Physalis Peruviana L.</i>)	*Temperatura. * Velocidad de difusión. *Tiempo de secado.	°C m/s s	- Análisis del porcentaje de ácido ascórbico al inicio y final del proceso de secado, usando métodos volumétricos.

Fuente: Elaboración propia

IV.- METODOLOGÍA

4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Los tipos de investigación que se realizaron en el presente trabajo de tesis son:

4.1.1 Tipo de investigación

La presente investigación es del tipo experimental, cuantitativa, y longitudinal en el tiempo porque se desprende del conocimiento teórico un saber operativo al buscar determinar la relación entre la causa y efecto utilizando los conocimientos científicos de la Química Analítica, la Fisicoquímica, la Termodinámica, la Transferencia de masa y Transferencia de calor para resolver un problema de secado a fin de preservar las propiedades nutricionales y farmacéuticas de este fruto oriundo del Perú.

4.1.2 Nivel de investigación

La investigación será a nivel de laboratorio.

4.1.3 Metodología de la investigación

En el presente proyecto se empleará el método descriptivo, el mismo que se complementará con el estadístico, análisis, síntesis, deductivo y experimental.

4.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación obedece a un modelo experimental. Aquí se buscarán relacionar a las variables a través de un proceso sistemático y controlado.

Se establece un programa para el recogimiento de la data:

- a. Recolección de la información bibliográfica.
- b. Selección del método.
- c. Trabajo de pruebas experimentales a nivel de laboratorio.
- d. Presentación.

4.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

4.3.1 Población

Estará representada por un lote de 10 kg de frutos del yawuarchunka (*Physalis Peruviana L.*) provenientes de Ancash-Perú.

4.3.2 Muestra

4.3.3. Determinación del tamaño de muestra

Por medio de la ecuación de

$$n = \frac{N * \sigma^2 * Z^2}{(N - 1) * e + \sigma^2 * Z^2}$$

Donde:

n: Tamaño de muestra.

N: Tamaño de la población.

Z: Valor obtenido mediante niveles de confianza:

95% → 1.96

99% → 2.56

e: Limite aceptable de error muestral que varía entre 0.01 y 0.09

σ: Desviación estandar.

Entonces, trabajando para un límite de confianza del 95%, un error de 0.08 y una dispersión del 60%, se obtiene:

$$n = \frac{(10000g) * (0.6)^2 * 1.96^2}{10000g * 0.08 + (0.6)^2 * 1.96^2}$$
$$n = 17.2591 g$$

Es decir, del lote de yawuarchunka se tomarán muestras de aproximadamente 20g para las pruebas experimentales a diferentes condiciones.

De acuerdo a lo propuesto, se está dentro de los límites teóricos y es posible hacer la experimentación sin inconvenientes.

4.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

4.4.1 Materiales y equipos

A. Materia prima

Para el desarrollo de este proyecto se utilizará frutos de calidad estándar (figura 4.1).

FIGURA 4.1
YAWARCHUNKA UTILIZADO EN LOS ENSAYOS DE SECADO



Fuente: Elaboración propia

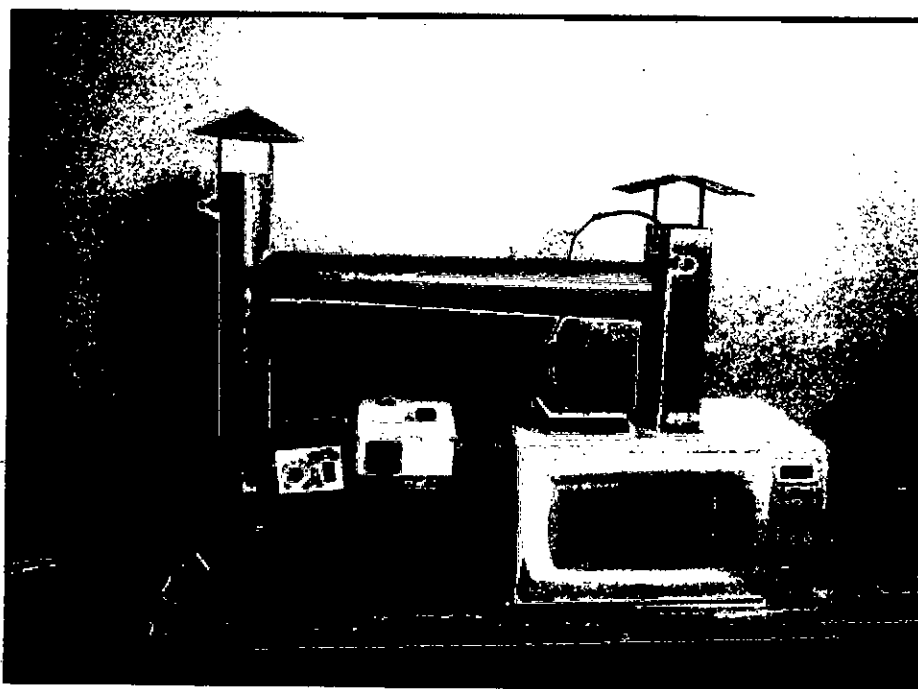
Durante el desarrollo de esta investigación se trabajó con fruta producida en nuestro país, específicamente de Ancash.

B. Cámara experimental de secado

Para la realización de los ensayos de curvas de secado, se utilizó una "cámara experimental de secado" en la cual se controlan las variables de proceso como temperatura, humedad relativa y velocidad del aire, y se toma el peso del producto a medida que avanza el ensayo. En las figuras 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5 se tienen imágenes del equipo.

FIGURA 4.2

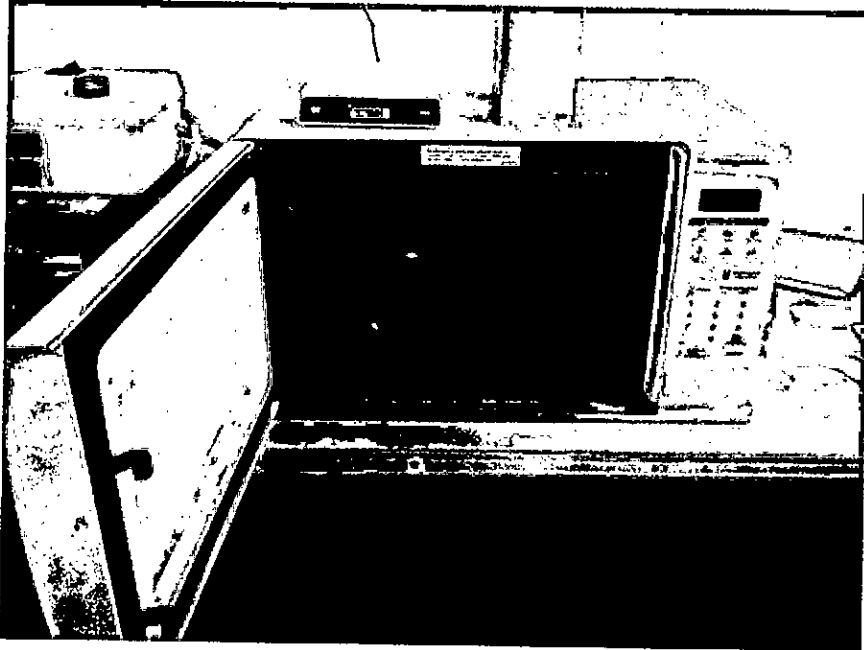
SECADOR EXPERIMENTAL ACOPLADO A MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.3

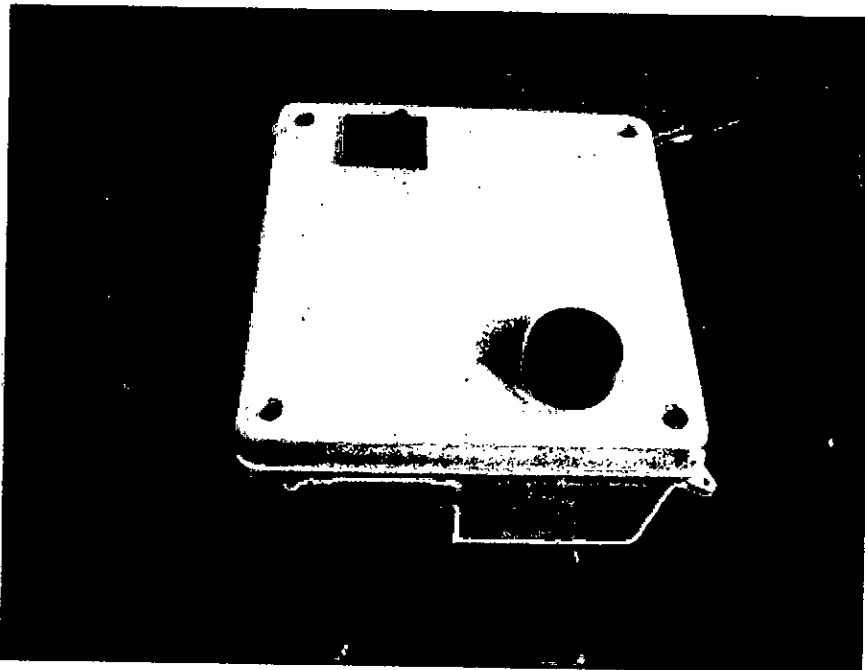
CÁMARA EXPERIMENTAL DE SECADO



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.4

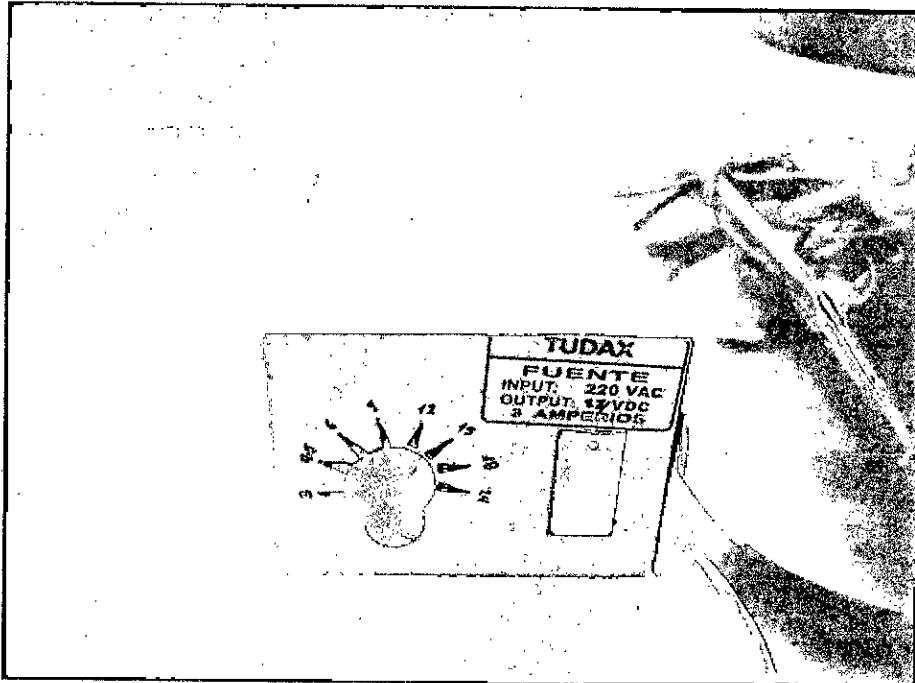
PANEL DE CONTROL DE TEMPERATURA



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.5

FUENTE DE PODER DEL SECADOR EXPERIMENTAL



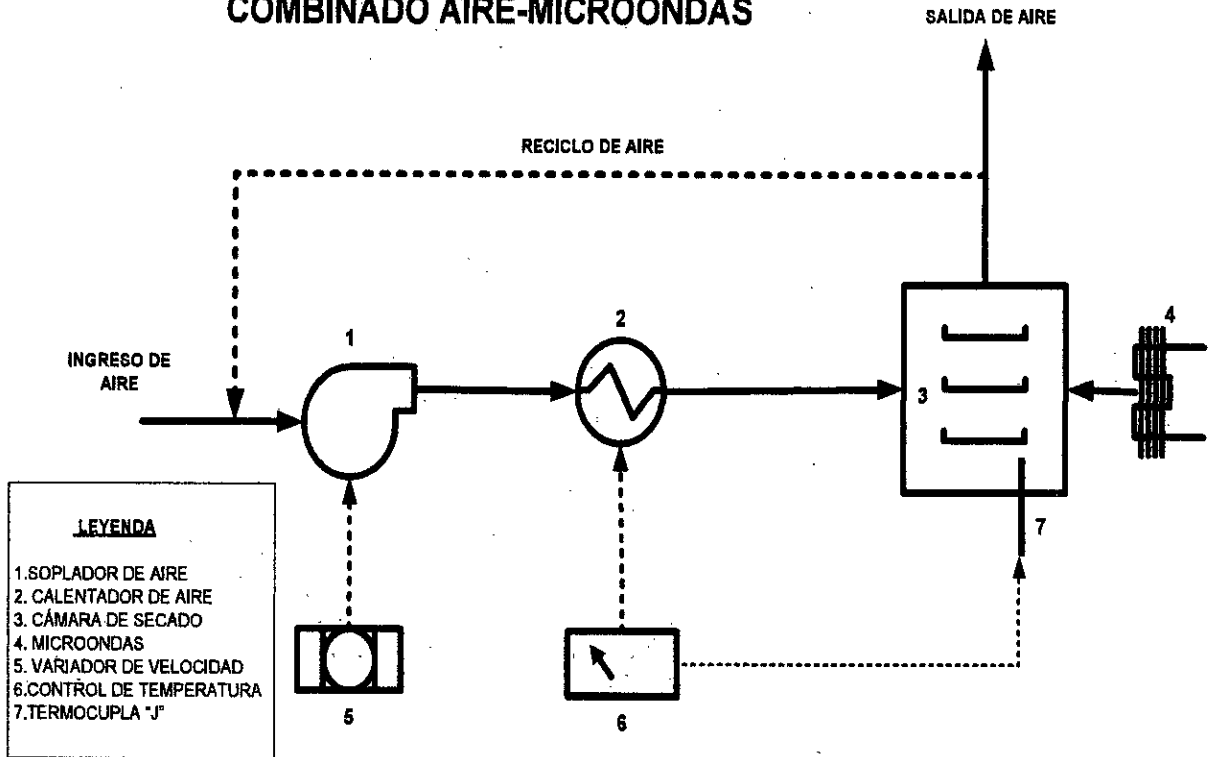
Fuente: Elaboración propia

Los elementos que componen la cámara experimental de secado son:

1. Ventilador centrífugo con variador de velocidad.
2. Calentador para aire por medio de una resistencia eléctrica.
3. Tablero de control con termostatos y flujo de aire.
4. Re-cámara combinada de secado.
5. Muestra de producto a deshidratar.
6. Balanza digital que va midiendo la variación del peso del producto en el tiempo de ensayo.
7. Salida de aire que pasa por la re-cámara de secado.

FIGURA 4.6

DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL SECADO
COMBINADO AIRE-MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO EXPERIMENTAL DE SECADO COMBINADO AIRE CALIENTE –MICROONDAS

ACCESORIO	CARACTERISTICAS	CAPACIDAD
Soplador de aire	Tipo turbina con ductos de entrada y salida de 2 pulgadas	Velocidad máxima de 1600 rpm y 200W de potencia, alimentación de 24 Voltios DC
Variador de velocidad	Con 7 variaciones de voltaje establecidas en chapa transformador de 220 V alimentación AC a 24 V de salida en DC	De 3 A de intensidad
Sensor de temperatura	Termocupla tipo "J" con cable protegido y terminal de acero	Rango de medida de 0 °C a 1200°C
Control de temperatura	Pirómetro análogo-digital ,presenta contacto de encendido y lámpara indicadora	Sensibilidad de 1°C y mono sensor tipo "J"
Resistencia de calentamiento	Modelo anillado en base cerámica cilíndrica de 50 cm de longitud	De 500 W
Termómetro análogo de comparación	De laboratorio que contiene mercurio insertado en el centro de cámara	Rango de 0-110 °C
Cámara de secado	Provista de entrada lateral y salida superior, presenta puerta hermética	Capacidad de 4L
Generador microondas	Con alimentación eléctrica 220V , alimentación en AC Con lámpara de alta frecuencia ,llamada magnetrón, que convierte la energía eléctrica en ondas electromagnéticas	Potencia de 900 W graduable en tiempos de manera digital para regular el calentamiento
Balanza digital	Para medir la pérdida de peso del producto en estudio	Sensibilidad de 0.1 g
Anemómetro digital	Para medir la velocidad del aire mediante el giro de una hélice frontal	Unidades de medida en m/s y Pie/s

Nota: el equipo debe ser revestido de pintura plastificada y las juntas con pegamento aislante en las uniones, para evitar arcos eléctricos con cualquier accesorio metálico dentro de la cámara de secado

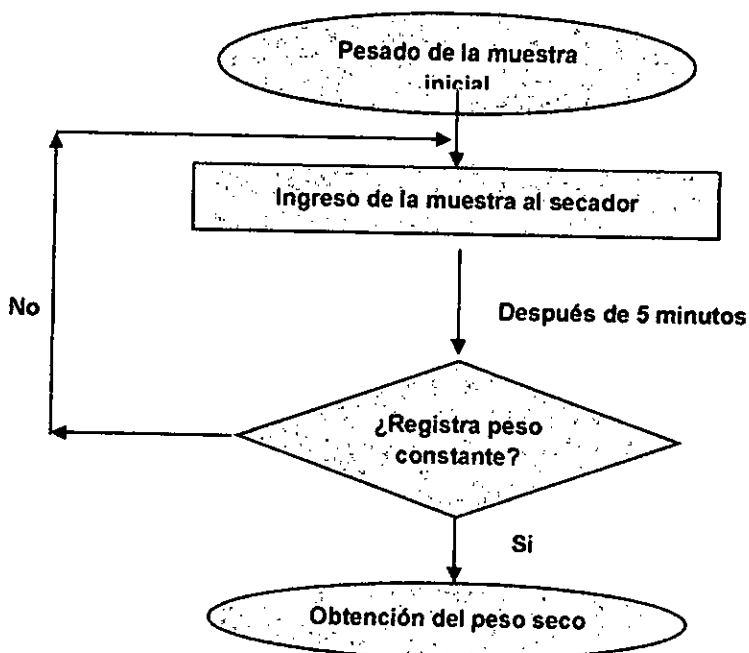
Fuente: elaboración propia

4.4.2. Primera etapa

- Procedimiento para hallar la cinética de secado y las condiciones de trabajo.

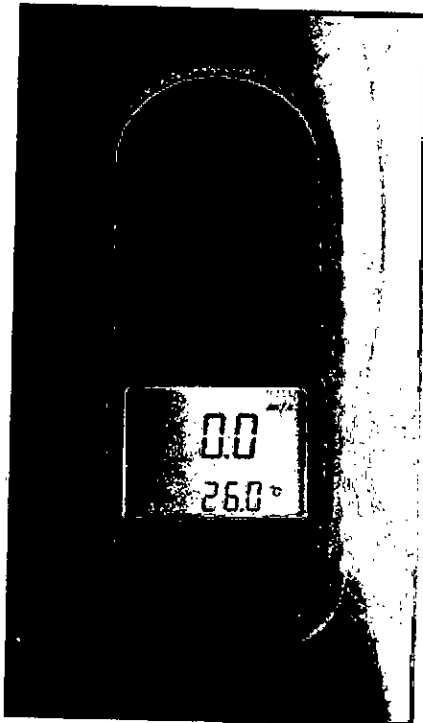
El registro de datos siguió el esquema que se muestra en la Figura 4.6. La medida de la velocidad de aire se realizó utilizando un anemómetro digital marca Benetech Gm816 (Figura N° 4.7), y las tomas de datos se realizaron utilizando un secador experimental antes mencionado. Las pesadas se realizaron utilizando una balanza digital con sensibilidad de un décimo (Figura 4.8). La medida de la humedad relativa del aire a la entrada y salida del secador fue casi constante en los 8 casos y se registraron con un Data Logger marca Bside BTA04 (Figura 4.9).

FIGURA 4.7
REGISTRO DE DATOS



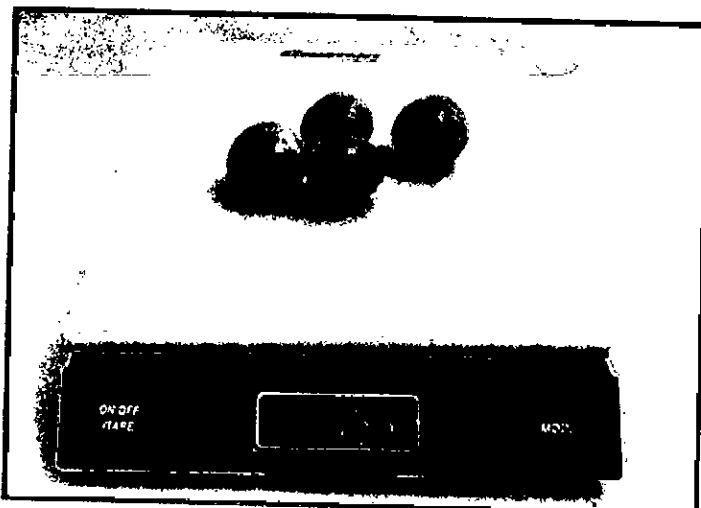
Fuente: Valencia (2016)

FIGURA 4.8
ANEMÓMETRO DIGITAL



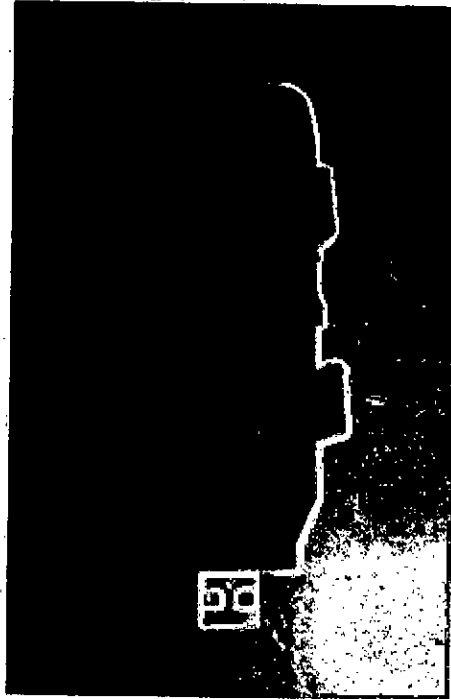
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.9
BALANZA REGISTRADORA DE MASA



Fuente; Elaboración propia

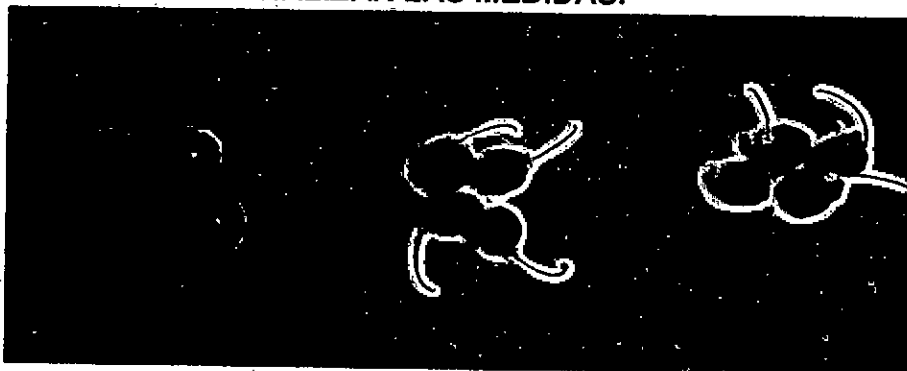
**FIGURA 4.10
DATA LOGGER**



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.11

**A LA IZQUIERDA: MUESTRA PARA REALIZAR LA MEDIDA DE
CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL; DERECHA: MUESTRA AL
FINALIZAR LAS MEDIDAS.**



Fuente: Elaboración propia

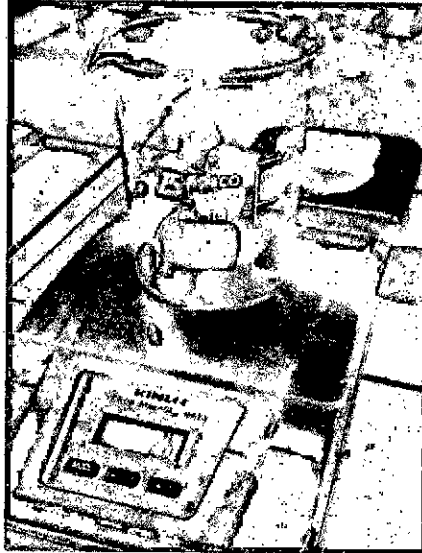
En la Figura 4.10 se observa una muestra para realizar la medida antes y después del ensayo, siguiendo el procedimiento explicado en el diagrama de bloques (Figura 4.6). Como se puede observar, físicamente el fruto está completamente exento de agua liberable. Posteriormente se analizaron las curvas de secado y se hizo el análisis químico que se explica en el punto siguiente, para hacer una elección adecuada de los parámetros de trabajo con este fruto.

4.4.3 Segunda etapa

Para el estudio de la variación de la cantidad de ácido ascórbico, se realizó un análisis de los frutos en estudio antes y después de las pruebas de secado, siguiendo el procedimiento de laboratorio de la Universidad de Alcalá [44], que llevó el procedimiento siguiente:

- **Preparación del zumo de fruta**
 - Pesar aproximadamente 25 g del fruto fresco.
 - Licuar el fruto con 100 ml de agua (figuras 4.11 y 4.12).
 - Filtrarlo a través de una gasa.
 - Filtrarlo por segunda vez para evitar impurezas (figura 4.13).
- **Preparación del zumo del fruto seco**
 - Licuar la misma cantidad del fruto seco, mezclado con 100 ml de agua, al igual que en el procedimiento anterior, para poder lograr una solución del mismo (figuras 4.14 y 4.15).
 - Repetir los siguientes pasos del procedimiento utilizado con la fruta fresca (figura 4.16).

FIGURA 4.12
PESAJE DEL FRUTO FRESCO



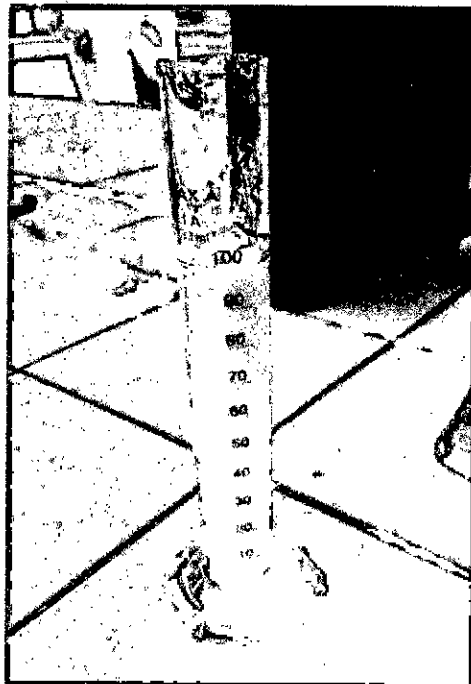
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.13
LICUADO DEL FRUTO FRESCO



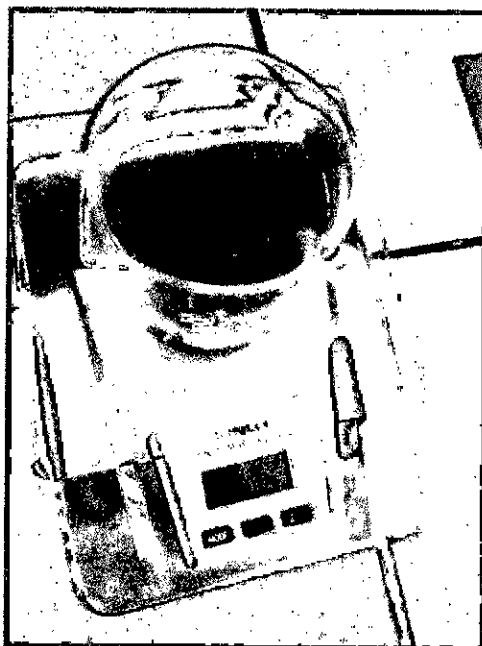
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.14
JUGO DE YAWARCHUNKA FRESCO PARA EL ANÁLISIS



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.15
PESAJE DEL FRUTO SECO



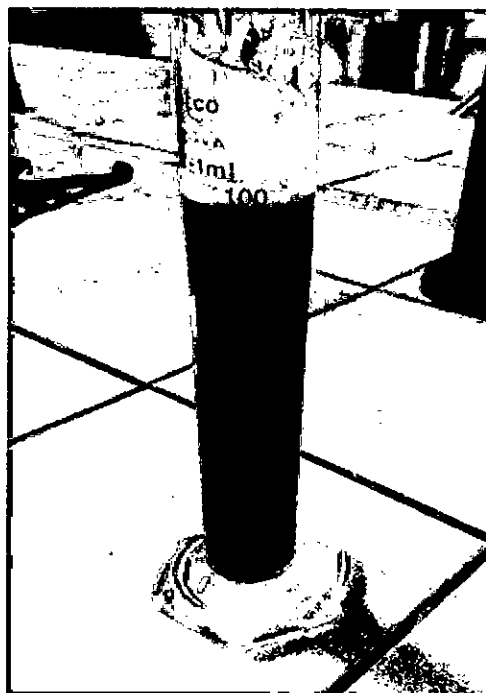
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.16
LICUADO DEL FRUTO SECO



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.17
JUGO DE YAWARCHUNKA SECO PARA EL ANÁLISIS



Fuente: Elaboración propia

- **Titulación del ácido ascórbico**

- Poner en un Erlenmeyer de 100 ml:
 - 30 ml de zumo
 - 15 ml de agua destilada
 - 0,25 ml de HCl (15% v/v)
 - 0,25 ml de almidón (1% w/v) que actúa como indicador.
- Llenar la bureta con 15 ml de la disolución de yodo.
- Titular lentamente y agitando la disolución de zumo contenida en el Erlenmeyer, hasta que vire al azul (figuras 4.17 y 4.18).

FIGURA 4.18
TITULACIÓN DEL ÁCIDO ASCÓRBICO DEL FRUTO FRESCO



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.19
TITULACIÓN DEL ÁCIDO ASCÓRBICO DEL FRUTO SECO



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se hizo la determinación cuantitativa de ácido ascórbico mediante la siguiente relación:

Calcular la cantidad de vitamina C en la muestra (zumo) en g/L utilizando la siguiente fórmula:

$$\left[\frac{\text{g}}{\text{L}}\right] = 0,424 \left(\frac{\text{Volumen yodo consumido}}{\text{volumen de la muestra}} \right)$$

Dónde:

El volumen de yodo consumido es el volumen añadido al Erlenmeyer desde la bureta al titular el preparado de vitamina C.

El volumen de la muestra es el volumen de zumo que hemos puesto en el Erlenmeyer con una concentración de vitamina C desconocida.

4.5 PLAN DE ANALISIS ESTADÍSTICO

Para hacer una correlación adecuada entre los datos experimentales y los datos de las ecuaciones generadas, se utiliza un análisis de regresión lineal que se compone del cálculo de estadísticas de regresión, un análisis de varianza o ANOVA y una prueba t estadística.

4.5.1 Estadística de regresión

- **Coefficiente de correlación múltiple:** Es la medida del grado de asociación entre dos características. En el contexto del análisis de la regresión lineal simple el coeficiente de correlación múltiple establece una medida del grado de asociación lineal entre la variable respuesta y la variable predictora, concretamente entre la variable respuesta y la recta de regresión estimada [32].
- **Coefficiente de determinación (R^2):** Es la relación entre la suma de los cuadrados de la regresión y la suma de los cuadrados totales. Corresponde al coeficiente de regresión elevado al cuadrado [29].

4.5.2 Análisis ANOVA

Prueba F: El análisis de varianza (ANOVA) es uno de los métodos estadísticos más utilizados y más elaborados en la investigación moderna. Se utiliza para probar hipótesis referentes las varianzas de una población. La prueba F permite determinar si las desviaciones estándar o las varianzas de dos muestras se pueden considerar estadísticamente iguales o diferentes [26].

V. RESULTADOS

5.1. RESULTADOS PARCIALES

5.1.1 Pruebas de secado

Se trabajó a velocidad de aire constante, medida con un anemómetro digital, tomando datos en tres ocasiones y haciendo el promedio:

Finalmente se trabajaron todas las corridas a esa velocidad de aire (~3 m/s), a las temperaturas de 50, 55 y 60°C y con pulsaciones de microondas de 0, 5, 7, 9 y 12, segundos luego de cada pesada (intervalos de 5 minutos), sobre una rejilla de acero inoxidable 3/16" con un peso de 25.5g, lográndose los siguientes resultados promedio (luego de hacer las corridas por triplicado):

➤ Pruebas a 50°C:

**TABLA 5.1
PRUEBA DE SECADO A 50°C Y 0 S DE PULSACIONES DE
MICROONDAS**

Velocidad de aire (m/s)		3.3		
		3.5		
		3.3		
Promedio (m/s)		3.36		
50°C y 0s				
t (h)	w muestra (Kg)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m ₀)%
0.00	0.0218	71.56	2.516	0.00
0.08	0.0216	71.29	2.483	0.91
0.16	0.0213	70.89	2.435	2.29
0.25	0.0209	70.33	2.370	4.12
0.33	0.0205	69.75	2.305	5.96
0.41	0.0202	69.30	2.257	7.33
0.50	0.0198	68.68	2.192	9.17
0.58	0.0193	67.87	2.112	11.46

0.66	0.0191	67.53	2.079	12.38
0.75	0.0186	66.66	1.999	14.67
0.83	0.0183	66.12	1.951	16.05
0.91	0.0182	65.93	1.935	16.51
1.00	0.0178	65.16	1.870	18.34
1.08	0.0174	64.36	1.805	20.18
1.16	0.0169	63.31	1.725	22.47
1.25	0.0168	63.09	1.709	22.93
1.33	0.0164	62.19	1.644	24.77
1.41	0.0161	61.49	1.596	26.14
1.5	0.0159	61.00	1.564	27.06
1.58	0.0155	60.00	1.500	28.89
1.66	0.0152	59.21	1.451	30.27
1.75	0.0148	58.10	1.386	32.11
1.83	0.0146	57.53	1.354	33.02
1.91	0.0142	56.33	1.289	34.86
2.00	0.0139	55.39	1.241	36.23
2.08	0.0137	54.74	1.209	37.15
2.16	0.0135	54.07	1.177	38.07
2.25	0.0131	52.67	1.112	39.90
2.33	0.0129	51.93	1.080	40.82
2.41	0.0127	51.18	1.048	41.74
2.5	0.0123	49.59	0.983	43.57
2.58	0.0121	48.76	0.951	44.49
2.66	0.0119	47.89	0.919	45.41
2.75	0.0115	46.08	0.854	47.24
2.83	0.0114	45.61	0.838	47.7
2.91	0.0111	44.14	0.790	49.08
3.00	0.0109	43.12	0.758	50.00
3.08	0.0108	42.59	0.741	50.45
3.16	0.0105	40.95	0.693	51.83
3.25	0.0103	39.80	0.661	52.75
3.33	0.0101	38.61	0.628	53.66
3.41	0.0099	37.37	0.596	54.58
3.50	0.0097	36.08	0.564	55.50
3.58	0.0095	34.73	0.532	56.42
3.66	0.0093	33.33	0.499	57.33
3.75	0.0092	32.60	0.483	57.79

3.83	0.0090	31.11	0.451	58.71
3.91	0.0089	30.33	0.435	59.17
4.00	0.0088	29.54	0.419	59.63
4.08	0.0088	29.54	0.419	59.63
4.16	0.0085	27.05	0.370	61.00
4.25	0.0083	25.30	0.338	61.92

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.2
PRUEBA DE SECADO A 50°C Y 5 S DE PULSACIONES DE
MICROONDAS

50°C y 5s				
t (h)	ω muestra (Kg)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	($\Delta m/m_0$)%
0.00	0.0181	71.56	2.516	0.00
0.08	0.0179	71.24	2.477	1.10
0.16	0.0175	70.58	2.399	3.31
0.25	0.0172	70.07	2.341	4.97
0.33	0.0170	69.71	2.301	6.07
0.41	0.0167	69.17	2.243	7.73
0.50	0.0164	68.61	2.185	9.39
0.58	0.0159	67.62	2.088	12.15
0.66	0.0155	66.78	2.010	14.36
0.75	0.0152	66.13	1.952	16.02
0.83	0.0149	65.45	1.894	17.67
0.91	0.0145	64.49	1.816	19.88
1.00	0.0143	64.00	1.777	20.99
1.08	0.0139	62.96	1.699	23.20
1.16	0.0138	62.69	1.680	23.75
1.25	0.0135	61.86	1.621	25.41
1.33	0.0128	59.78	1.486	29.28
1.41	0.0125	58.81	1.427	30.93
1.50	0.0124	58.48	1.408	31.49
1.58	0.0121	57.45	1.35	33.14
1.66	0.012	57.10	1.331	33.70
1.75	0.0115	55.23	1.233	36.46
1.83	0.0113	54.44	1.194	37.56
1.91	0.0111	53.62	1.156	38.67
2.00	0.0108	52.33	1.097	40.33

2.08	0.0105	50.97	1.039	41.98
2.16	0.0102	49.53	0.981	43.64
2.25	0.0101	49.03	0.961	44.19
2.33	0.0099	48.00	0.923	45.30
2.41	0.0097	46.93	0.884	46.40
2.50	0.0092	44.04	0.786	49.17
2.58	0.009	42.80	0.748	50.27
2.66	0.0088	41.50	0.709	51.38
2.75	0.0087	40.83	0.690	51.93
2.83	0.0084	38.71	0.631	53.59
2.91	0.0082	37.22	0.592	54.69
3.00	0.0081	36.44	0.573	55.24
3.08	0.0078	34.00	0.515	56.9
3.16	0.0077	33.14	0.495	57.45
3.25	0.0075	31.36	0.456	58.56
3.33	0.0074	30.43	0.437	59.11
3.41	0.0073	29.48	0.418	59.66
3.50	0.0072	28.50	0.398	60.22
3.58	0.0069	25.39	0.340	61.87
3.66	0.0068	24.29	0.320	62.43
3.75	0.0068	24.29	0.320	62.43
3.83	0.0068	24.29	0.320	62.43

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.3
PRUEBA DE SECADO A 50°C Y 7 S DE PULSACIONES DE
MICROONDAS

50°C y 7s				
t (h)	ω muestra (Kg)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	($\Delta m/m_0$)%
0.00	0.0184	71.56	2.516	0.00
0.08	0.0181	71.08	2.457	1.63
0.16	0.0178	70.60	2.401	3.26
0.25	0.0174	69.92	2.324	5.43
0.33	0.0171	69.39	2.266	7.06
0.41	0.0167	68.66	2.190	9.23
0.50	0.0163	67.89	2.114	11.41
0.58	0.016	67.29	2.057	13.04
0.66	0.0159	67.08	2.037	13.58

0.75	0.0155	66.23	1.961	15.76
0.83	0.0151	65.34	1.885	17.93
0.91	0.0146	64.15	1.789	20.65
1.00	0.0143	63.4	1.732	22.28
1.08	0.014	62.62	1.675	23.91
1.16	0.0137	61.80	1.617	25.54
1.25	0.0135	61.23	1.579	26.63
1.33	0.0131	60.05	1.503	28.80
1.41	0.0127	58.79	1.426	30.97
1.5	0.0123	57.45	1.350	33.15
1.58	0.0121	56.75	1.312	34.23
1.66	0.012	56.39	1.293	34.78
1.75	0.0117	55.27	1.235	36.41
1.83	0.0115	54.49	1.197	37.50
1.91	0.0113	53.69	1.159	38.58
2.00	0.0112	53.27	1.139	39.13
2.08	0.0110	52.42	1.101	40.21
2.16	0.0106	50.63	1.025	42.39
2.25	0.0099	47.14	0.891	46.19
2.33	0.0095	44.91	0.815	48.36
2.41	0.0091	42.49	0.738	50.54
2.5	0.0087	39.85	0.662	52.71
2.58	0.0080	34.58	0.528	56.52
2.66	0.0076	31.14	0.452	58.69
2.75	0.0073	28.31	0.394	60.32
2.83	0.0072	27.32	0.375	60.86
2.91	0.0071	26.29	0.356	61.41
3.00	0.0071	26.29	0.356	61.41
3.08	0.0070	25.24	0.337	61.95
3.16	0.0070	25.24	0.337	61.95
3.25	0.0070	25.24	0.337	61.95
3.33	0.0070	25.24	0.337	61.95

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.4
PRUEBA DE SECADO A 50°C Y 9 S DE PULSACIONES DE
MICROONDAS

50°C y 9s				
t (h)	w muestra (Kg)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	($\Delta m/m_0$)%
0.00	0.0180	71.56	2.516	0.00

0.08	0.0177	71.07	2.456	1.66
0.16	0.0175	70.74	2.417	2.77
0.25	0.0172	70.23	2.359	4.44
0.33	0.0168	69.52	2.280	6.66
0.41	0.0165	68.97	2.222	8.33
0.50	0.0164	68.78	2.203	8.88
0.58	0.0163	68.59	2.183	9.44
0.66	0.0159	67.8	2.105	11.66
0.75	0.0157	67.39	2.066	12.77
0.83	0.0154	66.75	2.007	14.44
0.91	0.0152	66.32	1.969	15.55
1.00	0.0151	66.09	1.948	16.11
1.08	0.0146	64.93	1.851	18.88
1.16	0.014	63.43	1.734	22.22
1.25	0.0137	62.63	1.675	23.88
1.33	0.0134	61.79	1.617	25.55
1.41	0.0131	60.92	1.558	27.22
1.50	0.0126	59.37	1.461	30.00
1.58	0.0121	57.69	1.363	32.77
1.66	0.0119	56.98	1.324	33.88
1.75	0.0114	55.09	1.226	36.66
1.83	0.0111	53.88	1.168	38.33
1.91	0.0106	51.70	1.070	41.11
2.00	0.0105	51.24	1.050	41.66
2.08	0.0099	48.29	0.933	45.00
2.16	0.0096	46.67	0.875	46.66
2.25	0.0091	43.74	0.777	49.44
2.33	0.0087	41.15	0.699	51.66
2.41	0.0083	38.32	0.621	53.88
2.50	0.008	36.01	0.562	55.55
2.58	0.0076	32.64	0.484	57.77
2.66	0.0075	31.74	0.464	58.33
2.75	0.0073	29.87	0.425	59.44
2.83	0.0072	28.90	0.406	60.00
2.91	0.0072	28.90	0.406	60.00
3.00	0.0071	27.89	0.386	60.55
3.08	0.0071	27.89	0.386	60.55
3.16	0.0071	27.89	0.386	60.55

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.5
PRUEBA DE SECADO A 50°C Y 12 S DE PULSACIONES DE
MICROONDAS

50°C y 12s				
t (h)	ω muestra (Kg)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	$(\Delta m/m_0)\%$
0.00	0.0179	71.56	2.516	0.00
0.08	0.0177	71.23	2.475	1.11
0.16	0.0173	70.57	2.397	3.35
0.25	0.0169	69.87	2.318	5.58
0.33	0.0163	68.76	2.201	8.93
0.41	0.0157	67.57	2.083	12.29
0.50	0.0151	66.28	1.965	15.64
0.58	0.0146	65.13	1.867	18.43
0.66	0.0140	63.63	1.749	21.78
0.75	0.0135	62.29	1.651	24.58
0.83	0.0128	60.22	1.513	28.49
0.91	0.0124	58.94	1.435	30.72
1.00	0.0117	56.48	1.297	34.63
1.08	0.0112	54.54	1.199	37.43
1.16	0.0109	53.29	1.140	39.10
1.25	0.0102	50.09	1.003	43.01
1.33	0.0097	47.51	0.905	45.81
1.41	0.0094	45.84	0.846	47.48
1.50	0.0088	42.15	0.728	50.83
1.58	0.0085	40.10	0.669	52.51
1.66	0.0080	36.36	0.571	55.30
1.75	0.0078	34.73	0.532	56.42
1.83	0.0075	32.12	0.473	58.10
1.91	0.0072	29.29	0.414	59.77
2.00	0.0068	25.13	0.335	62.01
2.08	0.0067	24.01	0.315	62.56
2.16	0.0064	20.45	0.257	64.24
2.25	0.0061	16.54	0.198	65.92
2.33	0.006	15.15	0.178	66.48
2.41	0.0057	10.68	0.119	68.15
2.50	0.0055	7.44	0.080	69.27

Fuente: Elaboración propia

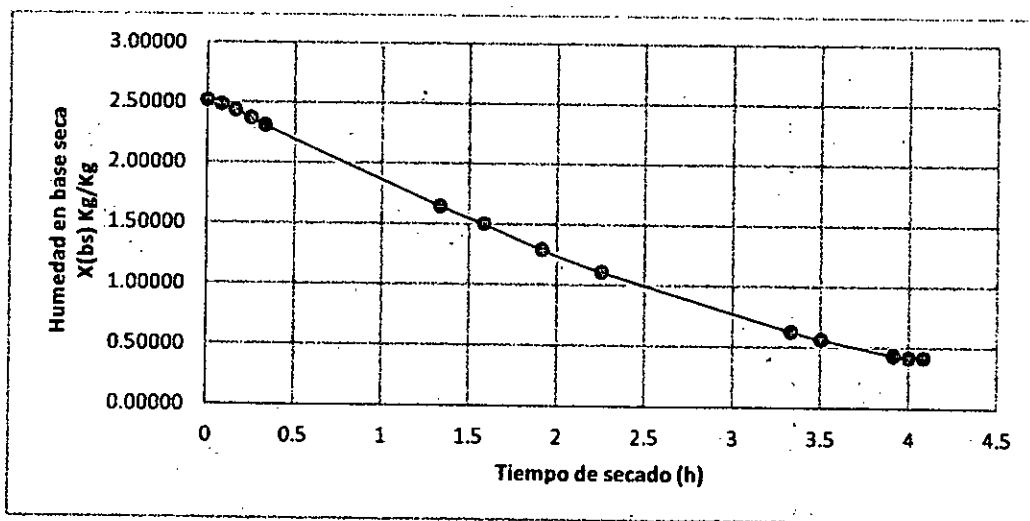
Obteniendo las curvas de secado que se muestran a continuación:

TABLA 5.6
DATA PARA LA VELOCIDAD DE SECADO A 50°C CON 0s DE PULSACIONES

t (h)	Peso Muestra (kg)	Y (%)	X (bs) Kg/Kg	(Δm/m₀) %	X (bs) Valor Medio	Rate (Kg/Kgss·h)
0	0.0218	71.56	2.51617	0.00000		0.00000
0.08	0.0216	71.30	2.48392	0.91743	2.50005	0.40323
0.16	0.0213	70.89	2.43553	2.29358	2.45972	0.60485
0.25	0.0209	70.34	2.37101	4.12844	2.40327	0.71686
0.33	0.0205	69.76	2.30649	5.96330	2.33875	0.80646
1.33	0.0164	62.20	1.64520	24.77064	1.67745	0.80646
1.58	0.0155	60.00	1.50003	28.89908	1.53229	0.80646
1.91	0.0142	56.34	1.29035	34.86239	1.32261	0.80646
2.25	0.0131	52.67	1.11293	39.90826	1.14519	0.71686
3.33	0.0101	38.61	0.62905	53.66972	0.64518	0.40323
3.5	0.0097	36.08	0.56454	55.50459	0.58067	0.35843
3.91	0.0089	30.34	0.43550	59.17431	0.44357	0.20162
4	0.0088	29.55	0.41937	59.63303	0.42744	0.17921
4.08	0.0088	29.55	0.41937	59.63303	0.41937	0.00000

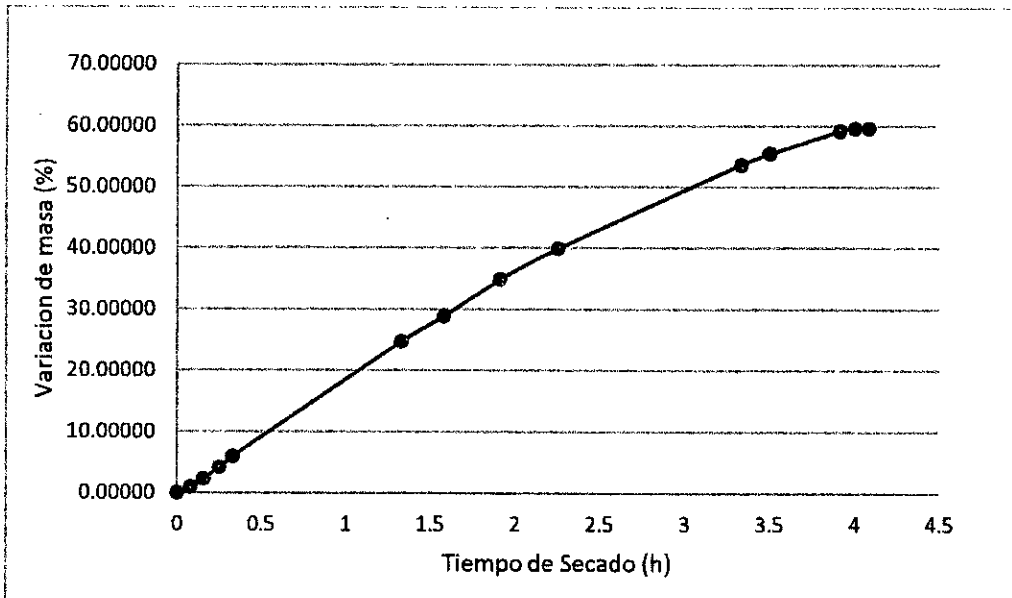
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.1
CURVA DE SECADO A 50°C Y 0s DE PULSACIONES DE MICROONDAS



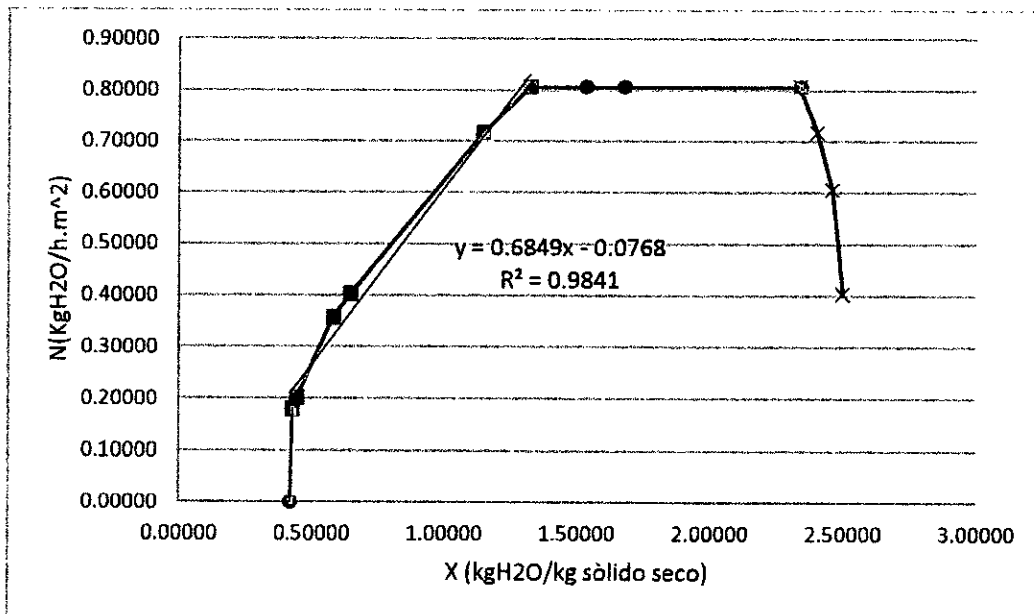
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.2
VARIACIÓN DE MASA A 50°C Y 0S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

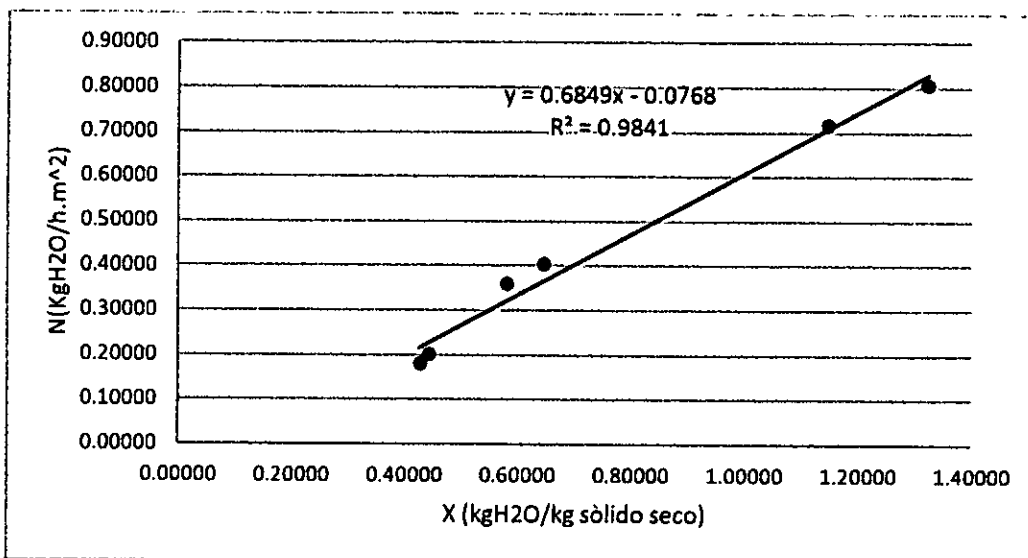
GRÁFICO 5.3
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 50°C Y 0S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.4

SEGMENTO DE CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 50°C Y 0S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

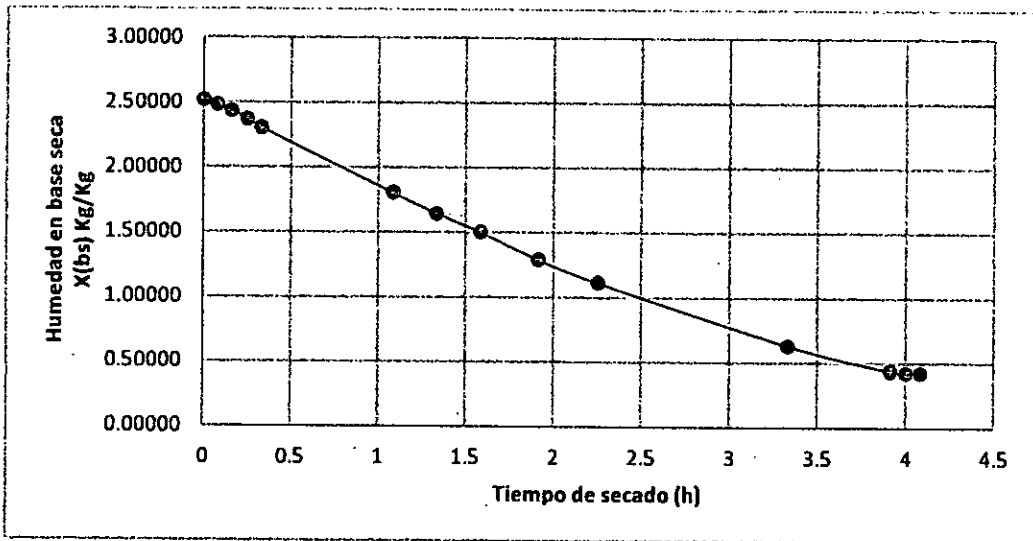
TABLA 5.7

DATA PARA LA VELOCIDAD DE SECADO A 50°C CON 5s DE PULSACIONES

t (h)	Peso Muestra)kg=	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m _o)%	X(bs) Valor Medio	Rate (Kg/Kgss.h)
0	0.0218	71.56	2.51617	0.00000		0.00000
0.08	0.0216	71.30	2.48392	0.91743	2.50005	0.40323
0.16	0.0213	70.89	2.43553	2.29358	2.45972	0.60485
0.25	0.0209	70.34	2.37101	4.12844	2.40327	0.71686
0.33	0.0205	69.76	2.30649	5.96330	2.33875	0.80646
1.08	0.0174	64.37	1.80649	20.18349	1.83875	0.80646
1.33	0.0164	62.20	1.64520	24.77064	1.67745	0.80646
1.58	0.0155	60.00	1.50003	28.89908	1.53229	0.80646
1.91	0.0142	56.34	1.29035	34.86239	1.32261	0.80646
2.25	0.0131	52.67	1.11293	39.90826	1.14519	0.71686
3.33	0.0101	38.61	0.62905	53.66972	0.64518	0.40323
3.91	0.0089	30.34	0.43550	59.17431	0.44357	0.20162
4	0.0088	29.55	0.41937	59.63303	0.42744	0.17921
4.08	0.0088	29.55	0.41937	59.63303	0.41937	0.00000

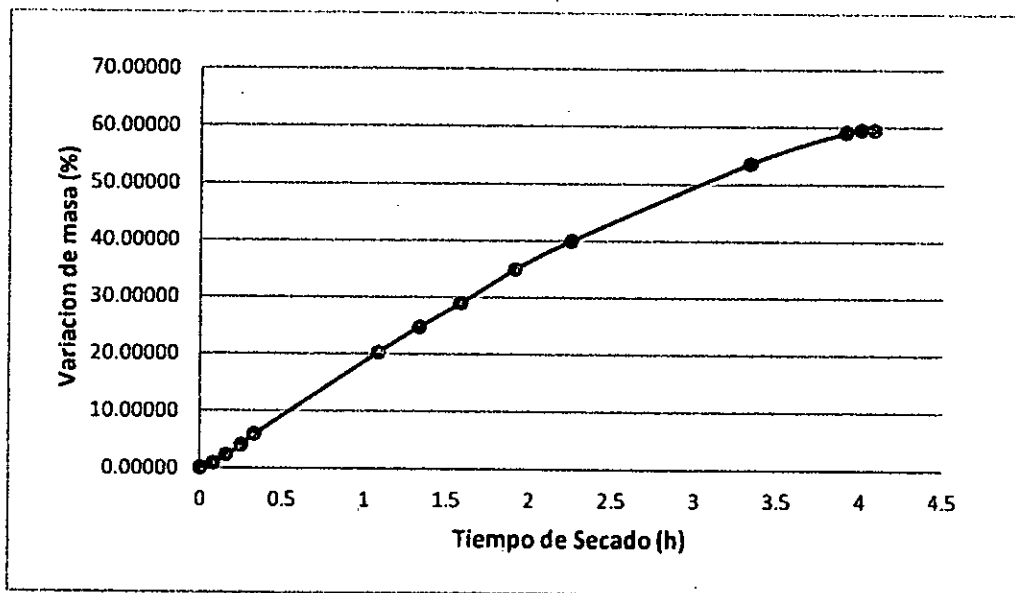
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.5
CURVA DE SECADO A 50°C Y 5S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

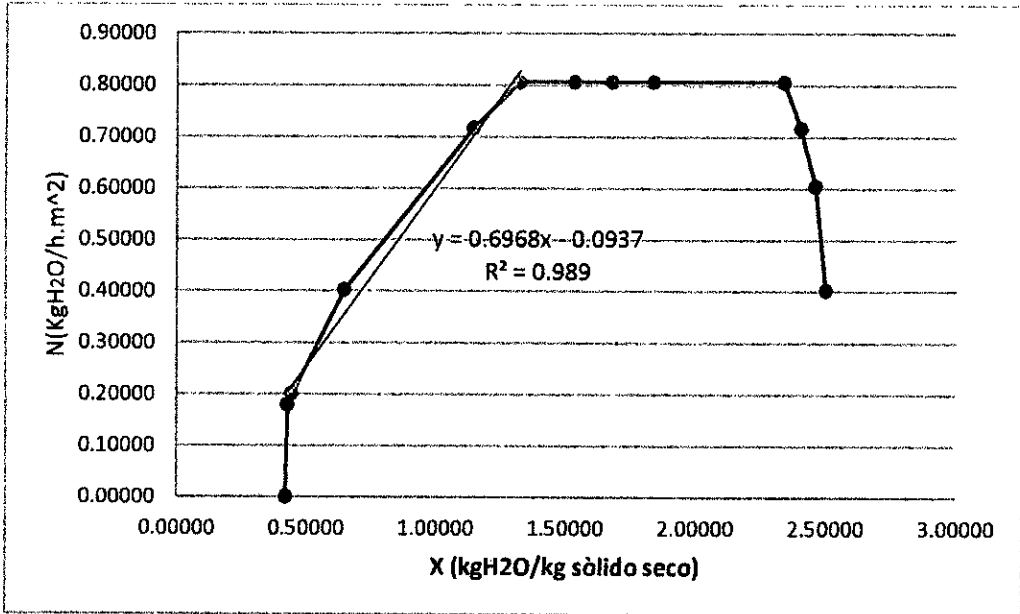
GRÁFICO 5.6
VARIACIÓN DE MASA A 50°C Y 5S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.7

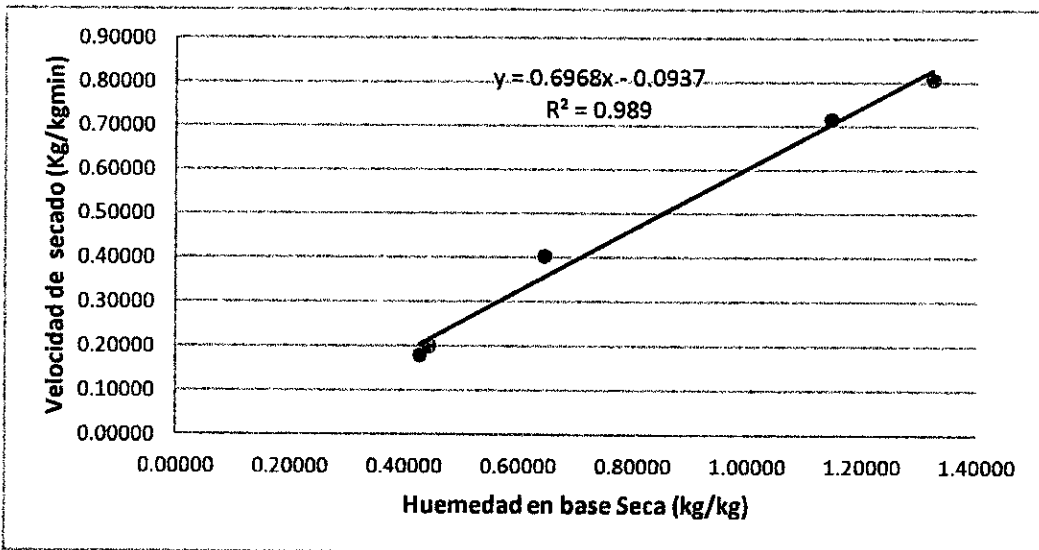
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 50°C Y 5S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.8

SEGMENTO DE CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 50°C Y 5S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



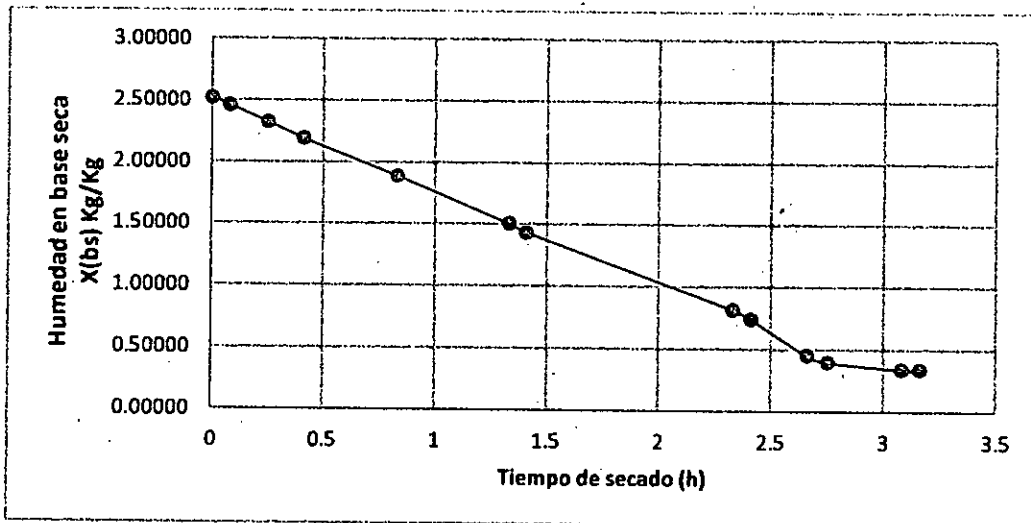
Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.8
DATA PARA LA VELOCIDAD DE SECADO A 50°C CON 7s DE PULSACIONES

t(h)	Peso Muestra(kg)	Y(%)	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m) %	X(bs) Valor Medio	Rate (Kg/Kgss.h)
0	0.0184	71.56	2.51617	0.00000		0.00000
0.08	0.0181	71.09	2.45885	1.63043	2.48751	0.71661
0.25	0.0174	69.93	2.32508	5.43478	2.36330	0.84932
0.41	0.0167	68.66	2.19131	9.23913	2.22953	0.95548
0.83	0.0151	65.34	1.88556	17.93478	1.92378	0.95548
1.33	0.0131	60.05	1.50336	28.80435	1.54158	0.95548
1.41	0.0127	58.80	1.42692	30.97826	1.46514	0.95548
2.33	0.0095	44.92	0.81542	48.36957	0.85364	0.95548
2.41	0.0091	42.49	0.73898	50.54348	0.77720	0.95548
2.66	0.0076	31.15	0.45233	58.69565	0.49055	0.95548
2.75	0.0073	28.32	0.39500	60.32609	0.42367	0.63699
3.08	0.007	25.24	0.33768	61.95652	0.34723	0.23887
3.16	0.007	25.24	0.33768	61.95652	0.33768	0.00000

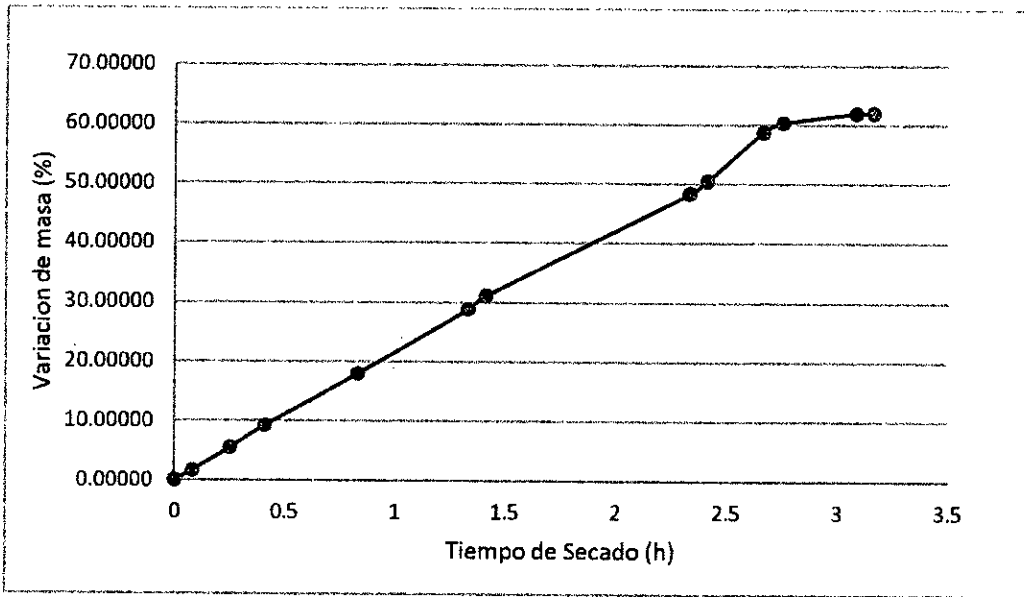
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.9
CURVA DE SECADO A 50°C Y 7S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



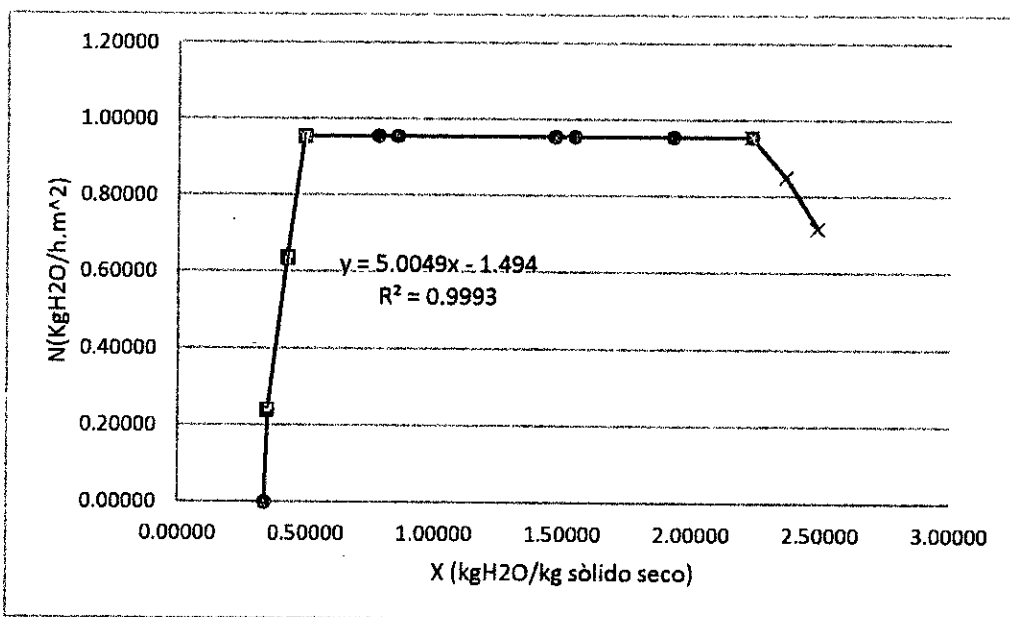
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.10
VARIACIÓN DE MASA A 50°C Y 7S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

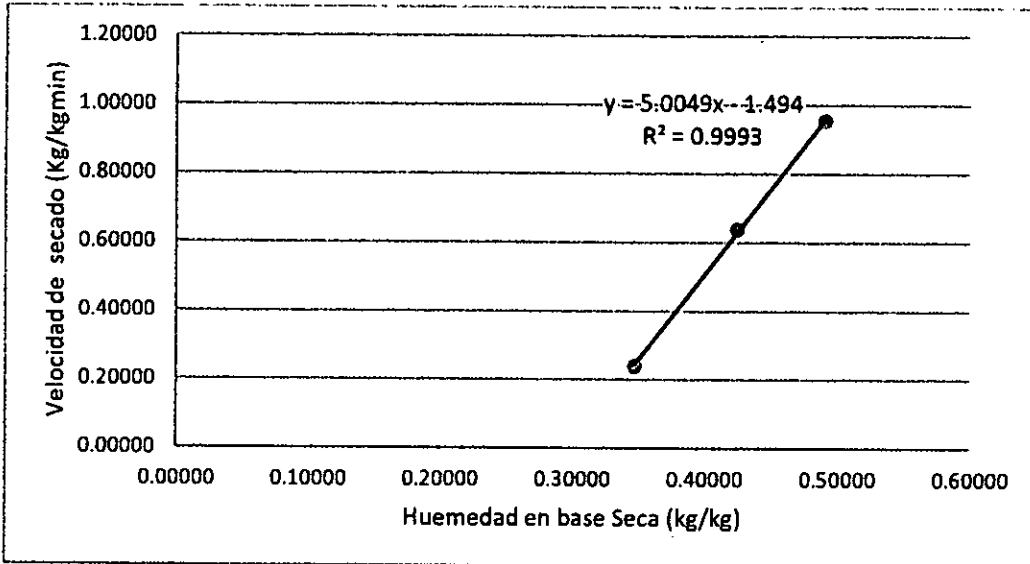
GRÁFICO 5.11
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 50°C Y 7S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.12

SEGMENTO DE CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 50°C Y 7S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

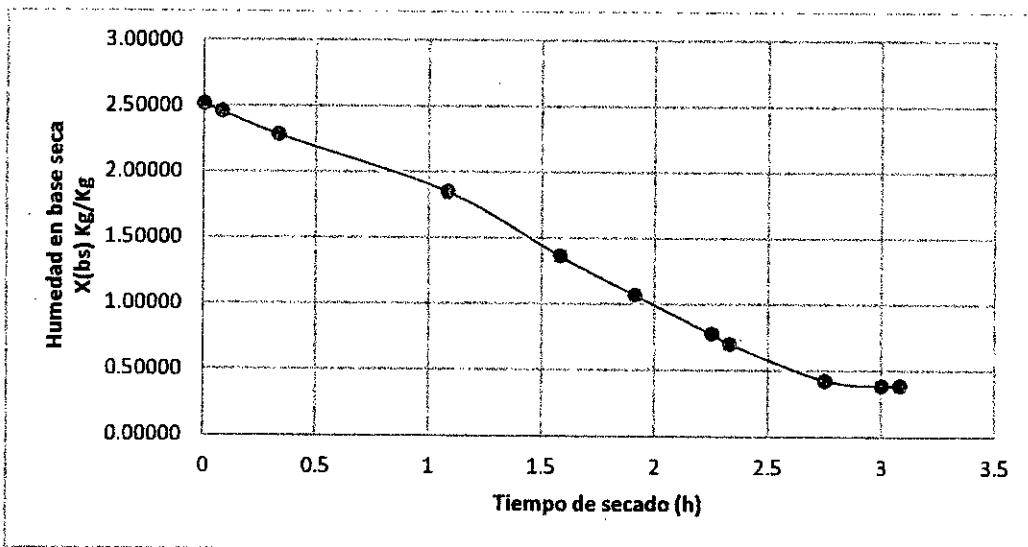
TABLA N° 5.9

DATA PARA LA VELOCIDAD DE SECADO A 50°C CON 9s DE PULSACIONES

t (h)	Peso Muestra)kg=	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m _o)%	X(bs) Valor Medio	Rate (Kg/Kgss.h)
0	0.018	71.56	2.51617	0.00000		0.00000
0.08	0.0177	71.08	2.45757	1.66667	2.48687	0.73254
0.33	0.0168	69.53	2.28176	6.66667	2.32083	0.97672
1.08	0.0146	64.94	1.85201	18.88889	1.90084	1.22089
1.58	0.0121	57.69	1.36365	32.77778	1.41249	1.22089
1.91	0.0106	51.71	1.07064	41.11111	1.11947	1.22089
2.25	0.0091	43.75	0.77762	49.44444	0.82646	1.08524
2.33	0.0087	41.16	0.69948	51.66667	0.73855	0.97672
2.75	0.0073	29.87	0.42600	59.44444	0.44554	0.43410
3	0.0071	27.90	0.38694	60.55556	0.39670	0.21705
3.08	0.0071	27.90	0.38694	60.55556	0.38694	0.00000

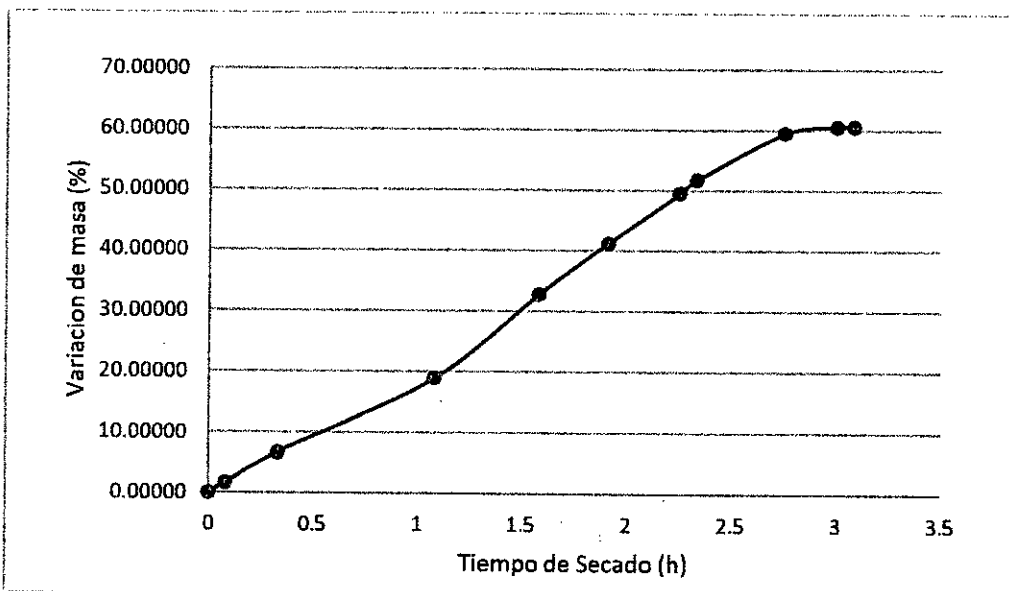
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.13
CURVA DE SECADO A 50°C Y 9S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



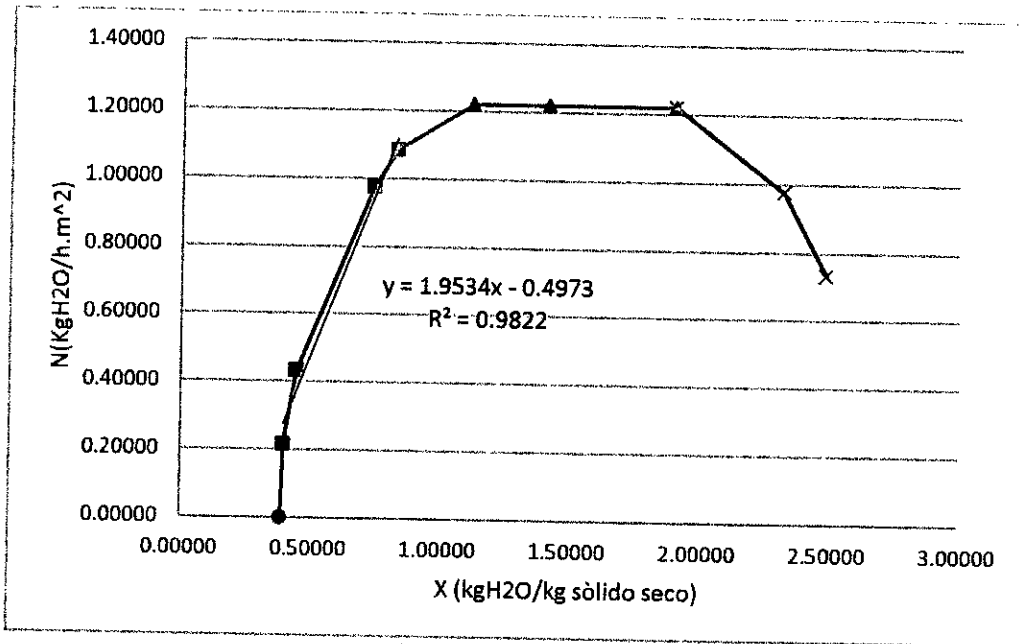
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.14
VARIACIÓN DE MASA A 50°C Y 9S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



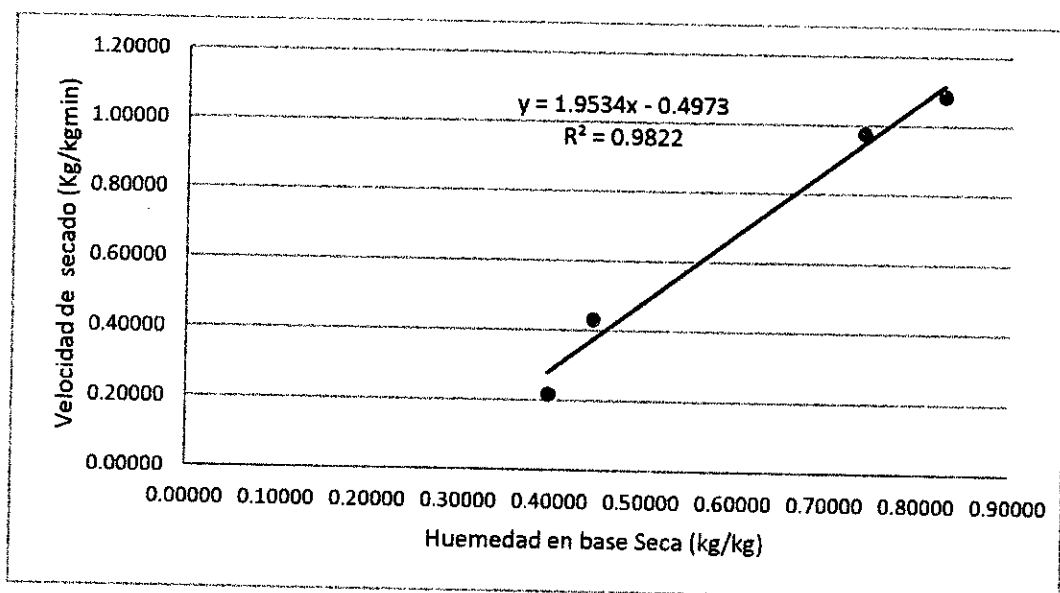
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.15
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 50°C Y 9S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.16
SEGMENTO DE CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 50°C Y 9S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



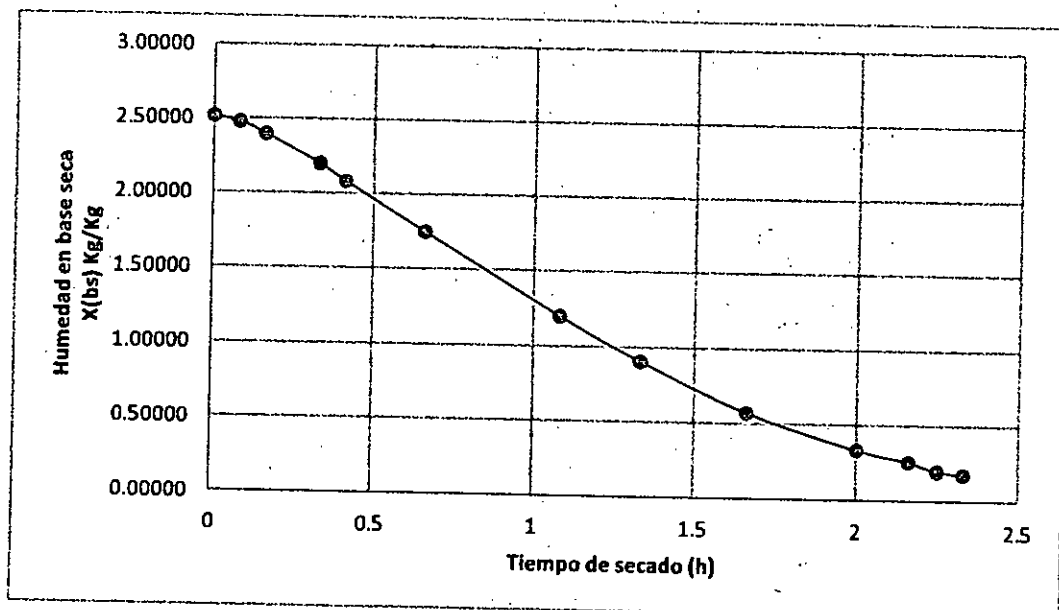
Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5.10
DATA PARA LA VELOCIDAD DE SECADO A 50°C CON 12s DE PULSACIONES

t (h)	Peso Muestra (kg)	Y (%)	X (bs) Kg/Kg	(Δm/m) %	X (bs) Valor Medio	Rate (Kg/Kgss.h)
0	0.0179	71.56	2.51617	0.00000		0.00000
0.08	0.0177	71.24	2.47689	1.11732	2.49653	0.49109
0.16	0.0173	70.57	2.39831	3.35196	2.43760	0.98217
0.33	0.0163	68.77	2.20188	8.93855	2.26081	1.47326
0.41	0.0157	67.57	2.08402	12.29050	2.14295	1.47326
0.66	0.014	63.64	1.75008	21.78771	1.80901	1.47326
1.08	0.0112	54.55	1.20006	37.43017	1.24917	1.22771
1.33	0.0097	47.52	0.90541	45.81006	0.95452	1.22771
1.66	0.008	36.37	0.57147	55.30726	0.62058	1.22771
2	0.0068	25.14	0.33575	62.01117	0.37504	0.87304
2.16	0.0064	20.46	0.25718	64.24581	0.28664	0.73663
2.25	0.0061	16.54	0.19825	65.92179	0.22771	0.65478
2.33	0.006	15.15	0.17861	66.48045	0.18843	0.24554

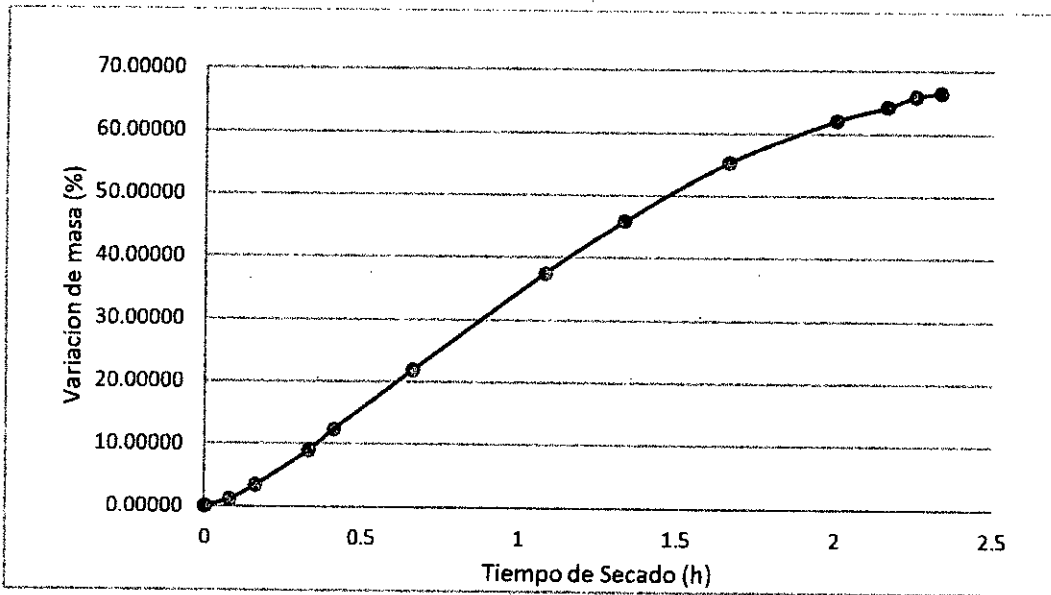
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.17
CURVA DE SECADO A 50°C Y 12s DE PULSACIONES DE MICROONDAS



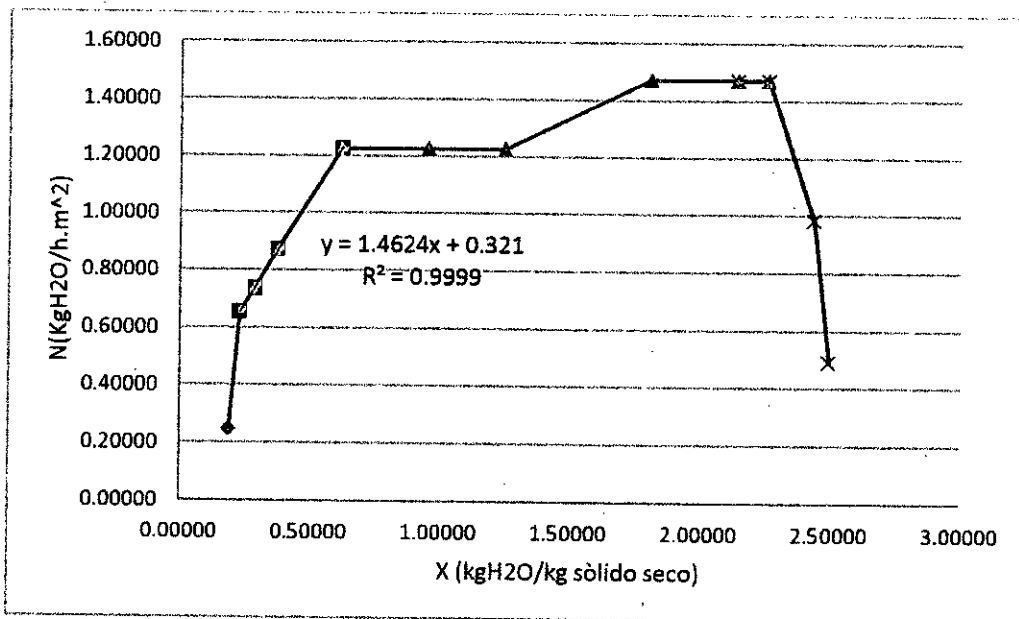
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.18
VARIACIÓN DE MASA A 50°C Y 12S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

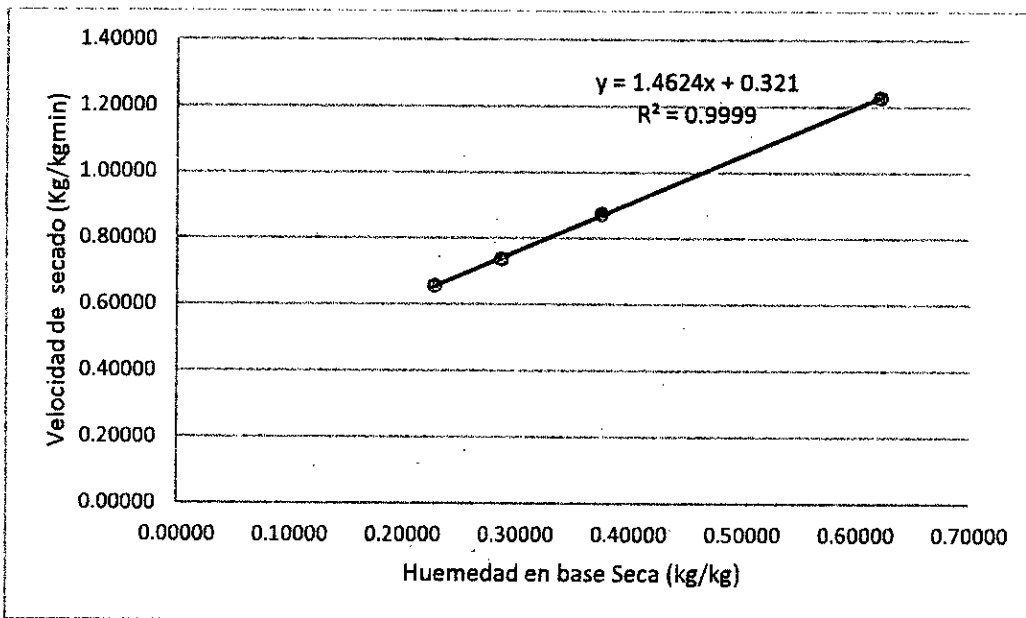
GRÁFICO 5.19
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 50°C Y 12S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.20

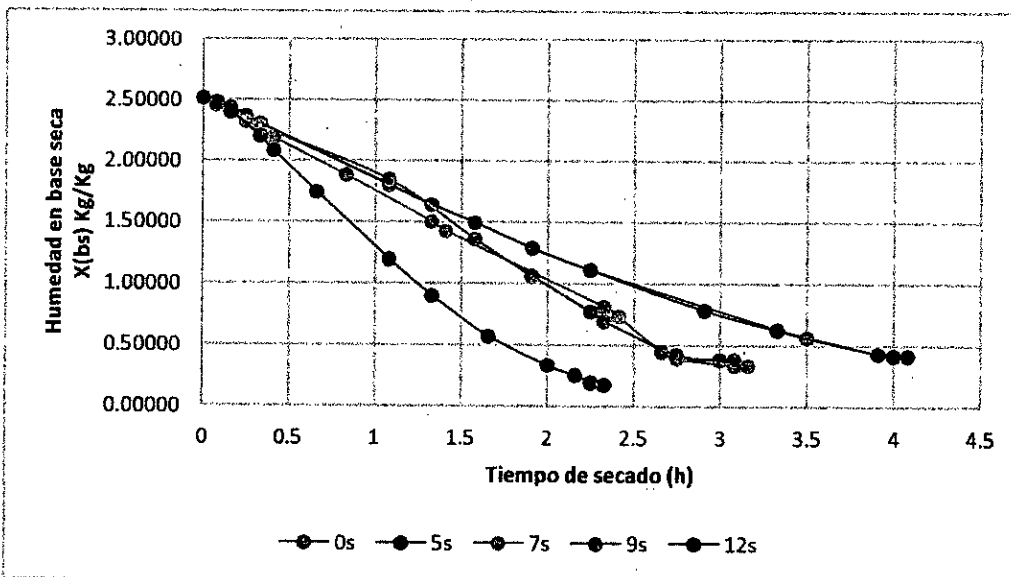
SEGMENTO DE CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 50°C Y 12S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.21

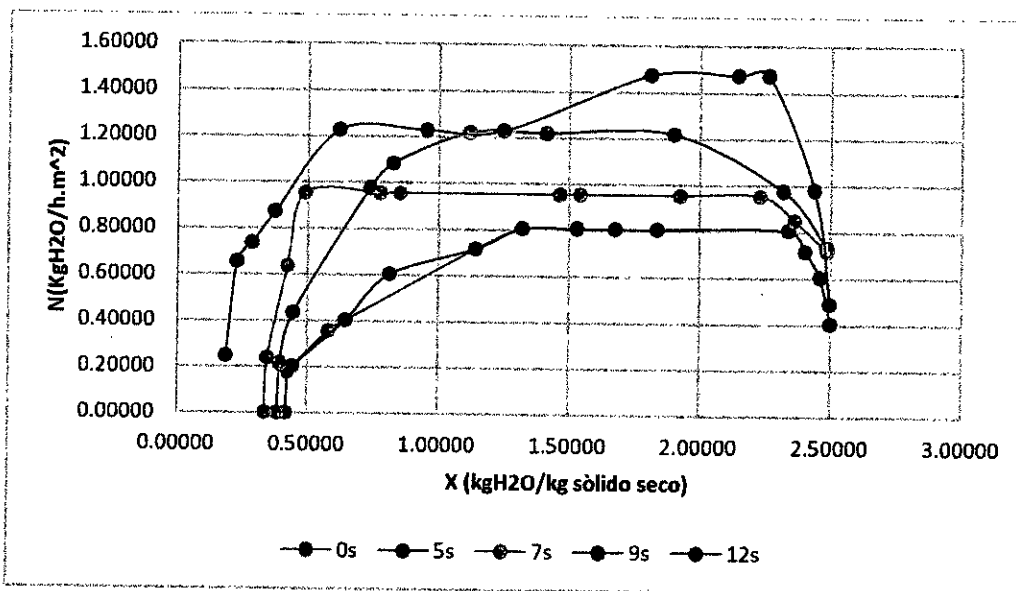
COMPARATIVA DE CURVAS DE SECADO A 50°C CON DIFERENTES TIEMPOS DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.22

COMPARATIVA DE CURVAS DE VELOCIDAD DE SECADO A 50°C CON DIFERENTES TIEMPOS DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

➤ **Pruebas a 55°C:**

TABLA 5.11

PRUEBA DE SECADO A 55°C Y 0 S DE PULSACIONES DE MICROONDAS

55°C y 0s				
t (h)	ω muestra (Kg)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m ₀)%
0.00	0.0218	71.56	2.516	0.00
0.08	0.0216	71.29	2.483	0.91
0.16	0.0213	70.89	2.435	2.29
0.25	0.0209	70.33	2.370	4.12
0.33	0.0205	69.75	2.305	5.96
0.41	0.0202	69.30	2.257	7.33
0.50	0.0198	68.68	2.192	9.17
0.58	0.0193	67.87	2.112	11.46
0.66	0.0191	67.53	2.079	12.38
0.75	0.0186	66.66	1.999	14.67

0.83	0.0183	66.12	1.951	16.05
0.91	0.0182	65.93	1.935	16.51
1.00	0.0178	65.16	1.870	18.34
1.08	0.0174	64.36	1.805	20.18
1.16	0.0169	63.31	1.725	22.47
1.25	0.0168	63.09	1.709	22.93
1.33	0.0164	62.19	1.644	24.77
1.41	0.0161	61.49	1.596	26.14
1.50	0.0159	61.00	1.564	27.06
1.58	0.0155	60.00	1.500	28.89
1.66	0.0152	59.21	1.451	30.27
1.75	0.0148	58.10	1.386	32.11
1.83	0.0146	57.53	1.354	33.02
1.91	0.0142	56.33	1.289	34.86
2.00	0.0139	55.39	1.241	36.23
2.08	0.0137	54.74	1.209	37.15
2.16	0.0135	54.07	1.177	38.07
2.25	0.0131	52.67	1.112	39.90
2.33	0.0129	51.93	1.080	40.82
2.41	0.0127	51.18	1.048	41.74
2.50	0.0123	49.59	0.983	43.57
2.58	0.0121	48.76	0.951	44.49
2.66	0.0119	47.89	0.919	45.41
2.75	0.0115	46.08	0.854	47.24
2.83	0.0114	45.61	0.838	47.70
2.91	0.0111	44.14	0.790	49.08
3.00	0.0109	43.12	0.758	50.00
3.08	0.0108	42.59	0.741	50.45
3.16	0.0105	40.95	0.693	51.83
3.25	0.0103	39.80	0.661	52.75
3.33	0.0101	38.61	0.628	53.66
3.41	0.0099	37.37	0.596	54.58
3.50	0.0097	36.08	0.564	55.50
3.58	0.0095	34.73	0.532	56.42
3.66	0.0093	33.33	0.499	57.33
3.75	0.0092	32.60	0.483	57.79
3.83	0.0090	31.11	0.451	58.71
3.91	0.0089	30.33	0.435	59.17

4.00	0.0088	29.54	0.419	59.63
4.08	0.0086	27.90	0.386	60.55
4.16	0.0085	27.05	0.370	61.00
4.25	0.0084	26.19	0.354	61.46
4.33	0.0084	26.19	0.354	61.46
4.41	0.0084	26.19	0.354	61.46

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.12
PRUEBA DE SECADO A 55°C Y 5 S DE PULSACIONES DE
MICROONDAS

55°C y 5s				
t (h)	ω muestra (Kg)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	($\Delta m/m_0$)%
0.00	0.0190	71.56	2.516	0.00
0.08	0.0186	70.94	2.441	2.10
0.16	0.0183	70.47	2.386	3.68
0.25	0.0180	69.98	2.331	5.26
0.33	0.0175	69.12	2.238	7.89
0.41	0.0171	68.40	2.164	9.99
0.50	0.0166	67.44	2.071	12.63
0.58	0.0164	67.05	2.034	13.68
0.66	0.0160	66.22	1.960	15.78
0.75	0.0156	65.36	1.886	17.89
0.83	0.0153	64.68	1.831	19.47
0.91	0.0148	63.48	1.738	22.10
1.00	0.0142	61.94	1.627	25.26
1.08	0.0135	59.97	1.498	28.94
1.16	0.0131	58.75	1.424	31.05
1.25	0.0127	57.45	1.350	33.15
1.33	0.0120	54.97	1.220	36.84
1.41	0.0118	54.20	1.183	37.89
1.50	0.0116	53.41	1.146	38.94
1.58	0.0113	52.18	1.091	40.52
1.66	0.0113	52.18	1.091	40.52
1.75	0.0110	50.87	1.035	42.10
1.83	0.0106	49.02	0.961	44.21
1.91	0.0099	45.41	0.831	47.89
2.00	0.0096	43.71	0.776	49.47
2.08	0.0094	42.51	0.739	50.52

2.16	0.0090	39.96	0.665	52.63
2.25	0.0087	37.88	0.609	54.21
2.33	0.0084	35.67	0.554	55.78
2.41	0.0083	34.89	0.535	56.31
2.50	0.0083	34.89	0.535	56.31
2.58	0.0082	34.10	0.517	56.84
2.66	0.0081	33.28	0.498	57.36
2.75	0.0080	32.45	0.480	57.89
2.83	0.0079	31.60	0.461	58.42
2.91	0.0079	31.60	0.461	58.42
3.00	0.0077	29.82	0.424	59.47
3.08	0.0076	28.90	0.406	60.00
3.16	0.0075	27.95	0.387	60.52
3.25	0.0074	26.97	0.369	61.05
3.33	0.0073	25.97	0.350	61.57
3.41	0.0072	24.95	0.332	62.10
3.49	0.0072	24.95	0.332	62.10
3.57	0.0072	24.95	0.332	62.10
3.65	0.0072	24.95	0.332	62.10
3.73	0.0072	24.95	0.332	62.10

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.13
PRUEBA DE SECADO A 55°C Y 7 S DE PULSACIONES DE
MICROONDAS

55°C y 7s				
t (h)	ω muestra (Kg)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	($\Delta m/m_0$)%
0.00	0.0187	71.56	2.516	0.00
0.08	0.0184	71.09	2.459	1.60
0.16	0.0177	69.95	2.327	5.34
0.25	0.0175	69.60	2.289	6.41
0.33	0.0171	68.89	2.214	8.55
0.41	0.0167	68.15	2.139	10.69
0.50	0.0165	67.76	2.101	11.76
0.58	0.0163	67.37	2.064	12.83
0.66	0.0162	67.17	2.045	13.36
0.75	0.0157	66.12	1.951	16.04
0.83	0.0152	65.01	1.857	18.71

0.91	0.0148	64.06	1.782	20.85
1.00	0.0145	63.32	1.726	22.45
1.08	0.0141	62.28	1.651	24.59
1.16	0.0139	61.73	1.613	25.66
1.25	0.0136	60.89	1.556	27.27
1.33	0.0130	59.09	1.444	30.48
1.41	0.0127	58.12	1.387	32.08
1.50	0.0121	56.04	1.274	35.29
1.58	0.0117	54.54	1.199	37.43
1.66	0.0110	51.65	1.068	41.17
1.75	0.0109	51.20	1.049	41.71
1.83	0.0106	49.82	0.992	43.31
1.91	0.0099	46.28	0.861	47.05
2.00	0.0096	44.60	0.805	48.66
2.08	0.0093	42.81	0.748	50.26
2.16	0.0088	39.56	0.654	52.94
2.25	0.0086	38.15	0.616	54.01
2.33	0.0083	35.92	0.560	55.61
2.41	0.0080	33.52	0.504	57.21
2.50	0.0079	32.68	0.485	57.75
2.58	0.0077	30.93	0.447	58.82
2.66	0.0076	30.02	0.428	59.35
2.75	0.0076	30.02	0.428	59.35
2.83	0.0075	29.08	0.410	59.89
2.91	0.0075	29.08	0.410	59.89
3.00	0.0075	29.08	0.410	59.89
3.08	0.0075	29.08	0.410	59.89
3.16	0.0075	29.08	0.410	59.89

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.14
PRUEBA DE SECADO A 55°C Y 9 S DE PULSACIONES DE
MICROONDAS

55°C y 9s				
t (h)	ω muestra (Kg)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	($\Delta m/m_0$)%
0.00	0.0189	71.56	2.516	0.00
0.08	0.0187	71.25	2.478	1.05
0.16	0.0185	70.94	2.441	2.11

0.25	0.0180	70.13	2.347	4.76
0.33	0.0176	69.45	2.273	6.87
0.41	0.0173	68.92	2.217	8.46
0.50	0.0171	68.56	2.180	9.52
0.58	0.0165	67.42	2.069	12.69
0.66	0.0163	67.02	2.032	13.75
0.75	0.0156	65.54	1.901	17.46
0.83	0.0153	64.86	1.845	19.04
0.91	0.0147	63.43	1.734	22.22
1.00	0.0140	61.60	1.604	25.92
1.08	0.0137	60.76	1.548	27.51
1.16	0.0131	58.96	1.436	30.68
1.25	0.0127	57.67	1.362	32.80
1.33	0.0121	55.57	1.250	35.97
1.41	0.0118	54.44	1.194	37.56
1.50	0.0114	52.84	1.120	39.68
1.58	0.0108	50.23	1.009	42.85
1.66	0.0103	47.81	0.916	45.50
1.75	0.0099	45.70	0.841	47.61
1.83	0.0095	43.41	0.767	49.73
1.91	0.0087	38.21	0.618	53.96
2.00	0.0085	36.76	0.581	55.02
2.08	0.0085	36.76	0.581	55.02
2.16	0.0082	34.44	0.525	56.61
2.25	0.0079	31.96	0.469	58.20
2.33	0.0076	29.27	0.413	59.78
2.41	0.0074	27.36	0.376	60.84
2.50	0.0074	27.36	0.376	60.84
2.58	0.0073	26.36	0.357	61.37
2.66	0.0072	25.34	0.339	61.90
2.75	0.0071	24.29	0.320	62.43
2.83	0.0070	23.21	0.302	62.96
2.91	0.0070	23.21	0.302	62.96
3.00	0.0070	23.21	0.302	62.96

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.15
PRUEBA DE SECADO A 55°C Y 12 S DE PULSACIONES DE
MICROONDAS

55°C y 12s				
t (h)	ω muestra (Kg)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	($\Delta m/m_0$)%
0.00	0.0192	71.56	2.516	0.00
0.08	0.0188	70.95	2.442	2.08
0.16	0.0185	70.48	2.387	3.64
0.25	0.018	69.66	2.295	6.25
0.33	0.0174	68.61	2.185	9.37
0.41	0.0166	67.10	2.039	13.54
0.50	0.0158	65.44	1.893	17.70
0.58	0.0152	64.07	1.783	20.83
0.66	0.0147	62.85	1.691	23.43
0.75	0.0141	61.27	1.581	26.56
0.83	0.0135	59.55	1.472	29.68
0.91	0.013	57.99	1.380	32.29
1.00	0.0126	56.66	1.307	34.37
1.08	0.0121	54.87	1.215	36.97
1.16	0.0117	53.32	1.142	39.06
1.25	0.0109	49.9	0.996	43.22
1.33	0.0104	47.49	0.904	45.83
1.41	0.0097	43.70	0.776	49.47
1.50	0.0093	41.28	0.702	51.56
1.58	0.0091	39.99	0.666	52.60
1.66	0.0086	36.50	0.574	55.20
1.75	0.0082	33.40	0.501	57.29
1.83	0.0077	29.08	0.410	59.89
1.91	0.0074	26.20	0.355	61.45
2.00	0.0073	25.19	0.336	61.97
2.08	0.0072	24.16	0.318	62.50
2.16	0.0072	24.16	0.318	62.50
2.25	0.0071	23.09	0.300	63.02
2.33	0.0070	21.99	0.281	63.54
2.41	0.0070	21.99	0.281	63.54
2.50	0.0070	21.99	0.281	63.54
2.58	0.0070	21.99	0.281	63.54

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo las curvas de secado que se muestran a continuación:

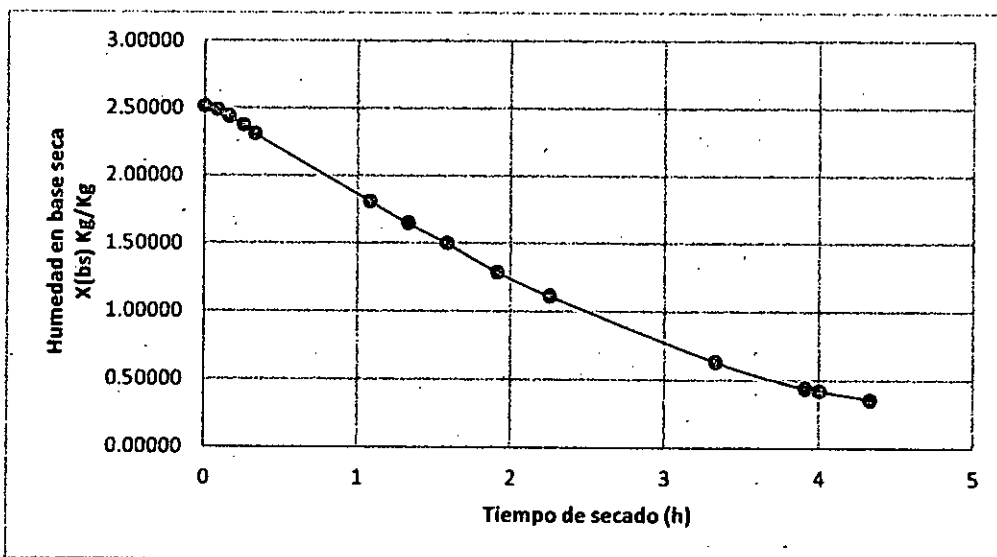
TABLA 5.16
DATA PARA LA VELOCIDAD DE SECADO A 55°C CON 0s DE PULSACIONES

t (h)	Peso Muestra)kg=	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m₀)%	X(bs) Valor Medio	Rate (Kg/Kgss h)
0	0.0218	71.56	2.51617	0.00000		0.00000
0.08	0.0216	71.30	2.48392	0.91743	2.50005	0.40323
0.16	0.0213	70.89	2.43553	2.29358	2.45972	0.60485
0.25	0.0209	70.34	2.37101	4.12844	2.40327	0.71686
0.33	0.0205	69.76	2.30649	5.96330	2.33875	0.80646
1.08	0.0174	64.37	1.80649	20.18349	1.83875	0.80646
1.33	0.0164	62.20	1.64520	24.77064	1.67745	0.80646
1.58	0.0155	60.00	1.50003	28.89908	1.53229	0.80646
1.91	0.0142	56.34	1.29035	34.86239	1.32261	0.80646
2.25	0.0131	52.67	1.11293	39.90826	1.14519	0.71686
3.33	0.0101	38.61	0.62905	53.66972	0.64518	0.40323
3.91	0.0089	30.34	0.43550	59.17431	0.44357	0.20162
4	0.0088	29.55	0.41937	59.63303	0.42744	0.17921
4.33	0.0084	26.19	0.35486	61.46789	0.35486	0.00000

Fuente: Elaboración propia

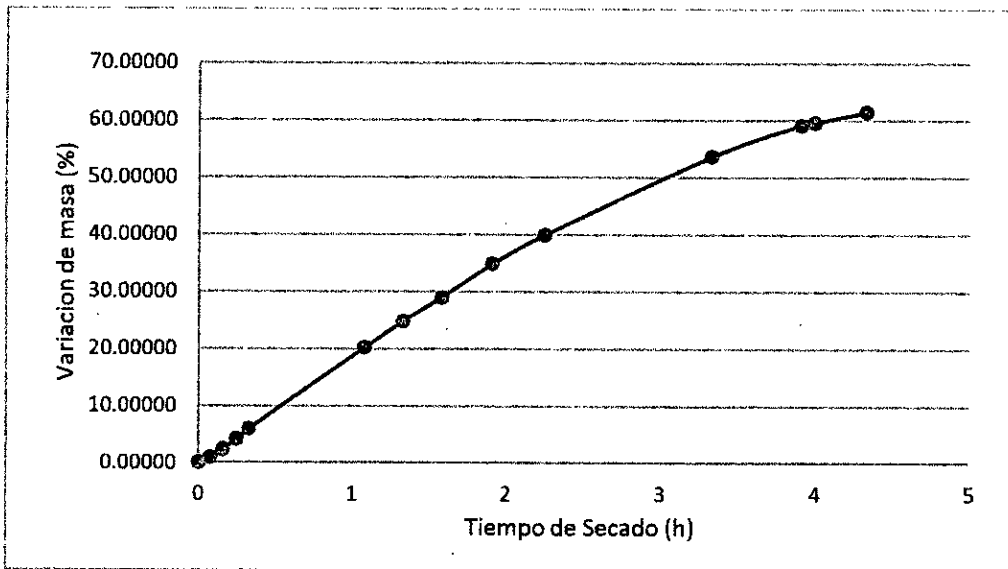
GRÁFICO 5.23

CURVA DE SECADO A 55°C Y 0s DE PULSACIONES DE MICROONDAS



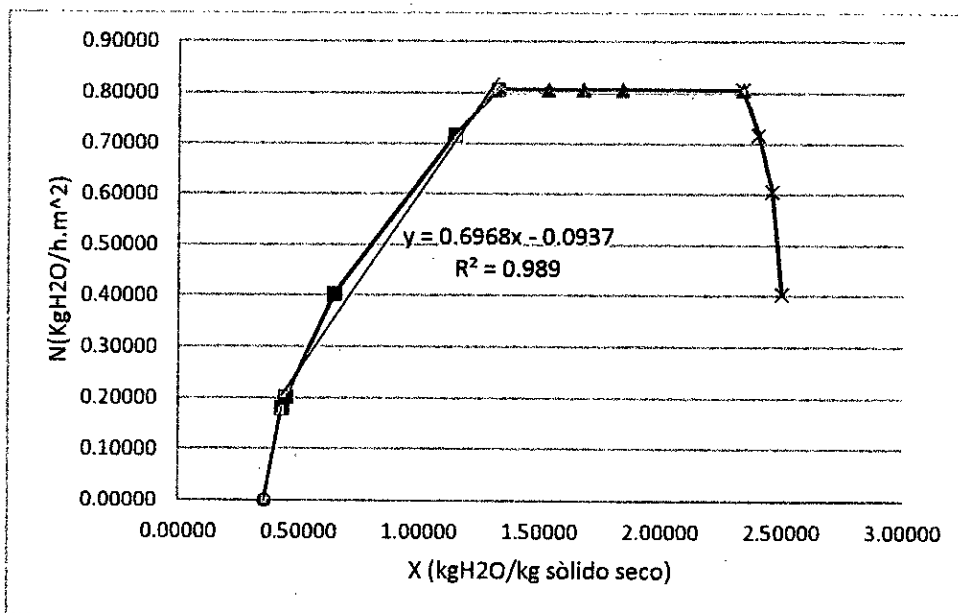
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.24
VARIACIÓN DE MASA A 55°C Y 0S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

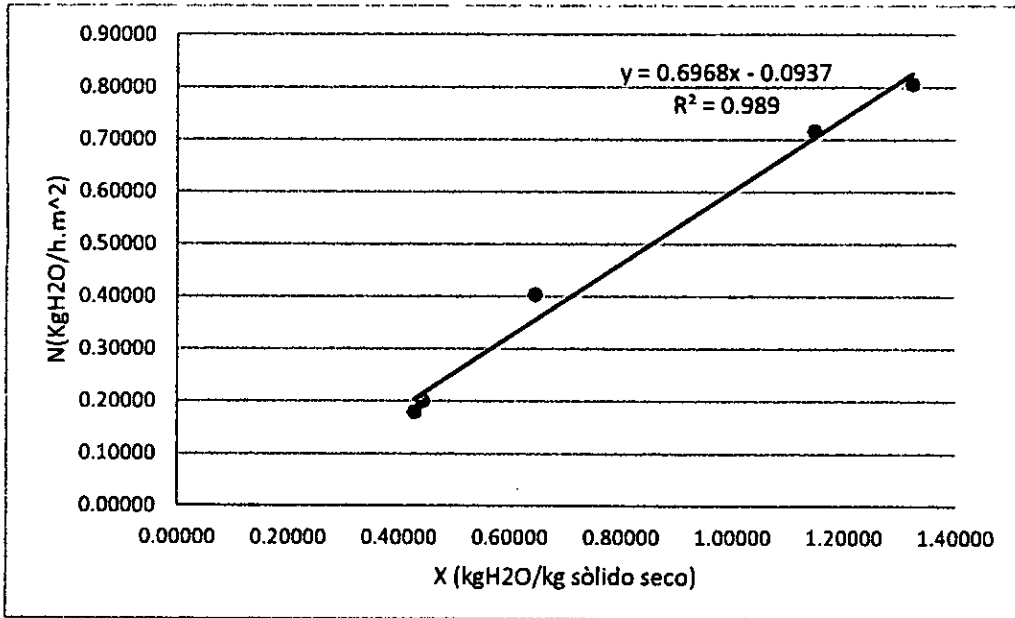
GRÁFICO 5.25
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 55°C Y 0S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.26

SEGMENTO DE CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 55°C Y 0S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

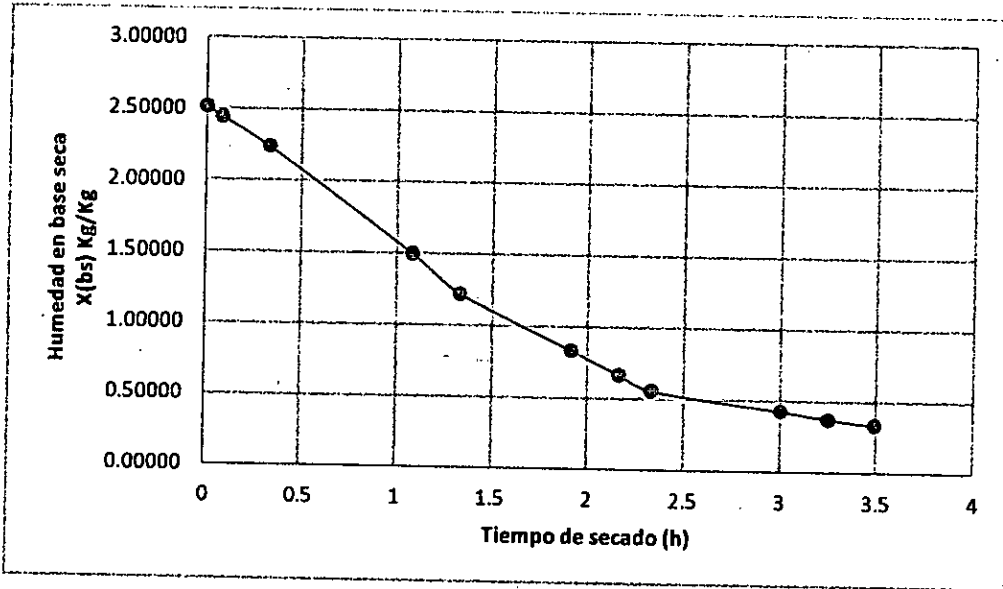
TABLA 5.17

DATA PARA LA VELOCIDAD DE SECADO A 55°C CON 5s DE PULSACIONES

t (h)	Peso Muestra)kg=	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m ₀)%	X(bs) Valor Medio	Rate (Kg/Kgss.h)
0	0.019	71.56	2.51617	0.00000		0.00000
0.08	0.0186	70.95	2.44215	2.10526	2.47916	0.92531
0.33	0.0175	69.12	2.23858	7.89474	2.28485	1.15664
1.08	0.0135	59.97	1.49833	28.94737	1.56311	1.61929
1.33	0.012	54.97	1.22074	36.84211	1.28551	1.61929
1.91	0.0099	45.42	0.83211	47.89474	0.89688	1.61929
2.16	0.009	39.96	0.66556	52.63158	0.70257	0.92531
2.33	0.0084	35.67	0.55452	55.78947	0.58228	0.69398
3	0.0077	29.82	0.42498	59.47368	0.44348	0.41125
3.25	0.0074	26.98	0.36946	61.05263	0.37871	0.20562
3.49	0.0072	24.95	0.33245	62.10526	0.33245	0.00000

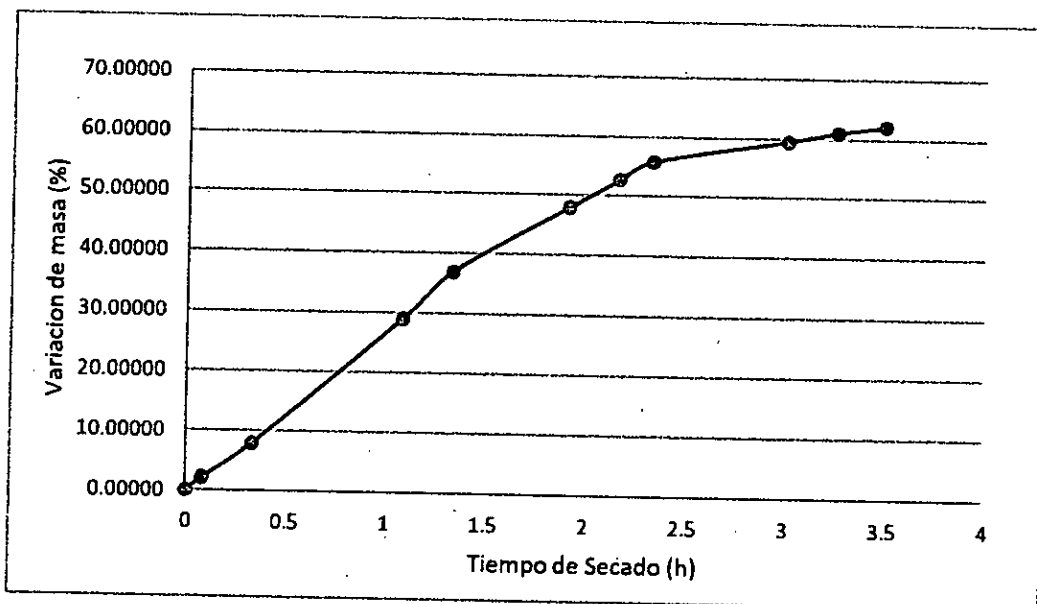
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.27
CURVA DE SECADO A 55°C Y 5S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



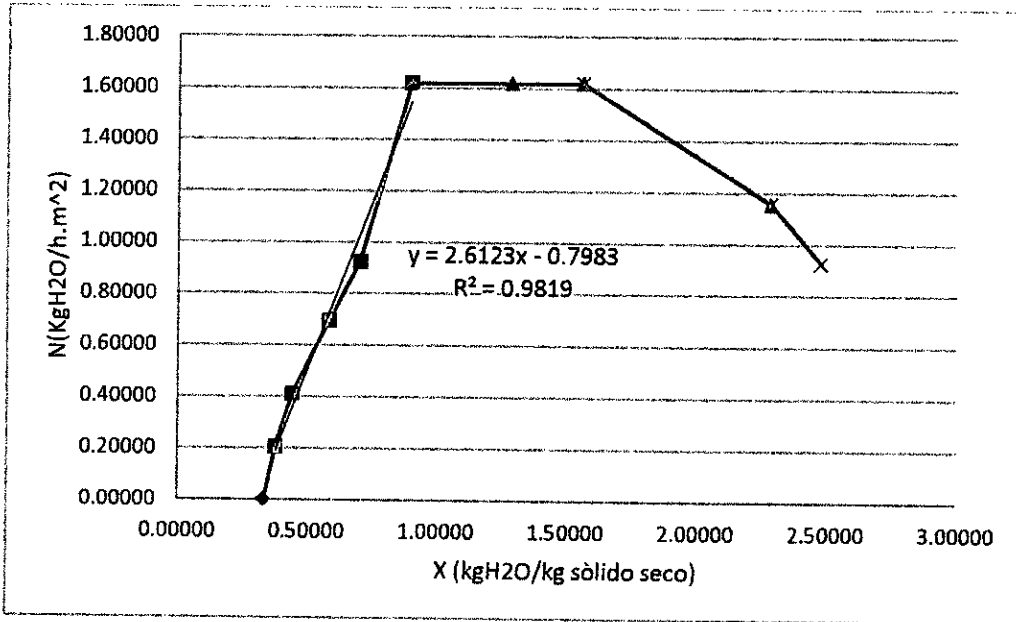
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.28
VARIACIÓN DE MASA A 55°C Y 5S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



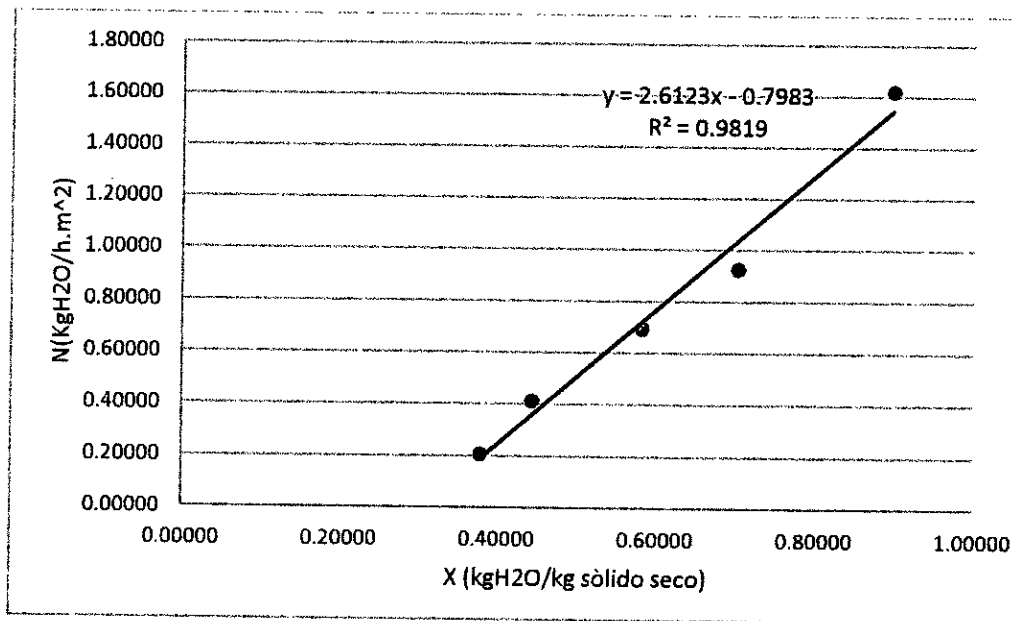
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.29
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 55°C Y 5S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.30
SEGMENTO DE CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 55°C Y 5S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



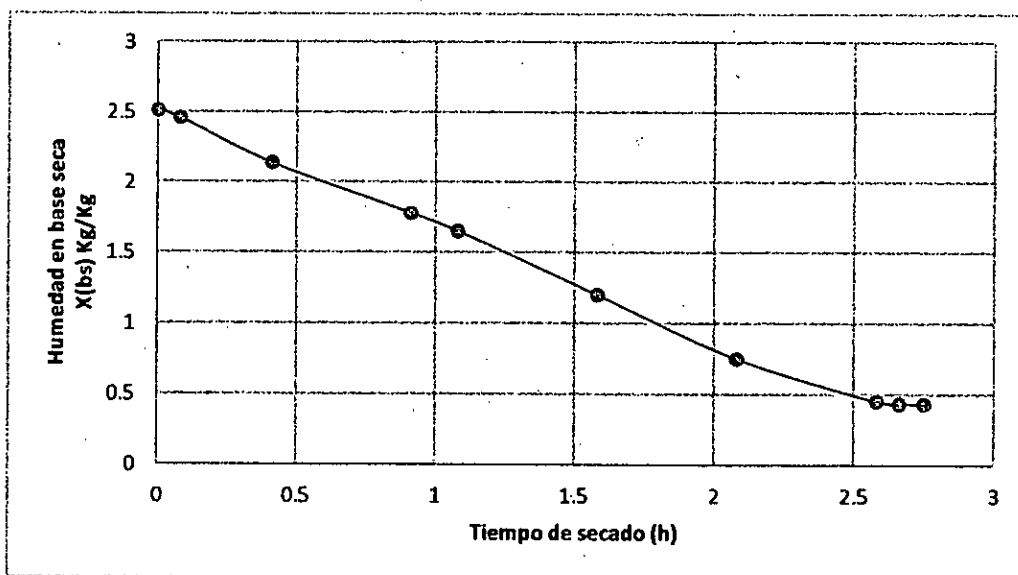
Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.18
DATA PARA LA VELOCIDAD DE SECADO A 55°C CON 7s DE PULSACIONES

t (h)	Peso Muestra)kg=	Y(%)bh	X(bs)Kg/Kg	(Δm/má)%	X(bs) Valor Medio	Rate (Kg/Kgss/h)
0	0.0187	71.56	2.516174402	0		0
0.08	0.0184	71.0963043	2.459765187	1.604278075	2.487969795	0.705115188
0.41	0.0167	68.154012	2.140112969	10.69518717	2.177719112	0.940153583
0.91	0.0148	64.0656757	1.782854607	20.85561497	1.82046075	0.940153583
1.08	0.0141	62.2817021	1.651233105	24.59893048	1.688839249	0.940153583
1.58	0.0117	54.5446154	1.199959385	37.43315508	1.237565529	0.940153583
2.08	0.0093	42.8141935	0.748685665	50.26737968	0.776890273	0.705115188
2.58	0.0077	30.9314286	0.447836519	58.82352941	0.46663959	0.470076792
2.66	0.0076	30.0226316	0.429033447	59.35828877	0.438434983	0.235038396
2.75	0.0076	30.0226316	0.429033447	59.35828877	0.429033447	0

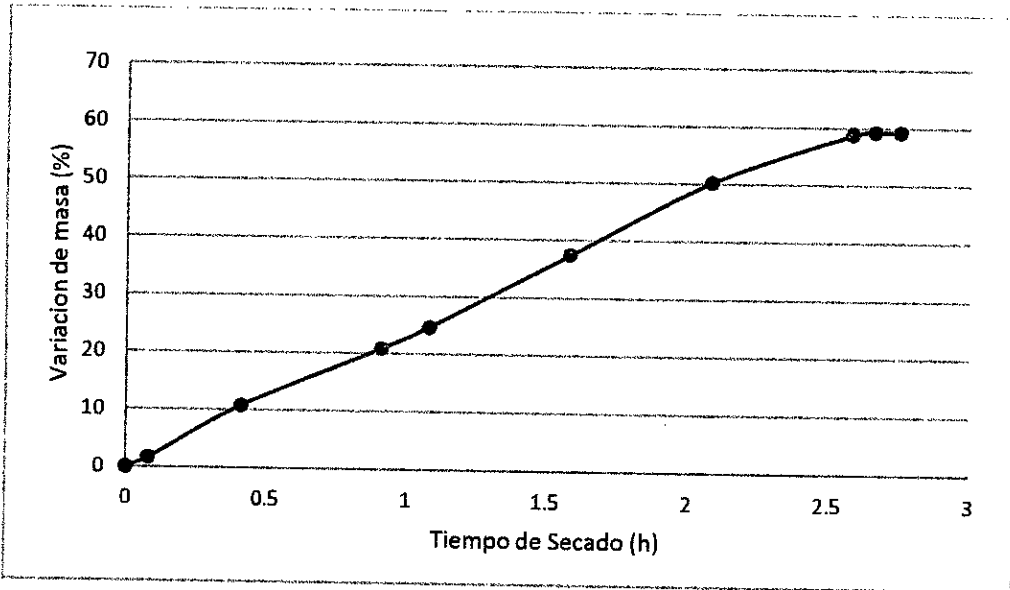
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.31
CURVA DE SECADO A 55°C Y 7S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



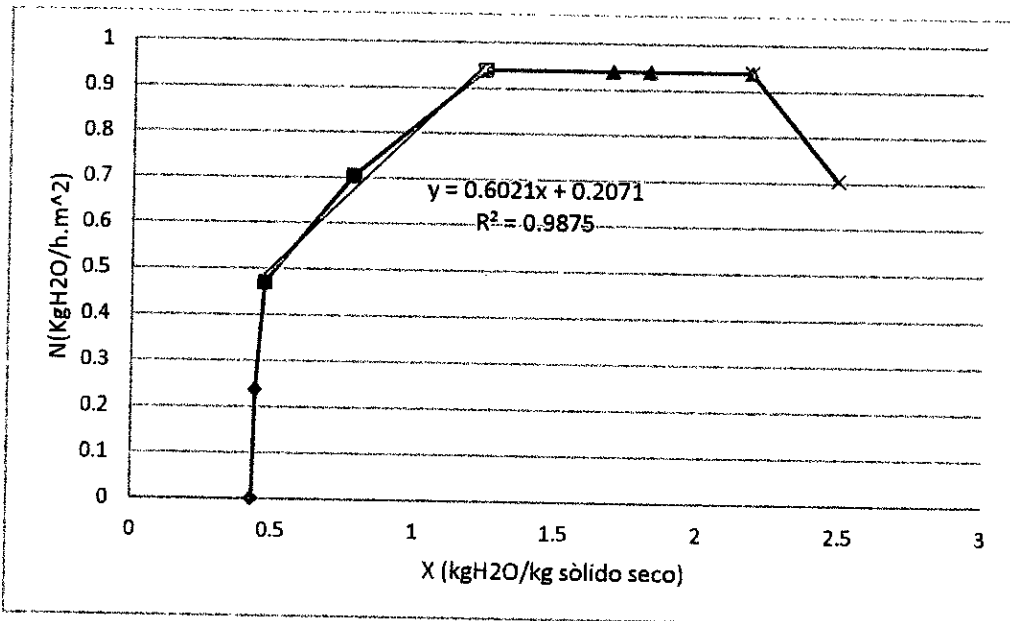
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.32
VARIACIÓN DE MASA A 55°C Y 7S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

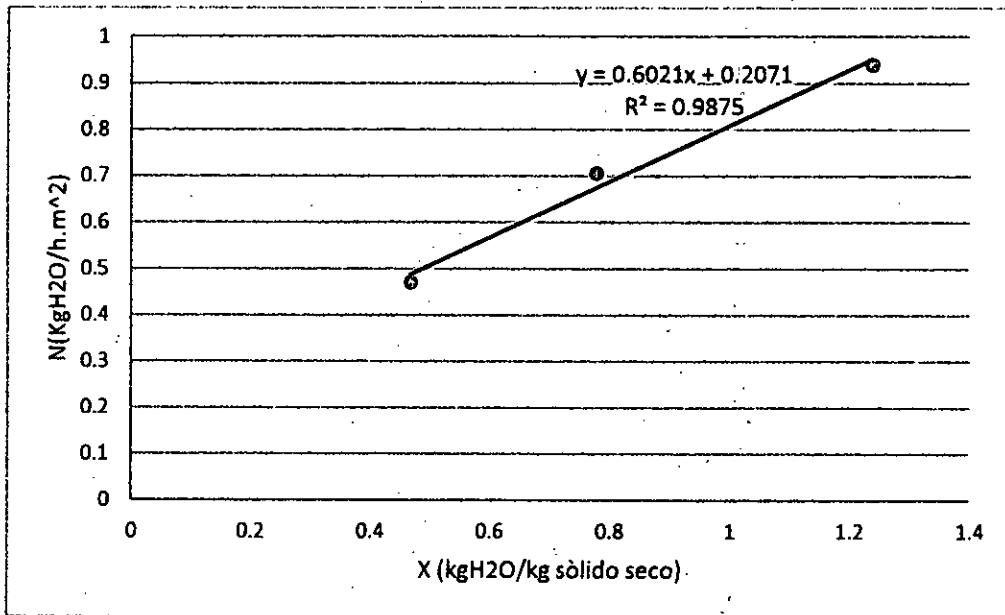
GRÁFICO 5.33
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 55°C Y 7S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.34

SEGMENTO DE CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 55°C Y 7S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

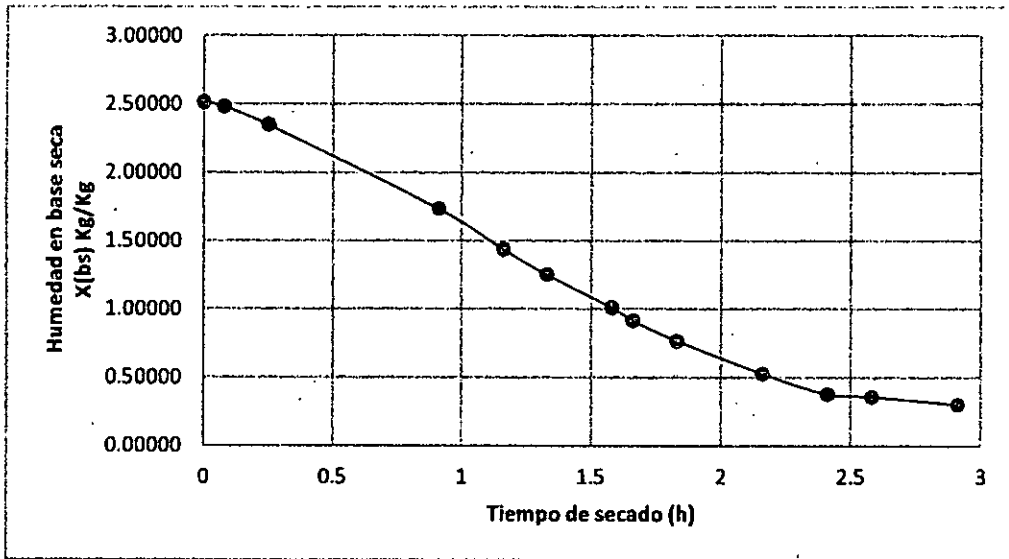
TABLA 5.19

DATA PARA LA VELOCIDAD DE SECADO A 55°C CON 9s DE PULSACIONES

t (h)	Peso Muestra (kg)	Y (%)	X (bs)	kg/Kg	(Δm/m ₀) %	X (bs)	Valor Medio	Rate (Kg/Kgss.h)
0	0.0189	71.56	2.51617	0.00000				0.00000
0.08	0.0187	71.26	2.47897	1.05820		2.49757		0.46510
0.25	0.018	70.14	2.34874	4.76190		2.39525		1.03356
0.91	0.0147	63.43	1.73480	22.22222		1.79061		1.39531
1.16	0.0131	58.97	1.43714	30.68783		1.49295		1.39531
1.33	0.0121	55.58	1.25110	35.97884		1.30691		1.39531
1.58	0.0108	50.23	1.00924	42.85714		1.06505		1.39531
1.66	0.0103	47.81	0.91622	45.50265		0.96273		1.16276
1.83	0.0095	43.42	0.76739	49.73545		0.80460		0.93020
2.16	0.0082	34.45	0.52554	56.61376		0.55344		0.69765
2.41	0.0074	27.36	0.37670	60.84656		0.39531		0.46510
2.58	0.0073	26.37	0.35810	61.37566		0.36740		0.23255
2.91	0.007	23.21	0.30229	62.96296		0.30229		0.00000

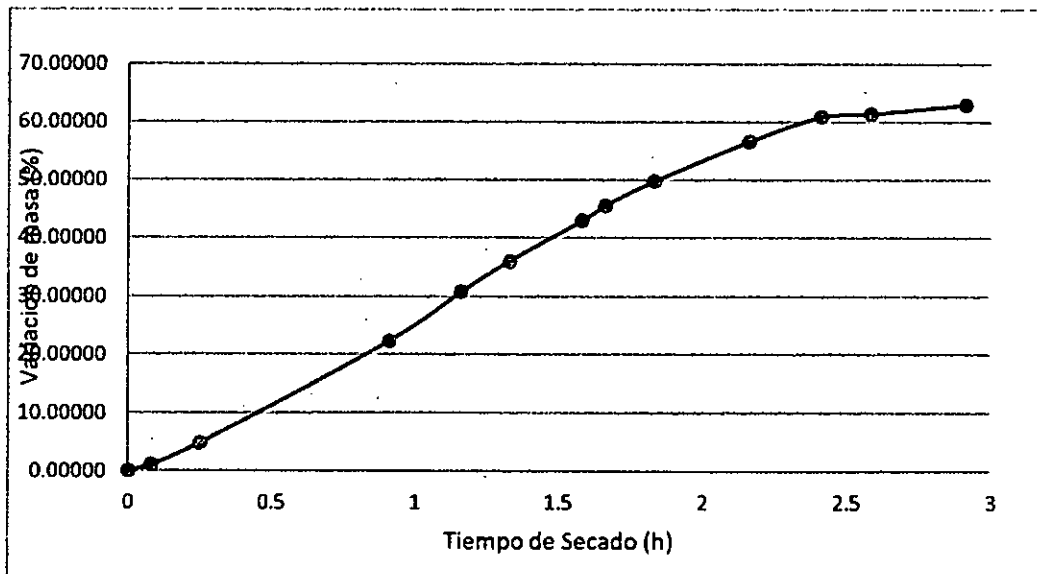
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.35
CURVA DE SECADO A 55°C Y 9S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



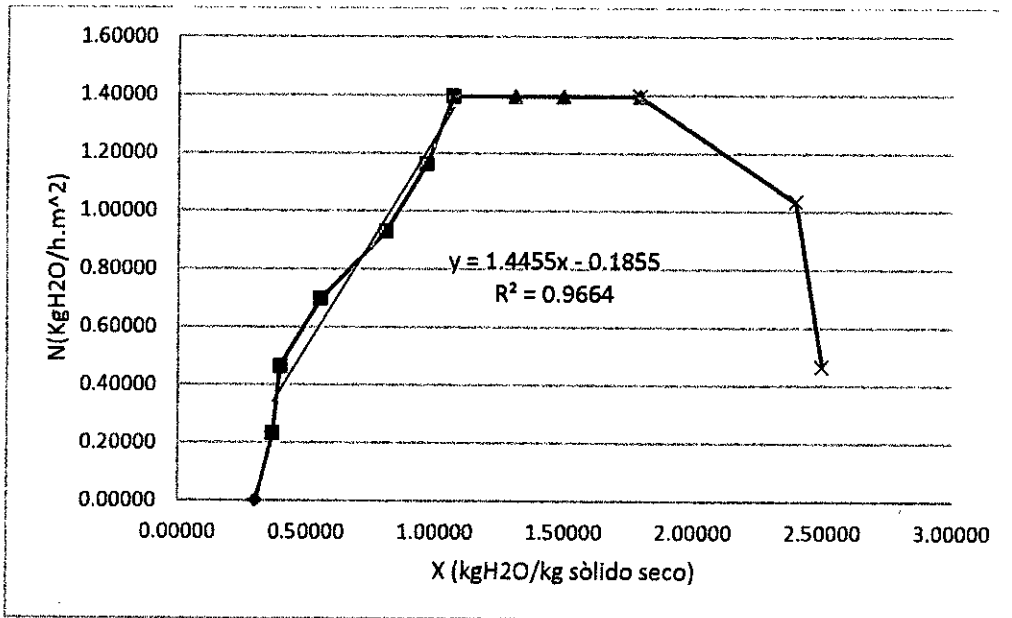
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.36
VARIACIÓN DE MASA A 55°C Y 9S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



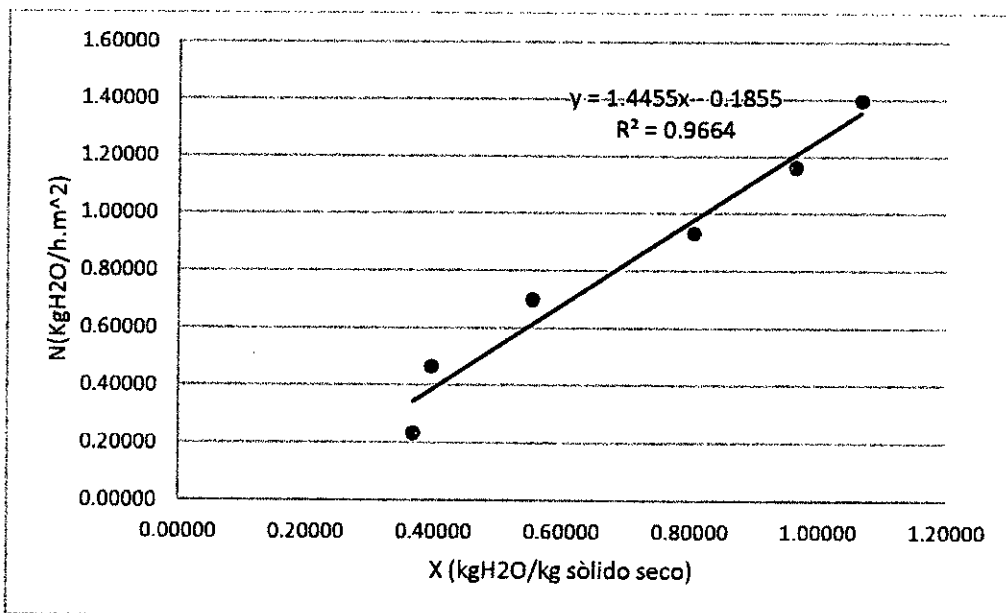
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.37
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 55°C Y 9S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.38
SEGMENTO DE CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 55°C Y 9S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



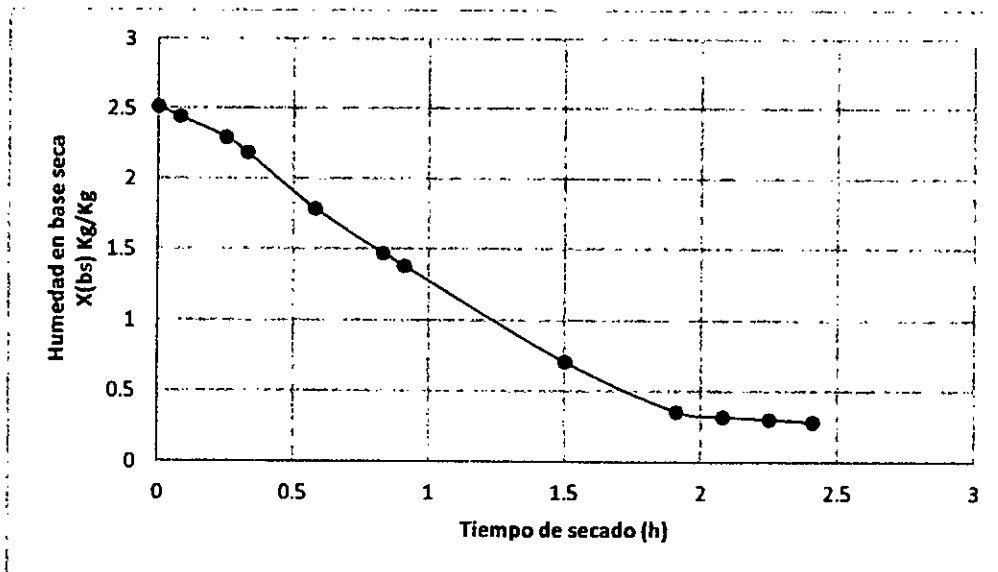
Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.20
DATA PARA LA VELOCIDAD DE SECADO A 55°C CON 12s DE PULSACIONES

t (h)	Peso Muestra)kg=	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	($\Delta m/m_0$)%	X(bs) Valor Medio	Rate (Kg/Kgss.h)
0	0.0192	71.56	2.516174402	0		0
0.08	0.0188	70.9548936	2.442920769	2.083333333	2.479547586	0.915670417
0.25	0.018	69.664	2.296413502	6.25	2.342197023	1.017411575
0.33	0.0174	68.617931	2.186533052	9.375	2.241473277	1.373505626
0.58	0.0152	64.0757895	1.783638068	20.83333333	1.838578293	1.373505626
0.83	0.0135	59.552	1.472310127	29.6875	1.527250352	1.373505626
0.91	0.013	57.9963077	1.380743085	32.29166667	1.426526606	1.144588022
1.5	0.0093	41.2851613	0.703146976	51.5625	0.739773793	0.81392926
1.91	0.0074	26.2097297	0.355192218	61.45833333	0.38266233	0.686752813
2.08	0.0072	24.16	0.318565401	62.5	0.327722105	0.228917604
2.25	0.0071	23.091831	0.300251992	63.02083333	0.309408697	0.203482315
2.41	0.007	21.9931429	0.281938584	63.54166667	0.281938584	0

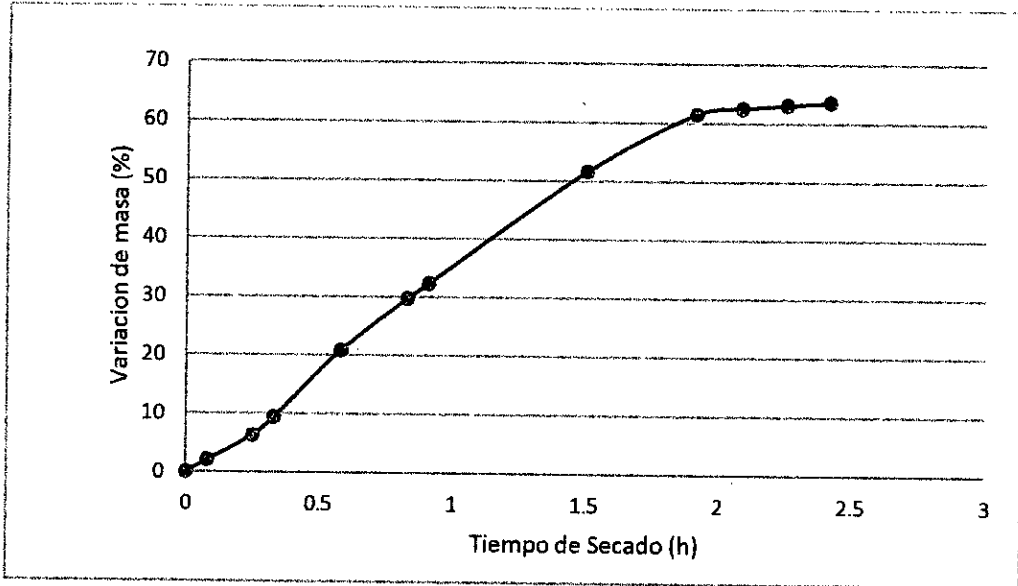
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.39
CURVA DE SECADO A 55°C Y 12S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



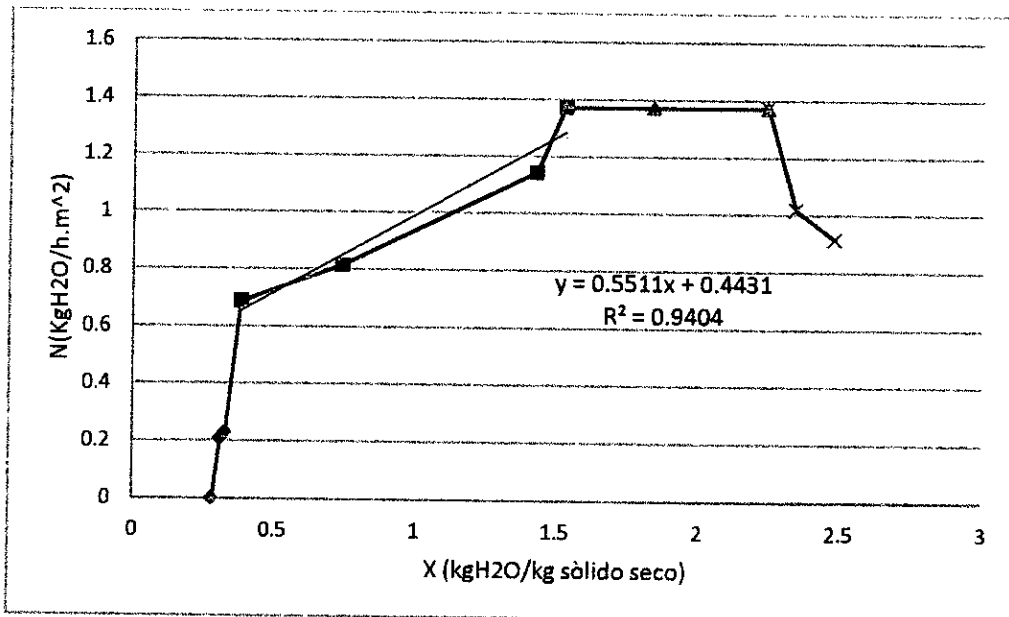
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.40
VARIACIÓN DE MASA A 55°C Y 12S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

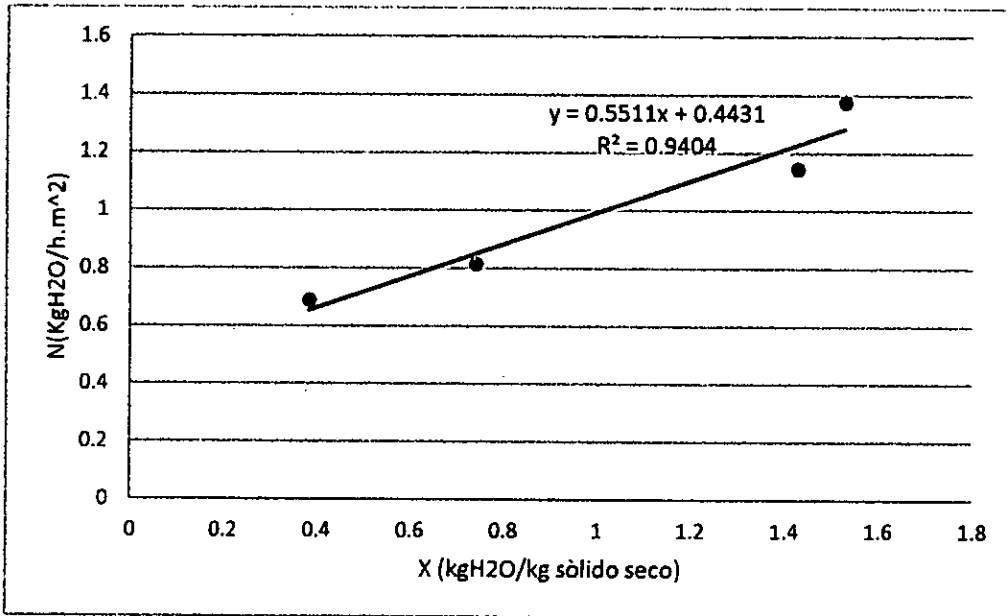
GRÁFICO 5.41
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 55°C Y 12S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.42

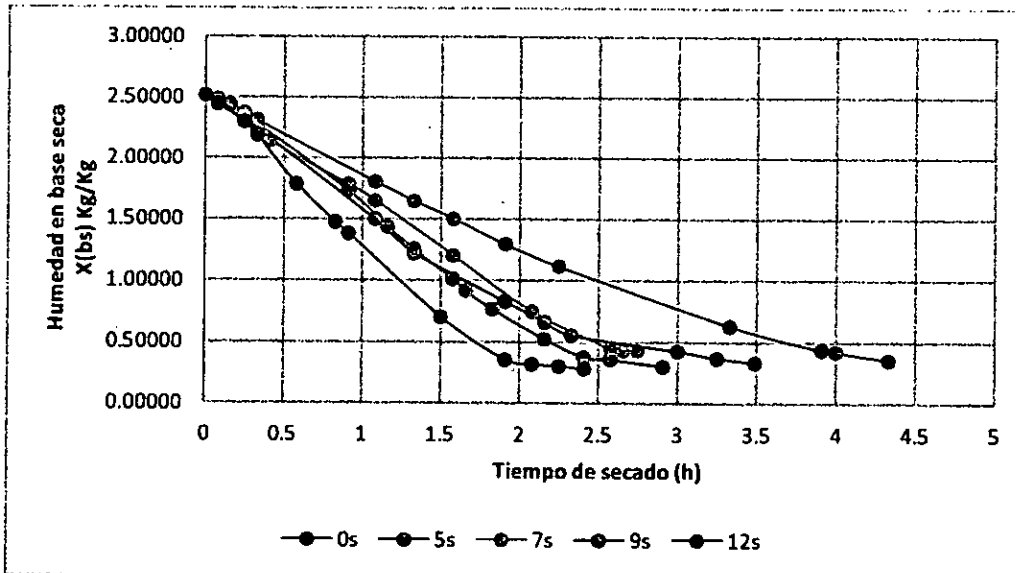
SEGMENTO DE CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 55°C Y 12S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.43

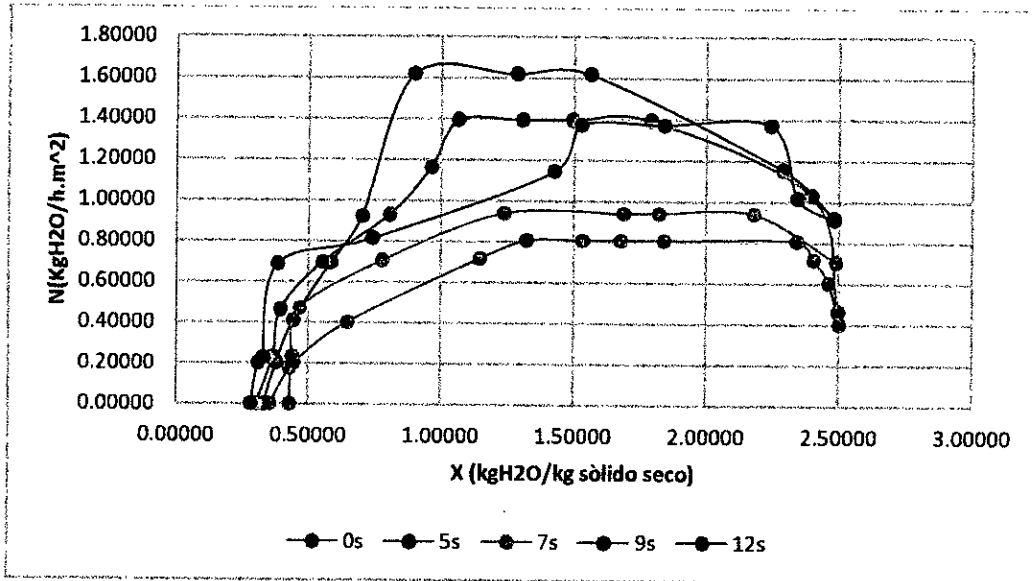
COMPARATIVA DE CURVAS DE SECADO A 55°C CON DIFERENTES TIEMPOS DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.44

COMPARATIVA DE CURVAS DE SECADO A 55°C CON DIFERENTES TIEMPOS DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

➤ **Pruebas a 60°C:**

**TABLA 5.21
PRUEBA DE SECADO A 60°C Y 0 S DE PULSACIONES DE MICROONDAS**

60°C y 0s				
t (h)	ω muestra (Kg)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m ₀)%
0.00	0.0179	71.56	2.516	0.00
0.08	0.0175	70.90	2.436	2.23
0.16	0.0172	70.40	2.378	3.91
0.25	0.0169	69.87	2.318	5.58
0.33	0.0164	68.95	2.22	8.37
0.41	0.0161	68.38	2.162	10.05
0.50	0.0156	67.36	2.063	12.84
0.58	0.0151	66.28	1.965	15.64
0.66	0.0147	65.36	1.886	17.87
0.75	0.0144	64.64	1.828	19.55
0.83	0.0142	64.14	1.788	20.67
0.91	0.0138	63.11	1.710	22.90

1.00	0.0136	62.56	1.670	24.02
1.08	0.0132	61.43	1.592	26.25
1.16	0.0128	60.22	1.513	28.49
1.25	0.0126	59.59	1.474	29.60
1.33	0.0122	58.27	1.396	31.84
1.41	0.0120	57.57	1.356	32.96
1.50	0.0115	55.73	1.258	35.75
1.58	0.0113	54.94	1.219	36.87
1.66	0.0109	53.29	1.140	39.10
1.75	0.0106	51.97	1.082	40.78
1.83	0.0104	51.05	1.042	41.89
1.91	0.0101	49.59	0.983	43.57
2.00	0.0099	48.57	0.944	44.69
2.08	0.0095	46.41	0.866	46.92
2.16	0.0092	44.66	0.807	48.60
2.25	0.0091	44.05	0.787	49.16
2.33	0.0088	42.15	0.728	50.83
2.41	0.0086	40.80	0.689	51.95
2.50	0.0084	39.39	0.649	53.07
2.58	0.0081	37.15	0.591	54.74
2.66	0.0079	35.56	0.551	55.86
2.75	0.0078	34.73	0.532	56.42
2.83	0.0078	34.73	0.532	56.42
2.91	0.0077	33.88	0.512	56.98
3.00	0.0076	33.01	0.492	57.54
3.08	0.0075	32.12	0.473	58.10
3.16	0.0074	31.20	0.453	58.65
3.25	0.0073	30.26	0.433	59.21
3.33	0.0072	29.29	0.414	59.77
3.41	0.0070	27.27	0.374	60.89
3.50	0.0068	25.13	0.335	62.01
3.58	0.0067	24.01	0.315	62.56
3.66	0.0067	24.01	0.315	62.56
3.75	0.0067	24.01	0.315	62.56

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.22
PRUEBA DE SECADO A 60°C Y 5S DE PULSACIONES DE
MICROONDAS

60°C y 5s				
t (h)	ω muestra (Kg)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	($\Delta m/m_0$)%
0.00	0.0194	71.56	2.516	0
0.08	0.0194	71.56	2.516	0
0.16	0.0190	70.96	2.443	2.06
0.25	0.0186	70.33	2.370	4.12
0.33	0.0181	69.51	2.279	6.70
0.41	0.0177	68.82	2.207	8.76
0.50	0.0171	67.73	2.098	11.85
0.58	0.0167	66.96	2.026	13.91
0.66	0.0163	66.15	1.954	15.97
0.75	0.0158	65.08	1.863	18.55
0.83	0.0153	63.93	1.772	21.13
0.91	0.015	63.21	1.718	22.68
1.00	0.0146	62.20	1.645	24.74
1.08	0.0142	61.14	1.573	26.80
1.16	0.0139	60.30	1.518	28.35
1.25	0.0134	58.82	1.428	30.92
1.33	0.0131	57.88	1.374	32.47
1.41	0.0127	56.55	1.301	34.53
1.50	0.0124	55.50	1.247	36.08
1.58	0.0119	53.63	1.156	38.65
1.66	0.0117	52.84	1.120	39.69
1.75	0.0114	51.60	1.066	41.23
1.83	0.011	49.84	0.993	43.29
1.91	0.0108	48.91	0.957	44.32
2.00	0.0105	47.45	0.902	45.87
2.08	0.0101	45.37	0.830	47.93
2.16	0.0099	44.26	0.794	48.96
2.25	0.0096	42.52	0.739	50.51
2.33	0.0093	40.67	0.685	52.06
2.41	0.0091	39.36	0.649	53.09
2.50	0.0089	38.00	0.612	54.12
2.58	0.0086	35.84	0.558	55.67

2.66	0.0085	35.08	0.54	56.18
2.75	0.0083	33.52	0.504	57.21
2.83	0.0081	31.88	0.467	58.24
2.91	0.0079	30.16	0.431	59.27
3.00	0.0078	29.26	0.413	59.79
3.08	0.0076	27.40	0.377	60.82
3.16	0.0075	26.43	0.359	61.34
3.25	0.0074	25.44	0.341	61.85
3.33	0.0073	24.41	0.322	62.37
3.41	0.0073	24.41	0.322	62.37
3.5	0.0073	24.41	0.322	62.37

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.23
PRUEBA DE SECADO A 60°C Y 7S DE PULSACIONES DE
MICROONDAS

60°C y 7s				
t (h)	ω muestra (Kg)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	($\Delta m/m_0$)%
0.00	0.0190	71.56	2.516	0.00
0.08	0.0186	70.94	2.441	2.10
0.16	0.0183	70.47	2.386	3.68
0.25	0.0178	69.64	2.293	6.31
0.33	0.0175	69.12	2.238	7.89
0.41	0.0173	68.76	2.201	8.94
0.50	0.0171	68.40	2.164	9.99
0.58	0.0165	67.25	2.053	13.15
0.66	0.0160	66.22	1.960	15.78
0.75	0.0156	65.36	1.886	17.89
0.83	0.0151	64.21	1.794	20.52
0.91	0.0145	62.73	1.683	23.68
1.00	0.0137	60.55	1.534	27.89
1.08	0.0130	58.43	1.405	31.57
1.16	0.0126	57.11	1.331	33.68
1.25	0.0121	55.34	1.239	36.31
1.33	0.0117	53.81	1.164	38.42
1.41	0.0112	51.75	1.072	41.05
1.50	0.0107	49.49	0.979	43.68
1.58	0.0103	47.53	0.905	45.78

1.66	0.0099	45.41	0.831	47.89
1.75	0.0095	43.12	0.758	50.00
1.83	0.0089	39.28	0.646	53.15
1.91	0.0085	36.42	0.572	55.26
2.00	0.0083	34.89	0.535	56.31
2.08	0.0081	33.28	0.498	57.36
2.16	0.0079	31.60	0.461	58.42
2.25	0.0079	31.60	0.461	58.42
2.33	0.0077	29.82	0.424	59.47
2.41	0.0076	28.90	0.406	60.00
2.50	0.0075	27.95	0.387	60.52
2.58	0.0075	27.95	0.387	60.52
2.66	0.0074	26.97	0.369	61.05
2.75	0.0073	25.97	0.350	61.57
2.83	0.0072	24.95	0.332	62.10
2.91	0.0071	23.89	0.313	62.63
3.00	0.0071	23.89	0.313	62.63
3.08	0.0071	23.89	0.313	62.63
3.16	0.0071	23.89	0.313	62.63

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.24
PRUEBA DE SECADO A 60°C Y 9S DE PULSACIONES DE
MICROONDAS

60°C y 9s				
t (h)	ω muestra (Kg)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	($\Delta m/m_0$)%
0.00	0.0195	71.56	2.516	0.00
0.08	0.0190	70.81	2.425	2.56
0.16	0.0189	70.65	2.407	3.07
0.25	0.0186	70.18	2.353	4.61
0.33	0.0183	69.69	2.299	6.15
0.41	0.0175	68.30	2.154	10.25
0.50	0.0172	67.75	2.100	11.79
0.58	0.0166	66.59	1.993	14.87
0.66	0.0161	65.55	1.902	17.43
0.75	0.0157	64.67	1.830	19.48
0.83	0.015	63.02	1.704	23.07
0.91	0.0146	62.01	1.632	25.12
1.00	0.0142	60.94	1.560	27.17

1.08	0.0137	59.51	1.469	29.74
1.16	0.0130	57.34	1.344	33.33
1.25	0.0126	55.98	1.271	35.38
1.33	0.0117	52.60	1.109	40.00
1.41	0.0113	50.92	1.037	42.05
1.50	0.0107	48.17	0.929	45.12
1.58	0.0099	43.98	0.785	49.23
1.66	0.0095	41.62	0.712	51.28
1.75	0.0093	40.36	0.676	52.30
1.83	0.009	38.38	0.622	53.84
1.91	0.0086	35.51	0.55	55.89
2.00	0.0083	33.18	0.496	57.43
2.08	0.0082	32.36	0.478	57.94
2.16	0.008	30.67	0.442	58.97
2.25	0.0076	27.02	0.370	61.02
2.33	0.0075	26.05	0.352	61.53
2.41	0.0075	26.05	0.352	61.53
2.50	0.0075	26.05	0.352	61.53
2.58	0.0074	25.05	0.334	62.05
2.66	0.0074	25.05	0.334	62.05
2.75	0.0074	25.05	0.334	62.05
2.83	0.0074	25.05	0.334	62.05

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.25
PRUEBA DE SECADO A 60°C Y 12S DE PULSACIONES DE
MICROONDAS

60°C y 12s				
t (h)	ω muestra (Kg)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m ₀)%
0.00	0.0196	71.56	2.516	0.00
0.08	0.0189	70.50	2.389	3.57
0.16	0.0182	69.37	2.264	7.14
0.25	0.0179	68.85	2.210	8.67
0.33	0.0172	67.59	2.085	12.24
0.41	0.0166	66.42	1.977	15.30
0.50	0.0161	65.37	1.887	17.85
0.58	0.0156	64.26	1.797	20.40
0.66	0.0151	63.08	1.708	22.95
0.75	0.0146	61.82	1.619	25.51

0.83	0.0141	60.46	1.529	28.06
0.91	0.0135	58.70	1.421	31.12
1.00	0.0130	57.12	1.332	33.67
1.08	0.0123	54.68	1.206	37.24
1.16	0.0117	52.35	1.098	40.30
1.25	0.0112	50.23	1.009	42.85
1.33	0.0110	49.32	0.973	43.87
1.41	0.0104	46.40	0.865	46.93
1.50	0.0101	44.80	0.811	48.46
1.58	0.0093	40.06	0.668	52.55
1.66	0.0085	34.42	0.524	56.63
1.75	0.0081	31.18	0.453	58.67
1.83	0.0077	27.60	0.381	60.71
1.91	0.0077	27.60	0.381	60.71
2.00	0.0075	25.67	0.345	61.73
2.08	0.0073	23.64	0.309	62.75
2.16	0.0073	23.64	0.309	62.75
2.25	0.0072	22.58	0.291	63.26
2.33	0.0072	22.58	0.291	63.26
2.41	0.0072	22.58	0.291	63.26

Fuente: Elaboración propia

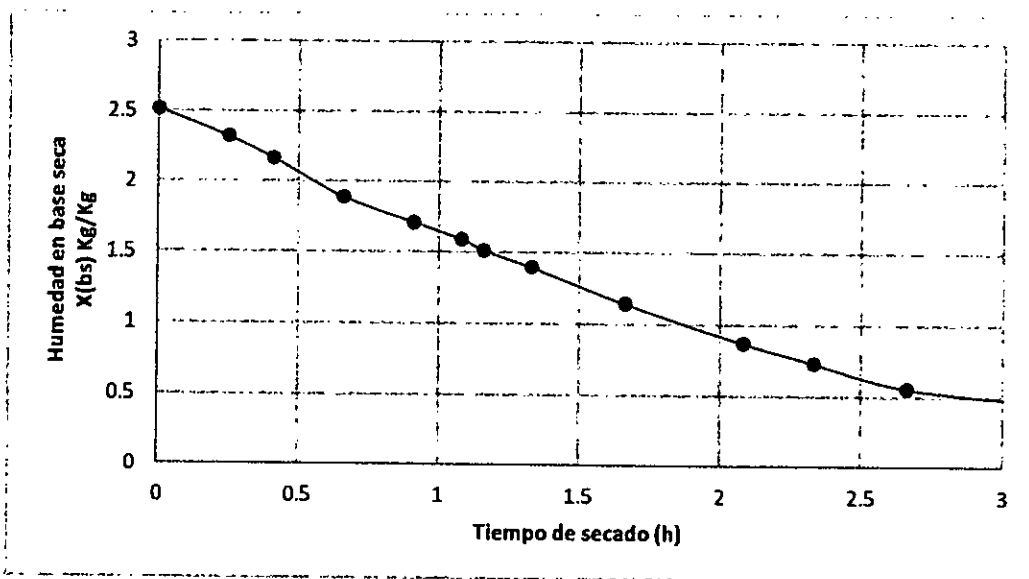
Obteniendo las curvas de secado que se muestran a continuación:

TABLA 5.26
DATA PARA LA VELOCIDAD DE SECADO A 60°C CON 0s DE PULSACIONES

t (h)	Peso Muestra)kg =	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	($\Delta m/m_o$)%	X(bs) Valor Medio	Rate (Kg/Kgss.h)
0	0.0179	71.56	2.516174402	0		0
0.25	0.0169	69.8771598	2.319740078	5.586592179	2.349205227	0.65478108
0.41	0.0161	68.3803727	2.162592619	10.05586592	2.192057767	0.736628716
0.66	0.0147	65.3689796	1.887584565	17.87709497	1.92687143	0.982171621
0.91	0.0138	63.1104348	1.710793673	22.90502793	1.750080538	0.982171621
1.08	0.0132	61.4336364	1.592933079	26.25698324	1.632219944	0.982171621
1.16	0.0128	60.2284375	1.514359349	28.49162011	1.553646214	0.982171621
1.33	0.0122	58.272459	1.396498755	31.84357542	1.435785619	0.982171621
1.66	0.0109	53.2957798	1.141134133	39.10614525	1.180420998	0.982171621
2.08	0.0095	46.4130526	0.866126079	46.9273743	0.905412944	0.982171621
2.33	0.0088	42.1504545	0.728622053	50.83798883	0.758087201	0.736628716
2.66	0.0079	35.56	0.551831161	55.86592179	0.571474593	0.49108581
3.16	0.0074	31.2059459	0.453613999	58.65921788	0.463435715	0.245542905
3.25	0.0073	30.2635616	0.433970566	59.21787709	0.443792282	0.21826036
3.66	0.0067	24.0185075	0.316109972	62.5698324	0.316109972	0

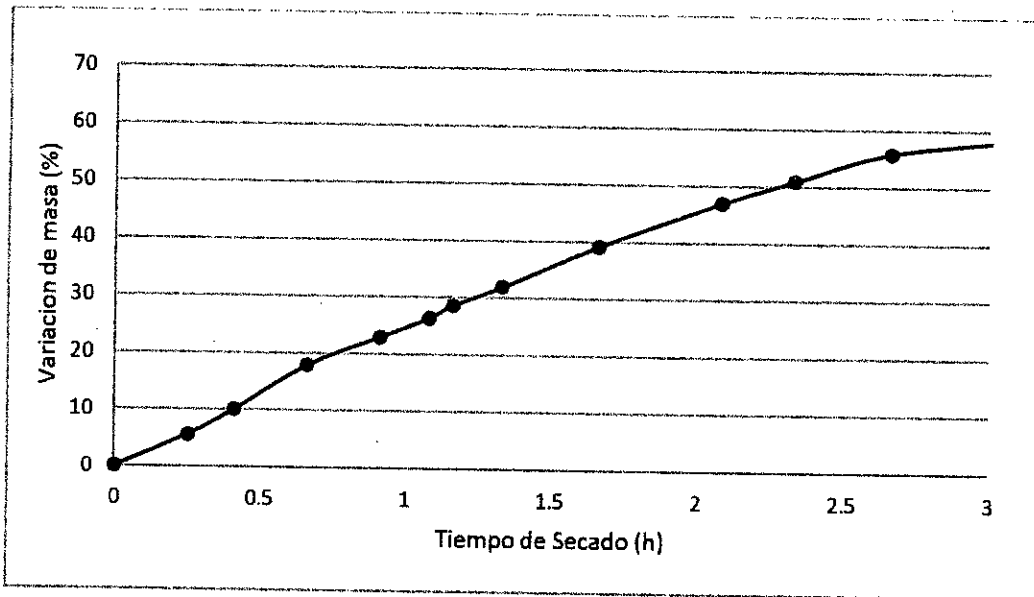
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.45
CURVA DE SECADO A 60°C Y 0 S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



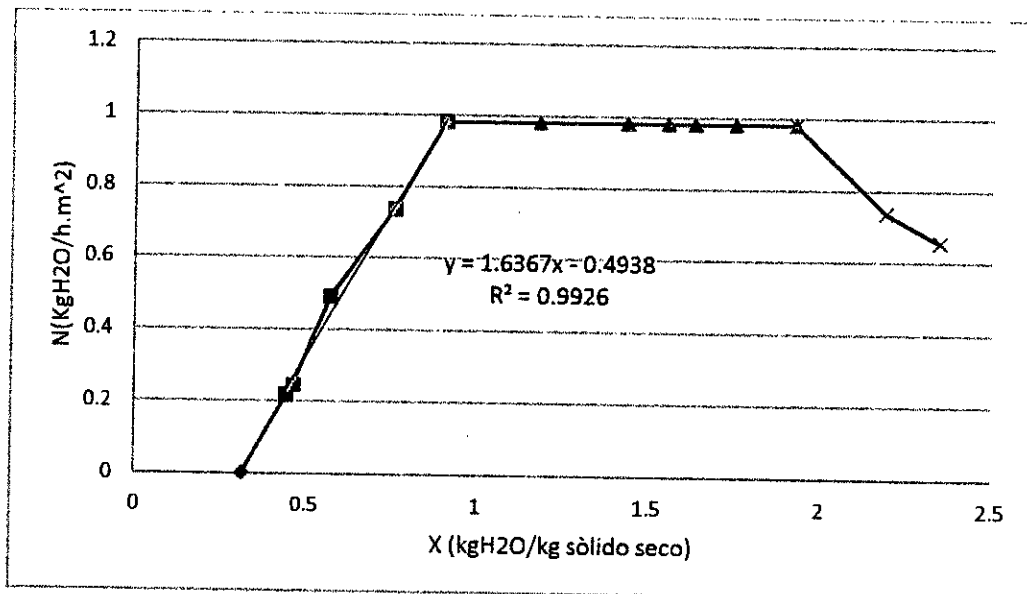
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.46
VARIACIÓN DE MASA A 60°C Y 0S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

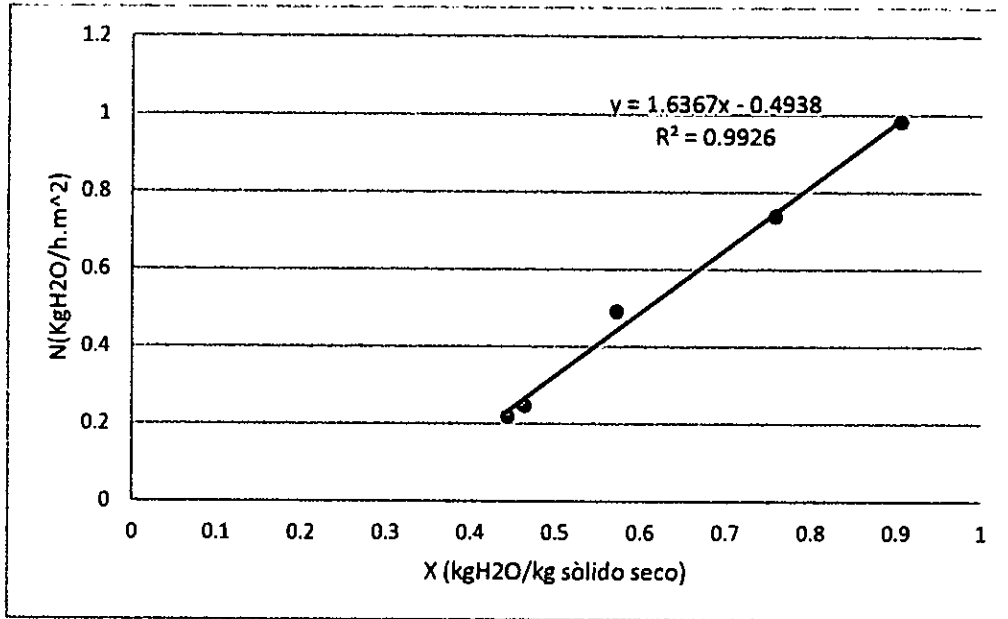
GRÁFICO 5.47
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 60°C Y 0S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.48

SEGMENTO DE CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 60°C Y 0S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

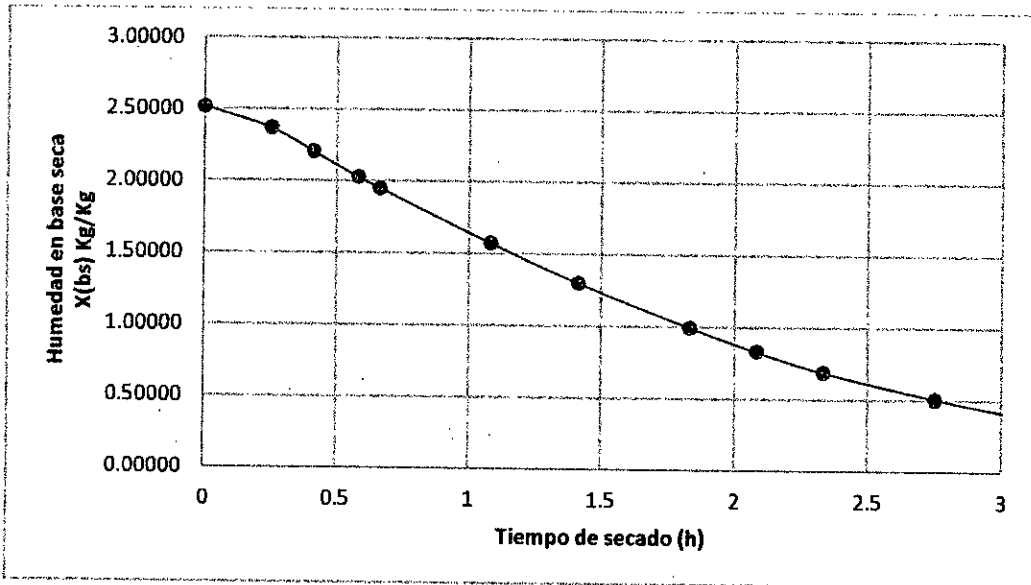
TABLA 5.27

DATA PARA LA VELOCIDAD DE SECADO A 60°C CON 5s DE PULSACIONES

t (h)	Peso Muestra)kg=	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m₀)%	X(bs) Valor Medio	Rate (Kg/Kgss.h)
0	0.0194	71.56	2.51617	0.00000		0.00000
0.25	0.0186	70.34	2.37118	4.12371	2.40743	0.80554
0.41	0.0177	68.83	2.20806	8.76289	2.24431	0.90623
0.58	0.0167	66.96	2.02681	13.91753	2.06306	0.90623
0.66	0.0163	66.15	1.95431	15.97938	1.99056	0.90623
1.08	0.0142	61.15	1.57369	26.80412	1.60994	0.90623
1.41	0.0127	56.56	1.30183	34.53608	1.33807	0.90623
1.83	0.011	49.84	0.99371	43.29897	1.02996	0.90623
2.08	0.0101	45.37	0.83059	47.93814	0.86683	0.90623
2.33	0.0093	40.67	0.68559	52.06186	0.71278	0.67967
2.75	0.0083	33.53	0.50434	57.21649	0.52247	0.40277
3.16	0.0075	26.44	0.35935	61.34021	0.36841	0.22656
3.25	0.0074	25.44	0.34122	61.85567	0.35028	0.20138
3.41	0.0073	24.42	0.32310	62.37113	0.32310	0.00000

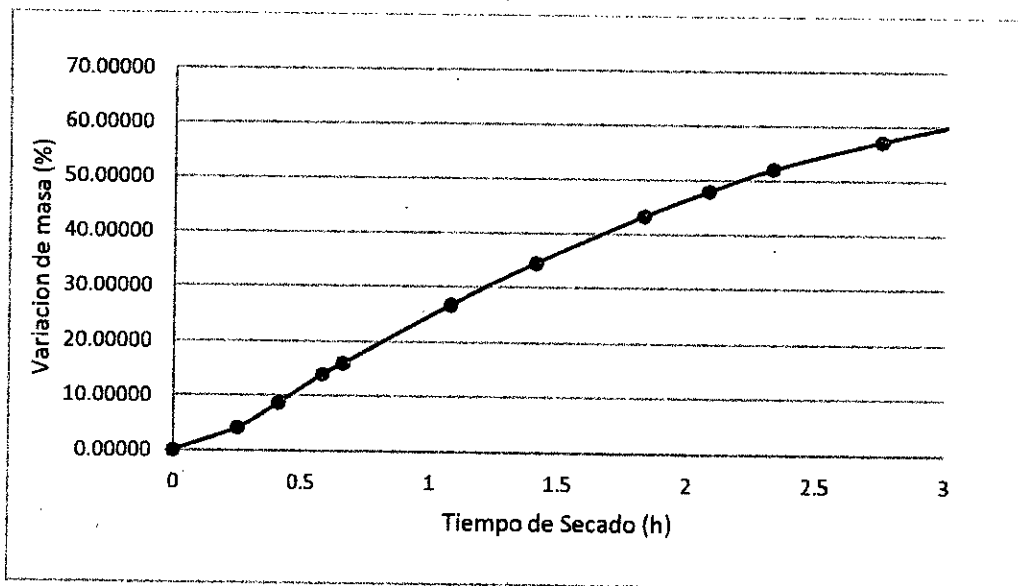
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.49
CURVA DE SECADO A 60°C Y 5S DE PULSACIONES DE MICROONDAS.



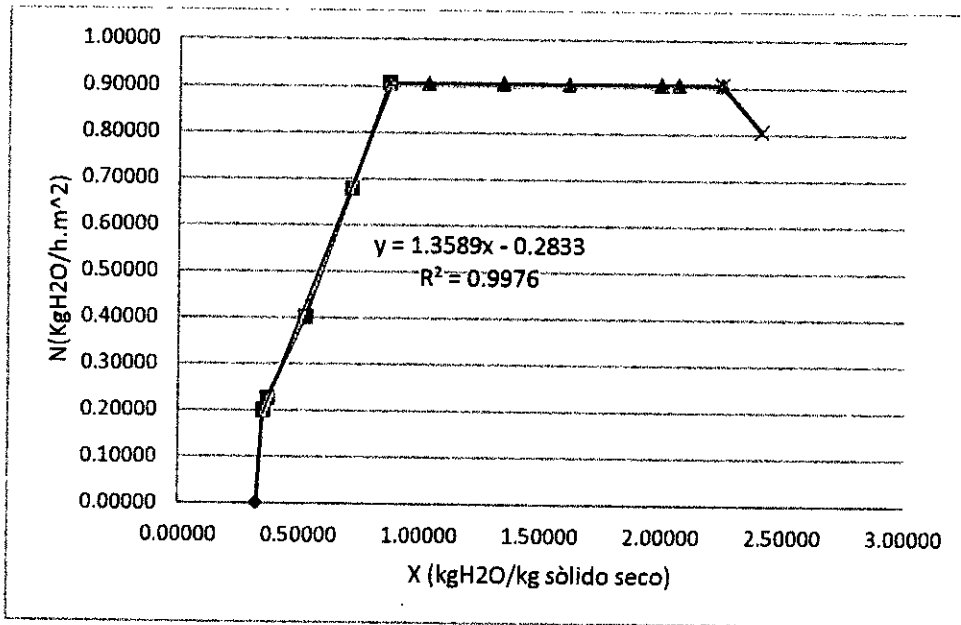
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.50
VARIACIÓN DE MASA A 60°C Y 5S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



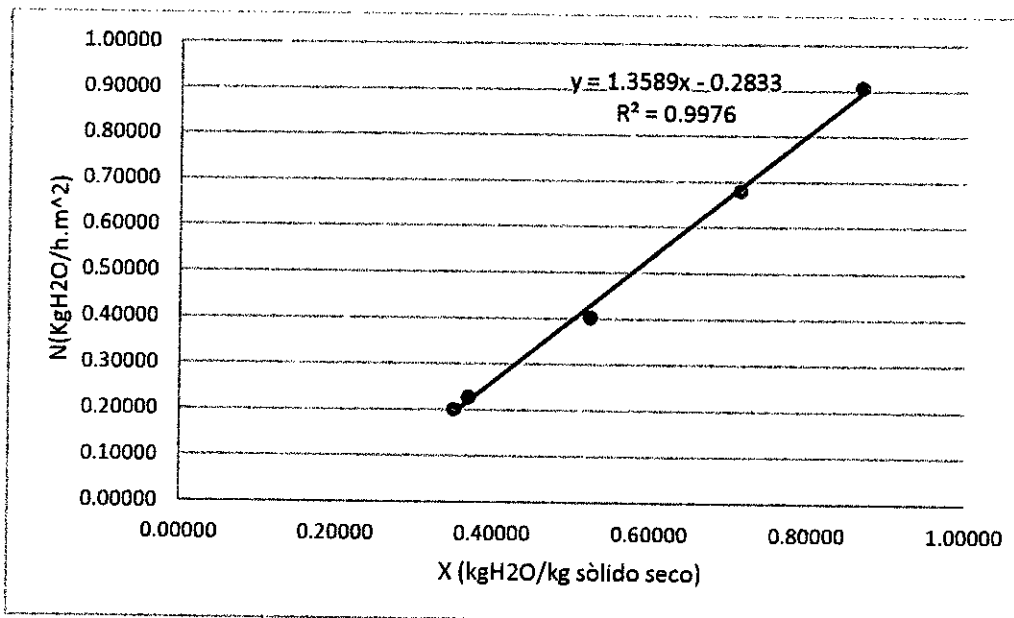
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.51
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 60°C Y 5S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.52
SEGMENTO DE CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 60°C Y 5S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



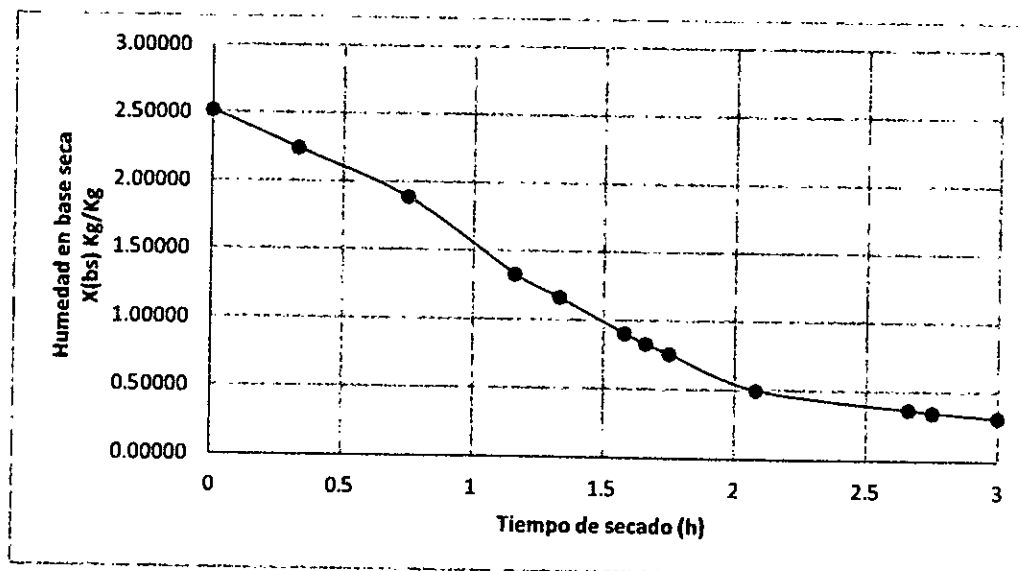
Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.28
DATA PARA LA VELOCIDAD DE SECADO A 60°C CON 7s DE PULSACIONES

t (h)	Peso Muestra)kg=	Y(% _h)	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m _o)%	X(bs) Valor Medio	Rate (Kg/Kgss.h)
0	0.019	71.56	2.51617	0.00000		0.00000
0.33	0.0175	69.12	2.23858	7.89474	2.26634	0.69398
0.75	0.0156	65.36	1.88696	17.89474	1.92398	0.82250
1.16	0.0126	57.11	1.33178	33.68421	1.36879	0.92531
1.33	0.0117	53.82	1.16522	38.42105	1.20224	0.92531
1.58	0.0103	47.54	0.90614	45.78947	0.94315	0.92531
1.66	0.0099	45.42	0.83211	47.89474	0.86912	0.92531
1.75	0.0095	43.12	0.75809	50.00000	0.79510	0.82250
2.08	0.0081	33.29	0.49900	57.36842	0.51751	0.46265
2.66	0.0074	26.98	0.36946	61.05263	0.37871	0.23133
2.75	0.0073	25.98	0.35095	61.57895	0.36020	0.20562
3	0.0071	23.89	0.31394	62.63158	0.31394	0.00000

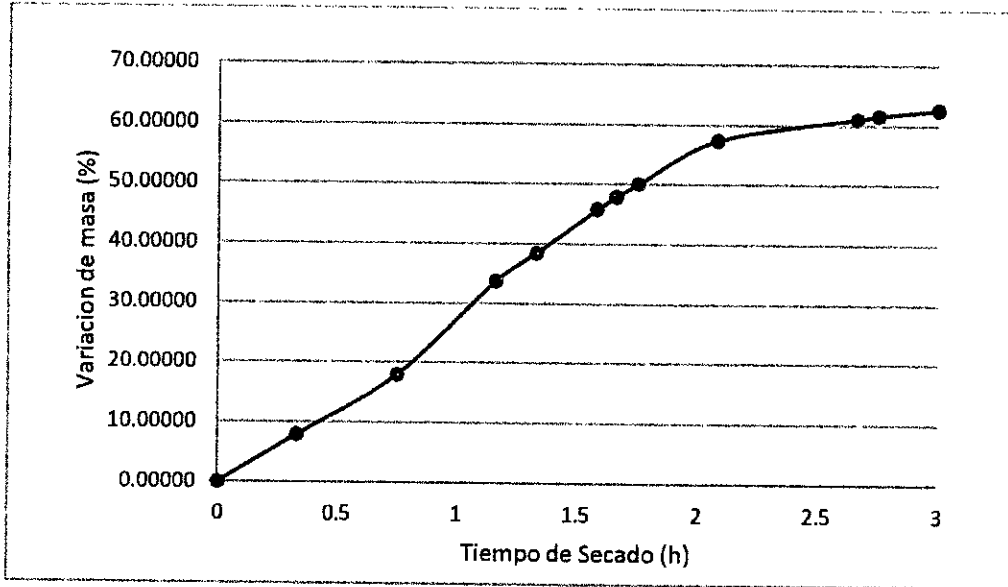
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.53
CURVA DE SECADO A 60°C Y 7s DE PULSACIONES DE MICROONDAS



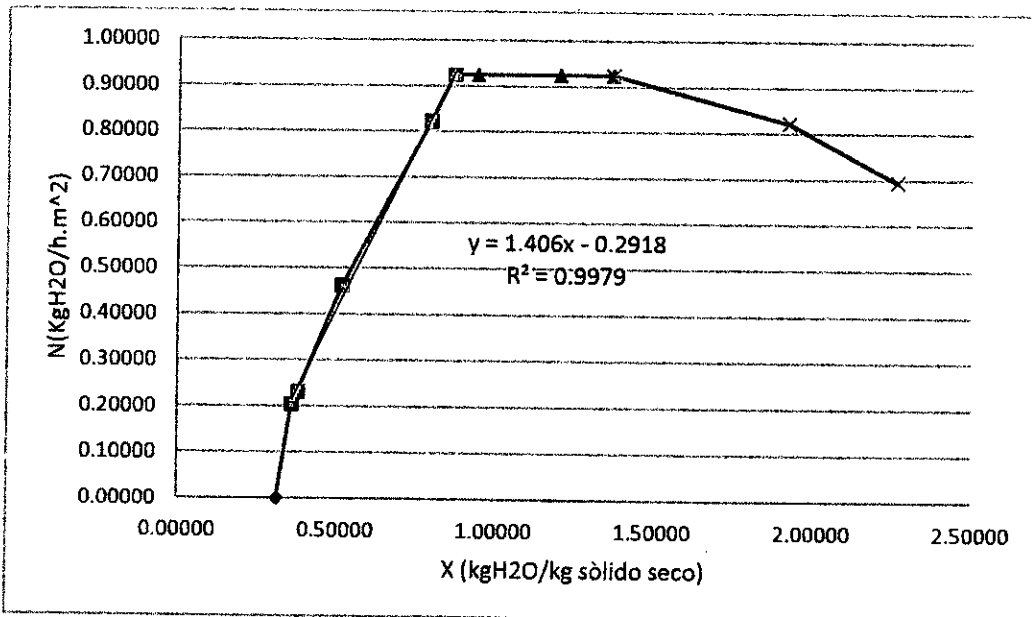
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.54
VARIACIÓN DE MASA A 60°C Y 7S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

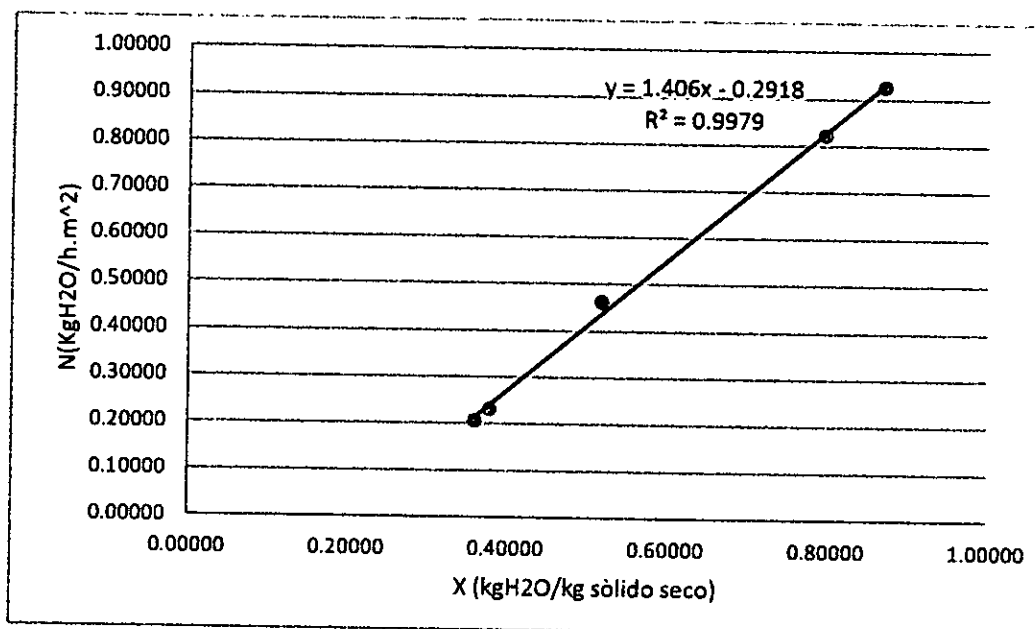
GRÁFICO 5.55
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 60°C Y 7S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.56

SEGMENTO DE CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 60°C Y 7S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

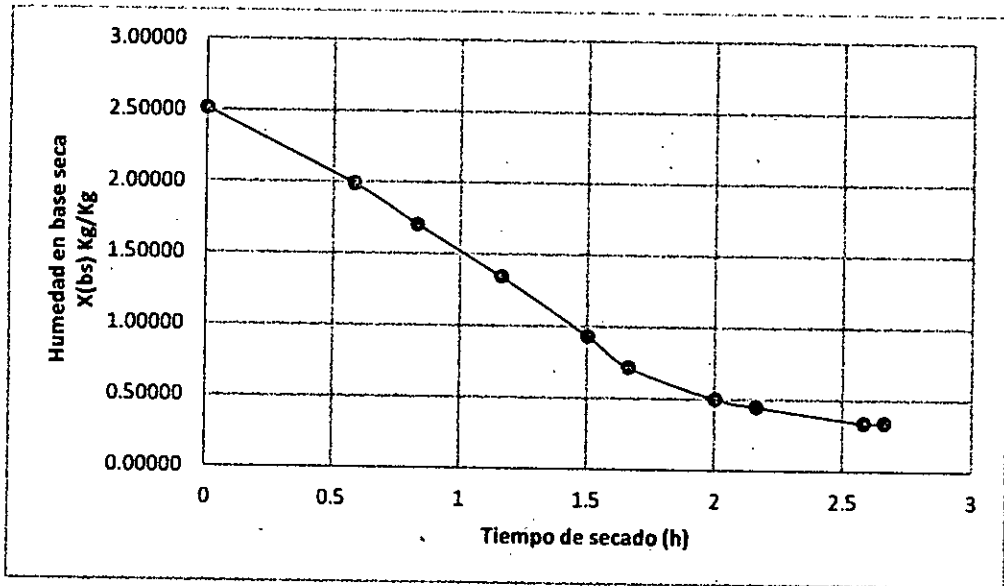
TABLA 5.29

DATA PARA LA VELOCIDAD DE SECADO A 60°C CON 9s DE PULSACIONES

t (h)	Peso Muestra)kg=	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m _o)%	X(bs) Valor Medio	Rate (Kg/Kgss.h)
0	0.0195	71.56	2.51617	0.00000		0.00000
0.58	0.0166	66.59	1.99326	14.87179	2.04735	1.35237
0.83	0.015	63.03	1.70475	23.07692	1.76786	1.57777
1.16	0.013	57.34	1.34412	33.33333	1.40723	1.57777
1.5	0.0107	48.17	0.92939	45.12821	0.98348	1.20211
1.66	0.0095	41.62	0.71301	51.28205	0.74907	0.90158
2	0.0083	33.18	0.49663	57.43590	0.52368	0.60106
2.16	0.008	30.68	0.44253	58.97436	0.46056	0.45079
2.58	0.0074	25.06	0.33434	62.05128	0.34336	0.22540
2.66	0.0074	25.06	0.33434	62.05128	0.33434	0.00000

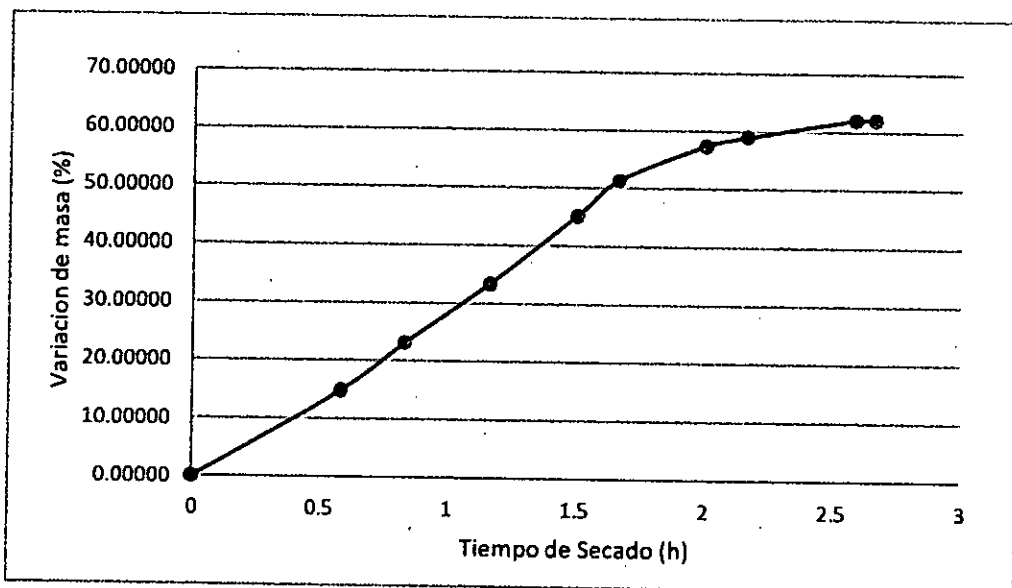
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.57
CURVA DE SECADO A 60°C Y 9S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



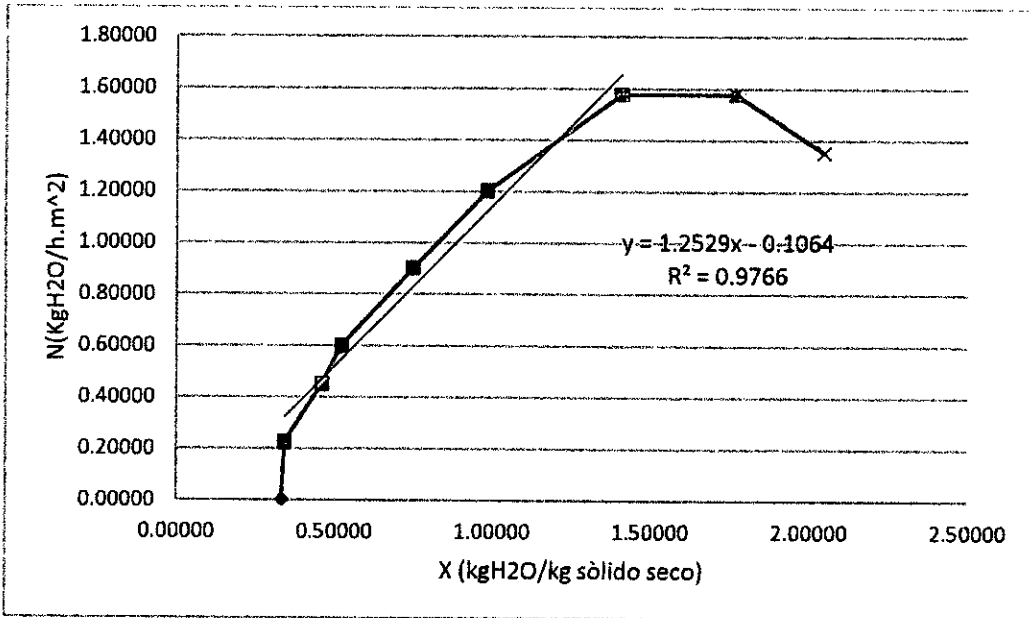
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.58
VARIACIÓN DE MASA A 60°C Y 9S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



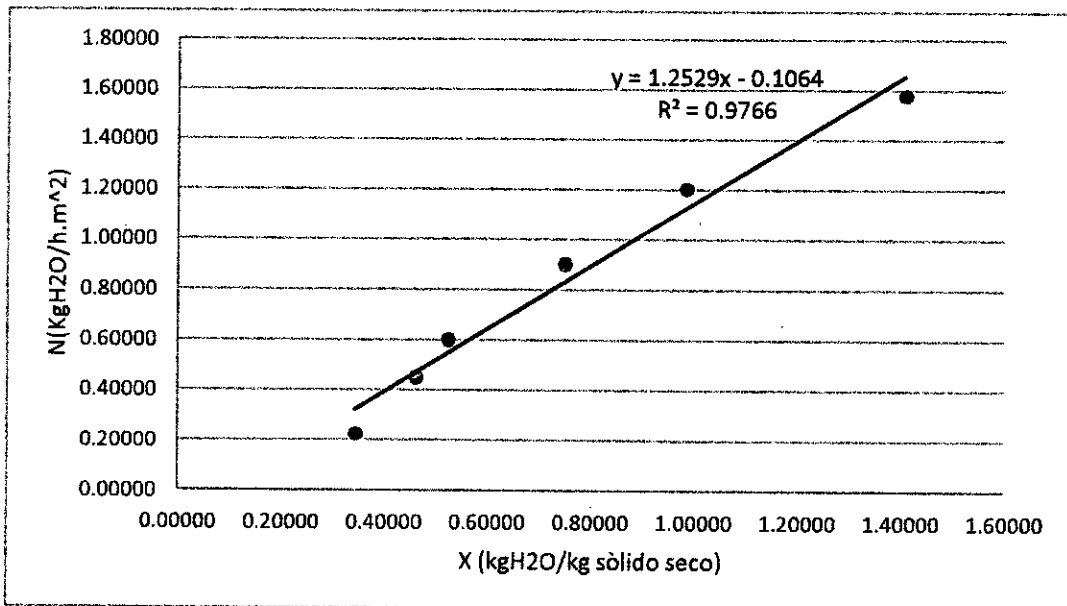
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.59
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 60°C Y 9S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.60
SEGMENTO DE CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 60°C Y 9S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



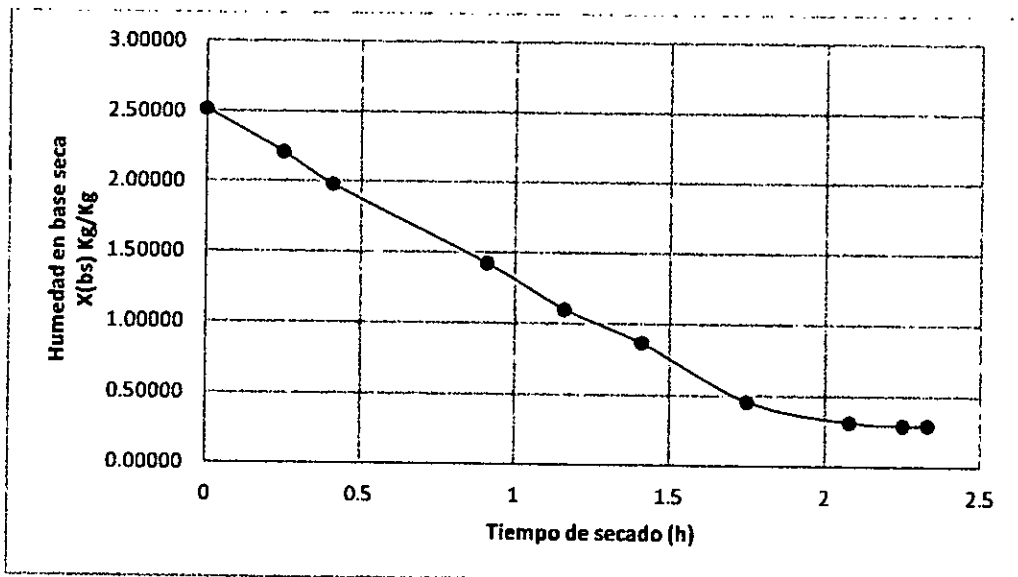
Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.30
DATA PARA LA VELOCIDAD DE SECADO A 60°C CON 12s DE PULSACIONES

t (h)	Peso Muestra)kg=	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m _o)%	X(bs) Valor Medio	Rate (Kg/Kgss.h)
0	0.0196	71.56	2.51617	0.00000		0.00000
0.25	0.0179	68.86	2.21120	8.67347	2.23811	0.59799
0.41	0.0166	66.42	1.97798	15.30612	2.03180	1.34547
0.91	0.0135	58.71	1.42185	31.12245	1.47567	1.34547
1.16	0.0117	52.36	1.09894	40.30612	1.15276	1.34547
1.41	0.0104	46.40	0.86573	46.93878	0.91954	1.34547
1.75	0.0081	31.18	0.45311	58.67347	0.48899	0.79732
2.08	0.0073	23.64	0.30960	62.75510	0.32754	0.44849
2.25	0.0072	22.58	0.29166	63.26531	0.30063	0.19933
2.33	0.0072	22.58	0.29166	63.26531	0.29166	0.00000

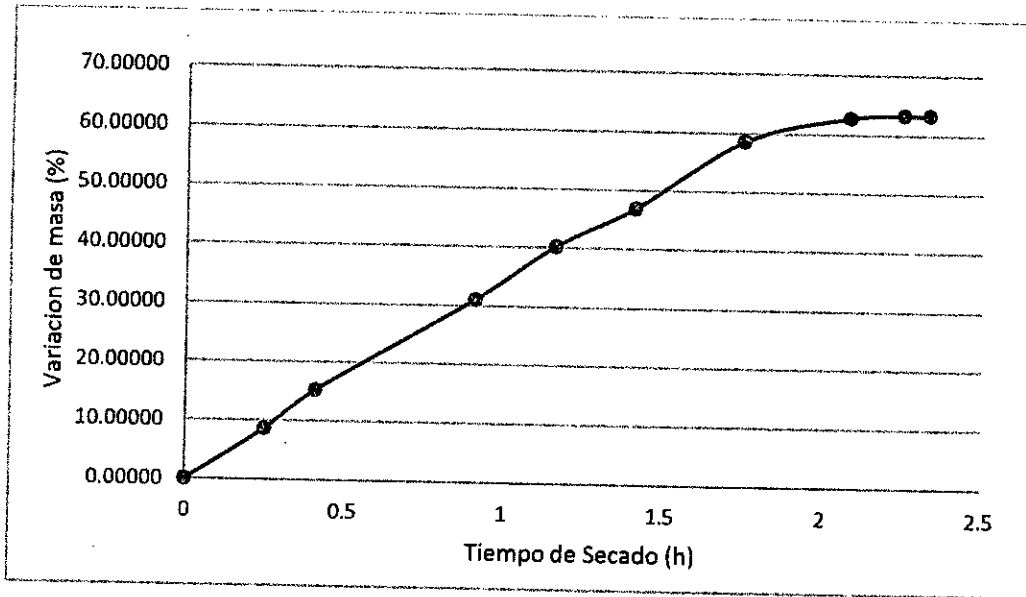
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.61
CURVA DE SECADO A 60°C Y 12s DE PULSACIONES DE MICROONDAS



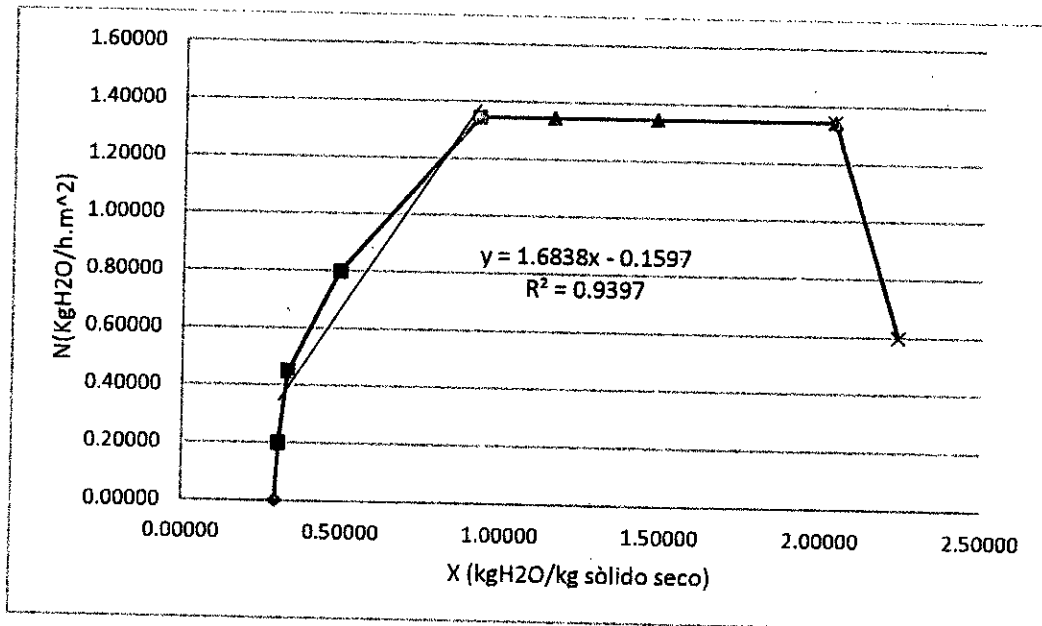
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.62
VARIACIÓN DE MASA A 60°C Y 12S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

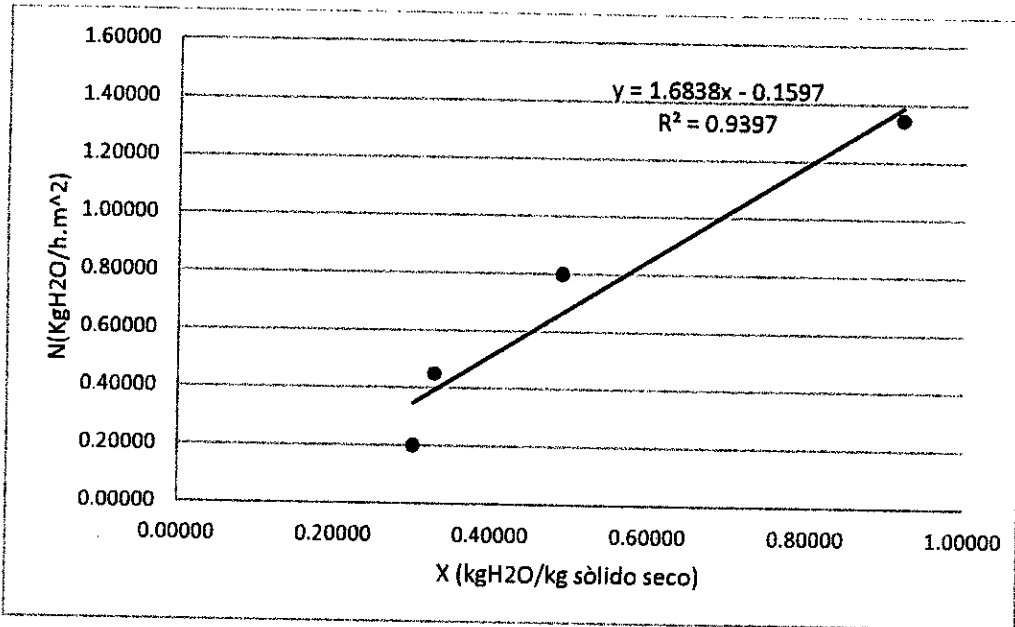
GRÁFICO 5.63
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 60°C Y 12S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.64

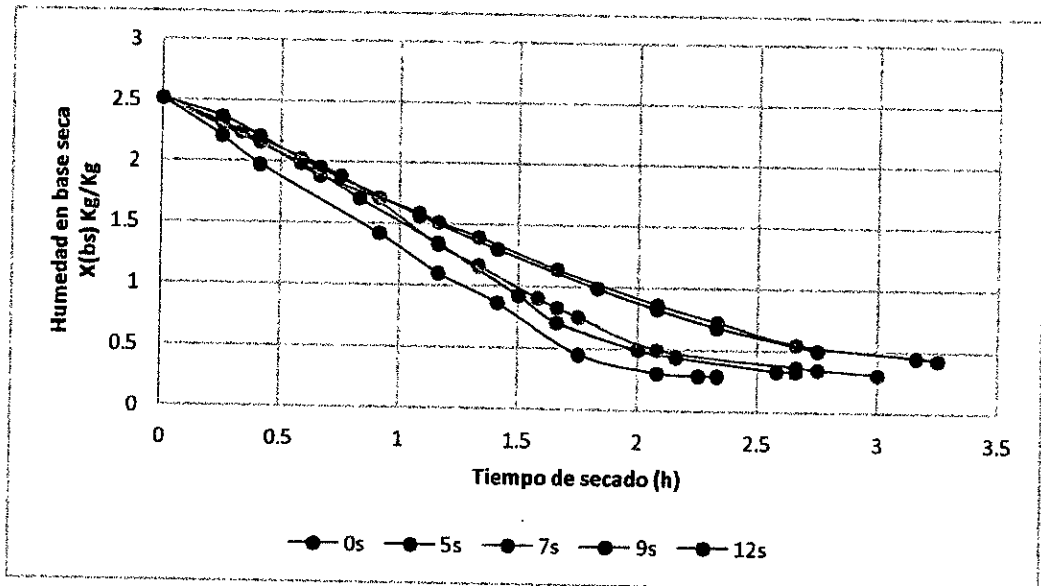
SEGMENTO DE CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO A 60°C Y 12S DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.65

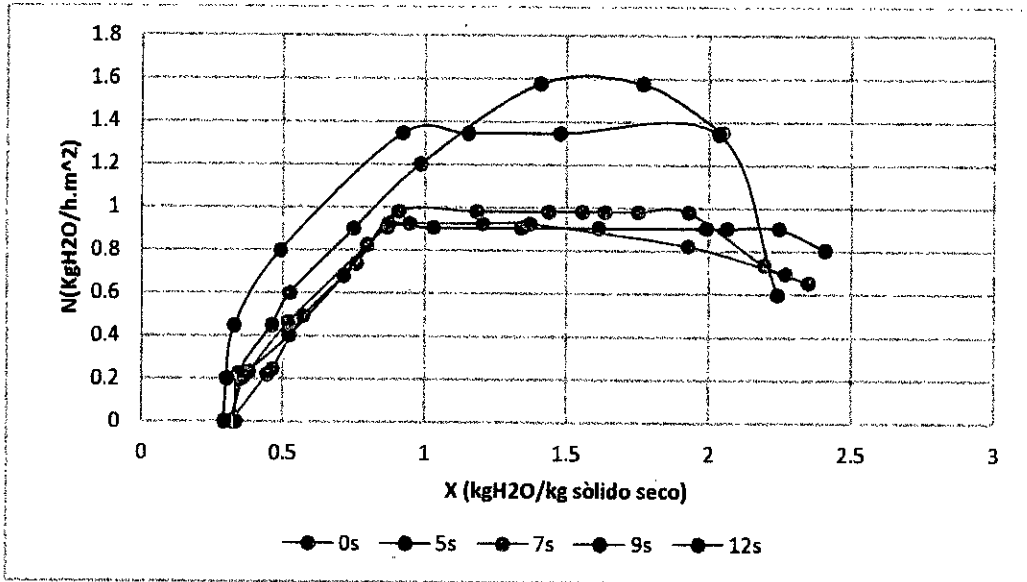
COMPARATIVA DE CURVAS DE SECADO A 60°C Y DIFERENTES TIEMPOS DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5.66

COMPARATIVA DE CURVAS DE VELOCIDAD DE SECADO A 60°C CON DIFERENTES TIEMPOS DE PULSACIONES DE MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Análisis de ácido ascórbico

Se trabajaron muestras de 30 mL de zumo de aguaymanto fresco, como también de los frutos secados a diferentes temperaturas de aire caliente (50, 55 y 60°C) y diferentes tiempos de pulsaciones de microondas (5, 7, 9 y 12 s), preparado a partir de 25g de fruto que fue disuelto en agua, para lograr una solución de 100 mL, en varias preparaciones. Se determinaron las concentraciones de ácido ascórbico mediante el análisis volumétrico, siguiendo el procedimiento presentado en el apartado metodológico.

Se siguió la siguiente relación para hallar el peso de ácido ascórbico en 100 g de fruto, fresco o seco:

$$\left[\frac{\text{g}}{\text{L}}\right] = 0,424 \times \left(\frac{\text{Volumen yodo consumido}}{\text{volumen de la muestra}}\right)$$

Ya que se trabajó con 100 mL de solución madre y se requiere el resultado en base a 100 g de fruto, la relación queda de la siguiente manera:

$$\left[\frac{\text{mg de ácido ascórbico}}{100 \text{ g de fruto}}\right] = 0,424 * \frac{\text{Volumen yodo consumido}}{\text{volumen de la muestra}} * 0,1 * 4$$

$$\left[\frac{\text{mg de ácido ascórbico}}{100 \text{ g de fruto}}\right] = 0,1696 \frac{\text{Volumen yodo consumido}}{\text{volumen de la muestra}}$$

Así, se obtuvieron las siguientes tablas:

TABLA 5.31
ANÁLISIS VOLUMÉTRICO POR TRIPLICADO DEL JUGO DE
YAWARCHUNKA FRESCO

Prueba 1	
V yodo (mL)	2.3
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.032
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	32.506
Prueba 2	
V yodo (mL)	2.1
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.029
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	29.68
Prueba 3	
V yodo (mL)	2.2
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.031
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	31.093
[Ácido Ascórbico] promedio (mg/L)	31.093
[Ácido Ascórbico] (mg/100g de fruto fresco)	12.437

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.32
ANÁLISIS VOLUMÉTRICO POR TRIPLICADO DEL JUGO DE
YAWARCHUNKA SECADO A 50°C Y 5S

T=50°C y 5 s	
Prueba 1	
V yodo (mL)	1.8
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.025
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	25.44
Prueba 2	
V yodo (mL)	1.7
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.024
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	24.026
Prueba 3	
V yodo (mL)	1.8
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.025
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	25.44
[Ácido Ascórbico] promedio (mg/L)	24.968
[Ácido Ascórbico] (mg/100g de fruto seco)	9.987

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.33
ANÁLISIS VOLUMÉTRICO TRIPLICADO DEL JUGO DE
YAWARCHUNKA SECADO A 50°C Y 7S

T=50°C y 7 s	
Prueba 1	
V yodo (mL)	1.8
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.025
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	25.44

Prueba 2	
V yodo (mL)	1.7
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.024
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	24.026

Prueba 3	
V yodo (mL)	1.7
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.024
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	24.026

[Ácido Ascórbico] promedio (mg/L)	24.497
-----------------------------------	--------

[Ácido Ascórbico] (mg/100g de fruto seco)	9.798
---	-------

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.34
ANÁLISIS VOLUMÉTRICO TRIPPLICADO DEL JUGO DE
YAWARCHUNKA SECADO A 50°C Y 9S

T=50°C y 9 s	
Prueba 1	
V yodo (mL)	1.8
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.025
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	25.44

Prueba 2	
V yodo (mL)	1.8
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.025
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	25.44

Prueba 3	
V yodo (mL)	1.6
V muestra (mL)	30

[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.022
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	22.613
[Ácido Ascórbico] promedio (mg/L)	24.497
[Ácido Ascórbico] (mg/100g de fruto seco)	9.798

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.35
ANÁLISIS VOLUMÉTRICO TRIPLICADO DEL JUGO DE
YAWARCHUNKA SECADO A 50°C Y 12S

T=50°C y 12 s	
Prueba 1	
V yodo (mL)	1.6
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.022
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	22.613
Prueba 2	
V yodo (mL)	1.7
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.024
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	24.026
Prueba 3	
V yodo (mL)	1.7
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.024
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	24.026
[Ácido Ascórbico] promedio (mg/L)	23.555
[Ácido Ascórbico] (mg/100g de fruto seco)	9.422

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.36

ANÁLISIS VOLUMÉTRICO TRIPLICADO DEL JUGO DE YAWARCHUNKA SECADO A 55°C Y 5S

T=55°C y 5 s	
Prueba 1	
V yodo (mL)	1.8
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.025
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	25.44
Prueba 2	
V yodo (mL)	1.6
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.022
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	22.613
Prueba 3	
V yodo (mL)	1.7
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.024
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	24.026
[Ácido Ascórbico] promedio (mg/L)	24.026
[Ácido Ascórbico] (mg/100g de fruto seco)	9.61

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.37

ANÁLISIS VOLUMÉTRICO TRIPLICADO DEL JUGO DE YAWARCHUNKA SECADO A 55°C Y 7S

T=55°C y 7 s	
Prueba 1	
V yodo (mL)	1.7
V muestra (mL)	30

[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.024
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	24.026

Prueba 2	
V yodo (mL)	1.7
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.024
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	24.026

Prueba 3	
V yodo (mL)	1.6
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.022
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	22.613

[Ácido Ascórbico] promedio (mg/L)	23.555
-----------------------------------	--------

[Ácido Ascórbico] (mg/100g de fruto seco)	9.422
---	-------

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.38

ANÁLISIS VOLUMÉTRICO TRIPLICADO DEL JUGO DE YAWARCHUNKA SECADO A 55°C Y 9S

T=55°C y 9 s	
Prueba 1	
V yodo (mL)	1.6
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.022
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	22.613

Prueba 2	
V yodo (mL)	1.6
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.022
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	22.613

Prueba 3	
V yodo (mL)	1.7
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.024
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	24.026

[Ácido Ascórbico] promedio (mg/L)	23.084
-----------------------------------	--------

[Ácido Ascórbico] (mg/100g de fruto seco)	9.233
---	-------

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.39

**ANÁLISIS VOLUMÉTRICO TRIPLICADO DEL JUGO DE
YAWARCHUNKA SECADO A 55°C Y 12S**

T=55°C y 12 s	
Prueba 1	
V yodo (mL)	1.5
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.021
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	21.2

Prueba 2	
V yodo (mL)	1.7
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.024
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	24.026

Prueba 3	
V yodo (mL)	1.6
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.022
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	22.613

[Ácido Ascórbico] promedio (mg/L)	22.613
-----------------------------------	--------

[Ácido Ascórbico] (mg/100g de fruto seco)	9.045
--	--------------

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.40
ANÁLISIS VOLUMÉTRICO TRIPLICADO DEL JUGO DE
YAWARCHUNKA SECADO A 60°C Y 5S

T=60°C y 5 s	
Prueba 1	
V yodo (mL)	1.5
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.021
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	21.2

Prueba 2	
V yodo (mL)	1.5
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.021
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	21.2

Prueba 3	
V yodo (mL)	1.3
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.018
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	18.373

[Ácido Ascórbico] promedio (mg/L)	20.257
-----------------------------------	--------

[Ácido Ascórbico] (mg/100g de fruto seco)	8.102
--	--------------

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.41
ANÁLISIS VOLUMÉTRICO TRIPLICADO DEL JUGO DE
YAWARCHUNKA SECADO A 60°C Y 7S

T=60°C y 7 s	
Prueba 1	
V yodo (mL)	1.4
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.019
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	19.786
Prueba 2	
V yodo (mL)	1.5
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.021
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	21.2
Prueba 3	
V yodo (mL)	1.3
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.0183
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	18.373
[Ácido Ascórbico] promedio (mg/L)	19.786
[Ácido Ascórbico] (mg/100g de fruto seco)	7.914

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.42
ANÁLISIS VOLUMÉTRICO TRIPLICADO DEL JUGO DE
YAWARCHUNKA SECADO A 60°C Y 9S

T=60°C y 9 s	
Prueba 1	
V yodo (mL)	1.5
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.021
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	21.2

Prueba 2	
V yodo (mL)	1.3
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.018
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	18.373

Prueba 3	
V yodo (mL)	1.2
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.016
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	16.96

[Ácido Ascórbico] promedio (mg/L)	18.844
-----------------------------------	--------

[Ácido Ascórbico] (mg/100g de fruto seco)	7.537
---	-------

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.43

ANÁLISIS VOLUMÉTRICO TRIPLICADO DEL JUGO DE YAWARCHUNKA SECADO A 60°C Y 12S

T=60°C y 12 s	
Prueba 1	
V yodo (mL)	1.4
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.019
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	19.786

Prueba 2	
V yodo (mL)	1.2
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.016
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	16.96

Prueba 3	
V yodo (mL)	1.2
V muestra (mL)	30
[Ácido Ascórbico] (g/L)	0.016
[Ácido Ascórbico] (mg/L)	16.96

[Ácido Ascórbico] promedio (mg/L)	17.902
-----------------------------------	--------

[Ácido Ascórbico] (mg/100g de fruto seco)	7.16
---	------

Fuente: Elaboración propia

5.2. Resultados Finales

En concordancia con los datos obtenidos en las corridas de secado y los análisis de ácido ascórbico, se realizó un análisis de varianza y el gráfico de superficie de respuesta con las siguientes triadas:

- Triada 1: Temperatura (°C), Pulsaciones de microondas (s) y Contenido de ácido ascórbico (mg / 100g de fruto fresco o seco).
- Triada 2: Temperatura (°C), Pulsaciones de microondas (s) y Tiempo de secado.

➤ Triada 1:

TABLA 5.44
DATOS DEL PRIMER TRIO DE VARIABLES Y SU CODIFICACIÓN

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Temperatura (°C)	Pulsaciones (s)	Contenido de ácido ascórbico (m)	OrdenEst	OrdenComda	Bloques	TipoPt
50	5	9.987	1	1	1	1
50	7	9.798	2	2	1	1
50	9	9.798	3	3	1	1
50	12	9.422	4	4	1	1
55	5	9.610	5	5	1	1
55	7	9.422	6	6	1	1
55	9	9.233	7	7	1	1
55	12	9.045	8	8	1	1
60	5	8.102	9	9	1	1
60	7	7.914	10	10	1	1
60	9	7.537	11	11	1	1

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.45
ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PRIMER TRIO DE VARIABLES

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	10.4304	2.08607	357.36	0.000
Lineal	2	9.4204	4.71020	806.90	0.000
Temperatura (°C)	1	8.6459	8.64587	1481.11	0.000
Pulsaciones (s)	1	0.7745	0.77454	132.69	0.000
Cuadrado	2	1.0018	0.50091	85.81	0.000
Temperatura (°C)*Temperatura (°C)	1	1.0012	1.00123	171.52	0.000
Pulsaciones (s)*Pulsaciones (s)	1	0.0006	0.00059	0.10	0.761
Interacción de 2 factores	1	0.0538	0.05383	9.22	0.023
Temperatura (°C)*Pulsaciones (s)	1	0.0538	0.05383	9.22	0.023
Error	6	0.0350	0.00584		
Total	11	10.4654			

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.46
RESUMEN DEL MODELO DEL PRIMER TRIO DE VARIABLES

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0764030	99.67%	99.39%	98.20%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		9.3115	0.0468	198.77	0.000	
Temperatura (°C)	-2.0889	-1.0444	0.0271	-38.49	0.000	1.01
Pulsaciones (s)	-0.6890	-0.3445	0.0299	-11.52	0.000	1.00
Temperatura (°C)*Temperatura (°C)	-1.2255	-0.6128	0.0468	-13.10	0.000	1.00
Pulsaciones (s)*Pulsaciones (s)	-0.0311	-0.0156	0.0488	-0.32	0.761	1.00
Temperatura (°C)*Pulsaciones (s)	-0.2220	-0.1110	0.0366	-3.04	0.023	1.01

Fuente: Elaboración propia

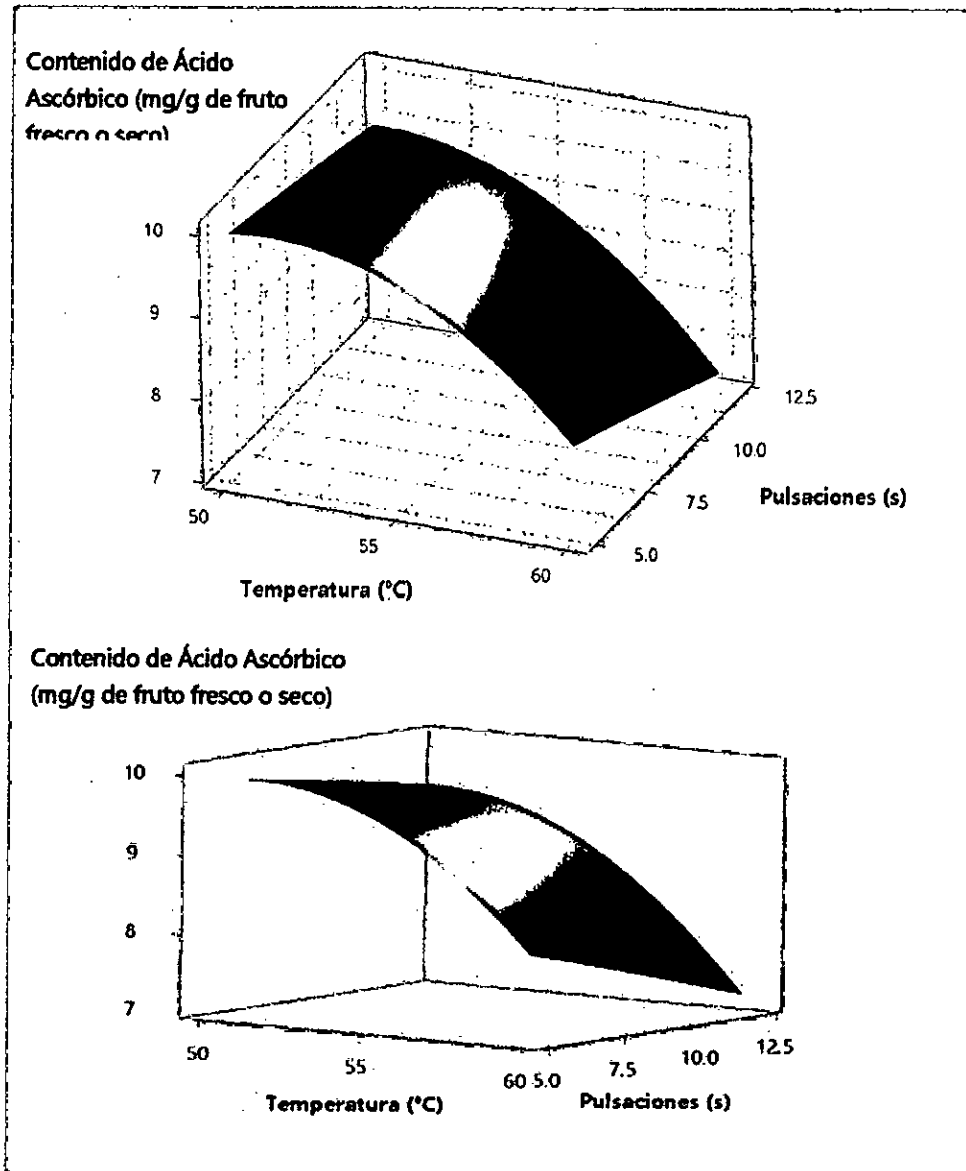
La ecuación del contenido del ácido ascórbico obtenida por la regresión será:

$$\begin{aligned}
 \text{[Ácido ascórbico] (mg /100g de fruto) =} \\
 & -55.56 + 2.541 \text{ Temperatura (°C)} \\
 & + 0.272 \text{ Pulsaciones (s)} \\
 & - 0.02451 \text{ Temperatura (°C)*Temperatura (°C)} \\
 & - 0.00127 \text{ Pulsaciones (s)*Pulsaciones (s)} \\
 & - 0.00634 \text{ Temperatura (°C)*Pulsaciones (s)}
 \end{aligned}$$

La superficie de respuesta se muestra en el gráfico 5.67:

GRÁFICO 5.67

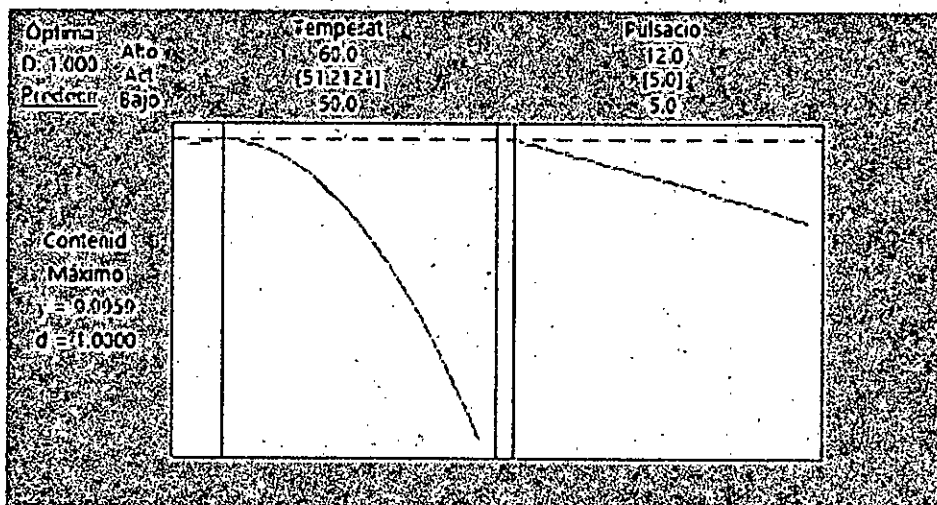
SUPERFICIE DE RESPUESTA TRIDIMENSIONAL DEL PRIMER TRIO DE VARIABLES



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la optimización para la primera triada de variables con el soporte del programa Minitab 17:

GRÁFICO 5.68
GRÁFICA DE OPTIMIZACIÓN DEL CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO



Fuente: Elaboración propia

➤ **Triada 2:**

TABLA 5.47
DATOS DEL SEGUNDO TRIO DE VARIABLES Y SU CODIFICACIÓN

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Temperatura (°C)	Pulsaciones (s)	Tiempo de secado (h)	OrdenEst	OrdenCorrida	Bloques	TipoPt
50	7	3.33	2	2	1	1
50	9	3.16	3	3	1	1
50	12	2.66	4	4	1	1
55	5	3.73	5	5	1	1
55	7	3.16	6	6	1	1
55	9	3.00	7	7	1	1
55	12	2.58	8	8	1	1
60	5	3.50	9	9	1	1
60	7	3.16	10	10	1	1
60	9	2.83	11	11	1	1
60	12	2.41	12	12	1	1

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.48

ANÁLISIS DE VARIANZA DEL SEGUNDO TRIO DE VARIABLES

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	2.13709	0.42742	68.32	0.000
Lineal	2	2.13144	1.06572	170.35	0.000
Temperatura (°C)	1	0.14345	0.14345	22.93	0.003
Pulsaciones (s)	1	1.98799	1.98799	317.77	0.000
Cuadrado	2	0.01984	0.00992	1.59	0.280
Temperatura (°C)*Temperatura (°C)	1	0.00015	0.00015	0.02	0.882
Pulsaciones (s)*Pulsaciones (s)	1	0.01969	0.01969	3.15	0.126
Interacción de 2 factores	1	0.00019	0.00019	0.03	0.868
Temperatura (°C)*Pulsaciones (s)	1	0.00019	0.00019	0.03	0.868
Error	6	0.03754	0.00626		
Total	11	2.17462			

Fuente: Elaboración propia

TABLA 5.49

RESUMEN DEL MODELO DEL SEGUNDO TRIO DE VARIABLES

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0790955	98.27%	96.84%	94.56%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		3.0287	0.0485	62.45	0.000	
Temperatura (°C)	-0.2691	-0.1345	0.0281	-4.79	0.003	1.01
Pulsaciones (s)	-1.1038	-0.5519	0.0310	-17.83	0.000	1.00
Temperatura (°C)*Temperatura (°C)	-0.0150	-0.0075	0.0484	-0.15	0.882	1.00
Pulsaciones (s)*Pulsaciones (s)	0.1793	0.0897	0.0505	1.77	0.126	1.00
Temperatura (°C)*Pulsaciones (s)	0.0131	0.0065	0.0378	0.17	0.868	1.01

Fuente: Elaboración propia

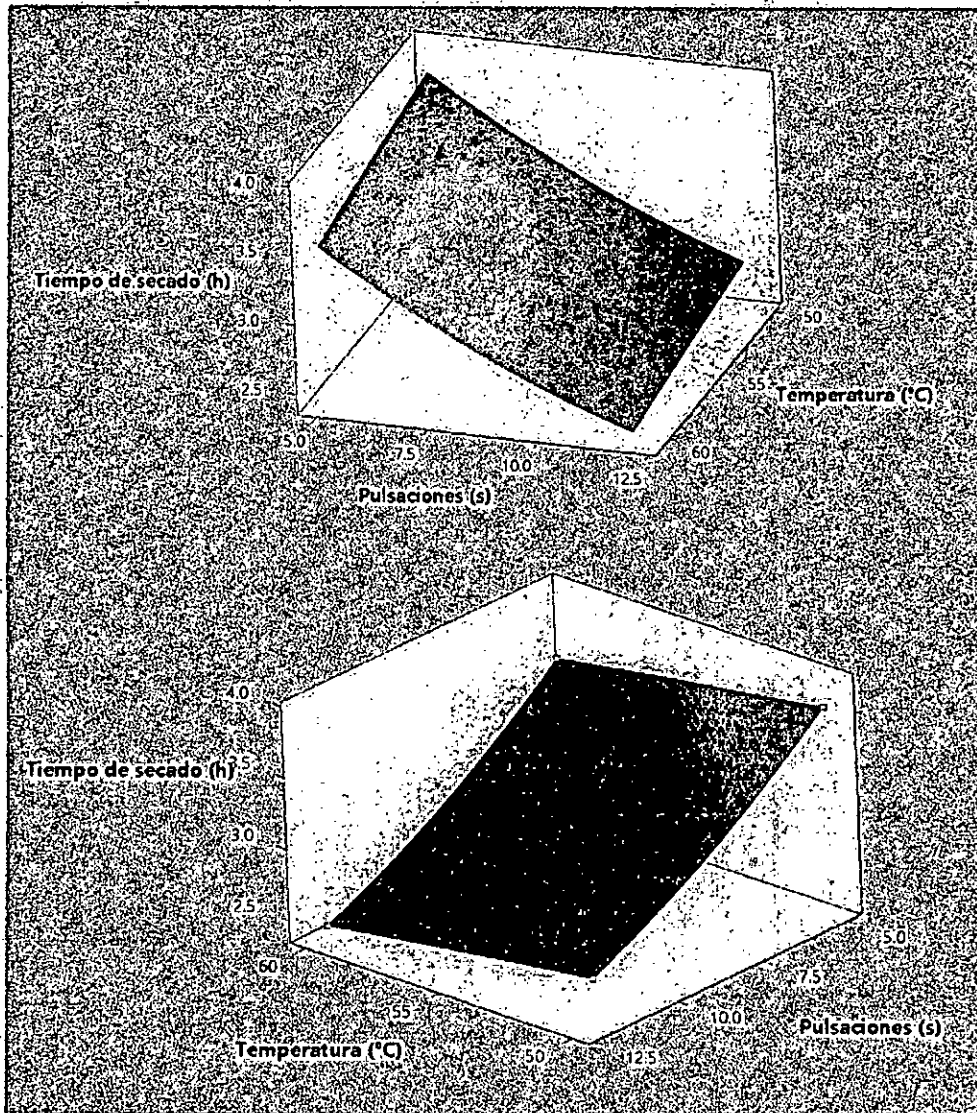
La ecuación para el tiempo de secado será:

$$\begin{aligned}
 \text{Tiempo de secado (h)} = & 5.64 + 0.003 \text{ Temperatura (°C)} \\
 & - 0.303 \text{ Pulsaciones (s)} \\
 & - 0.00030 \text{ Temperatura (°C)*Temperatura (°C)} \\
 & + 0.00732 \text{ Pulsaciones (s)*Pulsaciones (s)} \\
 & + 0.00037 \text{ Temperatura (°C)*Pulsaciones (s)}
 \end{aligned}$$

La superficie de respuesta se muestra en el gráfico 5.69:

GRÁFICO 5.69

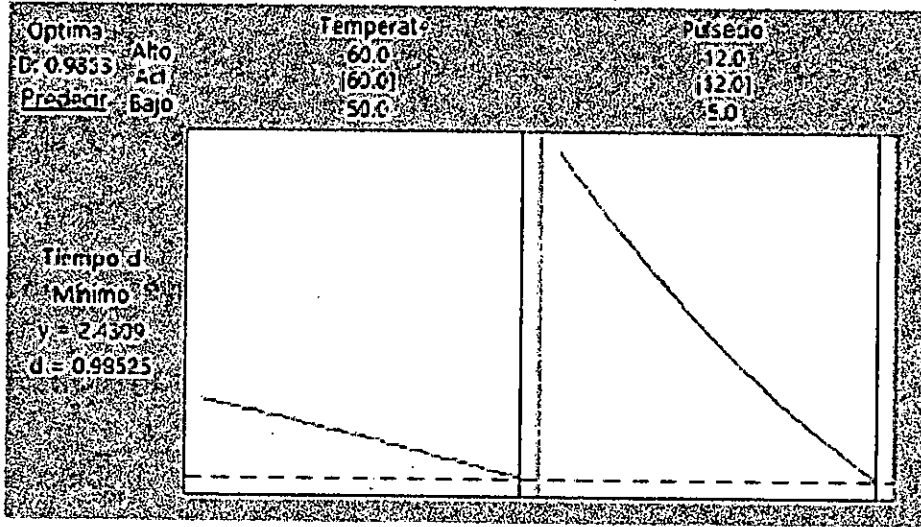
SUPERFICIE DE RESPUESTA TRIDIMENSIONAL DEL SEGUNDO TRÍO DE VARIABLES



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se muestra la optimización para la segunda triada de variables con el soporte del programa Minitab 17:

GRÁFICO 5.70
GRÁFICA DE OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO DE SECADO



Fuente: Elaboración propia

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 CARACTERIZACIÓN DEL Yawuarchunka (*Physalis Peruviana* L.)

La humedad inicial del yawuarchunka (*Physalis Peruviana* L.) fresco y proveniente de Cabana Ancash-Perú fue de $71,56 \pm 0,5\%$ (base húmeda). Un análisis fisicoquímico indica que este fruto fresco posee 12, (mg de ac. Ascórbico/ 100 g de fruto fresco), el cual se va degradando a medida que se incrementa la temperatura durante el proceso de secado.

6.2 RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS DE SECADO

De acuerdo al método empleado, se hicieron corridas de secado a las siguientes condiciones, con los siguientes resultados, a partir del promedio de datos (triplicado):

TABLA 6.1
TABLA DE CONDICIONES DE SECADO Y TIEMPOS DE SECADO
OBTENIDOS

Temperatura (°C)	Pulsaciones (s)	tiempo de secado (h)
50	0	4.25
50	5	3.83
50	7	3.33
50	9	3.16
50	12	2.66
55	0	4.41
55	5	3.73
55	7	3.16
55	9	3.00
55	12	2.58
60	0	3.75
60	5	3.50
60	7	3.16
60	9	2.83
60	12	2.41

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro anterior y de los gráficos 5.6, 5.12 y 5.18 podemos verificar que existe una disminución considerable de tiempo de secado en la transición de 50 a 60 °C con pulsaciones microondas, y de acuerdo a esto hay que determinar cuáles son las condiciones que nos van a llevar a lograr tiempos menores. Es por ello que en la figura 5.19 se muestra la optimización del tiempo de secado en relación al modelo matemático creado por el programa Minitab 17.

6.3 RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE ÁCIDO

ASCÓRBICO EN LAS MUESTRAS

Sabiendo que la degradación del ácido ascórbico es un punto clave en la optimización de condiciones del secado del fruto, se obtuvo el siguiente cuadro de resultados:

TABLA 6.2

TABLA DE CONDICIONES DE SECADO Y CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO ASCÓRBICO EN LAS MUESTRAS DE SECADO

Temperatura (°C)	Pulsaciones (s)	Contenido de ácido ascórbico (mg/100 g de fruto)
50	5	9.987
50	7	9.798
50	9	9.798
50	12	9.422
55	5	9.610
55	7	9.422
55	9	9.233
55	12	9.045
60	5	8.102
60	7	7.914
60	9	7.537
60	12	7.160

Fuente: Elaboración propia

También se verifica una disminución del ácido ascórbico conforme se incrementa la temperatura de secado y el tiempo de pulsaciones de microondas. Esta tendencia queda justificada, ya que a mayores temperaturas, existe mayor degradación de los compuestos presentes.6.

6.4 CINÉTICA DEL SECADO

En las fig (5.21; 5.43 ; 5.65) se muestra la evolución de la variación porcentual de la humedad en base seca en función del tiempo, tanto para el fruto secado con el método tradicional como para el secado empleando la técnica del proceso combinado aire caliente-microondas.

De estos gráficos se observa que el porcentaje de humedad eliminado por unidad de tiempo es fuertemente dependiente de la técnica de secado, encontrando que el porcentaje de humedad disminuye desde 71,56 + 0,5% en t= 0 horas hasta 22,58% (b.h) en 2,33 horas empleando la técnica del proceso combinado.

6.5 ANALISIS ESTADISTICO

En base al modelo codificado de segundo orden:

$$Y= f (X_1, X_2) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2$$

Dónde: Y=Representa el contenido del ácido ascórbico en el fruto.

X_1 = Temperatura (°C)

X_2 = Intervalo de pulsaciones en el tiempo.

Se evaluó esta expresión en los datos experimentales se logró el modelo matemático que nos permite simular la máxima retención del ácido ascórbico.

➤ **Función de la máxima retención del ácido ascórbico:**

$$\begin{aligned} \text{[Ácido ascórbico] (mg /100g de fruto) =} \\ -55.56 + 2.541 \text{ Temperatura (}^\circ\text{C)} + 0.272 \text{ Pulsaciones (s)} \\ - 0.02451 \text{ Temperatura (}^\circ\text{C)} * \text{Temperatura (}^\circ\text{C)} \\ - 0.00127 \text{ Pulsaciones (s)} * \text{Pulsaciones (s)} \\ - 0.00634 \text{ Temperatura (}^\circ\text{C)} * \text{Pulsaciones (s)} \end{aligned}$$

Para determinar los parámetros de la ecuación de la máxima retención del ácido ascórbico se realizaron los ensayos en el equipo experimental (Terna de temperaturas en combinación con una cuaterna de intervalos de pulsaciones en el microondas). Bajo estas condiciones se obtuvieron una curva de secado registrando el contenido de humedad en base seca

➤ **Ecuación del tiempo de secado:**

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de secado (h) =} \\ 5.64 + 0.003 \text{ Temperatura (}^\circ\text{C)} - 0.303 \text{ Pulsaciones (s)} \\ - 0.00030 \text{ Temperatura (}^\circ\text{C)} * \text{Temperatura (}^\circ\text{C)} \\ + 0.00732 \text{ Pulsaciones (s)} * \text{Pulsaciones (s)} \\ + 0.00037 \text{ Temperatura (}^\circ\text{C)} * \text{Pulsaciones (s)} \end{aligned}$$

Para evaluar el tiempo de secado se elige una tema referencial de tres temperaturas (50,55 y 60 °C) acordes con la mayor retención del ácido ascórbico que es una de las principales valías de este fruto, encontrando que a la temperatura de 60°C el sistema tradicional demoró 3,75h mientras que en el método combinado aire caliente-microondas solo se empleó 2.41h lográndose una variación considerable la misma que repercutirá en un incremento económico.

En las figuras 5.1, 5.5, 5.9, 5.13, y 5.17 se observa la influencia de la temperatura en la velocidad de secado para el del yawuarchunka (*Physalis Peruviana L.*), variando intervalos de pulsaciones en el microondas. A medida que la temperatura del aire aumenta la velocidad del secado también aumenta y el tiempo de residencia en el proceso de deshidratado se hace más corto.

6.6 OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE TRABAJO

Para analizar y responder donde está la respuesta de interés bajo la influencia de las variables medibles, recurrimos al método y diseño de superficie respuesta (Minitab 17)

En concordancia con las figuras 5.17 y 5.19, las condiciones óptimas de trabajo son las siguientes:

**TABLA 6.3
OPTIMIZACIÓN DE VARIABLES**

	Temperatura (°C)	Pulsaciones (s)
Para mínimo tiempo de secado	60	12
Para máxima cantidad de ácido ascórbico	51.21	5

Fuente: Elaboración propia

Como se indicó antes, el valor del fruto en estudio depende mayoritariamente de la cantidad de ácido ascórbico que contiene, por lo tanto, para preservarlo se prefiere trabajar a las condiciones de optimización para tener la máxima cantidad de ácido ascórbico:

T = 51°C ; con intervalo de pulsaciones = 5 s en microondas.

VII. CONCLUSIONES

- 1.El tiempo involucrado en el proceso de secado del yawuarchunka (*Physalis Peruviana L.*),empleando la técnica del proceso combinado aire caliente-microondas fue un 75% del empleado en el método de secado convencional. Esta variación de tiempo al realizar un escalamiento a nivel industrial repercutirá en lo económico.
- 2.Las tres variables, relación (mg ac.ascórbico /100 g de fruto fresco), temperatura y tiempo, envueltas en el desarrollo de superficie respuesta resultaron tener efectos significativos en el proceso incluyendo la interacción (mg ác. Ascórbico/100 g de fruto fresco) temperatura según lo arrojado en el análisis de varianza. La máxima cantidad de retención del ácido ascórbico en el yawuarchunka (*Physalis Peruviana L.*) fue de 80,5% correspondiente a un valor inicial presente del fruto fresco. Estos parámetros fueron de **51,22 °C** con intervalos de pulsaciones en el tiempo de **5 segundos**.
3. Se verificó el incremento de la velocidad de difusión del agua contenida en el yawuarchunka (*Physalis Peruviana L.*) mediante la técnica del proceso combinado aire caliente-microondas (tablas 6.1 y 6.2), verificando que el uso de microondas es un aporte a este incremento de velocidad, en comparación con el método tradicional.
4. Se construyó un equipo provisto de un sistema combinado aire caliente – microondas (figura 4.2) que ayudó a hacer las pruebas experimentales con el yawuarchunka (*Physalis Peruviana L.*).
5. Se realizaron pruebas experimentales de secado solo con el sistema convencional y posteriormente con el sistema combinado con microondas, mostrando que el sistema combinado logra secar el fruto en mucho menos tiempo, pero que aumenta la degradación del ácido ascórbico.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Realizar la experimentación en las condiciones de temperatura y altura en las que se llevaría a cabo el proceso a mayor escala, ya que estas condiciones influyen también en el tiempo de secado.
2. Realizar las experimentaciones con el fruto tan pronto como es cosechado, para evitar la descomposición del ácido ascórbico.
3. Experimentar a más condiciones de trabajo, para tener más puntos al momento de hacer la optimización de variables.
4. Para obtener mayor precisión, realizar el análisis de ácido ascórbico mediante métodos instrumentales.

IX. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. ABRIL, J., GÓMEZ, A., LÓPEZ, R. Y CASP A.. (2011). Simulación de tratamientos térmicos aplicados a alimentos envasados En barquetas plásticas. Universidad Pública de Navarra, 1, 1-6.
2. AMADOR, A. CORTES, H. HERMAN, E. MARTINEZ, C. y RUIZ I. (2011). Modelación matemática del proceso secado empleando flujo de aire revertido. Ciencia y mar, 43, 49-54.
3. ÁNGELES C. (2012). Informe Final. Callao: Instituto de Investigación de Ingeniería Química - UNAC.
4. ÁNGELES, C. (2014). Guía de secado. Universidad Nacional del Callao.
5. APARCANA I. y VILLARREAL L.. (2014). Evaluación de la capacidad antioxidante de los extractos etanólicos del fruto de *Physalis peruviana* "aguaymanto" de diferentes lugares geográficos del Perú. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
6. BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. y VEGA-MERCADO H. (1996). Dehydration of foods, Chapman & Hall.
7. BRAVO K., SEPULVEDA S., LARA O., NAVAS A. y OSORIO E. (2014). Influence of cultivar and ripening time on bioactive compounds and antioxidant properties in Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). J Sci Food Agric, 95, 1562-1569.
8. CALLE L. (2013). Propuesta tecnológica para la elaboración de harina de los desechos del procesamiento de palmito de Pijuayo

- (*Bactris gasipaes*). Iquitos: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
9. DE FLORIO, E. FIGUEROA, CALDERÓN, E. y VEGA L. (2010). Secado solar técnico de Lúcumá (*Lúcumá ovobata* H.P.K.). *Ciencia & Desarrollo*, 8, 75 - 80.
 10. DONG X. y MUJUMDAR A. (2008). *Drying technologies in food processing*. Editorial: Blackwell Publishing. Reino Unido.
 11. EDUMEDIA. (2017). *Conducción Térmica*. 05 de febrero de 2017, de Edumedia Sitio web: <https://www.edumedia-sciences.com/es/media/99-conduccion-termica>
 12. FERREIRA S. y COSTA A.. (2009). *Parámetros de Transferencia de Materia en el Secado de Frutas*. *Información Tecnológica*, 20, 89-104.
 13. FAWZY M., ALI N., ELSANHOTY R. y SITOHY M. (2013). Goldenberry (*physalis peruviana*) juice rich in Health-beneficial compounds suppresses High-cholesterol diet-induced hypercholesterolemia In rats. *Journal of Food Biochemistry*, 37, 708-722.
 14. FITO, P., CHIRALT, A., BARAT, J.M.M., ANDRÉS, A., MARTÍNEZ, M.J.y MARTÍNEZ, N.N. (2001). Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, 49, 297–302.

15. FLÓREZ, V.J., G. FISCHER Y A.D. SORA. (2000). Crecimiento y desarrollo. En Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana L.*)(9-26). Bogotá: Unibiblos.
16. FORO DE LA INDUSTRIA NUCLEAR ESPAÑOLA. (2015) ¿Qué sabes de la radiación?. 08 de agosto de 2016, de Foro Nuclear Sitio web: <http://www.foronuclear.org/es/el-experto-te-cuenta/119909-que-sabes-de-la-radiacion>
17. GAMBÓA, D. IBÁÑEZ, D. MELÉNDEZ, M. PAREDES, E. y SICHE, R. (2014). Secado de lúcuma (*Pouteria obovata*) empleando la técnica de Ventana Refractante. *Scientia Agropecuaria*, 5, 103-108.
18. GIRALDO, A. (2010). Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) en rodajas. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* [online]. vol.30, n.1, pp. 179-182. ISSN 0101-2061.
19. GÓMEZ A., MIR-BEL J., LÓPEZ R., ABRIL J., y CASP A.. (2010). Modelización de tratamientos térmicos en envases plásticos. *Universidad Pública de Navarra*, 1, 1-9.
20. GORI L.M., CROZZA D.E., PAGANO A.M. (2010). Innovación Tecnológica en deshidratación de frutas. *World Congress & Exhibition ENGINEERING*, 1, 1-10.
21. HUARINGA E. y MATOS A.. (2011). Importancia de los parámetros reologicos de la pulpa de Capulí (*Physalis peruviana L.*) a diferentes

- Temperaturas de Procesamiento. Congreso Nacional De Investigación – lasd, 1, 1-6.
22. INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS. (2011). Deshidratación: secado y liofilización. México: Instituto Tecnológico Superior de Calkiní.
 23. IZLI N., YILDIZ G., UNAL H., ISIK E. y UYLASER V.. (2014). Effect of different drying methods on drying characteristics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity of Goldenberry (*Physalis peruviana* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 9-17.
 24. JUN K., LI L., HUA X., HUI Z., QUAN B., ZHANG Y. y LIAN X.. (2016). Antioxidant Components From Cape Gooseberry. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40, 893-898.
 25. LÓPEZ V. (2015). Certificaciones para exportación en alimentos frescos (II). 05 de enero de 2016, de El economista Sitio web: <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2015/12/01/certificaciones-exportacion-alimentos-frescos-ii>
 26. MAHECHA, Juan Carlos. (2011). Determinación de los parámetros para la simulación matemática del proceso de deshidratación de la Uchuva (*Physalis Peruviana* L.). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
 27. MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS. (2016). Pauta metodológica para la elaboración de planes de negocio de

- aguaymanto en el marco de la ley PROCOMPITE. Lima: Ministerio de economía y finanzas.
28. MARTINES E. y LIRA L. (2010). Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos. Simposio de Metrología, 1, 1-6.
 29. MORENO M. y FABIÁN L. (2008). Determinación de los Parámetros para la Simulación Matemática del Secado de Almidón de Yuca. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. P. 176.
 30. MUJUMDAR, A. (2006) Handbook of Industrial Drying. Singapur. Editorial CRC Press. Cuarta Edición.
 31. PÁEZ A. (2010). Bebidas fermentadas. Cali: Universidad del Valle.
 32. PARDO A. y RUIZ M. (2015). El procedimiento de regresión lineal. En Análisis de datos con SPSS 13 Base (1-67). México: McGraw-Hill.
 33. PRIETO J., PRIETO F., ROMÁN A., OTAZO E. y MÉNDEZ M. (2012). Correlación de modelos matemáticos de adsorción de humedad en cereales para desayuno. Avances en ciencias e ingeniería, 3, 137-150.
 34. RABBIE M., SOLIMAN A., DIACONASEA Z. y CONSTANTIN B.. (2014). Effect of pasteurization and shelf life on the physicochemical properties of Physalis (Physalis Peruviana) juice. Journal of Food Processing and Preservation, 39, 1051-1060.

35. REPO R. y ENCINA C. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas.. Revista Sociedad Química del Perú, 74, 108-124.
36. SAN ROMÁN E., CASTILLO P., SOTOMAYOR M., GONZALES L. y ZENTENO E. (2014). Aplicaciones y teoría de Ingeniería de Microondas. Ecuador: Iniciativa Latinoamericana de Libros de Texto Abiertos.
37. SOCORRO A. HERNÁNDEZ E. CALDERÓN S., y PENICHET H. (2007). Modelo para curvas isotérmicas de humedad de equilibrio en semillas de interés agrícola. Revista Cubana de Física, 24, 138-143.
38. TREYBAL, R. E. y RODRÍGUEZ A. G. (1988). Operaciones de transferencia de masa, McGrawHill México.
39. UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE TÁCHIRA. (2013). Transferencia de Calor. 23 de marzo de 2015, de Universidad Nacional Experimental de Táchira Sitio web: http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-165.htm
40. UREÑA M. y ENCINA C. (2010). Determinación de la máxima retención de ácido ascórbico de la conserva de aguaymanto (*Physalis Peruviana*) en almíbar aplicando el método taguchi.. Universidad Agraria La Molina, 1, 1-5.
41. VALENCIA R. (2016). Diseño de un secador a escala banco para la producción de harina de sangre de pollo. Lima: Universidad Nacional del Callao.

42. VANACLOCHA, A. C. (2003). Procesos de conservación de alimentos, Ed. MundiPrensa. Madrid.
43. VEGA A., PUENTE L., LEMUS R., MIRANDA M. y TORRES M. (2014). Mathematical modeling of thin-layer drying kinetics of cape gooseberry (*Physalis Peruviana L.*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 38, 728-736.
44. ZAGO K., GARCÍA M., DI BERNARDO M., VIT P., LUNA J. y GUALTIERI M. (2008). Determinación del contenido de vitamina C en miel de abejas venezolanas por volumetría de óxido-reducción. Departamento de Información y Divulgación Científica-Biblioteca Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel, 1, 1-9.
45. ZHANG M., TANG J., MUJUMDAR A.S., and WANG S. (2006). Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables.

ANEXOS

TEMA: "OPTIMIZACIÓN DE SECADO DEL YAUARCHUNKA (*Physalis Peruviana Linnaeus*), EMPLEANDO LA TÉCNICA DE PROCESO COMBINADO: AIRE CALIENTE-MICROONDAS"

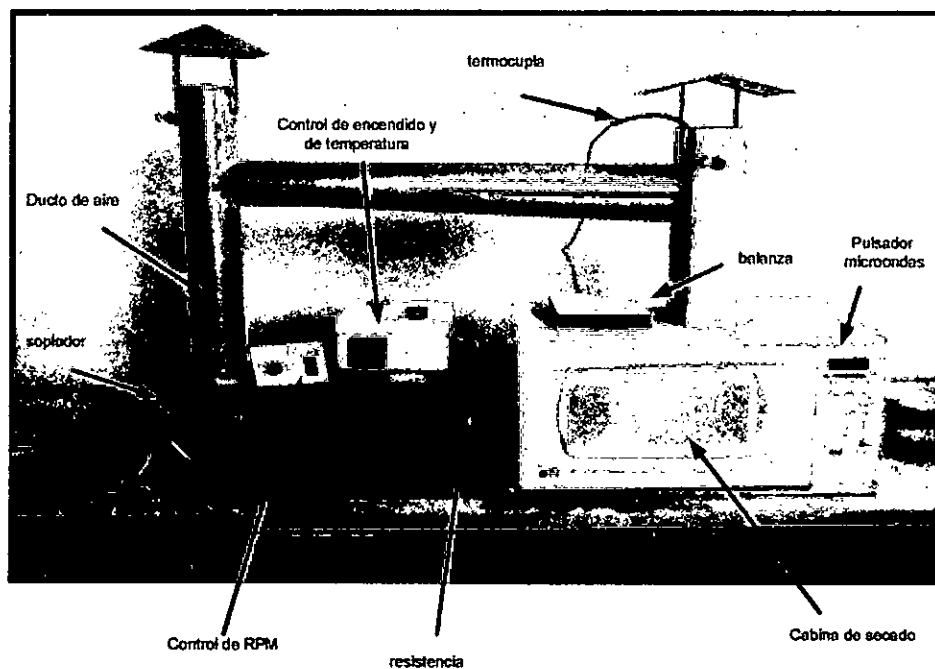
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEP.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cómo optimizar la velocidad de difusión durante el proceso de secado del yawarchunka (<i>Physalis Peruviana L.</i>), a fin de lograr la máxima retención del ácido ascórbico, empleando la técnica del proceso combinado de aire caliente -microondas?	Lograr la máxima retención del ácido ascórbico contenido en este fruto, incrementando la velocidad de difusión del agua durante el proceso de secado del yawarchunka (<i>Physalis Peruviana L.</i>), empleando la técnica del proceso combinado aire caliente-microondas.	La máxima retención del ácido ascórbico contenido en el yawuarchunka (<i>Physalis Peruviana L.</i>), empleando un proceso combinado de secado: aire caliente-microondas, es función del incremento de la velocidad de difusión del agua.	Y=Optimización paramétrica de secado del yawuarchunka (<i>Physalis Peruviana L.</i>)	* Porcentaje del ácido ascórbico. *Porcentaje de humedad. *Temperatura óptima.	% °C s	- Análisis estadístico
PROB. ESPECÍFICOS	OBJ. ESPECÍFICOS	HIP. ESPECÍFICAS	VARIABLES IND.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
a. ¿Cómo construir un nuevo equipo que nos permita incrementar la velocidad de difusión del agua contenida en los frutos del yawarchunka (<i>Physalis Peruviana L.</i>)?	a Construir un equipo para el secado del yawarchunka (<i>Physalis Peruviana L.</i>) provisto de un sistema combinado aire caliente-microondas.	a. Empleando este nuevo equipo de secado de sistema combinado aire caliente-microondas para secar yawuarchunka (<i>Physalis Peruviana L.</i>), aumentara la velocidad de difusión.	X1=Parámetros del diseño y construcción de un secador con sistema combinado: aire caliente-microondas.	* Capacidad del secado. * Sección de incidencia *Costo del secador de sistema combinado	gr m ³ s/	Construcción del secador combinado
b. ¿Cuáles serán los parámetros cinéticos a controlar durante el proceso de secado tradicional del yawarchunka (<i>Physalis Peruviana L.</i>), y luego mediante un proceso combinado: aire caliente-microondas?	b. Realizar pruebas comparativas de secado utilizando únicamente el sistema convencional (aire caliente) y posteriormente con el sistema combinado: aire caliente-microondas.	b.El tiempo de secado del yawuarchunka (<i>Physalis Peruviana L.</i>) utilizando un sistema combinado aire caliente-microondas es menor que el tiempo empleado en el sistema tradicional.	X2=Parámetros cinéticos de operacionalización (temperatura, flujo másico, tiempo) empleando un sistema combinado para el control del secado del yawuarchunka (<i>Physalis Peruviana L.</i>)	*Temperatura. * Velocidad de difusión. *Tiempo de secado	°C m/s %	- Pruebas experimentales de secado en el sistema tradicional de aire caliente y en el nuevo sistema aire caliente-microondas.
c. ¿Cuál será la función matemática que nos permitirá controlar la transferencia de masa y calor a través del tiempo transcurrido, admitiendo una forma geométrica homogénea durante el proceso de secado del yawarchunka (<i>Physalis Peruviana L.</i>)?	c. Obtener de la ecuación matemática que nos permita controlar la velocidad de deshidratación en función de las variables de operación, durante el proceso de secado del yawarchunka (<i>Physalis Peruviana L.</i>)	c. La función matemática que modela el secado del yawuarchunka (<i>Physalis Peruviana L.</i>) bajo los principios del sistema combinado es función de la velocidad de difusión, del tiempo y de la temperatura.	X3=Función matemática que nos permita modelar al proceso de secado del yawuarchunka (<i>Physalis Peruviana L.</i>)	Estructura matemática	Y=f(x ₁ ,x ₂ ,x ₃)	- Análisis del ácido ascórbico usando el método de titulación con un agente que se oxida como el tinte 2,6-diclorofenol-Indofenol (DCPIP). o de

PRESUPUESTO Y PARTES DEL MODULO EXPERIMENTAL

COMPONENTE	CARACTERISTICAS	COSTO (soles)
Soplador	20 Watts y 500 rpm	475
Termocupla	Tipo "J"	100
Pirómetro	Analogo-Digital	260
Resistencia	500 Watts	100
Ductos de ingreso y salida	En Acero 304-2B	320
Soporte general	En Acero 304-2B	280
Caja de control	Plastica	80
Contactador	De 32 A	60
Focos indicadores	220V	60
Cables	Vulcanizado N° 12	40
Enchufes	Con línea Tierra	50
Cabina Microondas	220v- Samsun	550
Construcción estructura	Soldadura Tig	650
Construcción eléctrica	Cableado-instalación	350
	TOTAL	3375


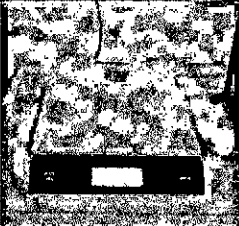

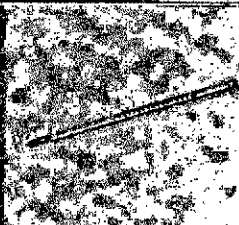
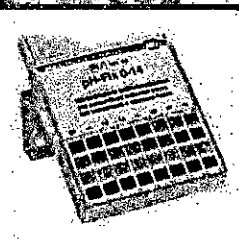

Fuente: Elaboración propia


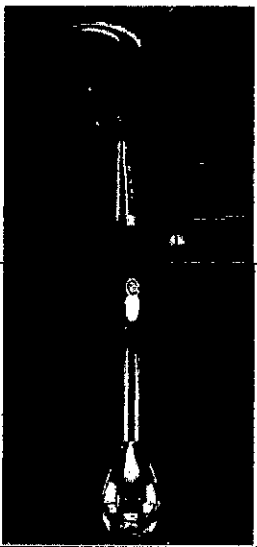



EQUIPO DE SECADO EXPERIMENTAL USANDO AIRE CALIENTE Y MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

ACCESORIOS REQUERIDOS EN TOMA Y ANALISIS DE DATOS

ACCESORIO	CARACTERISTICAS	COSTO (soles)	FOTO
Anemómetro digital	Rango: 0-50m/s	725	
Balanza digital	Rango: 0-100 g	150	
Data Logger	Determinación y registro de Temperatura en cámara	650	
Termómetro de mercurio	Rango : 0-100 °C	80	
Cintas indicadoras de Ph	Rango 0-7	40	
bureta	titulación	-----	

Vaso de precipitado	50-100-250 ml	-----	
Erlenmeyer	100-250 ml	-----	
Fiola	100 ml	-----	
Probeta graduada	100ml		
licuadora	Preparación de muestra	-----	
	COSTO TOTAL	1625	

Fuente: Elaboración propia

SECADOR SOLO DE MICROONDAS

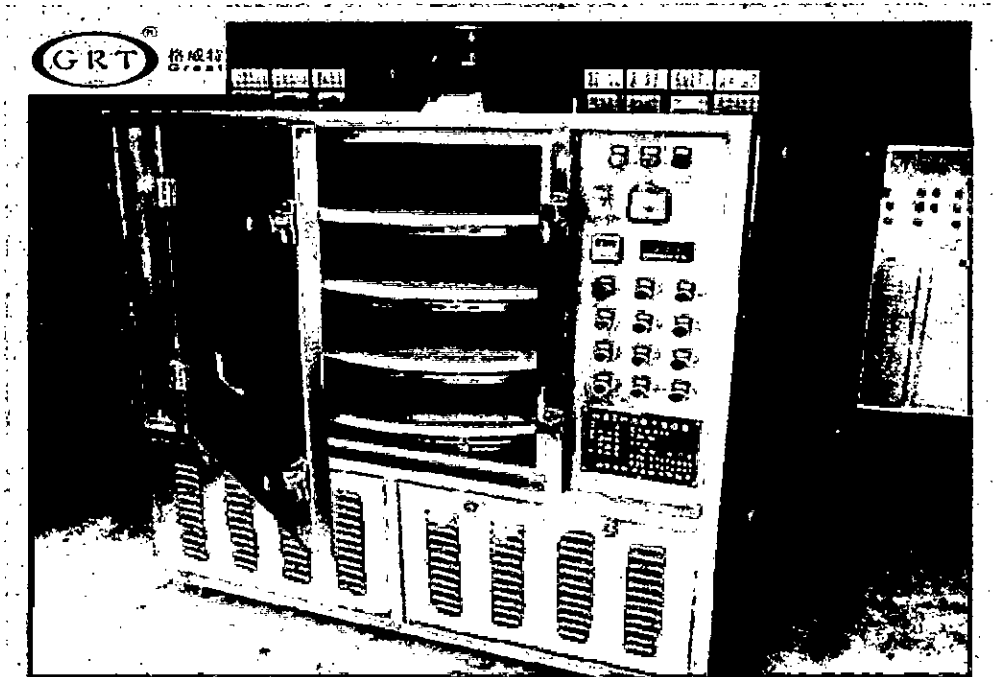


Especificaciones del equipo

	Estándar	Métrico
Marca CE	UNKNOWN	
capacidad	1 SQ FT	0.09 sq m
Modelo	Turbo Jet Star	
Dificultad de remoción	PALLET JACK; CART OR TWO PEOPLE NEEDED	
Nivel de preparación necesaria para envío	UNCRATED/LOOSE	
Empaque recomendado	CUSTOM	
Peso estimado de embarque	1000 LBS	453.60 kg
Longitud	105 IN	266.70 cm
Ancho	51.2 IN	130.05 cm
Altura	57.3 IN	145.54 cm

Fuente: secador-microondas-ranar-manufacturing-co-inc-turbo-jet-star_listid_573513/

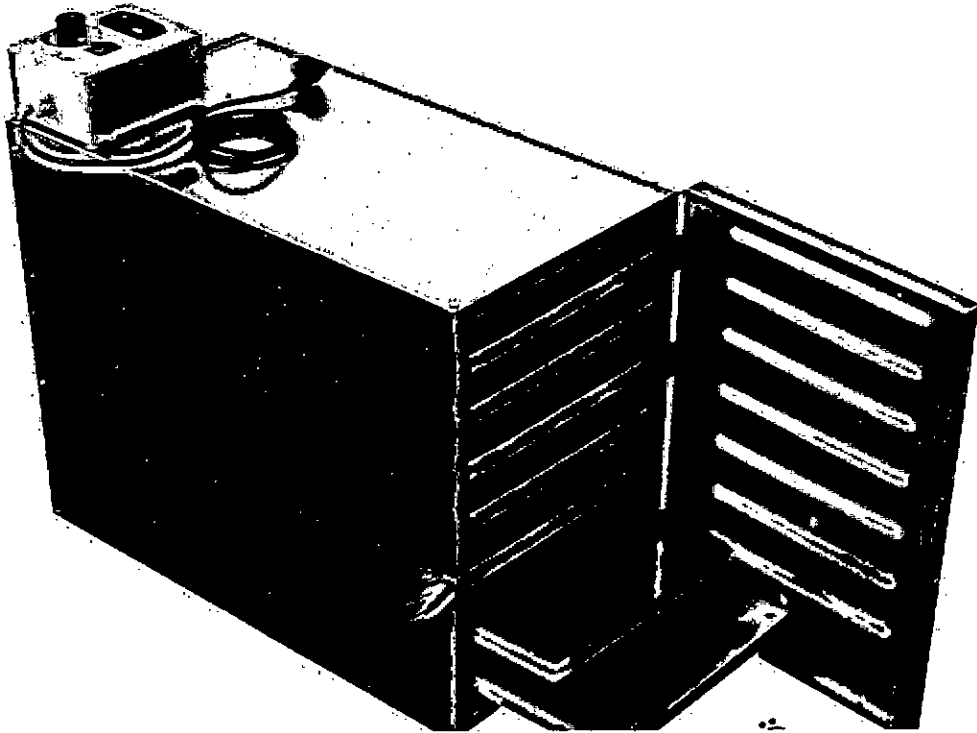
SECADOR CON MICROONDAS



Voltaje:	380 V	Lugar del origen:	China (Continental)	Marca:	TRB
Condición:	Nuevo	Número de Modelo:	GRT-MV-30	Peso:	3500 KG
Energía (W):	30KW	Tipo:	Secador de bandeja	Garantía:	un año
Certificación:	CE, ISO	Dimensión (L*W*H):	3000*2000*2500mm	Servicio After-sales proporcionado:	Dirige disponible para mantener la maquinaria en ultramar
nombre:	vacio máquina de secado por microondas	garantía:	un año	material del cuerpo:	de acero inoxidable
método de calefacción:	microondas	diamension:	3000*2000*2500mm	el tiempo de entrega:	dentro de 15 días después del pago
número de bandeja:	3	temperatura de funcionamiento:	40-85 grados	fugas de microondas:	menos de uno

Fuente: <https://secador+con+MICROONDAS&oq=secador+con+MICROONDAS&gs>

SECADOR DE BANDEJAS CON AIRE CALIENTE



Modèle	Code	Puissance (W)	Tension (V)	Capacité (mm)	Dimensions (mm)
Séchoir à pollen	RM-SP1	1.200	1×230	10 plateaux 360 x 400	440 x 410 x 520
	RM-SP2	2.100	1×230	7 plateaux 650 x 420	820 x 450 x 450
	RM-SP3	6.000	1×230	13 plateaux 900 x 500	1.080 x 550 x 790

Fuente: <http://www.resistenciasasturgo.com>