



JUN 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

EFECTO DE LA TRANSFERENCIA DE MASA EN EL SECADO DE LAS SEMILLAS DE CHOCHO (*Lupinus mutabilis*) ANCASHINO, EMPLEANDO LA TECNICA DEL METODO COMBINADO, A FIN DE SER REVALORADO E INDUSTRIALIZADO EN FORMA DE HOJUELAS NUTRITIVAS.

AUTOR:

LEONARDO RUFINO, CARLOS PEREYRA.

CALLAO-2019



J. Per
5.6.19

9

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.

El autor



ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
ÍNDICE	1
ÍNDICE DE FIGURAS.....	4
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE GRÁFICOS	7
RESUMEN	9
ABSTRACT.....	10
INTRODUCCION	11
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1. Determinación del problema.....	13
1.2. Formulación del problema	14
1.2.1. Problema General.....	14
1.2.2. Problemas específicos.....	14
1.3. Objetivos de la investigación	14
1.3.1 Objetivo General.....	14
1.3.2. Objetivos Específicos.....	14
1.4. Justificación	15
1.4.1. Por su aspecto económico.....	15
1.4.2. Por su aspecto social	15
1.4.3. Por su aspecto tecnológico.....	15
II. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Antecedentes de la investigación.....	17
2.2 Bases teórico científicas.....	25
2.2.1 El chocho	25
2.2.2 Origen y distribución	26
2.2.3 Clasificación Taxonómica	26
2.2.4 Descripción botánica.....	27
2.2.5 Composición química del chocho.....	29
2.2.6 Valor nutritivo del chocho	29
2.2.7 Usos del Chocho	30
2.2.8 Extracción de alcaloides con solventes miscibles en agua	30

2.2.9	Extracción de los alcaloides con agua	31
2.2.10	Desamargado o deslupinización del chocho	31
2.2.11	Industrialización del chocho	32
2.2.12	Hojuelas nutritivas a base de harina de chocho	32
2.2.13	Valor agregado del lupinus andino (chocho)	33
2.2.14	Secado	33
2.2.15	Principio del secado	35
2.2.16	Secado de alimentos	37
2.2.17	Actividad de agua	43
2.2.18	Variables físicas que influyen en el potencial de secado	52
2.2.19	Transferencia de calor	55
2.2.20	Microondas	55
2.2.21	Secado por microondas	56
2.2.22	Ventajas y desventajas en el uso de microondas en el secado	59
2.2.23	Secado combinado	59
2.3	Definición de términos básicos	61
2.4	Nomenclatura de la terminología utilizada	62
III.	VARIABLES E HIPÓTESIS	63
3.1	Definición de las variables	63
3.2	Hipótesis	63
3.2.1	Hipótesis General	63
3.2.2	Hipótesis específicas	63
3.3	Operacionalización de variables	64
3.3.1	Definición de las variables de la investigación	64
3.3.2	Operacionalización de variables	65
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO	66
4.1.	Tipo de investigación	66
4.1.1	Tipo de investigación	66
4.1.2	Nivel de investigación	66
4.1.3	Metodología de la investigación	66
4.2	Diseño de la investigación	66
4.3	Población y muestra	67

4.3.1 Población.....	67
4.3.2 Muestra	67
4.3.3. Determinación del tamaño de muestra.....	67
4.4 Recolección de datos técnicas e instrumentos	68
4.4.1 Materiales y equipos	68
4.4.3 Segunda etapa (Determinación de proteínas)	76
4.5 Plan de analisis estadístico.....	85
4.5.1 Estadística de regresión.....	85
4.5.2 Análisis ANOVA	85
V. RESULTADOS.....	86
5.1. Resultados parciales.....	86
5.1.1 Pruebas de secado	86
5.1.2. Análisis de proteínas totales.....	113
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	121
6.1 Caracterización del chocho (<i>Lupinus mutabilis</i>).....	121
6.2 Resultados obtenidos de las pruebas de secado	121
6.3 Resultados obtenidos del análisis del grado proteico en las muestras	122
6.4 Cinética del secado.....	123
6.5 Analisis estadístico.....	123
6.6 Optimización de los parámetros de trabajo	124
VII. CONCLUSIONES.....	126
VIII. RECOMENDACIONES.....	127
IX. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	128
ANEXOS	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Semillas mishas del chocho.....	26
Figura 2. Flor morada del Lupinus andino.....	27
Figura 3. Planta del chocho con sus primeras vainas, en Ferrer	28
Figura 4. Mecanismo de la tranferencia de calor	35
Figura 5 . Secado de alimentos	37
Figura 6. Menestra	68
Figura 7 Balanza digital utilizado en los ensayos de secado de chocho	68
Figura 8. Secador experimental acoplado a microondas	69
Figura 9. Cámara experimental de secado	69
Figura 10. Panel de control de temperatura	69
Figura 11. Fuente de poder del secador experimental	70
Figura 12. Diagrama deflujo del secador experimental microondas	71
Figura 13. Flujograma para registro de datos	73
Figura 14. Anemómetro digital.....	74
Figura 15. Balanza registradora de masa	74
Figura 16. Data Logger	75
Figura 17. Muestras de chocho después de ser sometidas a diferentes intervalos de pulsaciones en microondas.....	75
Figura 18. Muestras de chocho después de ser sometidas a diferentes intervalos de pulsaciones en microondas.....	78
Figura 19. Parrilla de ataque	78
Figura 20. Equipo digestor.....	81
Figura 21. Destilador kjeldahl.....	81
Figura 22. Cambio cualitativo en el proceso de destilación	82
Figura 23. Proceso de destilado en un micro kjeldahl	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica del chocho	26
Tabla 2. Composición del chocho.....	29
Tabla 3. Operacionalización de variables	65
Tabla 4. Prueba de humedad inicial del chocho	86
Tabla 5. Prueba de secado a 50°C y 0 s de pulsaciones de microondas	87
Tabla 6. Prueba de secado a 50°C y 5 s de pulsaciones de microondas	88
Tabla 7. Prueba de secado a 50°C y 7 s de pulsaciones de microondas	88
Tabla 8. Prueba de secado a 50°C y 9 s de pulsaciones de microondas	89
Tabla 9. Prueba de secado a 50°C y 12 s de pulsaciones de microondas	89
Tabla 10. Data para la velocidad de secado a 50°C con 0s de pulsaciones.....	90
Tabla 11. Data para la velocidad de secado a 50°C con 5s de pulsaciones.....	91
Tabla 12. Data para la velocidad de secado a 50°C con 7s de pulsaciones.....	92
Tabla 13. Data para la velocidad de secado a 50°C con 9s de pulsaciones.....	93
Tabla 14. Data para la velocidad de secado a 50°C con 12s de pulsaciones.....	94
Tabla 15. Prueba de secado a 55°C y 0 s de pulsaciones de microondas	96
Tabla 16. Prueba de secado a 55°C y 5 s de pulsaciones de microondas	96
Tabla 17. Prueba de secado a 55°C y 7 s de pulsaciones de microondas	97
Tabla 18. Prueba de secado a 55°C y 9 s de pulsaciones de microondas	97
Tabla 19. Prueba de secado a 55°C y 12 s de pulsaciones de microondas	98
Tabla 20. Data para la velocidad de secado a 55°C con 0s de pulsaciones.....	98
Tabla 21. Data para la velocidad de secado a 55°C con 5s de pulsaciones.....	99
Tabla 22. Data para la velocidad de secado a 55°C con 7s de pulsaciones.....	100
Tabla 23. Data para la velocidad de secado a 55°C con 9s de pulsaciones.....	101
Tabla 24. Data para la velocidad de secado a 55°C con 12s de pulsaciones.....	102
Tabla 25. Prueba de secado a 60°C y 0 s de pulsaciones de microondas	104
Tabla 26. Prueba de secado a 60°C y 5s de pulsaciones de microondas	105
Tabla 27. Prueba de secado a 60°C y 7s de pulsaciones de microondas	105
Tabla 28. Prueba de secado a 60°C y 9s de pulsaciones de microondas.....	106
Tabla 29. Prueba de secado a 60°C y 12s de pulsaciones de microondas	106
Tabla 30. Data para la velocidad de secado a 60°C con 0s de pulsaciones.....	107

Tabla 31. Data para la velocidad de secado a 60°C con 5s de pulsaciones	108
Tabla 32. Data para la velocidad de secado a 60°C con 7s de pulsaciones	109
Tabla 33. Data para la velocidad de secado a 60°C con 9s de pulsaciones	110
Tabla 34. Data para la velocidad de secado a 60°C con 12s de pulsaciones	111
Tabla 35. Data obtenida en el análisis de proteínas totales de muestras de chocho, basados en los parámetros de control del secado	113
Tabla 36. Humedad en base seca de todas las pruebas	114
Tabla 37. Data para el análisis de la terna: Temperatura , interval de pulsaciones, porcentaje de proteínas	114
Tabla 38. Datos de la superficie respuesta: Proteínas vs temperatura; pulsaciones	115
Tabla 39. Data para el análisis de la terna: Temperatura, interval de pulsaciones y tiempo de secado	117
Tabla 40. Resultados de la superficie respuesta: Tiempo de secado vs temperaturay pulsaciones	118
Tabla 41. Pruebas de secado	121
Tabla 42. Análisis del grado proteico en las muestras.....	122
Tabla 43. Optimización de variables	125

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Diagrama de equilibrio de la humedad.....	40
Gráfico 2. Isoterma de equilibrio de almidón de yuca.....	45
Gráfico 3. Curva de secado a 50° C de pulpa de cupuaçu (theobromagrandiflorum) en rodajas	49
Gráfico 4. Etapa de velocidad de secado constante. Pulpa de cupuaçu (theobromagrandiflorum) en rodajas a 50°c.....	50
Gráfico 5. Influencia de la temperatura en la velocidad de secado, curvas de secado de pimiento rojo a diferentes temperaturas	51
Gráfico 6. Influencia de la velocidad del aire en la velocidad de secado, cinética del secado de lúcuma	52
Gráfico 7. Curva de humedad del chocho fresco	87
Gráfico 8. Curva de secado a 50°c y 0s de pulsaciones de microondas	90
Gráfico 9. Variación de masa a 50°c y 5s de pulsaciones de microondas	91
Gráfico 10. Curva de velocidad de secado a 50°c y 7s de pulsaciones de microondas.....	92
Gráfico 11. Segmento de curva de velocidad de secado a 50°c y 9s de pulsaciones de microondas.....	93
Gráfico 12. Segmento de curva de velocidad de secado a 50°c y 12s de pulsaciones de microondas.....	94
Gráfico 13. Comparativa de curvas de secado a 50°c con diferentes tiempos de pulsaciones de microondas	95
Gráfico 14. Comparativa de curvas de velocidad de secado a 50°c con diferentes tiempos de pulsaciones de microondas.....	95
Gráfico 15. Curva de secado a 55°c y 0s de pulsaciones de microondas	99
Gráfico 16. Variación de masa a 55°c y 5s de pulsaciones de microondas	100
Gráfico 17. Curva de velocidad de secado a 55°c y 7s de pulsaciones de microondas.....	101
Gráfico 18. Segmento de curva de velocidad de secado a 55°c y 9s de pulsaciones de microondas.....	102
Gráfico 19. Segmento de curva de velocidad de secado a 55°c y 12s de pulsaciones de microondas	103

Gráfico 20. Comparativa de curvas de secado a 55°C con diferentes tiempos de pulsaciones de microondas.....	103
Gráfico 21. Comparativa de curvas de secado a 55°C con diferentes tiempos de pulsaciones de microondas.....	104
Gráfico 22. Curva de secado a 60°C y 0 s de pulsaciones de microondas	107
Gráfico 23. Variación de masa a 60°C y 5s de pulsaciones de microondas	108
Gráfico 24. Curva de velocidad de secado a 60°C y 7s de pulsaciones de microondas	109
Gráfico 25. Curva de velocidad de secado a 60°C y 9s de pulsaciones de microondas	110
Gráfico 26. Segmento de curva de velocidad de secado a 60°C y 12s de pulsaciones de microondas.....	111
Gráfico 27. Comparativa de curvas de secado a 60°C y diferentes tiempos de pulsaciones de microondas.....	112
Gráfico 28. Comparativa de curvas de velocidad de secado a 60°C con diferentes tiempos de pulsaciones de microondas	112
Gráfico 29. Representación de las proteínas como función de la temperatura y pulsaciones	116
Gráfico 30. Muestra la interpretación de los resultados de optimización (% proteínas como función de la temperatura y periodo de pulsaciones	117
Gráfico 31. Representación del tiempo de secado como función de la temperatura y pulsaciones	119
Gráfico 32. Muestra la interpretación de los resultados de optimización del tiempo de secado como función de la temperatura y periodo de pulsaciones	120



RESUMEN

En este trabajo se determinan las condiciones óptimas de temperatura para un proceso de secado de las semillas de chocho (*Lupinus mutabilis*), empleando la técnica de un proceso combinado de aire caliente-pulsos de microondas. Se realiza un seguimiento de la degradación de proteínas con el tiempo y temperatura. (Contreras, 2019).

Los granos fueron sometidos a una terna de temperaturas (50,55 y 60°C) y a una cuaterna de intervalos de pulsaciones (5s,7s,9s y 12s) 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 proteínas 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 de la proteína contenida en el chocho (*Lupinus mutabilis*), se obtuvieron a la temperatura de 60°C con un intervalo aproximado de 5 segundos de pulsaciones, empleando la técnica del proceso combinado aire caliente –microondas.

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.



INTRODUCCION

Según Gross (1982) el lupino andino (*Lupinus mutabilis*) es una planta leguminosa reconocida como una de las más en nutrientes. Se caracteriza por tener elevado contenido de proteínas y ácidos grasos, entre otros, que la constituyen en una excelente alternativa para la nutrición humana y animal. Se destaca por ser resistente a condiciones adversas, como plagas, enfermedades, sequías y heladas. Sus semillas ofrecen una disposición de proteínas vegetales que son aprovechadas en diversos procesos, en su mayoría artesanales. (Vega et al).

El grano de chocho crudo es amargo (alto contenido de asperteina, lupinina y otros), por lo tanto, es inconsumible; por ello para ser consumidos los granos de chocho deben ser cocidos y deslupinados (desamargados). El proceso empírico más común es limpiar los granos de impurezas, seleccionar el grano según el tamaño, remojar en agua durante una noche y luego cocer tales granos remojados por espacio de una hora y media cambiando de agua dos o tres veces. Luego depositarlos colocar en recipientes adecuados (costales de yute) a fin de depositarlos en lugares apropiados donde haya agua corriendo durante 5 a 6 días hasta que no tenga amargor. Durante este proceso el chocho llega a tener un promedio de 68 % de humedad. (Rastogui et al, 2002).

Entre las fuentes vegetales las semillas de leguminosas son una de las más ricas fuentes de proteínas (20-40 % de las semillas secas) y han sido consumidas por el hombre desde tiempos inmemorables. El lupino mutabilis, importante por su contenido de proteínas y aceite se coloca en un plano muy competitivo con la soja (Dávila, 1987).

La proteína del chocho contiene cantidades adecuadas de lisina y cistina (Dávila 1987). Ortega et al (2009) encontraron que las semillas de lupino contenían 7,35 % de nitrógeno total, 55,95 % de carbono y 9,83 % de hidrógeno. Las proteínas y el aceite de estas semillas constituyen más de la mitad de su peso; así, un estudio realizado en 300 diferentes genotipos de estas semillas muestran que la proteína contenida varía de 41 a 51 %, mientras que el de aceite varía de 14 a 24%.

El chocho puede ser comido húmedo, pero para su comercialización es necesario secarlo. Artesanalmente el chocho (*lupino mutabilis*) es secado en forma natural al medio ambiente, es decir, expuesto directamente al sol. Mediante este modo se requiere de un espacio bastante amplio y al ser expuesto al medio libre son susceptibles de contaminación por efecto del polvo, insectos, roedores y otros factores.

Las investigaciones llevadas a cabo para el secado de diferentes productos, demuestran que la aplicación de tiempos largos y a elevadas temperaturas conducen a una degradación sustancial de la calidad de los productos como: el color, el sabor, nutrientes, arrugamiento, entre otros.

La eficiencia energética del proceso con microondas es el elemento a mejorar si la comparamos con el secado con aire caliente o convectivo (Maskan,2001).

Al recoger toda esta información científica, el objetivo de este trabajo de investigación es lograr la mayor difusión del agua contenida en las semillas de chocho (*lupino mutabilis*), empleando un método combinado: aire caliente-pulsos en microondas, estando ya desamargado.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Determinación del problema

La conservación de productos alimenticios milenarios sigue siendo una necesidad por lo tanto se transforma en un problema. La transferencia de masa que se suscita durante el proceso de secado combinado es un método de conservación de alimentos utilizado en la industria, basado en la extracción del agua que contiene a través de la difusión.

El proceso de secado es un método ancestral utilizado principalmente para aumentar la vida útil de los alimentos, conservando sus propiedades y valor nutricional ya que reduce el contenido de agua, lo que permite obtener un producto más estable microbiológicamente, pues evita que se desarrollen mohos, bacterias y que las enzimas provoquen reacciones químicas que deterioren el producto.

La necesidad de consumir productos alimenticios naturales nos hace investigar la optimización de los parámetros de secado del chocho (*Lupinus mutabilis*) ancashino, a fin de obtener hojuelas nutritivas.

Considerando que es importante la elaboración de nuevos productos que nos permitan ampliar las alternativas de mercado que el país ofrece y teniendo en cuenta la demanda de productos naturales ya que la sociedad humana se sustenta en el aprovechamiento de ellos, surge el presente tema de investigación.

Por lo tanto, existe la necesidad de encontrar los parámetros óptimos en el proceso de secado del chocho (*Lupinus mutabilis*) ancashino, a fin de obtener hojuelas nutritivas empleando una técnica combinada.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es la incidencia de los parámetros de transferencia de masa durante el proceso de secado de las semillas del chocho (*Lupinus mutabilis*) de procedencia ancashina a fin obtener hojuelas nutritivas?

1.2.2. Problemas específicos

1. ¿Cuál será aquel tipo de secador que nos permita incrementar la velocidad de difusión del agua contenida en los frutos del chocho (*Lupinus mutabilis*) de procedencia ancashina?
2. ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de las semillas del chocho (*Lupinus mutabilis*) de procedencia ancashina?
3. ¿Cuáles serán los parámetros cinéticos a controlar durante el proceso de secado del chocho (*Lupinus mutabilis*) de procedencia ancashina?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

Optimizar los parámetros de transferencia de masa durante el proceso de secado de las semillas del chocho (*Lupinus mutabilis*) ancashino, a fin obtener hojuelas nutritivas.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Construir un equipo para el secado del chocho (*Lupinus mutabilis*) provisto de un sistema combinado aire caliente-microondas.
2. Identificar las características fisicoquímicas de las semillas del chocho (*Lupinus mutabilis*) de procedencia ancashina.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es la incidencia de los parámetros de transferencia de masa durante el proceso de secado de las semillas del chocho (*Lupinus mutabilis*) de procedencia ancashina a fin obtener hojuelas nutritivas?

1.2.2. Problemas específicos

1. ¿Cuál será aquel tipo de secador que nos permita incrementar la velocidad de difusión del agua contenida en los frutos del chocho (*Lupinus mutabilis*) de procedencia ancashina?
2. ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de las semillas del chocho (*Lupinus mutabilis*) de procedencia ancashina?
3. ¿Cuáles serán los parámetros cinéticos a controlar durante el proceso de secado del chocho (*Lupinus mutabilis*) de procedencia ancashina?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

Optimizar los parámetros de transferencia de masa durante el proceso de secado de las semillas del chocho (*Lupinus mutabilis*) ancashino, a fin obtener hojuelas nutritivas.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Construir un equipo para el secado del chocho (*Lupinus mutabilis*) provisto de un sistema combinado aire caliente-microondas.
2. Identificar las características fisicoquímicas de las semillas del chocho (*Lupinus mutabilis*) de procedencia ancashina.

3. Realizar pruebas comparativas de secado utilizando únicamente el sistema convencional (aire caliente) y posteriormente con el sistema combinado: aire caliente-microondas.

1.4. Justificación

1.4.1. Por su aspecto económico

Porque durante un proceso de industrialización de este grano andino generará ingresos y beneficios a todos los involucrados en la cadena alimentaria: Productores, intermediarios, procesadores, distribuidores y consumidores.

Se justifica económicamente porque al producir estas hojuelas tecnológicamente garantizaremos el más alto grado proteico generando fuente de trabajo y empleo en la misma zona de producción del grano ancestral.

1.4.2. Por su aspecto social

Este proyecto tendrá gran implicancia sobre la dieta alimenticia puesto que es un grano andino rico en proteínas y grasas.

Este producto tratado empíricamente es consumido principalmente en el área rural de la sierra. Mayormente los consumen los niños y jóvenes en edad escolar. En la actualidad ya tiene buena aceptación en todo estrato social debido al alto grado proteico que según su análisis proteico es alrededor del 50%.

1.4.3. 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 semillas a nivel industrial.

La cinética del secado a través de la transferencia de masa determinará los parámetros óptimos que nos permita la no degradación de su valor proteico y de grasa para obtener el mejor producto a ser transformado en hojuelas dietéticas y nutritivas.

La expresión matemática de la transmisión de calor por conducción se debe a Fourier (1768-1830), 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.

$$Q = k.A (T_1 - T_2) / e$$

La expresión matemática que expresa la transmisión de calor por convección la enunció Newton (1642-1727)

$$Q = h.A (T_s - T_f)$$

En el presente trabajo damos a conocer el proceso sistemático y tecnológico que nos permite obtener en nuestro país el secado del chocho (*Lupinus mutabilis*) 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.

JACOBSEN S., MUJICA A., *El tarwi (Lupinus mutabilis Sweet.) y sus parientes silvestres*

La especie de leguminosa-Lupinus mutabilis (tarwi), se cultiva tradicionalmente en los andes desde los 1 500 m, encontrándose en Venezuela, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina. Sus semillas son usadas en la alimentación humana ya que esta especie ocupa uno de los primeros lugares entre los alimentos nativos con elevado contenido de proteínas y aceites a nivel mundial. Sin embargo, el grano requiere de un tratamiento previo para su consumo, siendo necesario eliminar las sustancias antinutricionales que contiene y que permiten a la planta disponer de defensas naturales contra el ataque de insectos y plagas. Estas sustancias son alcaloides formados por esparteína, lupinina, lupanidina, entre las principales, los cuales actualmente son utilizadas para controlar garrapatas y parásitos gastrointestinales como las lombrices en animales domésticos.

ACUÑA O., CAIZA J., *Obtención de hidrolizado enzimático de proteína de chocho (Lupinus mutabilis) a partir de harina integral*

El chocho, Lupinus mutabilis Sweet, es una leguminosa andina, cuyas raíces tienen la capacidad de fijar nitrógeno en el suelo. Su elevado contenido de proteína (44,3%) y grasa (16,5%) en la semilla, es útil para mejorar la nutrición de la población; sin embargo, el grano contiene algunas sustancias que limitan su uso directo en la alimentación humana y animal. Este grano contiene alcaloides que le da un sabor amargo y carácter tóxico.

La identificación y cuantificación de los alcaloides es importante en el área farmacéutica industrial y agrícola como agentes fungicidas, insecticidas o nematocidas.

El uso de aminoácidos y péptidos en agricultura presenta múltiples posibilidades de aplicación e importantes resultados aumentos de producción y mejora de calidad,

corrección y prevención de deficiencias de macro y micronutrientes, acción anti estrés, bioestimulante de los sistemas hormonales y enzimáticas.

NINAQUISPE V., SICHE R., *Secado del tarwi (Lupinus mutabilis) por métodos combinados: deshidratación osmótica y microondas con aire caliente.*

Optimizar el secado del tarwi (*Lupinus mutabilis*) deshidratando osmóticamente y microondas con aire caliente. El tarwi desamargado fue deshidratado osmóticamente utilizando un diseño factorial de 2*2*2 (30% y 40% de azúcar, 5% y 10% de sal, con 30°C y 40°C). Se determinó el mejor tratamiento en (40% de azúcar, 5% de sal y 40°C) mediante una evaluación sensorial con 20 panelistas entrenados.

En esta primera etapa se logró reducir la humedad de 68.63% a 36.36%. Con el mejor tratamiento se procedió a optimizar el secado con microondas y aire caliente utilizando un diseño compuesto central rotatable variando la potencia del microondas de 220 a 880 W y la temperatura del aire caliente de 50 a 80°C. Los datos obtenidos fueron analizados con Statistica 7.0. Se concluye que bajo una potencia entre 700 y 900W y una temperatura del aire caliente entre 50 y 60°C, durante 5 minutos, permite obtener una humedad final de 10%.

APUNTE G., LEÓN G., CORNEJO F., *Utilización de la harina de chocho en la elaboración de pan*

La sustitución de la harina de trigo por harinas de cultivos autóctonos permite mejorar el valor nutritivo del pan, ahorro de divisas por menor importación de trigo e impulsar a la agricultura local por la generación de una demanda cada vez mayor de productos nativos. los granos andinos como el chocho tienen un alto contenido de proteínas y calorías convirtiéndose en una excelente fuente nutritiva.

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

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 de la 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*

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 PENICHET H., *Modelo para curvas isotérmicas de humedad de equilibrio en semillas de interés agrícola*

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), construidos 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 biológica dentro del bando del germoplasma. En la conclusión de este trabajo o del modelo se deriva una ecuación que relaciona de la humedad 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*

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 pre tratamiento 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*

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 solida 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*

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 le 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.

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

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 radio 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.).*

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.

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.).*

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 chocho

El chocho o lupino andino (*Lupinus mutabilis*) es originario de la zona andina de Sudamérica. Es la única especie americana del género *Lupinus* domesticada y cultivada como leguminosa (Blanco, 1982). Su distribución comprende desde Colombia hasta el norte de Argentina, aunque actualmente es de importancia sólo en Ecuador, Perú y Bolivia.

2.2.2 Origen y distribución

De acuerdo a estudios realizados de la evolución genética del tarwi o *Lupinus mutabilis*, se ha podido localizar como el centro de origen el noroeste de Brasil, ya que es en este sector donde predominan las hojas simples más primitivas. Después de la separación de los continentes ocurrida aproximadamente hace 100 millones de años, evolucionaron en varios centros de dispersión: Sudamérica. Norte y Centroamérica, Europa y norte de África. (Antúnez de Mayolo, S. , 1982)



Figura 1. Semillas mishas del chocho
Fuente: Mario E. Tapia (Julio-2015)

2.2.3 Clasificación Taxonómica

Tabla 1.
Clasificación taxonómica del chocho

Nombre Común	Tarwi, chocho, tauri
Nombre Científico	<i>Lupinus Mutabilis</i>
División	Espermatofitos
Clase	Dicotiledóneas
Orden	Rosales
Familia	Papilionoideas
Género	<i>Lupinus</i>
Especie	<i>Lupinus Mutabilis</i>

Fuente: (Mujica, A.; Sven, E., 2006)

25

2.2.4 Descripción botánica

A. Hojas

La hoja de *Lupinus* es de forma digitada, generalmente compuesta por ocho folíolos que varían entre ovalados a lanceolados.

En la base del pecíolo existen pequeñas hojas estipulares, muchas veces rudimentarias. Se diferencia de otras especies de *Lupinus* en que las hojas tienen menos vellosidades. (Mujica, A.; Sven, E., 2006)

B. La flor

La inflorescencia es la de un racimo terminal, con las flores dispuestas verticalmente. Cada flor mide alrededor de 1,2 cm. de longitud y es típicamente de forma papiloneada, es decir, la corola con cinco pétalos, uno es el estandarte, dos la quilla y tres las alas. La quilla envuelve al pistilo y a los diez estambres monadelfos (León 1964). En una sola planta se puede llegar a contar más de 1000 flores, cuyos pétalos varían desde el blanco, crema, azul, hasta el púrpura. (fig. 2)



Figura 2. Flor de color morada del lupinus andino
Recopilado: Viveros G. (2016)

C. El fruto

El fruto está constituido por una vaina en la cual las semillas se acomodan en ella en una hilera en tamaños que varían desde 4 hasta 15 mm. La forma de estas semillas es elipsoidal, lenticular, algunas redondeadas y otras con bordes más definidos en forma de semi cuadrado.

El color de estas semillas es variable como: blanco, gris, bayo, marrón, negro e incluso de un color mármol. Algunas variedades son de color blanco con una pinta de otro color que puede estar distribuida en forma de una ceja, un bigote, creciente o en media luna. (fig. 1)

D. Semilla

Las semillas del chocho están incluidas en número variable en una vaina de 5 a 12 y varían de forma (redonda, ovalada a casi cuadrangular), miden entre 0,5 a 1,5cm. Un kilogramo tiene 3.500 a 5.000 semillas. La variación en tamaño depende tanto de las condiciones de crecimiento como del eco tipo o variedad. La semilla está recubierta por un tegumento endurecido que puede constituir hasta el 10% del peso total.

Los colores del grano incluyen blanco, amarillo, gris, ocre, pardo, castaño, marrón y colores combinados como marmoleado, media luna, ceja y salpicado.



*Figura 3. Planta de chocho con sus primeras vainas, en Ferrer.
Fuente: Elaboración propia*

2.2.5 Composición química del chocho.

El grano de tarwi es rico en proteínas y grasas, razón por la cual debería ser más utilizado en la alimentación humana. Su contenido proteico es incluso superior al de la soya y su contenido en grasas es similar. (FAO, 1993)

Tabla 2.
Composición del chocho

Componen	Tarwi	Semill	Cotiledó	Tegumen
			(88,87%)	(11,03%)
Proteína	44,3	44,87	49,22	9,39
Grasa	16,5	13,91	15,38	2,20
Carbohidrat	28,2	27,12	27,08	27,5
Fibra	7,1	8,58	2,42	58,35
Ceniza	3,3	5,52	5,89	2,55
Humedad	7,7	9,63	9,67	10,79

Fuente: (Mujica, A.; Sven, E., 2006)

2.2.6 Valor nutritivo del chocho

Las semillas son excepcionales nutritivas. Las proteínas y el aceite Constituyen m semillas muestra que la proteína contenida varia de 41 a 51 %.El aceite (cuyo contenido es inversamente proporcional al del anterior) varia de 24 a 14%.Quitándole la cáscara a la semilla y moliendo el grano se obtiene una harina constituida por 50% de proteínas. La proteína del chocho contiene cantidades adecuadas de lisina y cistina, pero tiene únicamente 23 a 30% de la metionina requerida para el óptimo crecimiento de los animales. El aceite de chocho es de color claro lo cual lo hace aceptable para el uso doméstico. Es similar al aceite de maní y es relativamente rico en ácidos grasos no saturados, incluyendo el ácido linoleico. El contenido de fibra de la semilla no es excesivo, pero se estima que pueda constituir una fuente importante de minerales. (Caicedo, C.; Peralta, E., 2000)



2.2.7 Usos del Chocho

Se considera apropiado para los niños en etapa de crecimiento, mujeres embarazadas o que dan de lactar. Combinado con cereales como la quinua o amaranto, es capaz de reunir las cualidades de la leche, la carne, el queso y el huevo. Industrialmente la harina de tarwi que se usa hasta en 15 % en la panificación, por la ventaja de mejorar considerablemente el valor proteico y calórico el producto.

- **Alimenticio:** Se utiliza, desamargado, en guisos, en purés, en salsas, cebiche serrano, sopas (crema de tarwi); guisos (pepián), postres (mazamoras con naranja) y refrescos (jugo de papaya con harina de tarwi).
- **Medicinal:** Los alcaloides (esparteína, lupinina, lupanidina, etc.) se emplean para controlar ectoparásitos y parásitos intestinales de los animales.
- **Agronómica:** En estado de floración la planta se incorpora a la tierra como abono verde, con buenos resultados mejorando la cantidad de materia orgánica, estructura y retención de humedad del suelo. Como combustible casero los residuos de la cosecha (tallos secos) se usan como combustible. (Gross, R. , 1982)

2.2.8 Extracción de alcaloides con solventes miscibles en agua

Este proceso se realiza mediante percolación, utilizando como solvente a un alcohol etílico o metílico, puesto que estos solventes poseen gran polaridad y permitirán extraer al alcaloide, tanto en su forma libre como en su sal. Además esta metodología nos permite obtener otros compuestos tales como pigmentos, taninos u otras impurezas. Después de la extracción alcohólica se realiza un tratamiento ácido para asegurar únicamente la fijación de los alcaloides, para luego culminar la extracción de los mismos con cloroformo. (Keeler, R.F.; Gross. R., 1979)

2.2.9 Extracción de los alcaloides con agua

Este proceso se basa en la polaridad del agua que facilita la extracción de los alcaloides y la solubilidad de estos cuando se encuentran en forma de sal. A este proceso se le conoce con el nombre de desamargado. (Keeler, R.F.; Gross, R., 1979)

2.2.10 Desamargado o deslupinización del chocho

Es uno de los procesos de mayor relevancia a fin de que esta semilla pueda ser comestible por el hombre. Este consta de tres etapas bien definidas: Hidratación, cocción y lavado.

i. Hidratación

Los granos del Lupino andino seleccionados se hacen ingresar en un recipiente apropiado de acero inoxidable o PVC, con agua tratada o dulce, durante una noche a temperatura ambiente.

ii. Cocción

Los granos de chocho ya hidratados deben ser sometidos a un proceso de cocción en recipientes apropiados (peroles) u ollas de acero inoxidable a fin de evitar la contaminación por espacio de 40 a 60 minutos a fuego lento. Durante este proceso el objetivo es generar una difusión de aquellas sustancias que dan el amargor y a la vez disminuir la dureza del grano, hasta tener un valor de 6,6 -6,8 mm de penetración, la cual se debe medir con un durómetro. a fin de eliminar la mayor cantidad de alcaloides durante este proceso se debe cambiar de agua dos o tres veces.

iii. Lavado

Al término de la cocción se deja enfriar y luego se llenan los granos resblandecidos en sacos de yute y se coloca en un lugar donde fluya el agua continuamente a fin de que arraste aquellos alcaloides que han migrado desde el interno de la semilla a lo

externo por efecto de una transferencia de masa por efecto de la temperatura en el tiempo. (Jarrín, P. , 2003)

2.2.11 Industrialización del chocho

Sabiendo que este grano posee alrededor del 50% de proteínas, conveniente invertir en él a fin de generar una industria alimenticia puesto que con esta semilla deslupinizada es factible obtener por lo menos de una docena de potajes, tales como: Ajiaco, , y en especial el llamado cebiche serrano. (Bacigalupo, A.; Tapia, E., 2005)

2.2.12 Hojuelas nutritivas a base de harina de chocho

La idea surgió por casualidad, cuando el doctor Kellogg y su hermano, Will Keith Kellogg, dejaron reposando una porción de trigo cocido, mientras resolvían algunos asuntos del sanatorio. A su regreso encontraron que el trigo se había alterado, pero como su presupuesto era estricto, decidieron seguir con el proceso forzándolo con rodillos y esperando obtener de la masa, hojas delgadas y largas. Para su sorpresa, lo que obtuvieron en cambio fueron pequeñas hojuelas, las cuales tostaron y sirvieron a sus pacientes. Este acontecimiento ocurrió el 8 de agosto de 1894 y registraron una patente para «Cereales en hojuelas y su proceso de preparación» el 31 de mayo de 1895, que fue expedida el 14 de abril de 1896, bajo el nombre de Granose.

Las hojuelas de grano servidas con leche y malvaviscos, se convirtieron en un alimento muy popular entre los pacientes y los hermanos comenzaron a experimentar con hojuelas de otros granos. Will Keith Kellogg, que fungía como director administrativo del sanatorio, decidió comercializar el nuevo alimento en 1906. En su nueva empresa, Kellogg's, Will decidió añadir azúcar a las hojuelas para hacerlas más apetitosas. Para incrementar las ventas, añadió una oferta de cereal. Este premio se ofreció durante 22 años. Al mismo tiempo, la empresa comenzó a experimentar con nuevos cereales de grano, para ampliar su cadena de producción. El Rice Krispies fue su siguiente gran golpe y salió a la venta en 1928. (Viveros, G. , 2016)

2.2.13 Valor agregado del lupinus andino (chocho)

a. Proceso de elaboración de hojuelas nutritivas de chocho

Es aquella porción de una masa obtenida a partir de la harina del Lupinus andino (chocho) que puede comerse con leche, yogurt, miel y frutos secos.

b. Elaboración de la harina de chocho

Para la elaboración de la harina de chocho se utilizaron los siguientes materiales, equipos e insumos.

c. Material

Cuchara espátula, papel aluminio, tamiz.

d. Equipos

Balanza centígrama (0,1-500 g)

Deshidratador (aire caliente-microondas)

Estufa.

e. Insumos

Semillas secas de chocho (Tapia M.E. , 1982)

2.2.14 Secado

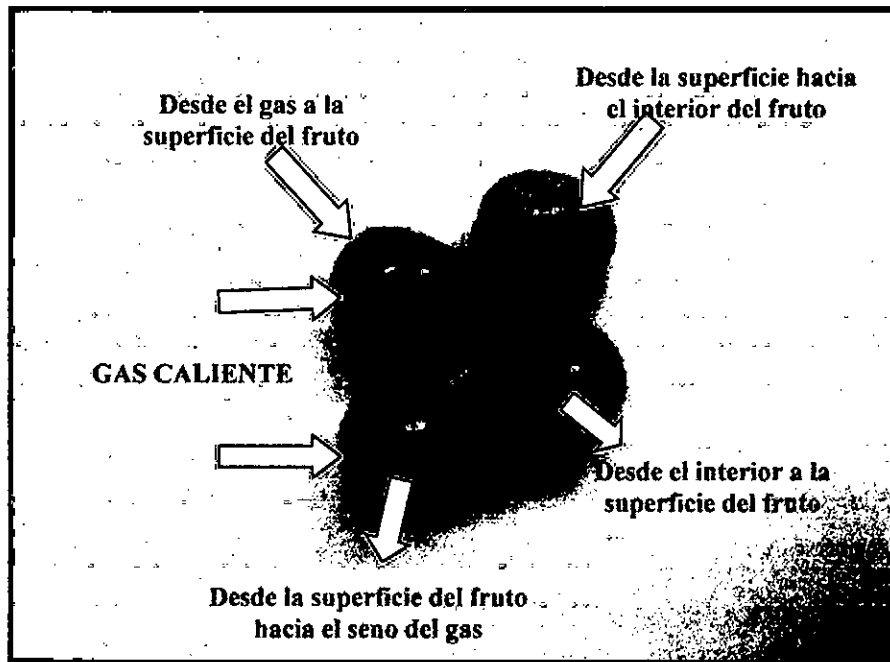
Se conceptúa como aquel proceso de remoción térmica de sustancias volátiles (humedad) hasta obtener un producto seco. Es una operación unitaria en la que se da el transporte simultáneo de calor y masa. La transferencia de energía (principalmente como energía calorífica) desde el medio circundante a fin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

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 .

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.
- **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.
- **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. (Coronado, M.; Hilario, R., 2001)



*Figura 4. Mecanismo de la transferencia de calor
Fuente: Elaboración propia*

2.2.15 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.

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.

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.

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.

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.

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.

- 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

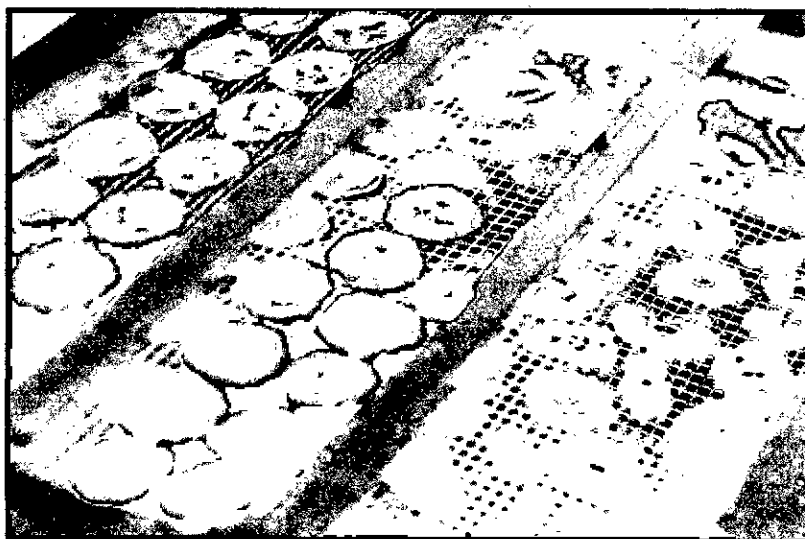
transporte, o para aumentar la capacidad de otros equipos en un proceso de fabricación.

En cuanto al diseño del equipo de secado, los problemas básicos que deben resolverse consisten en.

- 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. (Coronado, M.; Hilario, R., 2001)

2.2.16 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. (Bazán , J. , 2009)



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

Figura 5. Secado de alimentos

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.

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 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.

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.

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

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. (Abril, J.; Gómez, A.; López, R.; Casp, A., 2011)

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 (Amparo, I.; Vegas, R.; Vegas, C., 2001)

$$x = \text{Kg de humedad} / \text{Kg sólido húmedo}$$
$$x = \text{Kg de humedad} / (\text{Kg sólido seco} + \text{Kg humedad})$$
$$\% \text{ BH} = 100 x$$

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 (Amparo, I.; Vegas, R.; Vegas, C., 2001).

$$X = \text{Kg de humedad} / \text{Kg sólido seco}$$
$$\% \text{ BS} = 100 X \quad ; \quad X = x / (1 - x) \quad ; \quad x = X / (1 + X)$$

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 (Amparo, I.; Vegas, R.; Vegas, C., 2001).

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 (Amparo, I.; Vegas, R.; Vegas, C., 2001).

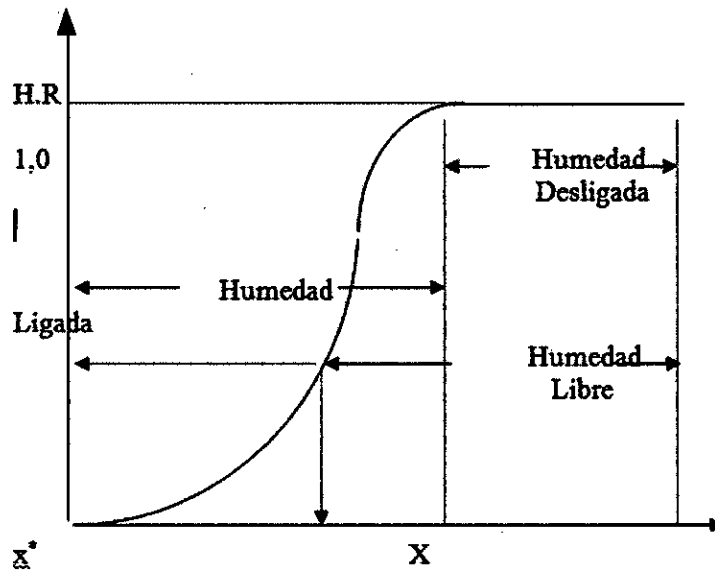


Gráfico 1. Diagrama de equilibrio de la humedad.
Fuente: Elaboración Propia

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 (Izli, N.; Yildiz, G.; Unal, H.; Isik E.; Uylaser, V., 2014)

- **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 (Amparo, I.; Vegas, R.; Vegas, C., 2001)..

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 (Amparo, I.; Vegas, R.; Vegas, C., 2001)..

- **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 ($p < P^{\circ}$) (Amparo, I.; Vegas, R.; Vegas, C., 2001)..

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 (Amparo, I.; Vegas, R.; Vegas, C., 2001)..

- **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 ($p = P^{\circ}$). Si la humedad es el agua, la humedad desligada sería el agua sin combinar, presente principalmente en los espacios vacíos del sólido (Amparo, I.; Vegas, R.; Vegas, C., 2001).

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 (Ángeles, C., 2012).



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 (Ángeles, C. , 2012):

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

Tomando como base 1 mol de mezcla:

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

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

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

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

- **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 (Ángeles, C. , 2012)..

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

- **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 (Abril, J.; Gómez, A.; López, R.; Casp, A., 2011).

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



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

Es la lectura obtenida mediante un termómetro introducido en la mezcla aire - vapor de agua (Ángeles, C. , 2012):.

2.2.17 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 (Huaranga, E.; Matos, A., 2011).

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 (Huaranga, E.; Matos, A., 2011).

Vanaclocha (2003) y Dong Chen et al. (2008), 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 (Vanaclocha, A. C. , 2003).

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

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 (Vanaclocha, A. C. , 2003).

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. (Huaranga, E.; Matos, A., 2011)

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 (Huaranga, E.; Matos, A., 2011).

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 (Vanaclocha, A. C. , 2003).

La grafica que relaciona el contenido de humedad y la actividad de agua se conoce como isoterma de equilibrio. En el gráfico 2 se muestran las isotermas

tipos para almidón de yuca obtenidas (Jun, K.; Li, L.; Hua, X.; Hui, Z.; Quan, B.; Zhang, Y.; Lian, X., 2016).

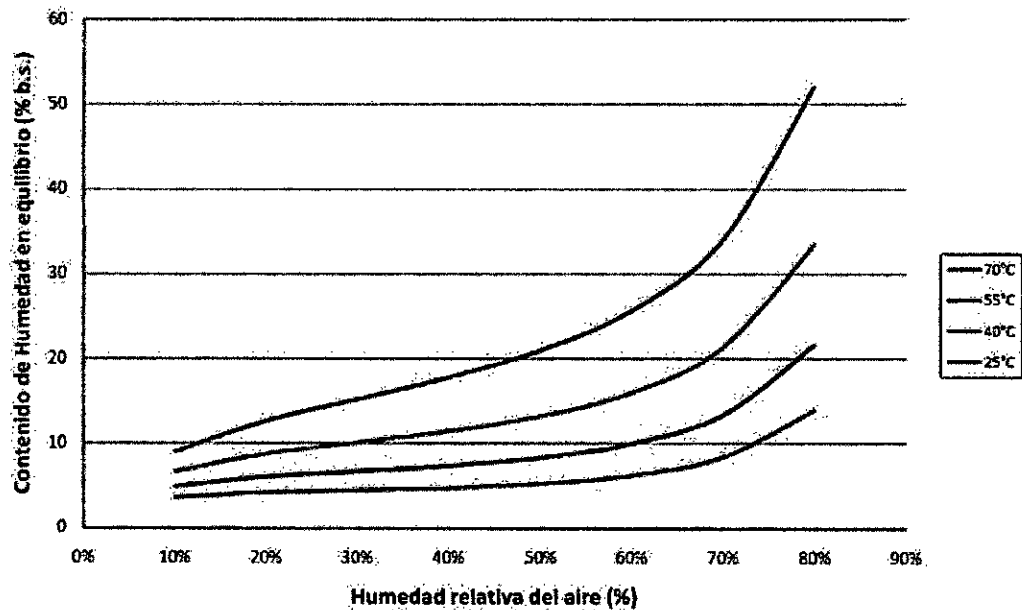


Gráfico 2. Isoterma de equilibrio de almidón de yuca

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 (Vanaclocha, A. C. , 2003).

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 (Vanaclocha, A. C. , 2003).

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

B7

es uno de los parámetros de frontera clave en los modelos matemáticos que representan el comportamiento del deshidratado (Calle, L. , 2013).

Mecanismos de eliminación de agua

La eliminación del agua de los tejidos vegetales se puede conseguir por vía mecánica o por vía térmica (Contreras, C. 1932)

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 (Contreras, C. 1932)

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 (Contreras, C. 1932)

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 (Contreras, C. 1932)

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 (Amparo, I.; Vegas, R.; Vegas, C.. , 2001)

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 (Amparo, I.; Vegas, R.; Vegas, C.. , 2001)

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 (Amparo, I.; Vegas, R.; Vegas, C.. , 2001).

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) (Amparo, I.; Vegas, R.; Vegas, C.. , 2001)

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 (Ninaquispe, Siche, 2013)

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 (Ninaquispe, Siche, 2013)

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 (Ninaquispe, Siche, 2013).

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. 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 (Ninaquispe, Siche, 2013)

En un proceso de secado gradual se pueden distinguir las siguientes etapas:

i. Etapa 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.

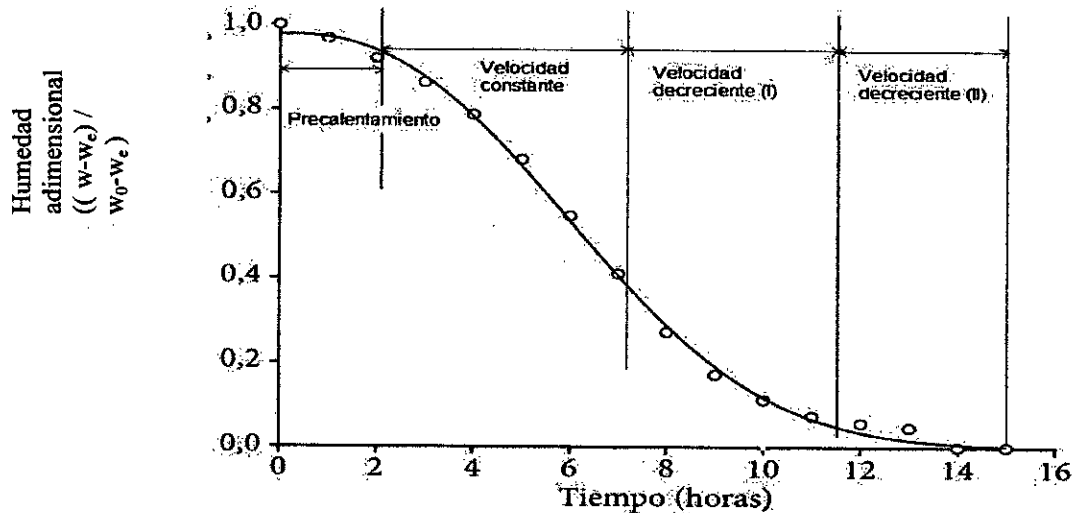


Gráfico 3. Curva de secado a 50°C de pulpa de cupuaçu (*theobromagrandiflorum*) en rodajas.

Fuente: Giraldo-Zúñiga 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 (Ninaquispe, Siche, 2013)

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.

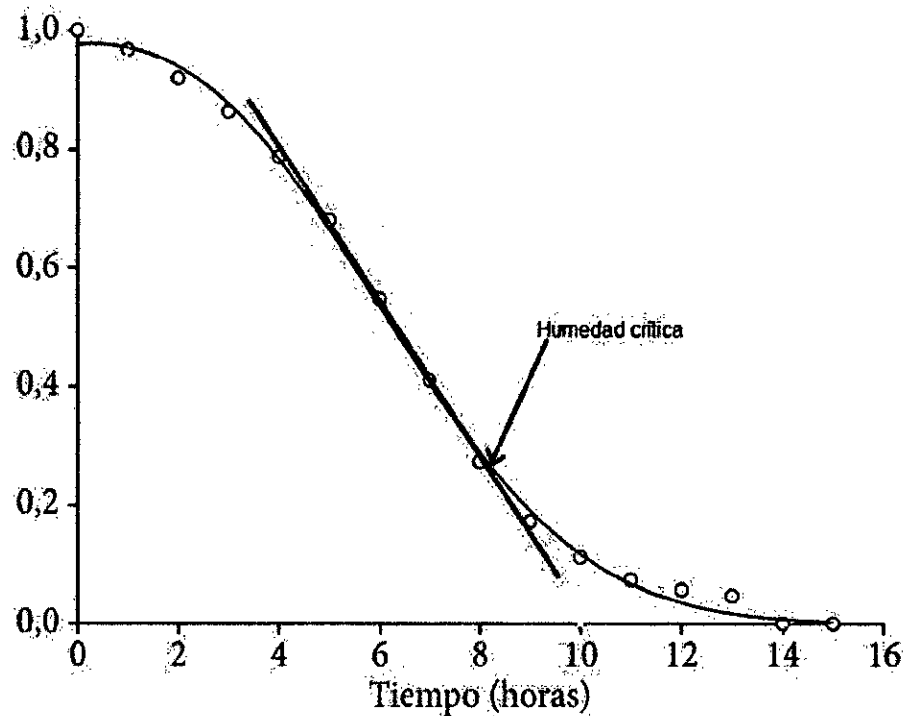


Gráfico 4. Etapa de velocidad de secado constante. Pulpa de cupuaçu (*theobromagrandiflorum*) en rodajas a 50°C
 Fuente: Giraldo-Zúñiga et al., (2010)

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) (Gráfico 3) (Ninaquispe, Siche, 2013)

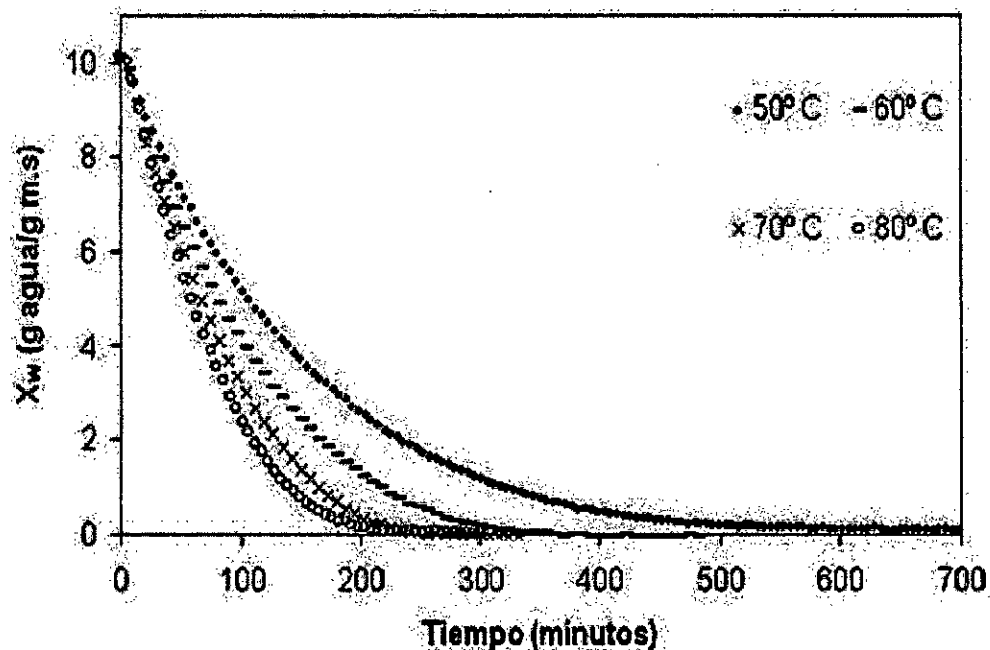


Gráfico 5. Influencia de la temperatura en la velocidad de secado, curvas de secado de pimienta roja a diferentes temperaturas

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 hacerle la temperatura (Gráfico 4). Lo mismo ocurre con la velocidad del aire de secado, cuanto mayor es ésta mayor es la velocidad del secado (Gráfico 5) (Ninaquispe, Siche, 2013)

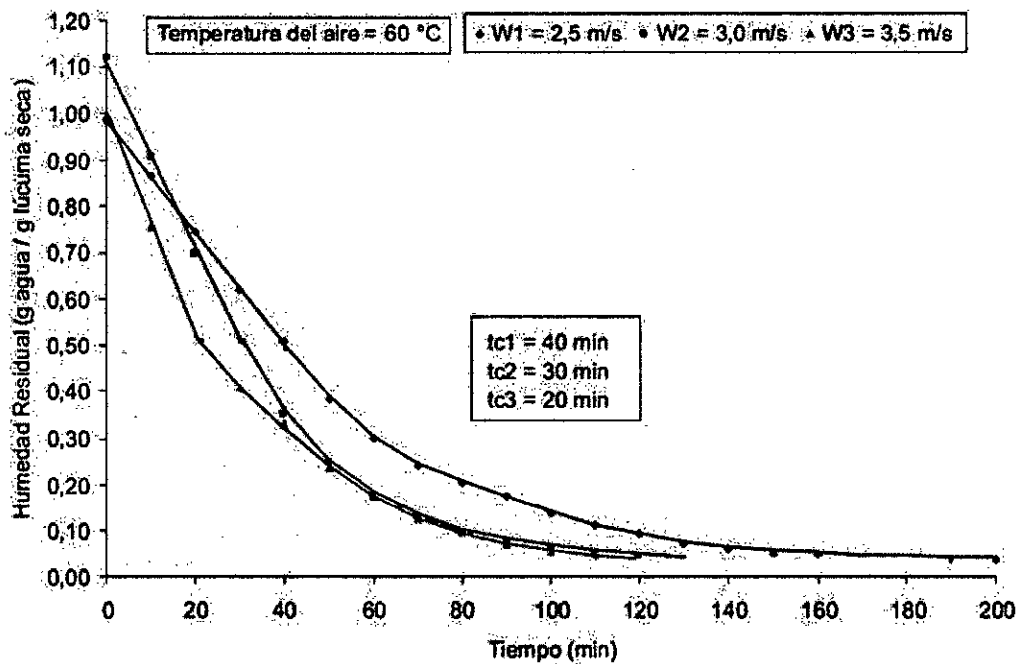


Gráfico 6. Influencia de la velocidad de secado, cinética del secado de lúcumas
 Fuente: Mahecha (2011)

2.2.18 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 esta 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 (Ninaquispe, Siche, 2013). 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.

23

- **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. (Ninaquispe, Siche, 2013)

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 (Ninaquispe, Siche, 2013)

- **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 (Ninaquispe, Siche, 2013)

- **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 (Ninaquispe, Siche, 2013).

- **Variables Internas**

Estas variables están asociadas al producto (Ninaquispe, Siche, 2013).

- **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. (Ninaquispe, Siche, 2013)

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. (Ninaquispe, Siche, 2013)

- **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 (Ninaquispe, Siche, 2013).

- **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. (Ninaquispe, Siche, 2013)

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. (Ninaquispe, Siche, 2013)

- **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 (Ninaquispe, Siche, 2013).

2.2.19 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 (Fito, P., Chiralt, A., Barat, J.M.M., Andrés, A., Martínez, M.J.; Martínez, N.N., 2001):

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

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

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

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.

2.2.20 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 (Páez, A., 2010).

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 (Páez, A., 2010).

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 (Páez, A., 2010).

2.2.21 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. (Ibañez, D.; Gamboa, D.; Melendez, M., Pareeds, E., Siche, R.).

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. (Ibañez, D.; Gamboa, D.; Melendez, M., Pareeds, E., Siche, R.)

Estos equipos constan de tres componentes principales:

- El magnetron 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. (Ibañez, D.; Gamboa, D.; Melendez, M., Pareeds, E., Siche, R.)

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. (Ibañez, D.; Gamboa, D.; Melendez, M., Pareeds, E., Siche, R.)

2.2.22 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. (Ibañez, D.; Gamboa, D.; Melendez, M., Pareeds, E., Siche, R.)

2.2.23 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 pre tratamiento y luego se secó combinando microondas con convección con aire



caliente. También se analizó el secado utilizando solamente microondas. (Ibañez, D.; Gamboa, D.; Melendez, M., Pareeds, E., Siche, R.)

2.3 Definición de términos básicos

- **Deshidratación**

La deshidratación es un método de estabilización de alimentos que se basa en la reducción de la actividad del agua (aw) 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 (INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS, 2011)

- **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 (Edumedia., 2017).

- **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 (Edumedia., 2017).

- **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) (Edumedia., 2017).

2.4 Nomenclatura de la terminología 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

III. VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1 Definición de las variables

- **Variable dependiente**

Efecto de los parámetros de transferencia de masa durante el proceso de secado de las semillas del chocho (*Lupinus mutabilis*), a fin de ser revalorado por su alto grado proteico.

- **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 chocho (*Lupinus mutabilis*).
- Curvas de superficie respuesta obtenidas a partir de la data experimental o por predicciones de coeficientes de transferencia de masa y transferencia de calor en el secado del chocho (*Lupinus mutabilis*).

3.2 Hipótesis

3.2.1 Hipótesis General

La máxima retención del grado proteico durante de secado del chocho (*Lupinus mutabilis*), 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 el chocho (*Lupinus mutabilis*), aumentará la velocidad de difusión del agua.
- El tiempo de secado de las semillas del chocho (*Lupinus mutabilis*), *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 chocho (*Lupinus mutabilis*) 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.

Operacionalización de variables

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

Fuente: Elaboración propia

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

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 de este grano que crece principalmente en los andes 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 toda la producción del chocho (*Lupinus mutabilis*), procesado y desamargado eligiendo un lote de 10 kg de granos provenientes del Distrito de Ferrer-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 con semillas del chocho ya tratadas se tomarán muestras de aproximadamente 10g para las pruebas experimentales del secado 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 Recolección de datos técnicas e instrumentos

4.4.1 Materiales y equipos

A. Materia prima

Para el desarrollo de este proyecto se utilizará chocho desamarrado, de calidad estándar proveniente del distrito de Ferrer-Cabana-Ancash.

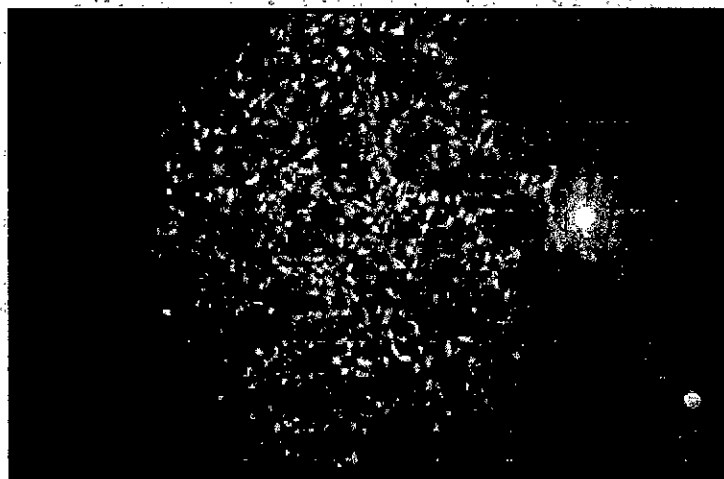


Figura 5. Semillas del chocho recién cosechadas
Fuente: Elaboración propio

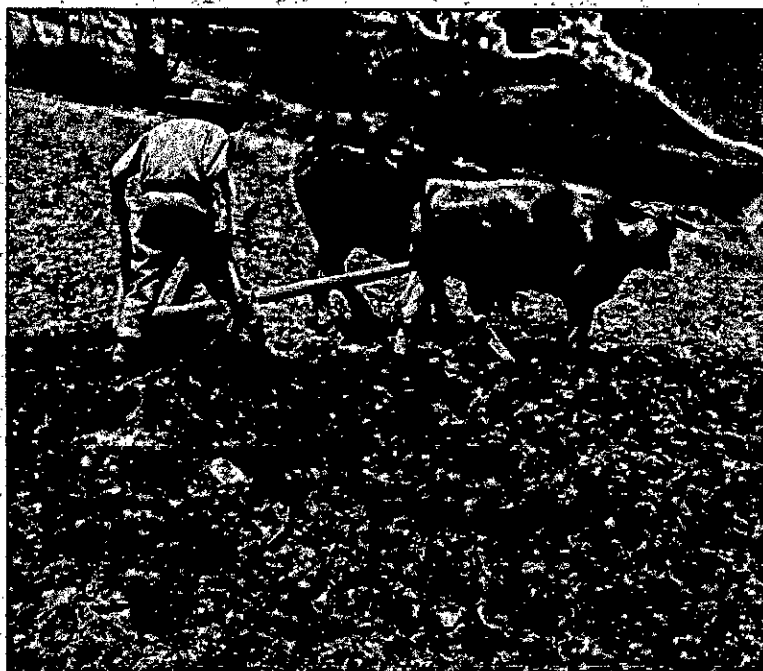


Figura 7. Preparando el terreno para el sembrío del chocho
Fuente: Elaboración propio

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 la masa 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.

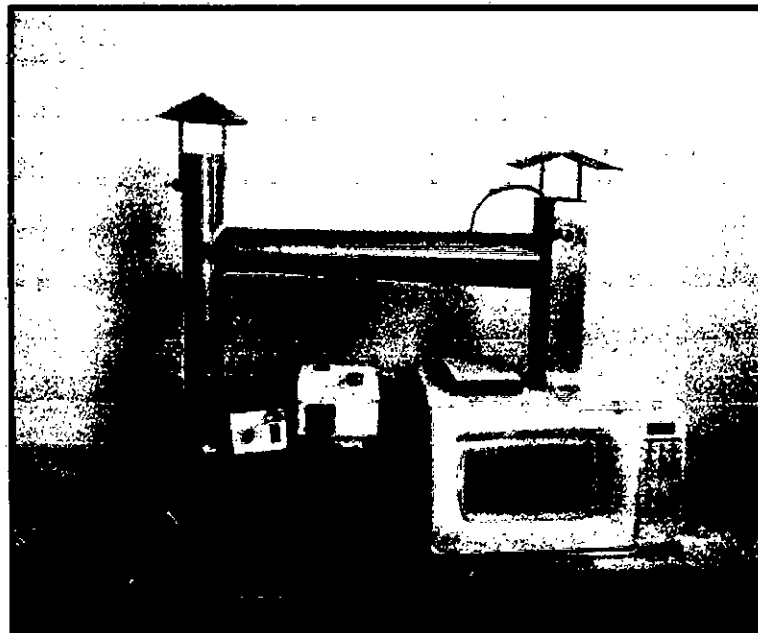
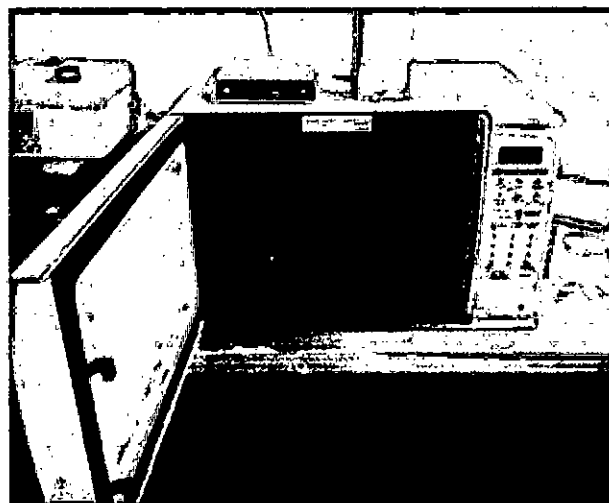


Figura 6. Secador experimental acoplado a microondas

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Cámara experimental de secado

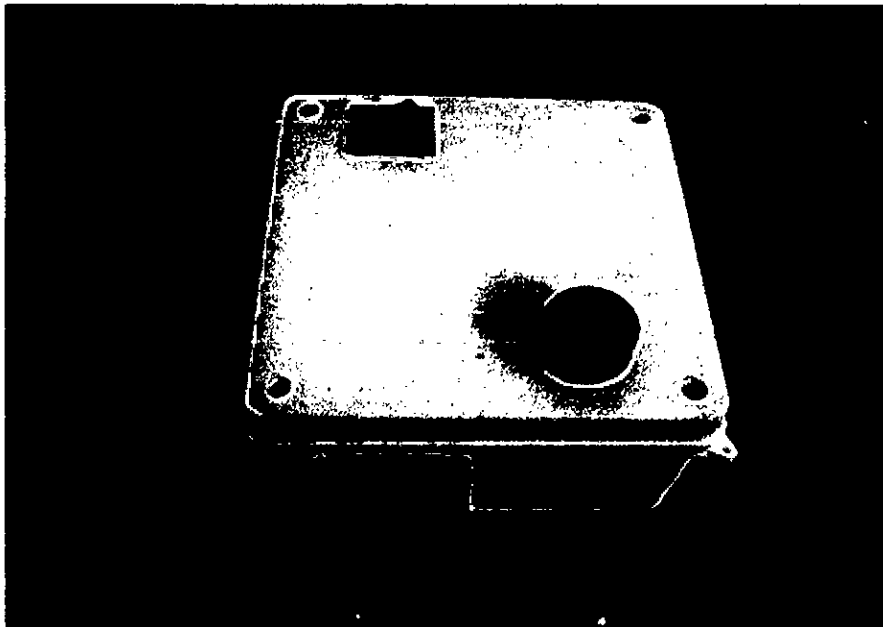


Figura 8. Panel de control de temperatura

Fuente: Elaboración propia

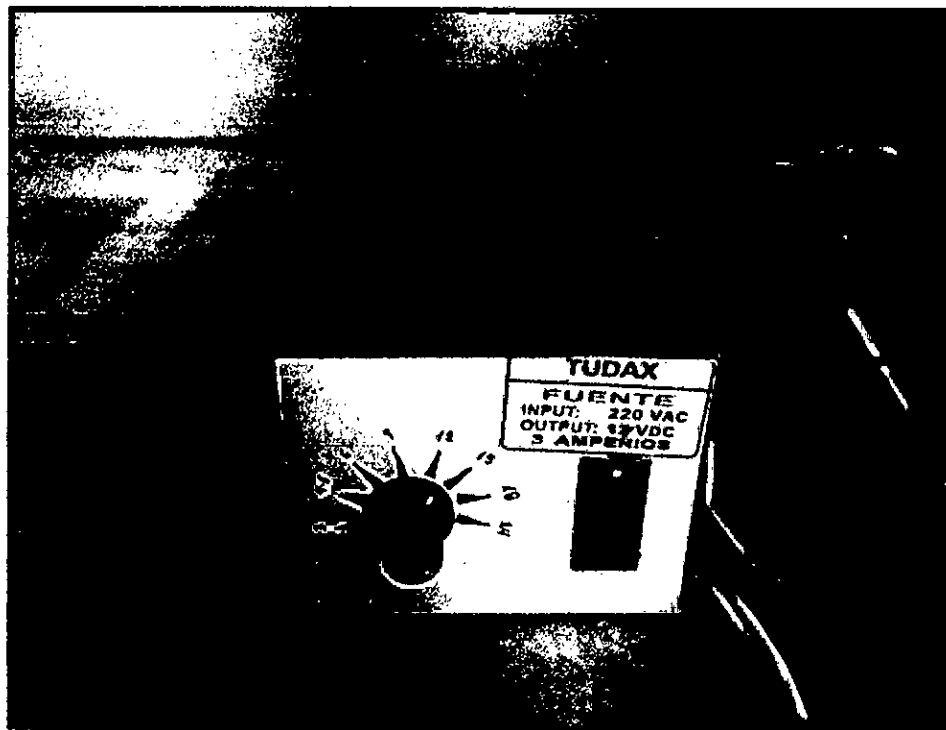


Figura 9. Fuente de poder del secador experimental

Handwritten signature or initials.

Los elementos que componen la cámara experimental de secado son:

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

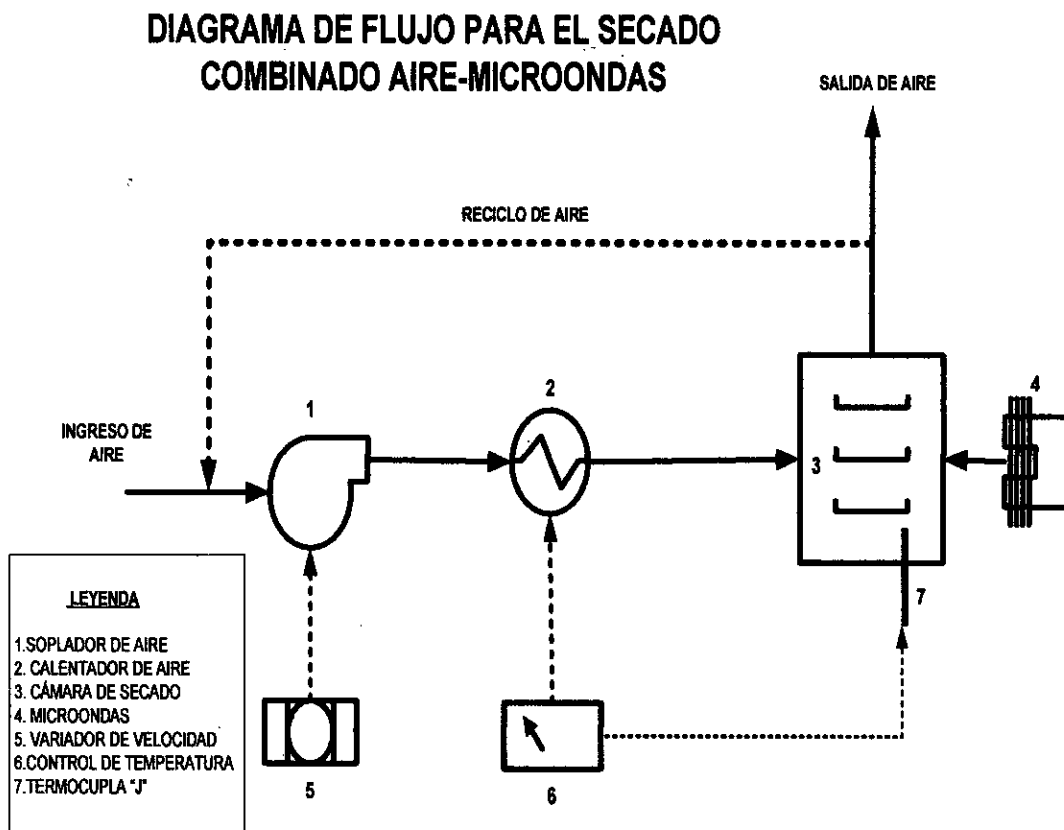


Figura 10. Diagrama de flujo del secador experimental microondas
Fuente: Elaboración propia

R

B. Características del equipo experimental del secador 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

C. 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).

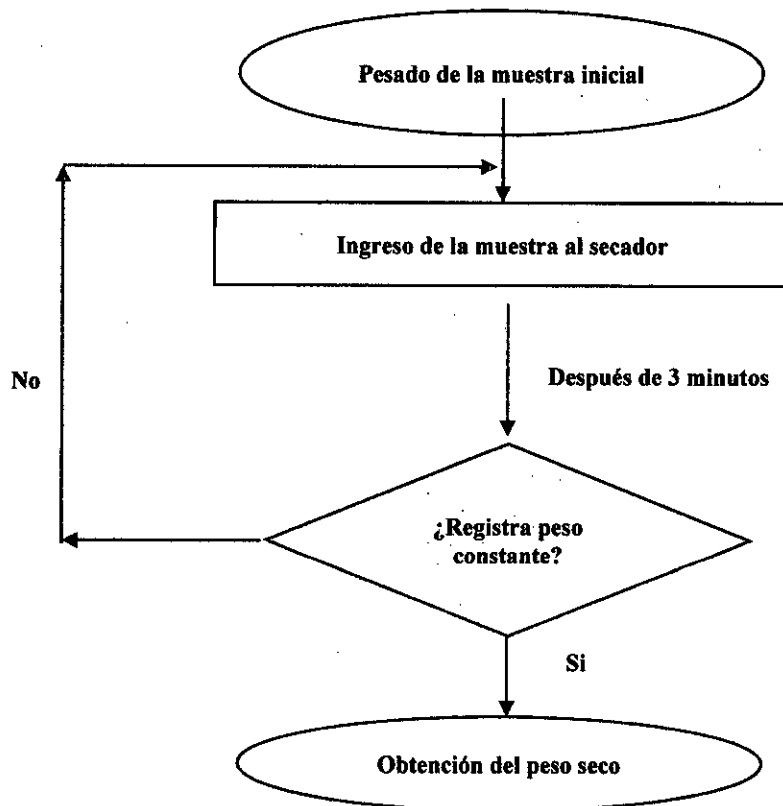


Figura 11.Flujograma para registro de datos
Fuente: Valencia (2016)



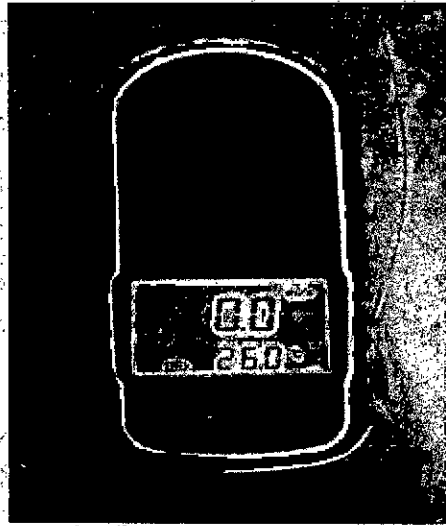


Figura 12. Anemómetro digital
Fuente: Elaboración propia



Figura 13. Balanza registradora de masa
Fuente: Elaboración propia

50

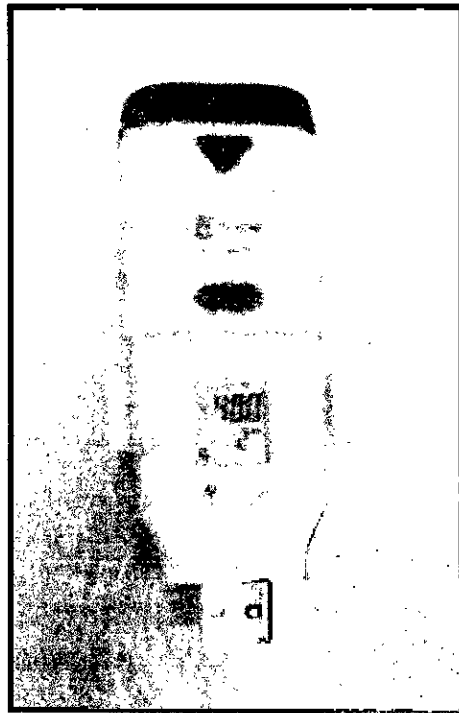


Figura 14. Data Logger
Fuente: Elaboración propia

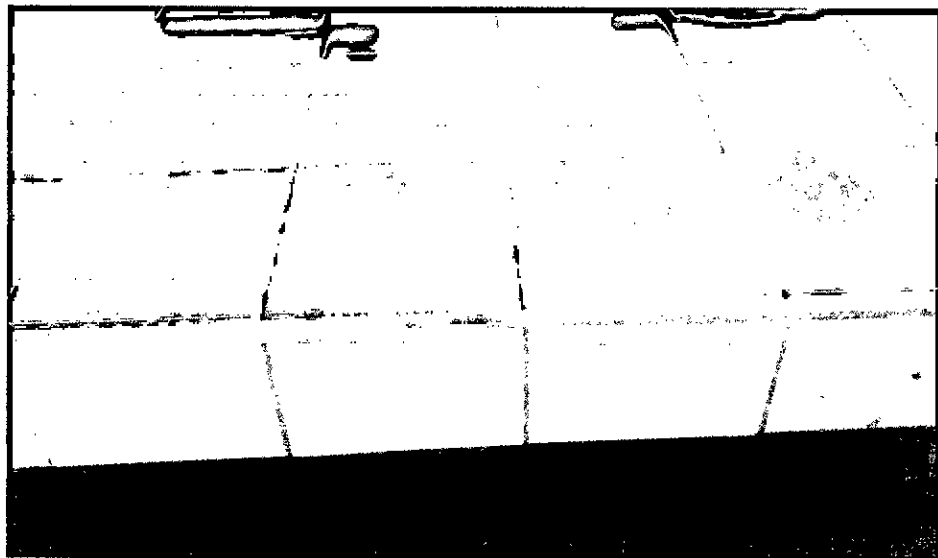


Figura 15. Muestras de chocho después de ser sometidas a diferentes intervalos de pulsación en microondas.
Fuente: Elaboración propia

19

En la figura (1) se observa una muestra fresca y desamargada para realizar la medida antes y después del ensayo, siguiendo el procedimiento explicado en el diagrama de bloques (Figura 4). Como se puede observar, físicamente el grano 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 (Determinación de proteínas)

A. Materiales y/o equipos

- Equipo Kjeldahl 01
- Pisceta 01
- Agua destilada 500 ml
- Balanza analítica 01
- Luna de reloj 03
- Espátula 03
- Pisceta con agua 01
- Equipo de titulación 01
- Matraz 0.4
- Probeta de 100 ml. 03
- Fiola de 100 ml. 03
100ml.

B. Reactivos e insumos

- Pipetas de 5 ml, 10 ml 03
- Ácido sulfúrico Q.P.
- Mezcla catalizadora de sulfato de cobre pentahidratado y sulfato de potasio (1:9).
- Hidróxido de sodio al 35%
1 litro.
- Ácido clorhídrico 0.2 N. 100 ml
- Tashiro 100 ml.
- Ácido bórico 4% 1 litro.
- Peróxido de hidrogeno 30%
- Agua libre de amonio 100 ml.

a. Técnica

Para el estudio de la variación de la cantidad de proteínas, se realizó un análisis de las semillas en estudio antes y después de las pruebas de secado, siguiendo el procedimiento de laboratorio de la Universidad Nacional del Callao, que llevó el procedimiento siguiente:

***Preparación de la muestra**

1. Triturar, homogenizar y mezclar la muestra.
2. Pesar entre 0,5 A 1,5 gramo de muestra (figuras 4.11 y 4.12).
3. En muestras con contenidos de nitrógeno muy pequeño, tomar la muestra suficiente para que tenga como mínimo 5 mg de nitrógeno. (Valencia, R. , 2016)

A. Etapa de digestión

Añadir entre 10 a 15 ml de H₂SO₄ (96-99%) en un tubo macro y una tableta de (6 mg) de catalizador.

(Para un tubo micro el máximo de H₂ SO₄ concentrado es de 5ml)

Montar un sistema para la extracción de los humos o scrubber con Na₂ CO₃.

-Realizar la digestión en tres pasos:

1. En función del contenido de agua de la muestra, empezar la digestión evaporando agua a 150 °C, en un tiempo de 15 a 30 min.
2. Realizar un segundo proceso entre 270 y 300°C en un tiempo de 15 a 30 minutos a fin de reducir la cantidad de gases de combustión.
3. Proseguir la digestión a 400°C durante un tiempo de 60 a 90 minutos. (Valencia, R. , 2016)

El nitrógeno orgánico en ión amonio, se logra según la reacción:



Proteína

La digestión termina cuando la disolución adquiere un color verde esmeralda característico. En esta etapa el nitrógeno proteico es transformado en sulfato de amonio por acción del ácido sulfúrico en caliente.

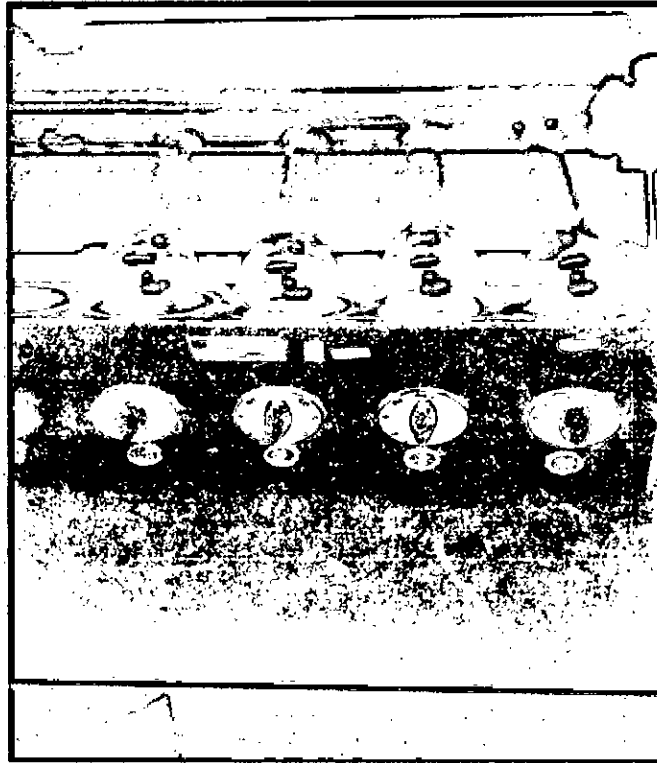


Figura 16. Parrilla de ataque para análisis de proteínas
Fuente: Elaboración propia

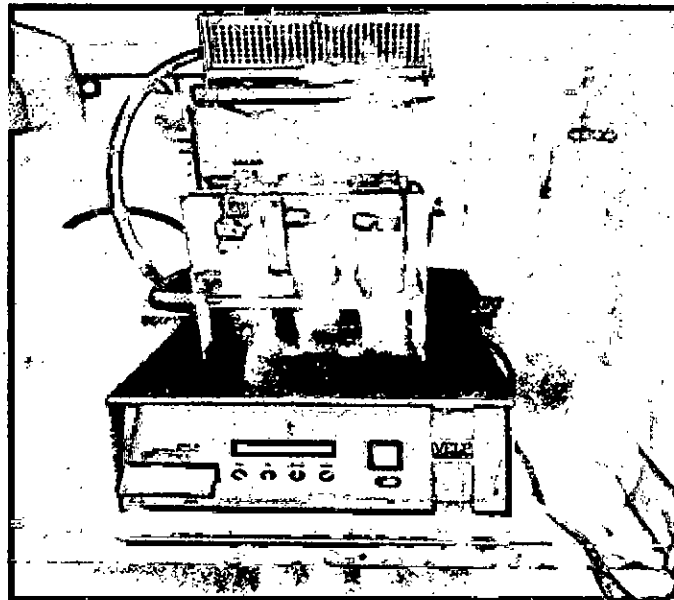


Figura 17. Equipo digestor en el análisis de proteínas
Fuente: Elaboración propia



Aplicaciones:

- **Para queso o carne:**

1°: 150°C durante un tiempo de 30 min.

2°: 270°C durante un tiempo de 30 min.

3°: 400°C durante un tiempo de 90 min.

- **Para cereales:**

1° A la temperatura de 150 °C durante un periodo de 15 min.

2° A la temperatura de 300°C durante un periodo de 15 min.

3° A la temperatura de 400°C durante un periodo de 60 min.

Control visual:

De resultado tenemos un líquido transparente nítido con coloración azul claro, verde o amarillo dependiendo del catalizador utilizado. No deben quedar restos adheridos a la pared de tubo.

Observación:

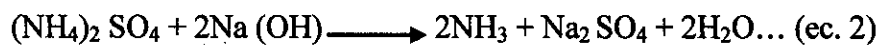
Durante la digestión debe controlarse la producción de espuma en las muestras. Si es excesiva debe alargarse el paso primero.

Dilución

- Saca los tubos muestra del bloque digestor y dejar enfriar a temperatura ambiente (puede forzarse sumergiendo los tubos, cautelosamente, en un poco de agua).
- Añadir unos 25 ml. de agua destilada en cada tubo.
- Añadir el agua despacio y moviendo el tubo sin dejar solidificar la muestra. Si es necesario calentar ligeramente el tubo (por ejemplo. Introduciendo en el bloque digestor todavía caliente).
- Dejar enfriar de nuevo hasta temperatura ambiente.
- Para evitar pérdidas de nitrógeno y reacciones violentas no introducir el tubo todavía caliente al destilador.

B. Etapa de destilación

Se calcina la muestra digerida mediante la acción de una base fuerte que por lo general es un hidróxido de sodio al 40% y el nitrógeno se desprende en forma de amoníaco (ecuación 2). El amoníaco destilado se recoge sobre un exceso de ácido bórico aproximadamente al 40% m/v (ecuación 3) formándose el borato de amonio, el cual se titula directamente.



Procedimiento

- Situar un erlenmeyer de 250 ml. a la salida del refrigerante con 50 ml. de ácido bórico y una gota de indicador.
- Programar una dosificación de 50 a 75 ml de NaOH.
- Introducir el tubo con la muestra en el destilador.
- Destilar hasta recoger 250 ml en el erlenmeyer (50 ml bórico + 200 ml de destilado).

* Control visual:

Una vez se ha añadido el NaOH, la muestra debe tomar una coloración azulada, de no ser así, añadir más NaOH.



Figura 18. Destilador kjeldahl

Fuente: Elaboración propia



Figura 19. Cambio cualitativo en el proceso de destilación

Fuente: Elaboración propia

5

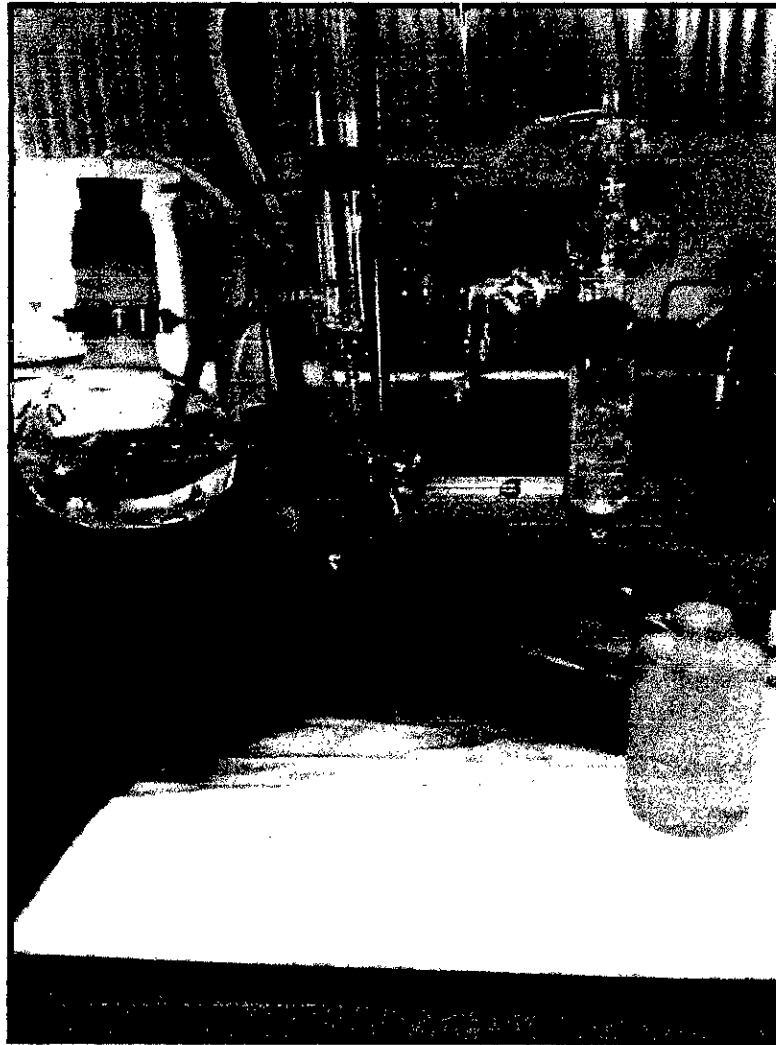
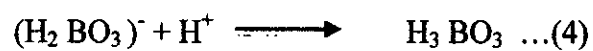


Figura 20. *Proceso de destilado en un micro kjeldahl*
Fuente: Elaboración propia

C. Etapa de valoración y cálculo

La cuantificación del nitrógeno amoniacal se realiza por medio de una volumetría ácido-base del ion borato formado, empleando ácido clorhídrico o sulfúrico y como indicador una disolución alcohólica de una mezcla de rojo de metilo con azul de metileno (ecuación 4)



Valorar el destilado con HCl o H₂SO₄ hasta el cambio de color. (punto final: PH 4.65).

- Realizar el cálculo:

$$\text{mg N} = \text{N} * \text{V} * 14$$

Donde:

N = Normalidad del ácido de valoración.

V = Volumen del ácido gastado..

14 = Masa atómico del nitrógeno.

- Para pasar a contenido de proteínas corregir por el factor adecuado según la naturaleza de la muestra (6.25 por defecto).
- Periódicamente realizar un ensayo en blanco y restarlo del resultado.

$$\% \text{ Proteínas} = \frac{\text{P2}}{\text{P0}} \times 100 \times \text{F}$$

Donde:

P2: Nitrógeno (mg).

P0: Peso de la muestra (mg).

F: Factor proteínico.

(6.25 por defecto)

Factor proteico de algunos alimentos:

Almendras 5,18

Nueces 5,30

Nueces - Cacahuetes 5,41

Gelatina 5,55

Soja 5,71

Cebada, avena, centeno 5,84

Trigo, harina entera 5,83

Harinas (no entera) 5,70

Arroz 5,95

Salvado 6,31

Leche y lácteos 6,38



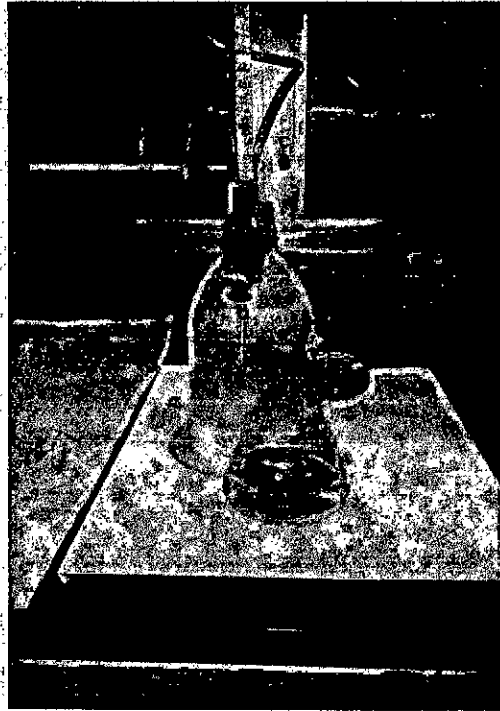


Figura 21. Proceso de titulación volumétrica

Fuente: Elaboración propia

Fuentes de error:

Las principales fuentes de error son:

En el proceso de digestión:

1. La conclusión de nitrógeno no proteico (aunque la cantidad de este nitrógeno suele ser despreciable comparada con la del nitrógeno proteico);
2. La pérdida de nitrógeno durante la digestión. El exceso de sulfato de sodio o potasio que se añade al ácido para elevar el punto de ebullición, puede producir una descomposición por calor y por lo tanto pérdida de nitrógeno. Por otro lado, el exceso de catalizador (de cobre generalmente) también puede producir pérdidas de nitrógeno.
3. La digestión incompleta de la muestra. Generalmente debida a falta de tiempo de reacción o falta de ácido sulfúrico.

Durante la destilación:

1. Neutralización incompleta de la mezcla digerida. Es necesario añadir suficiente NaOH para neutralizar el exceso de ácido sulfúrico resultante de la digestión, así como transformar todo el amoníaco formado en la digestión en amoníaco.
2. Pérdida de amoníaco por fugas en el círculo de destilación.
3. Pérdida de amonio por refrigeración insuficiente en el condensador.

4.5 Plan de análisis 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. (Mahecha, J. , 2011)

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 (Mahecha, J. , 2011)
- **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 (Mahecha, J. , 2011)

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. (Mahecha, J. , 2011)

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 mediciones en la pérdida de masa (por triplicado).

Finalmente se trabajaron todas las corridas a esa velocidad de aire (~3 m/s), a las temperaturas de 50°C, 55°C y 60°C y con pulsaciones de microondas de 0; 5; 7; 9 y 12, segundos luego de cada pesada (intervalos de 3 minutos), sobre una rejilla de acero inoxidable 3/16" con un peso de 25,5g, lográndose los siguientes resultados promedio:

➤ **Humedad inicial:**

Tabla 4.
Prueba de humedad inicial del chocho

t (h)	m muestra (g)
1	10.1
2	3.7
3	3.0
4	2.9
5	2.9
6	2.9

$$\% \text{ Humedad}_{\text{inicial}} = \frac{W_{\text{inicial}} - W_{\text{seco}}}{W_{\text{inicial}}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad}_{\text{inicial}} = 71.29 \text{ g agua/g sólido húmedo}$$

Velocidad de aire (m/s)	3.3
	3.5
	3.3
Velocidad Promedio (m/s)	3.36



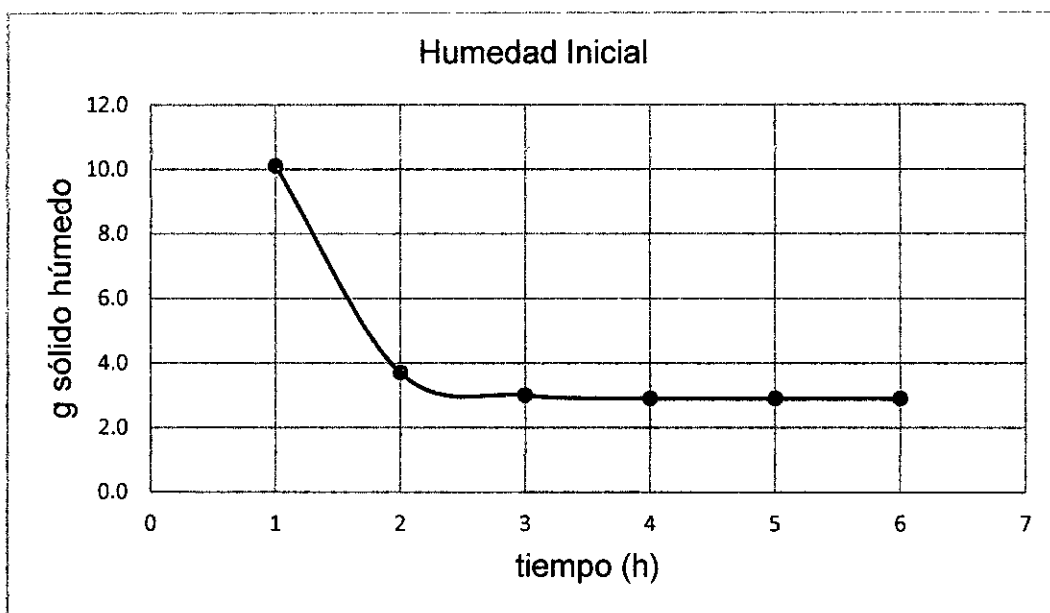


Gráfico 6. Curva de humedad del chocho fresco.

Fuente: Elaboración propia

➤ **Pruebas a 50°C:**

Tabla 5.

Prueba de secado a 50°C y 0 s de pulsaciones de microondas

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m ²)%
0	10.1	71.29%	2.4828	0.00%
3	9.4	69.15%	2.2414	9.72%
6	8.7	66.67%	2.0000	19.44%
9	8.1	64.20%	1.7931	27.78%
12	7.4	60.81%	1.5517	37.50%
15	7.0	58.57%	1.4138	43.06%
18	6.5	55.38%	1.2414	50.00%
27	5.5	47.27%	0.8966	63.89%
36	4.8	39.58%	0.6552	73.61%
45	4.3	32.56%	0.4828	80.56%
54	4.0	27.50%	0.3793	84.72%
57	4.0	27.50%	0.3793	84.72%
60	4.0	27.50%	0.3793	84.72%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.
Prueba de secado a 50°C y 5 s de pulsaciones de microondas

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%
0	10.0	71.29%	2.4828	0.00%
3	9.3	69.13%	2.2390	9.82%
6	8.8	67.37%	2.0648	16.83%
9	8.0	64.11%	1.7862	28.06%
12	7.5	61.72%	1.6121	35.07%
15	6.9	58.39%	1.4031	43.49%
18	6.5	55.83%	1.2638	49.10%
27	5.1	43.70%	0.7762	68.74%
36	4.6	37.58%	0.6021	75.75%
45	4.2	31.64%	0.4628	81.36%
54	4.0	28.22%	0.3931	84.17%
57	4.0	28.22%	0.3931	84.17%
60	4.0	28.22%	0.3931	84.17%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.
Prueba de secado a 50°C y 7 s de pulsaciones de microondas

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%
0	10.0	71.29%	2.4828	0.00%
3	9.3	69.13%	2.2390	9.82%
6	8.8	67.37%	2.0648	16.83%
9	8.0	64.11%	1.7862	28.06%
12	7.5	61.72%	1.6121	35.07%
15	6.9	58.39%	1.4031	43.49%
18	6.5	55.83%	1.2638	49.10%
27	5.1	43.70%	0.7762	68.74%
36	4.6	37.58%	0.6021	75.75%
45	4.2	31.64%	0.4628	81.36%
54	4.0	28.22%	0.3931	84.17%
57	4.0	28.22%	0.3931	84.17%
60	4.0	28.22%	0.3931	84.17%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.
Prueba de secado a 50°C y 9 s de pulsaciones de microondas

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%
0	10.0	71.29%	2.4828	0.00%
3	9.4	69.45%	2.2738	8.42%
6	8.7	67.00%	2.0300	18.24%
9	8.2	64.98%	1.8559	25.25%
12	7.6	62.22%	1.6469	33.67%
15	7.0	58.98%	1.4379	42.08%
18	6.6	56.50%	1.2986	47.69%
27	5.5	47.79%	0.9155	63.13%
36	5.0	42.57%	0.7414	70.14%
45	4.5	36.19%	0.5672	77.15%
54	4.3	33.23%	0.4976	79.96%
57	4.3	33.23%	0.4976	79.96%
60	4.3	33.23%	0.4976	79.96%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9.
Prueba de secado a 50°C y 12 s de pulsaciones de microondas

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%
0	10.1	71.29%	2.4828	0.00%
3	9.5	69.47%	2.2759	8.33%
6	8.7	66.67%	2.0000	19.44%
9	8.1	64.20%	1.7931	27.78%
12	7.7	62.34%	1.6552	33.33%
15	7.0	58.57%	1.4138	43.06%
18	6.5	55.38%	1.2414	50.00%
27	5.4	46.30%	0.8621	65.28%
36	4.8	39.58%	0.6552	73.61%
45	4.5	35.56%	0.5517	77.78%
54	4.4	34.09%	0.5172	79.17%
57	4.4	34.09%	0.5172	79.17%
60	4.4	34.09%	0.5172	79.17%

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo las curvas de secado que se muestran a continuación:

Tabla 10.

Data para la velocidad de secado a 50°C con 0s de pulsaciones

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%	X(bs) Valor medio	Rate (g/gss.min)
0	10.1	71.29%	2.4828	0.00%		
3	9.4	69.15%	2.2414	9.72%	2.3621	0.0805
6	8.7	66.67%	2.0000	19.44%	2.1207	0.0805
9	8.1	64.20%	1.7931	27.78%	1.8966	0.0690
12	7.4	60.81%	1.5517	37.50%	1.6724	0.0805
15	7.0	58.57%	1.4138	43.06%	1.4828	0.0460
18	6.5	55.38%	1.2414	50.00%	1.3276	0.0575
27	5.5	47.27%	0.8966	63.89%	1.0690	0.0383
36	4.8	39.58%	0.6552	73.61%	0.7759	0.0268
45	4.3	32.56%	0.4828	80.56%	0.5690	0.0192
54	4.0	27.50%	0.3793	84.72%	0.4310	0.0115
57	4.0	27.50%	0.3793	84.72%	0.3793	0.0000
60	4.0	27.50%	0.3793	84.72%	0.3793	0.0000

Fuente: Elaboración propia

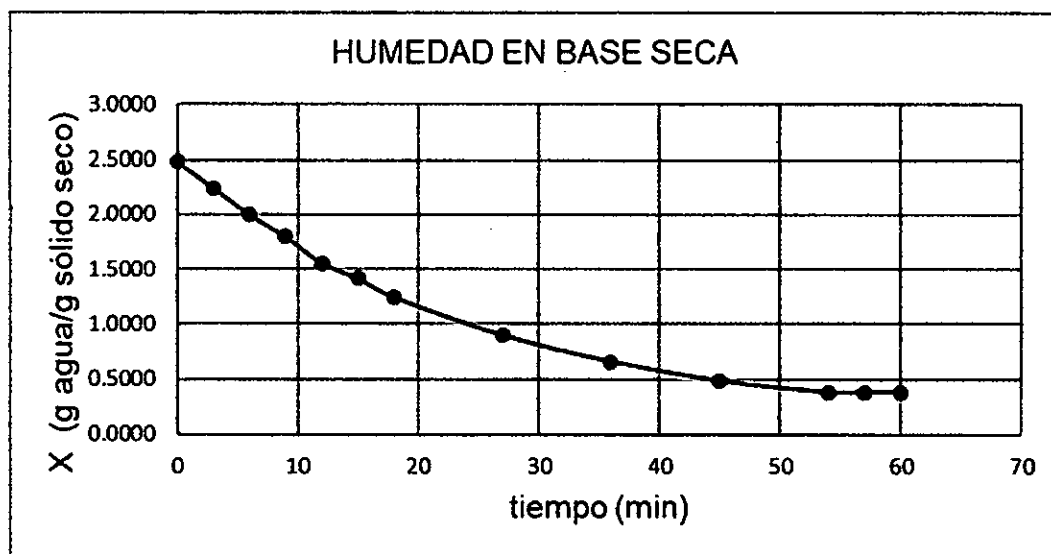


Gráfico 7. Curva de secado a 50°C y 0s de pulsaciones de microondas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11.

Data para la velocidad de secado a 50°C con 5s de pulsaciones

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%	X(bs) Valor medio	Rate (g/gss.min)
0	10.0	71.29%	2.4828	0.00%		
3	9.3	69.13%	2.2390	9.82%	2.3609	0.0813
6	8.8	67.37%	2.0648	16.83%	2.1519	0.0580
9	8.0	64.11%	1.7862	28.06%	1.9255	0.0929
12	7.5	61.72%	1.6121	35.07%	1.6991	0.0580
15	6.9	58.39%	1.4031	43.49%	1.5076	0.0697
18	6.5	55.83%	1.2638	49.10%	1.3334	0.0464
27	5.1	43.70%	0.7762	68.74%	1.0200	0.0542
36	4.6	37.58%	0.6021	75.75%	0.6891	0.0193
45	4.2	31.64%	0.4628	81.36%	0.5324	0.0155
54	4.0	28.22%	0.3931	84.17%	0.4279	0.0077
57	4.0	28.22%	0.3931	84.17%	0.3931	0.0000
60	4.0	28.22%	0.3931	84.17%	0.3931	0.0000

Fuente: Elaboración propia

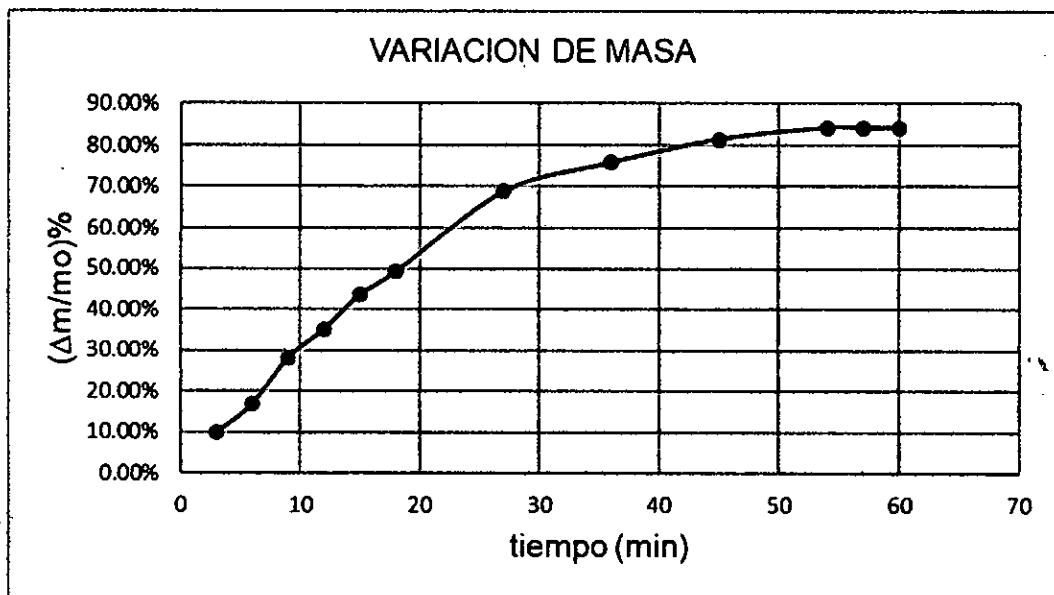


Gráfico 8. Variación de masa a 50°C y 5s de pulsaciones de microondas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12.

Data para la velocidad de secado a 50°C con 7s de pulsaciones

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%	X(bs) Valor medio	Rate (g/gss.min)
0	10.1	71.29%	2.4828	0.00%		
3	9.5	69.47%	2.2759	8.33%	2.3793	0.0690
6	8.6	66.28%	1.9655	20.83%	2.1207	0.1034
9	8.2	64.63%	1.8276	26.39%	1.8966	0.0460
12	7.3	60.27%	1.5172	38.89%	1.6724	0.1034
15	7.0	58.57%	1.4138	43.06%	1.4655	0.0345
18	6.0	51.67%	1.0690	56.94%	1.2414	0.1149
27	5.3	45.28%	0.8276	66.67%	0.9483	0.0268
36	5.0	42.00%	0.7241	70.83%	0.7759	0.0115
45	4.6	36.96%	0.5862	76.39%	0.6552	0.0153
54	4.5	35.56%	0.5517	77.78%	0.5690	0.0038
57	4.5	35.56%	0.5517	77.78%	0.5517	0.0000
60	4.5	35.56%	0.5517	77.78%	0.5517	0.0000

Fuente: Elaboración propia

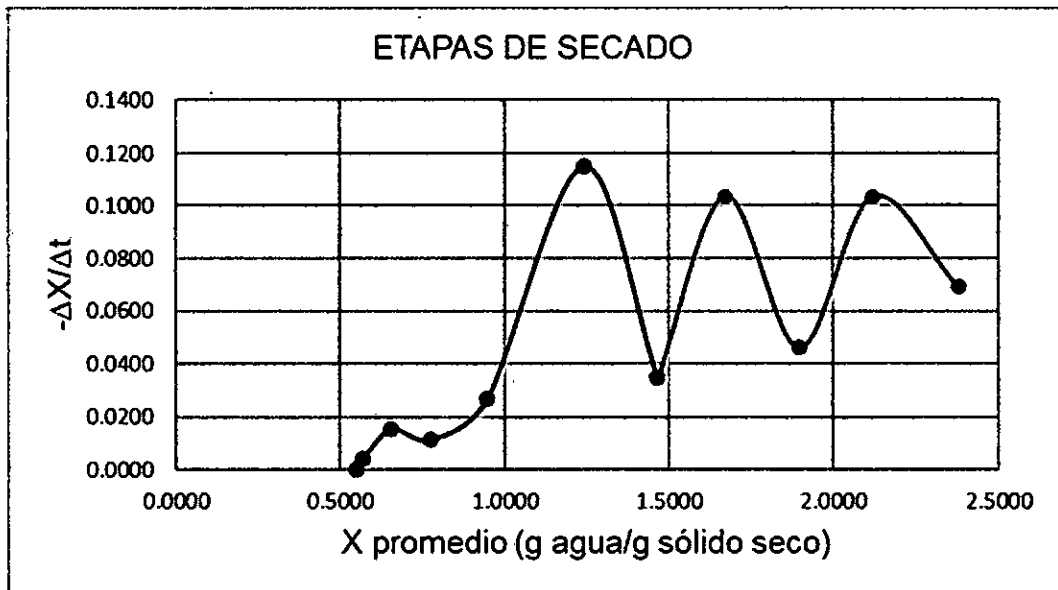


Gráfico 9. Curva de velocidad de secado a 50°C y 7s de pulsaciones de microondas

Fuente: Elaboración propia

9

Tabla 13.

Data para la velocidad de secado a 50°C con 9s de pulsaciones

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%	X(bs) Valor medio	Rate (g/gss.min)
0	10.0	71.29%	2.4828	0.00%		
3	9.4	69.45%	2.2738	8.42%	2.3783	0.0697
6	8.7	67.00%	2.0300	18.24%	2.1519	0.0813
9	8.2	64.98%	1.8559	25.25%	1.9429	0.0580
12	7.6	62.22%	1.6469	33.67%	1.7514	0.0697
15	7.0	58.98%	1.4379	42.08%	1.5424	0.0697
18	6.6	56.50%	1.2986	47.69%	1.3683	0.0464
27	5.5	47.79%	0.9155	63.13%	1.1071	0.0426
36	5.0	42.57%	0.7414	70.14%	0.8284	0.0193
45	4.5	36.19%	0.5672	77.15%	0.6543	0.0193
54	4.3	33.23%	0.4976	79.96%	0.5324	0.0077
57	4.3	33.23%	0.4976	79.96%	0.4976	0.0000
60	4.3	33.23%	0.4976	79.96%	0.4976	0.0000

Fuente: Elaboración propia

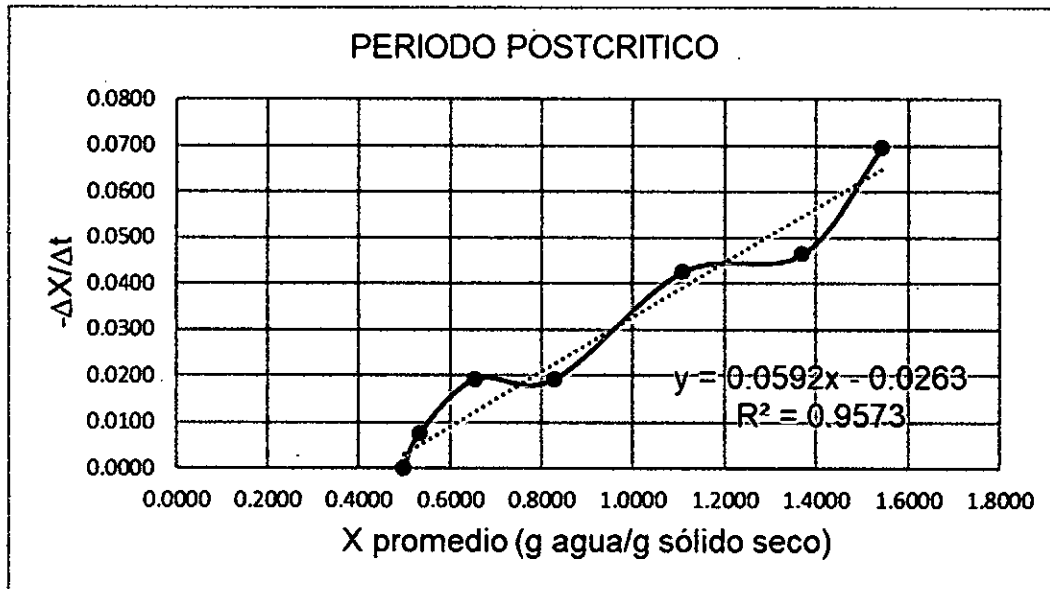


Gráfico 10. Segmento de curva de velocidad de secado a 50°C y 9s de pulsaciones de microondas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14.

Data para la velocidad de secado a 50°C con 12s de pulsaciones

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%	X(bs) Valor medio	Rate (g/gss.min)
0	10.1	71.29%	2.4828	0.00%		
3	9.5	69.47%	2.2759	8.33%	2.3793	0.0690
6	8.7	66.67%	2.0000	19.44%	2.1379	0.0920
9	8.1	64.20%	1.7931	27.78%	1.8966	0.0690
12	7.7	62.34%	1.6552	33.33%	1.7241	0.0460
15	7.0	58.57%	1.4138	43.06%	1.5345	0.0805
18	6.5	55.38%	1.2414	50.00%	1.3276	0.0575
27	5.4	46.30%	0.8621	65.28%	1.0517	0.0421
36	4.8	39.58%	0.6552	73.61%	0.7586	0.0230
45	4.5	35.56%	0.5517	77.78%	0.6034	0.0115
54	4.4	34.09%	0.5172	79.17%	0.5345	0.0038
57	4.4	34.09%	0.5172	79.17%	0.5172	0.0000
60	4.4	34.09%	0.5172	79.17%	0.5172	0.0000

Fuente: Elaboración propia

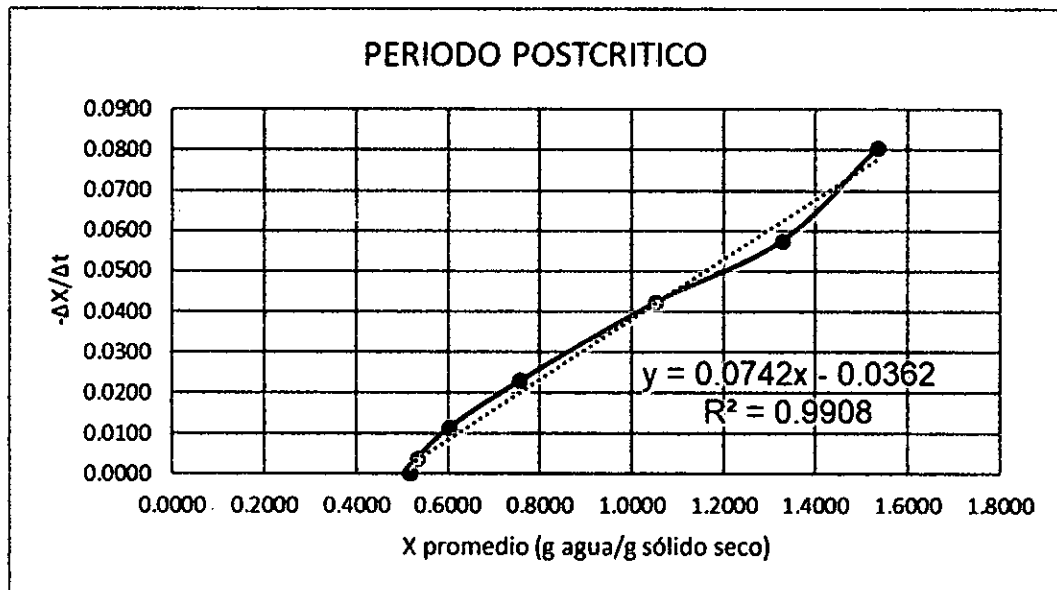


Gráfico 11. Segmento de curva de velocidad de secado a 50°C y 12s de pulsaciones de microondas

Fuente: Elaboración propia

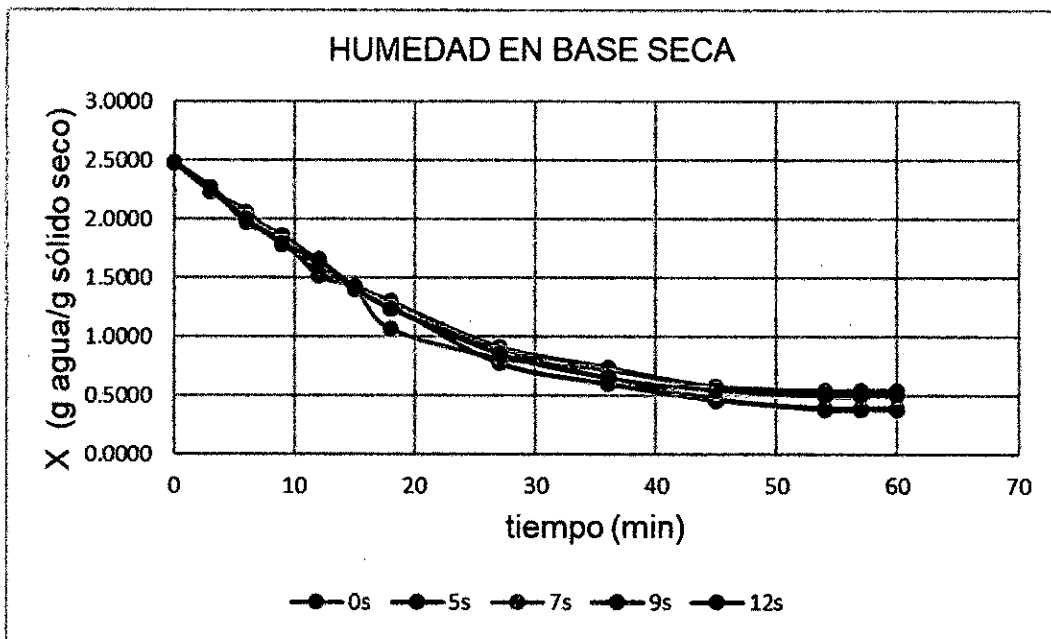


Gráfico 12. Comparativa de curvas de secado a 50°C con diferentes tiempos de pulsaciones de microondas
 Fuente: Elaboración propia

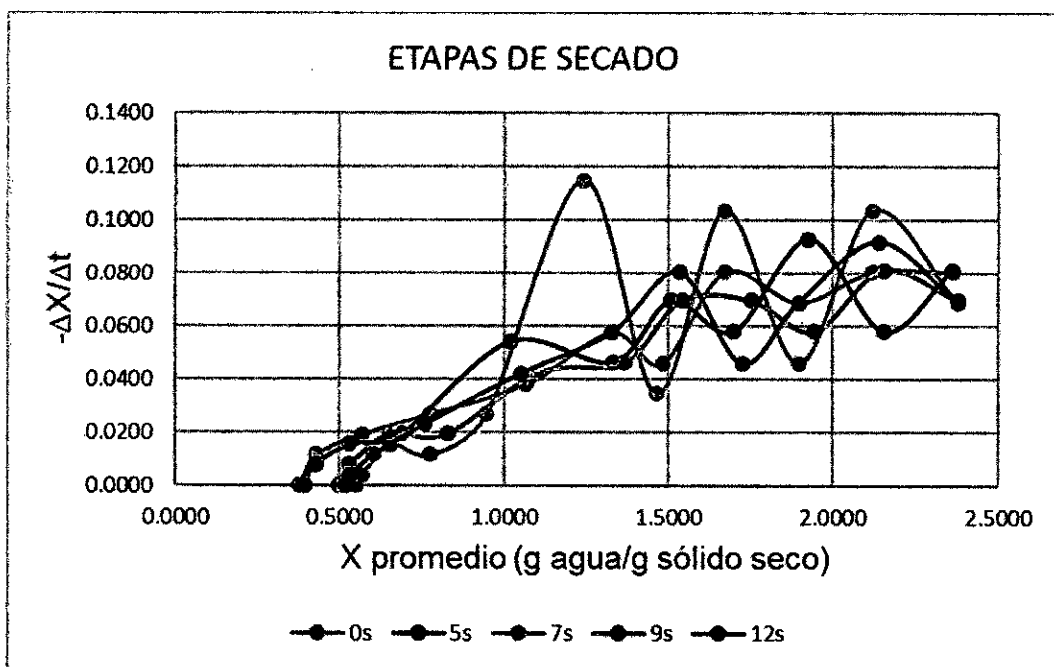


Gráfico 13. Comparativa de curvas de velocidad de secado a 50°C con diferentes tiempos de pulsaciones de microondas
 Fuente: Elaboración propia

➤ Pruebas a 55°C:

Tabla 15.

Prueba de secado a 55°C y 0 s de pulsaciones de microondas

55°C y 0s				
t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%
0	10.0	71.29%	2.4828	0.00%
3	9.4	69.45%	2.2738	8.42%
6	8.6	66.61%	1.9952	19.64%
9	8.4	65.82%	1.9255	22.44%
12	7.7	62.71%	1.6817	32.26%
15	7.2	60.12%	1.5076	39.28%
18	6.7	57.14%	1.3334	46.29%
27	5.6	48.73%	0.9503	61.72%
36	5.1	43.70%	0.7762	68.74%
45	4.7	38.91%	0.6369	74.35%
54	4.5	36.19%	0.5672	77.15%
57	4.5	36.19%	0.5672	77.15%
60	4.5	36.19%	0.5672	77.15%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16.

Prueba de secado a 55°C y 5 s de pulsaciones de microondas

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%
0	10.0	71.29%	2.4828	0.00%
3	9.3	69.13%	2.2390	9.82%
6	8.6	66.61%	1.9952	19.64%
9	8.0	64.11%	1.7862	28.06%
12	7.6	62.22%	1.6469	33.67%
15	7.1	59.56%	1.4728	40.68%
18	6.7	57.14%	1.3334	46.29%
27	5.6	48.73%	0.9503	61.72%
36	5.1	43.70%	0.7762	68.74%
45	4.7	38.91%	0.6369	74.35%
54	4.6	37.58%	0.6021	75.75%
57	4.6	37.58%	0.6021	75.75%
60	4.6	37.58%	0.6021	75.75%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17.**Prueba de secado a 55°C y 7 s de pulsaciones de microondas**

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m²)%
0	10.2	71.29%	2.4828	0.00%
3	7.7	61.96%	1.6291	34.38%
6	6.6	55.63%	1.2535	49.51%
9	5.9	50.36%	1.0145	59.14%
12	5.1	42.57%	0.7414	70.14%
15	4.7	37.69%	0.6048	75.64%
18	4.5	34.92%	0.5365	78.39%
27	4.1	28.57%	0.3999	83.89%
36	3.3	11.25%	0.1268	94.89%
45	3.1	5.53%	0.0585	97.64%
54	3.0	2.38%	0.0243	99.02%
57	3.0	2.38%	0.0243	99.02%
60	3.0	2.38%	0.0243	99.02%

*Fuente: Elaboración propia***Tabla 18.****Prueba de secado a 55°C y 9 s de pulsaciones de microondas**

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m²)%
0	10.0	71.29%	2.4828	0.00%
3	9.2	68.79%	2.2041	11.22%
6	8.5	66.22%	1.9603	21.04%
9	7.9	63.65%	1.7514	29.46%
12	7.2	60.12%	1.5076	39.28%
15	6.7	57.14%	1.3334	46.29%
18	6.2	53.69%	1.1593	53.31%
27	5.2	44.78%	0.8110	67.33%
36	4.6	37.58%	0.6021	75.75%
45	4.4	34.74%	0.5324	78.56%
54	4.3	33.23%	0.4976	79.96%
57	4.3	33.23%	0.4976	79.96%
60	4.3	33.23%	0.4976	79.96%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19.

Prueba de secado a 55°C y 12 s de pulsaciones de microondas

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%
0	10.0	71.29%	2.4828	0.00%
3	9.2	68.79%	2.2041	11.22%
6	8.5	66.22%	1.9603	21.04%
9	7.9	63.65%	1.7514	29.46%
12	7.2	60.12%	1.5076	39.28%
15	6.7	57.14%	1.3334	46.29%
18	6.2	53.69%	1.1593	53.31%
27	5.2	44.78%	0.8110	67.33%
36	4.6	37.58%	0.6021	75.75%
45	4.4	34.74%	0.5324	78.56%
54	4.2	31.64%	0.4628	81.36%
57	4.2	31.64%	0.4628	81.36%
60	4.2	31.64%	0.4628	81.36%

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo las curvas de secado que se muestran a continuación:

Tabla 20.

Data para la velocidad de secado a 55°C con 0s de pulsaciones

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%	X(bs) Valor medio	Rate (g/gss.min)
0	10.0	71.29%	2.4828	0.00%		
3	9.4	69.45%	2.2738	8.42%	2.3783	0.0697
6	8.6	66.61%	1.9952	19.64%	2.1345	0.0929
9	8.4	65.82%	1.9255	22.44%	1.9603	0.0232
12	7.7	62.71%	1.6817	32.26%	1.8036	0.0813
15	7.2	60.12%	1.5076	39.28%	1.5947	0.0580
18	6.7	57.14%	1.3334	46.29%	1.4205	0.0580
27	5.6	48.73%	0.9503	61.72%	1.1419	0.0426
36	5.1	43.70%	0.7762	68.74%	0.8633	0.0193
45	4.7	38.91%	0.6369	74.35%	0.7066	0.0155
54	4.5	36.19%	0.5672	77.15%	0.6021	0.0077
57	4.5	36.19%	0.5672	77.15%	0.5672	0.0000
60	4.5	36.19%	0.5672	77.15%	0.5672	0.0000

Fuente: Elaboración propia

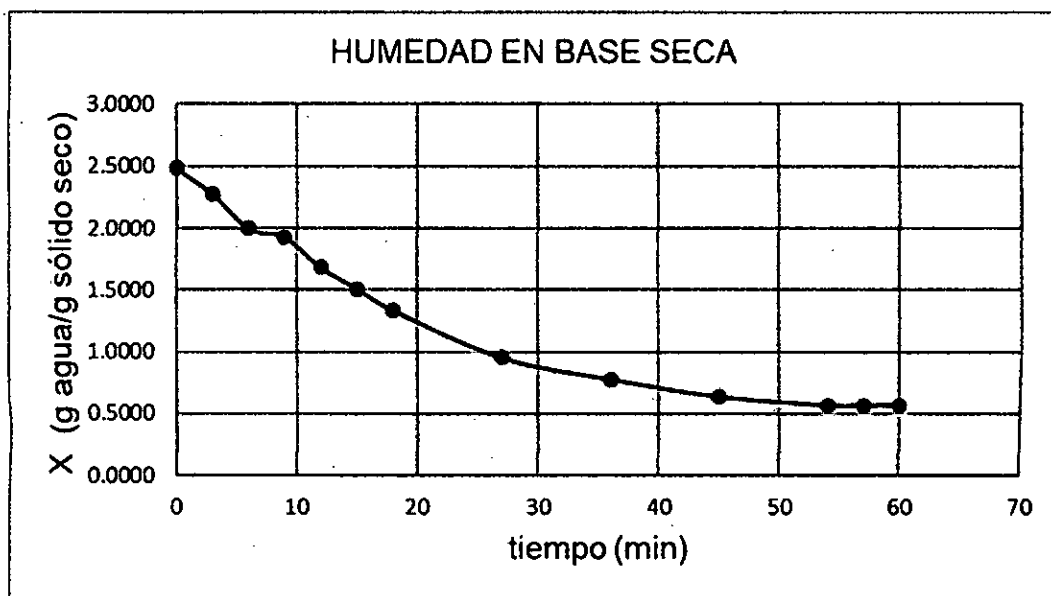


Gráfico 14. Curva de secado a 55°C y 0s de pulsaciones de microondas
Fuente: Elaboración propia

Tabla 21.

Data para la velocidad de secado a 55°C con 5s de pulsaciones

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%	X(bs) Valor medio	Rate (g/gss.min)
0	10.0	71.29%	2.4828	0.00%		
3	9.3	69.13%	2.2390	9.82%	2.3609	0.0813
6	8.6	66.61%	1.9952	19.64%	2.1171	0.0813
9	8.0	64.11%	1.7862	28.06%	1.8907	0.0697
12	7.6	62.22%	1.6469	33.67%	1.7166	0.0464
15	7.1	59.56%	1.4728	40.68%	1.5598	0.0580
18	6.7	57.14%	1.3334	46.29%	1.4031	0.0464
27	5.6	48.73%	0.9503	61.72%	1.1419	0.0426
36	5.1	43.70%	0.7762	68.74%	0.8633	0.0193
45	4.7	38.91%	0.6369	74.35%	0.7066	0.0155
54	4.6	37.58%	0.6021	75.75%	0.6195	0.0039
57	4.6	37.58%	0.6021	75.75%	0.6021	0.0000
60	4.6	37.58%	0.6021	75.75%	0.6021	0.0000

Fuente: Elaboración propia

25

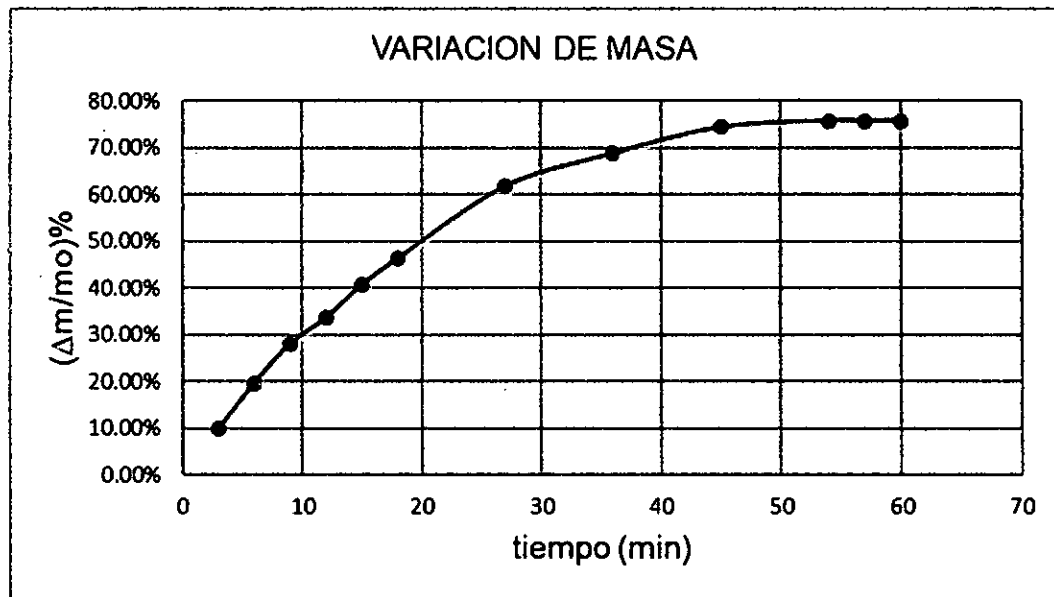


Gráfico 15. Variación de masa a 55°C y 5s de pulsaciones de microondas
Fuente: Elaboración propia

Tabla 22.

Data para la velocidad de secado a 55°C con 7s de pulsaciones

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%	X(bs) Valor medio	Rate (g/gss.min)
0	10.2	71.29%	2.4828	0.00%		
3	7.7	61.96%	1.6291	34.38%	2.0559	0.2845
6	6.6	55.63%	1.2535	49.51%	1.4413	0.1252
9	5.9	50.36%	1.0145	59.14%	1.1340	0.0797
12	5.1	42.57%	0.7414	70.14%	0.8780	0.0911
15	4.7	37.69%	0.6048	75.64%	0.6731	0.0455
18	4.5	34.92%	0.5365	78.39%	0.5707	0.0228
27	4.1	28.57%	0.3999	83.89%	0.4682	0.0152
36	3.3	11.25%	0.1268	94.89%	0.2634	0.0304
45	3.1	5.53%	0.0585	97.64%	0.0926	0.0076
54	3.0	2.38%	0.0243	99.02%	0.0414	0.0038
57	3.0	2.38%	0.0243	99.02%	0.0243	0.0000
60	3.0	2.38%	0.0243	99.02%	0.0243	0.0000

Fuente: Elaboración propia

20

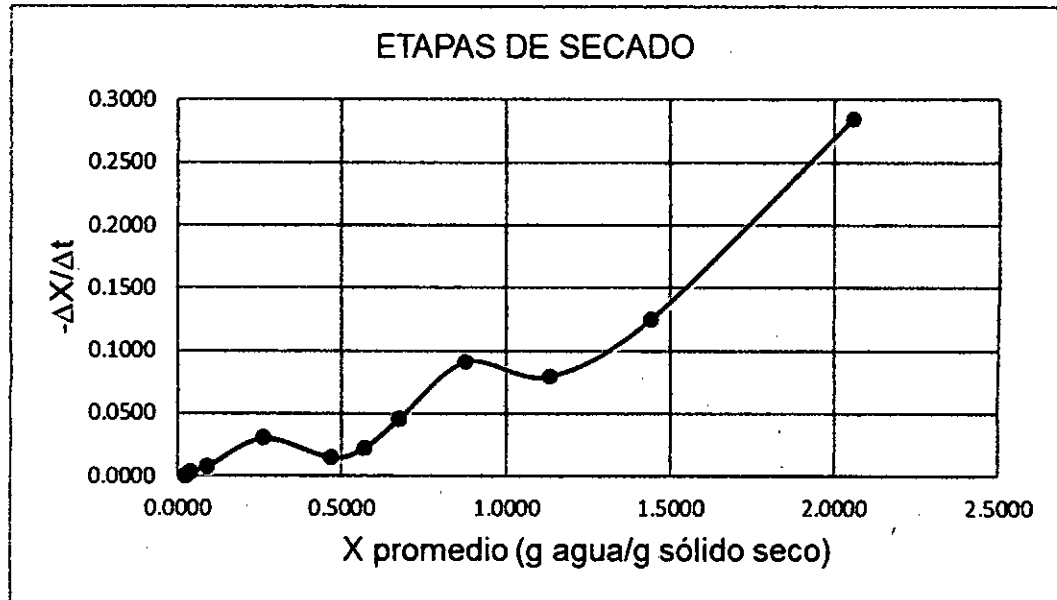


Gráfico 16. Curva de velocidad de secado a 55°C y 7s de pulsaciones de microondas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23.

Data para la velocidad de secado a 55°C con 9s de pulsaciones

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%	X(bs) Valor medio	Rate (g/gss.min)
0	10.0	71.29%	2.4828	0.00%		
3	9.2	68.79%	2.2041	11.22%	2.3434	0.0929
6	8.5	66.22%	1.9603	21.04%	2.0822	0.0813
9	7.9	63.65%	1.7514	29.46%	1.8559	0.0697
12	7.2	60.12%	1.5076	39.28%	1.6295	0.0813
15	6.7	57.14%	1.3334	46.29%	1.4205	0.0580
18	6.2	53.69%	1.1593	53.31%	1.2464	0.0580
27	5.2	44.78%	0.8110	67.33%	0.9852	0.0387
36	4.6	37.58%	0.6021	75.75%	0.7066	0.0232
45	4.4	34.74%	0.5324	78.56%	0.5672	0.0077
54	4.3	33.23%	0.4976	79.96%	0.5150	0.0039
57	4.3	33.23%	0.4976	79.96%	0.4976	0.0000
60	4.3	33.23%	0.4976	79.96%	0.4976	0.0000

Fuente: Elaboración propia

5

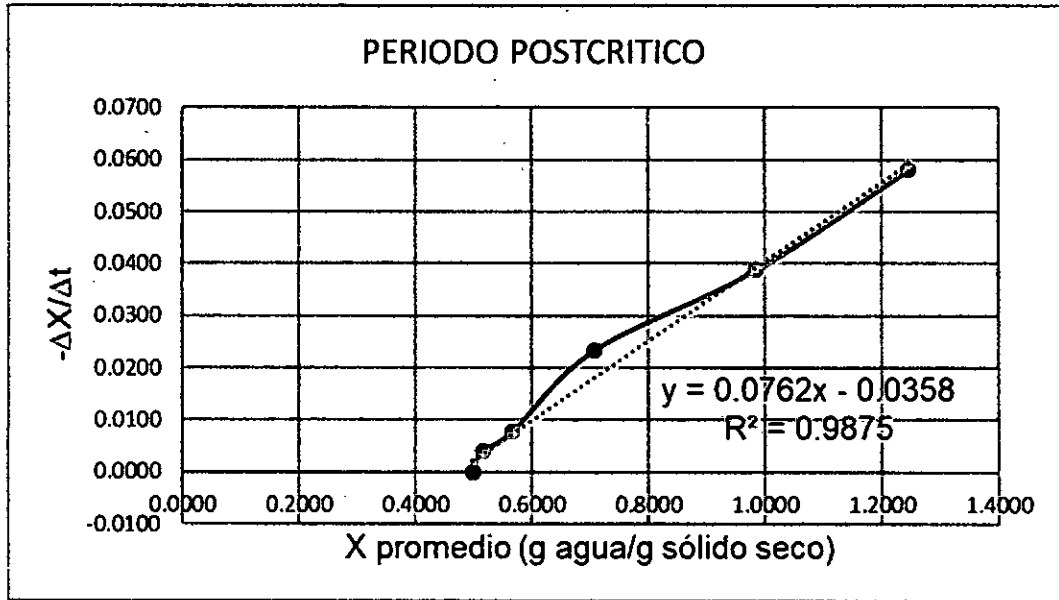


Gráfico 17. Segmento de curva de velocidad de secado a 55°C y 9s de pulsaciones de microondas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24.

Data para la velocidad de secado a 55°C con 12s de pulsaciones

t (min)	w muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m ²)%	X(bs) Valor medio	Rate (g/gss.min)
0	10.0	71.29%	2.4828	0.00%		
3	9.2	68.79%	2.2041	11.22%	2.3434	0.0929
6	8.5	66.22%	1.9603	21.04%	2.0822	0.0813
9	7.9	63.65%	1.7514	29.46%	1.8559	0.0697
12	7.2	60.12%	1.5076	39.28%	1.6295	0.0813
15	6.7	57.14%	1.3334	46.29%	1.4205	0.0580
18	6.2	53.69%	1.1593	53.31%	1.2464	0.0580
27	5.2	44.78%	0.8110	67.33%	0.9852	0.0387
36	4.6	37.58%	0.6021	75.75%	0.7066	0.0232
45	4.4	34.74%	0.5324	78.56%	0.5672	0.0077
54	4.2	31.64%	0.4628	81.36%	0.4976	0.0077
57	4.2	31.64%	0.4628	81.36%	0.4628	0.0000
60	4.2	31.64%	0.4628	81.36%	0.4628	0.0000

Fuente: Elaboración propia

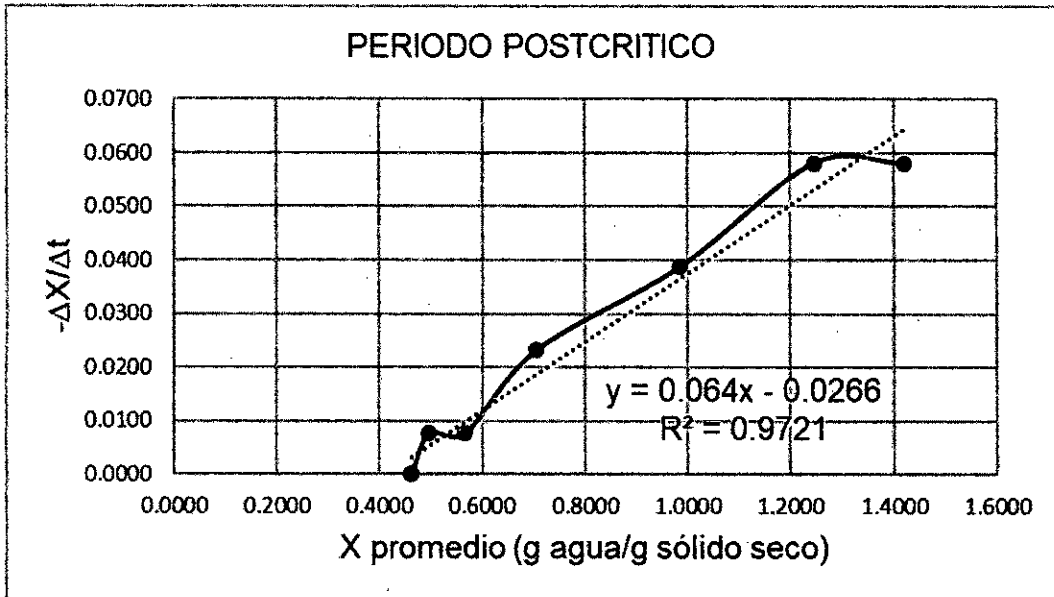


Gráfico 18. Segmento de curva de velocidad de secado a 55°C y 12s de pulsaciones de microondas

Fuente: Elaboración propia

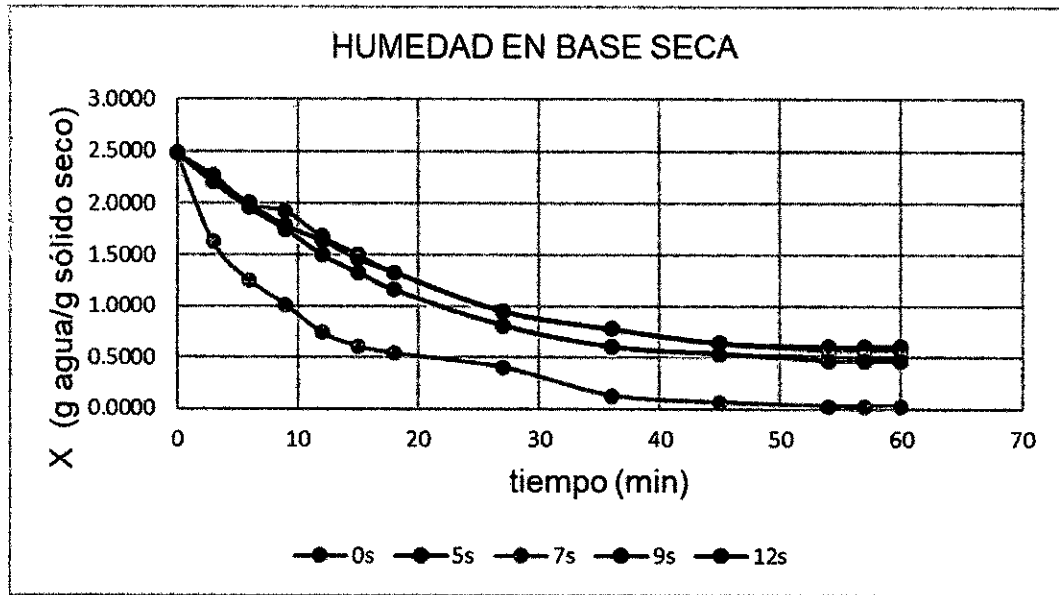


Gráfico 19. Comparativa de curvas de secado a 55°C con diferentes tiempos de pulsaciones de microondas

Fuente: Elaboración propia

25

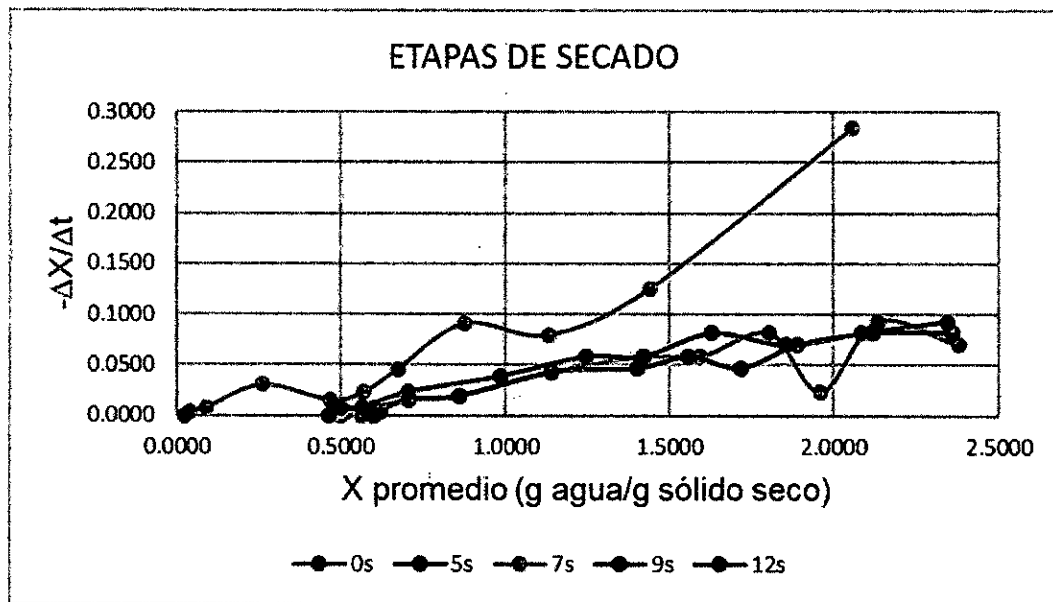


Gráfico 20. Comparativa de curvas de secado a 55°C con diferentes tiempos de pulsaciones de microondas

Fuente: Elaboración propia

➤ **Pruebas a 60°C:**

Tabla 25.

Prueba de secado a 60°C y 0 s de pulsaciones de microondas

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m ²)%
0	10.1	71.29%	2.4828	0.00%
3	9.4	69.15%	2.2414	9.72%
6	8.4	65.48%	1.8966	23.61%
9	7.8	62.82%	1.6897	31.94%
12	7.2	59.72%	1.4828	40.28%
15	6.6	56.06%	1.2759	48.61%
18	6.0	51.67%	1.0690	56.94%
27	5.0	42.00%	0.7241	70.83%
36	4.4	34.09%	0.5172	79.17%
45	4.2	30.95%	0.4483	81.94%
54	4.0	27.50%	0.3793	84.72%
57	4.0	27.50%	0.3793	84.72%
60	4.0	27.50%	0.3793	84.72%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26.**Prueba de secado a 60°C y 5s de pulsaciones de microondas**

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	($\Delta m/m \square$)%
0	10.0	71.29%	2.4828	0.00%
3	9.1	68.45%	2.1693	12.63%
6	8.4	65.82%	1.9255	22.44%
9	7.6	62.22%	1.6469	33.67%
12	7.0	58.98%	1.4379	42.08%
15	6.4	55.14%	1.2290	50.50%
18	6.2	53.69%	1.1593	53.31%
27	4.8	40.18%	0.6717	72.94%
36	4.5	36.19%	0.5672	77.15%
45	4.2	31.64%	0.4628	81.36%
54	4.1	29.97%	0.4279	82.76%
57	4.1	29.97%	0.4279	82.76%
60	4.1	29.97%	0.4279	82.76%

*Fuente: Elaboración propia***Tabla 27.****Prueba de secado a 60°C y 7s de pulsaciones de microondas**

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	($\Delta m/m \square$)%
0	10.1	71.29%	2.4828	0.00%
3	9.3	68.82%	2.2069	11.11%
6	8.6	66.28%	1.9655	20.83%
9	8.0	63.75%	1.7586	29.17%
12	7.3	60.27%	1.5172	38.89%
15	6.7	56.72%	1.3103	47.22%
18	6.2	53.23%	1.1379	54.17%
27	5.4	46.30%	0.8621	65.28%
36	4.7	38.30%	0.6207	75.00%
45	4.4	34.09%	0.5172	79.17%
54	4.3	32.56%	0.4828	80.56%
57	4.3	32.56%	0.4828	80.56%
60	4.3	32.56%	0.4828	80.56%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28.**Prueba de secado a 60°C y 9s de pulsaciones de microondas**

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%
0	10.1	71.29%	2.4828	0.00%
3	9.2	68.48%	2.1724	12.50%
6	8.2	64.63%	1.8276	26.39%
9	7.7	62.34%	1.6552	33.33%
12	6.9	57.97%	1.3793	44.44%
15	6.3	53.97%	1.1724	52.78%
18	5.6	48.21%	0.9310	62.50%
27	4.6	36.96%	0.5862	76.39%
36	4.2	30.95%	0.4483	81.94%
45	4.1	29.27%	0.4138	83.33%
54	3.9	25.64%	0.3448	86.11%
57	3.9	25.64%	0.3448	86.11%
60	3.9	25.64%	0.3448	86.11%

*Fuente: Elaboración propia***Tabla 29.****Prueba de secado a 60°C y 12s de pulsaciones de microondas**

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%
0	10.3	71.29%	2.4828	0.00%
3	9.1	67.50%	2.0770	16.34%
6	7.5	60.57%	1.5360	38.13%
9	6.4	53.79%	1.1640	53.11%
12	5.4	45.23%	0.8259	66.73%
15	4.9	39.64%	0.6568	73.54%
18	4.7	37.08%	0.5892	76.27%
27	4.1	27.87%	0.3863	84.44%
36	3.4	13.02%	0.1496	93.97%
45	3.1	4.60%	0.0482	98.06%
54	3.1	4.60%	0.0482	98.06%
57	3.1	4.60%	0.0482	98.06%
60	3.1	4.60%	0.0482	98.06%

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo las curvas de secado que se muestran a continuación:



Tabla 30.

Data para la velocidad de secado a 60°C con 0s de pulsaciones

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%	X(bs) Valor medio	Rate (g/gss.min)
0	10.1	71.29%	2.4828	0.00%		
3	9.4	69.15%	2.2414	9.72%	2.3621	0.0805
6	8.4	65.48%	1.8966	23.61%	2.0690	0.1149
9	7.8	62.82%	1.6897	31.94%	1.7931	0.0690
12	7.2	59.72%	1.4828	40.28%	1.5862	0.0690
15	6.6	56.06%	1.2759	48.61%	1.3793	0.0690
18	6.0	51.67%	1.0690	56.94%	1.1724	0.0690
27	5.0	42.00%	0.7241	70.83%	0.8966	0.0383
36	4.4	34.09%	0.5172	79.17%	0.6207	0.0230
45	4.2	30.95%	0.4483	81.94%	0.4828	0.0077
54	4.0	27.50%	0.3793	84.72%	0.4138	0.0077
57	4.0	27.50%	0.3793	84.72%	0.3793	0.0000
60	4.0	27.50%	0.3793	84.72%	0.3793	0.0000

Fuente: Elaboración propia

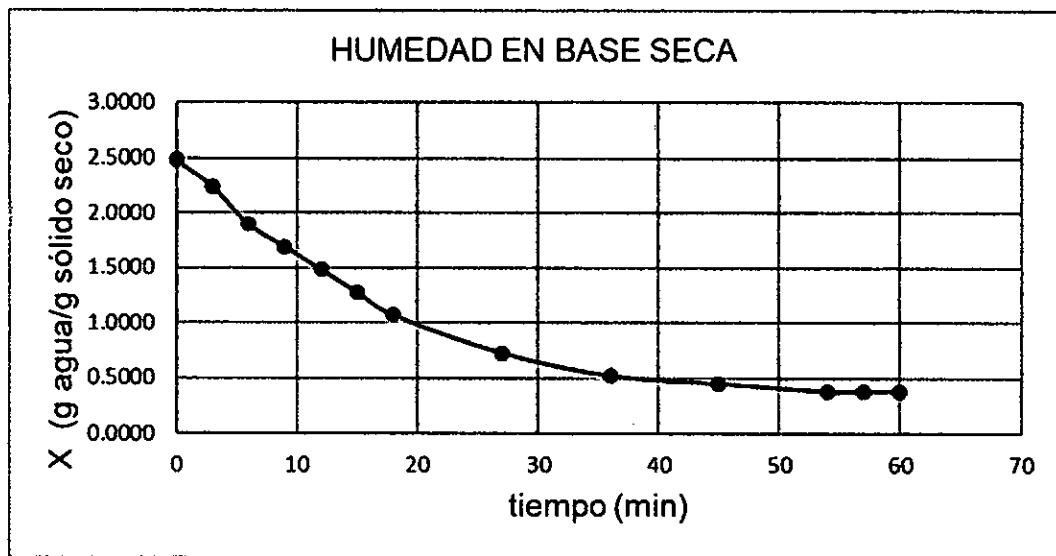


Gráfico 21. Curva de secado a 60°C y 0 s de pulsaciones de microondas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31.

Data para la velocidad de secado a 60°C con 5s de pulsaciones

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%	X(bs) Valor medio	Rate (g/gss.min)
0	10.0	71.29%	2.4828	0.00%		
3	9.1	68.45%	2.1693	12.63%	2.3260	0.1045
6	8.4	65.82%	1.9255	22.44%	2.0474	0.0813
9	7.6	62.22%	1.6469	33.67%	1.7862	0.0929
12	7.0	58.98%	1.4379	42.08%	1.5424	0.0697
15	6.4	55.14%	1.2290	50.50%	1.3334	0.0697
18	6.2	53.69%	1.1593	53.31%	1.1941	0.0232
27	4.8	40.18%	0.6717	72.94%	0.9155	0.0542
36	4.5	36.19%	0.5672	77.15%	0.6195	0.0116
45	4.2	31.64%	0.4628	81.36%	0.5150	0.0116
54	4.1	29.97%	0.4279	82.76%	0.4453	0.0039
57	4.1	29.97%	0.4279	82.76%	0.4279	0.0000
60	4.1	29.97%	0.4279	82.76%	0.4279	0.0000

Fuente: Elaboración propia

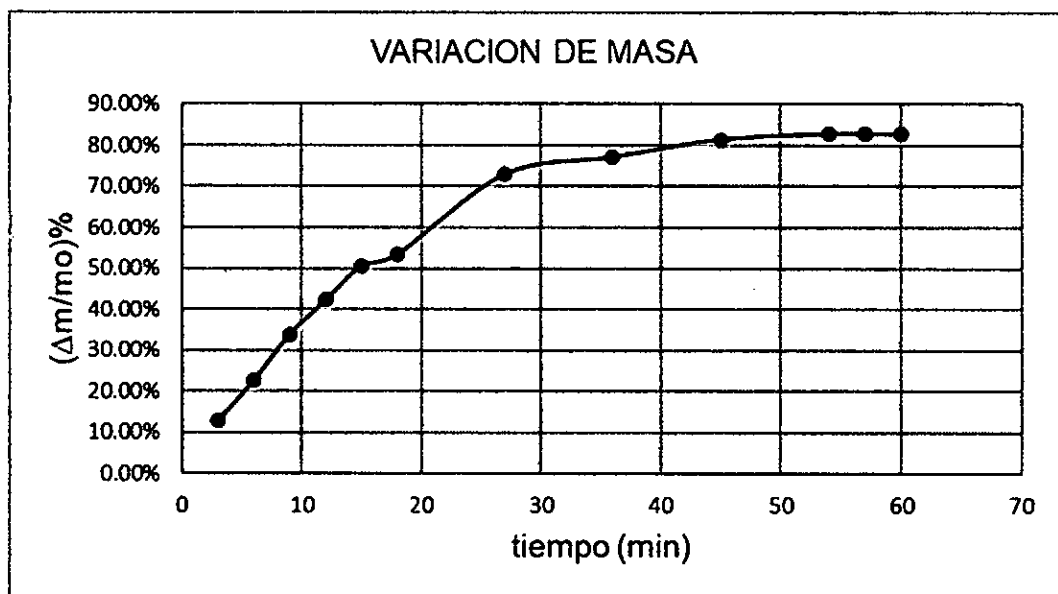


Gráfico 22. Variación de masa a 60°C y 5s de pulsaciones de microondas

Fuente: Elaboración propia

50

Tabla 32.

Data para la velocidad de secado a 60°C con 7s de pulsaciones

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%	X(bs) Valor medio	Rate (g/gss.min)
0	10.1	71.29%	2.4828	0.00%		
3	9.3	68.82%	2.2069	11.11%	2.3448	0.0920
6	8.6	66.28%	1.9655	20.83%	2.0862	0.0805
9	8.0	63.75%	1.7586	29.17%	1.8621	0.0690
12	7.3	60.27%	1.5172	38.89%	1.6379	0.0805
15	6.7	56.72%	1.3103	47.22%	1.4138	0.0690
18	6.2	53.23%	1.1379	54.17%	1.2241	0.0575
27	5.4	46.30%	0.8621	65.28%	1.0000	0.0307
36	4.7	38.30%	0.6207	75.00%	0.7414	0.0268
45	4.4	34.09%	0.5172	79.17%	0.5690	0.0115
54	4.3	32.56%	0.4828	80.56%	0.5000	0.0038
57	4.3	32.56%	0.4828	80.56%	0.4828	0.0000
60	4.3	32.56%	0.4828	80.56%	0.4828	0.0000

Fuente: Elaboración propia

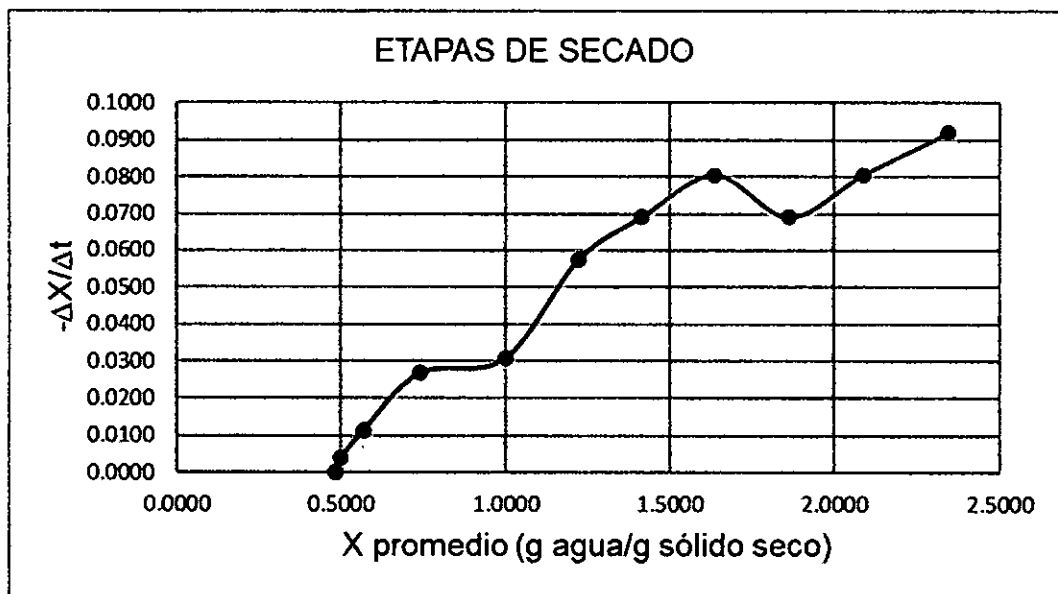


Gráfico 23. Curva de velocidad de secado a 60°C y 7s de pulsaciones de microondas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33.

Data para la velocidad de secado a 60°C con 9s de pulsaciones

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%	X(bs) Valor medio	Rate (g/gss.min)
0	10.1	71.29%	2.4828	0.00%		
3	9.2	68.48%	2.1724	12.50%	2.3276	0.1034
6	8.2	64.63%	1.8276	26.39%	2.0000	0.1149
9	7.7	62.34%	1.6552	33.33%	1.7414	0.0575
12	6.9	57.97%	1.3793	44.44%	1.5172	0.0920
15	6.3	53.97%	1.1724	52.78%	1.2759	0.0690
18	5.6	48.21%	0.9310	62.50%	1.0517	0.0805
27	4.6	36.96%	0.5862	76.39%	0.7586	0.0383
36	4.2	30.95%	0.4483	81.94%	0.5172	0.0153
45	4.1	29.27%	0.4138	83.33%	0.4310	0.0038
54	3.9	25.64%	0.3448	86.11%	0.3793	0.0077
57	3.9	25.64%	0.3448	86.11%	0.3448	0.0000
60	3.9	25.64%	0.3448	86.11%	0.3448	0.0000

Fuente: Elaboración propia

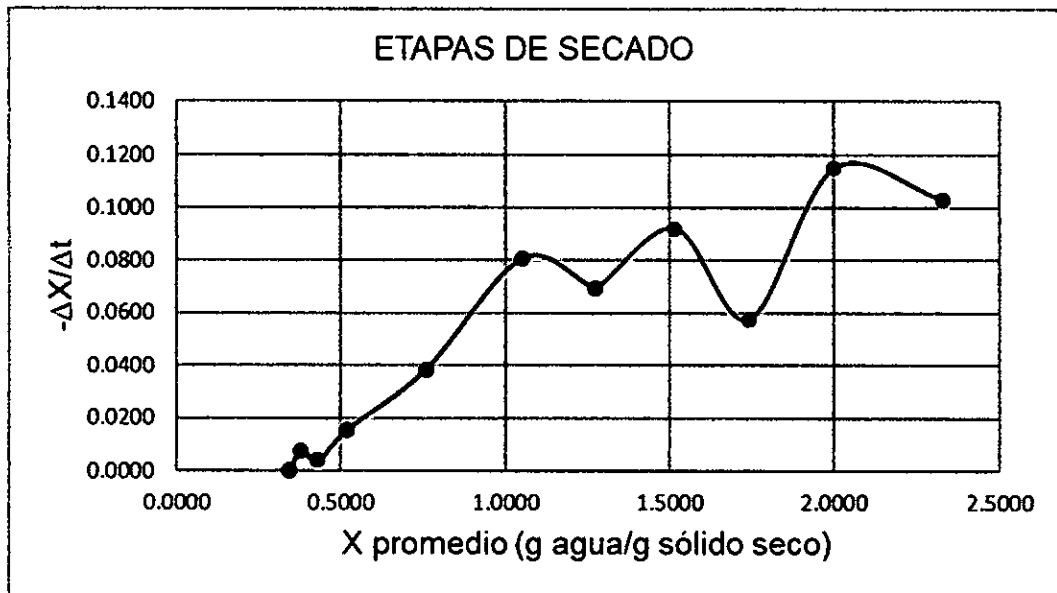


Gráfico 24. Curva de velocidad de secado a 60°C y 9s de pulsaciones de microondas

Fuente: Elaboración propia

23

Tabla 34.

Data para la velocidad de secado a 60°C con 12s de pulsaciones

t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m□)%	X(bs) Valor medio	Rate (g/gss.min)
0	10.3	71.29%	2.4828	0.00%		
3	9.1	67.50%	2.0770	16.34%	2.2799	0.1353
6	7.5	60.57%	1.5360	38.13%	1.8065	0.1803
9	6.4	53.79%	1.1640	53.11%	1.3500	0.1240
12	5.4	45.23%	0.8259	66.73%	0.9950	0.1127
15	4.9	39.64%	0.6568	73.54%	0.7414	0.0564
18	4.7	37.08%	0.5892	76.27%	0.6230	0.0225
27	4.1	27.87%	0.3863	84.44%	0.4878	0.0225
36	3.4	13.02%	0.1496	93.97%	0.2680	0.0263
45	3.1	4.60%	0.0482	98.06%	0.0989	0.0113
54	3.1	4.60%	0.0482	98.06%	0.0482	0.0000
57	3.1	4.60%	0.0482	98.06%	0.0482	0.0000
60	3.1	4.60%	0.0482	98.06%	0.0482	0.0000

Fuente: Elaboración propia

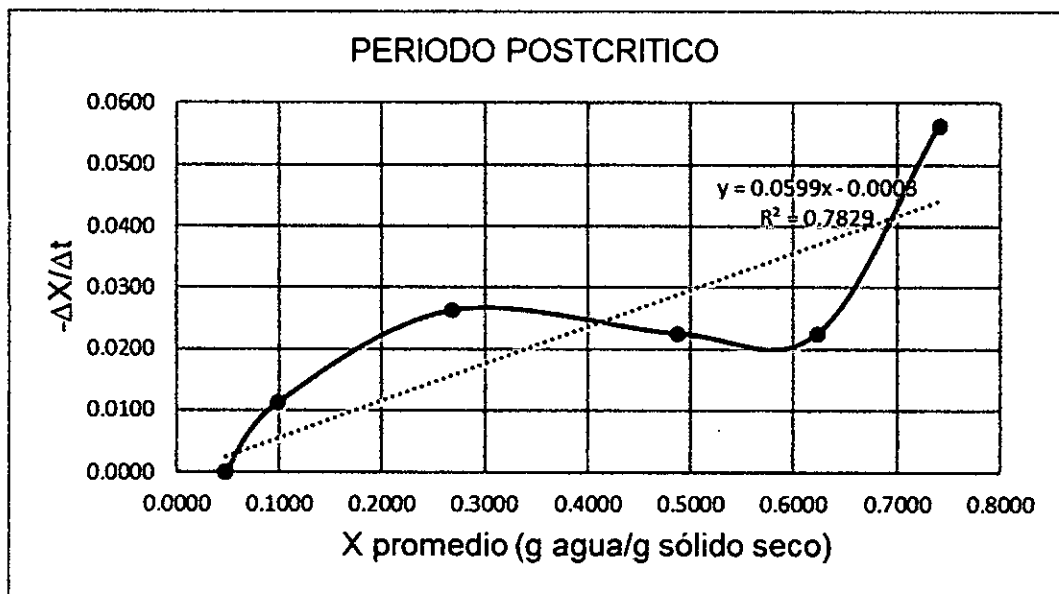


Gráfico 25. Segmento de curva de velocidad de secado a 60°C y 12s de pulsaciones de microondas

Fuente: Elaboración propia

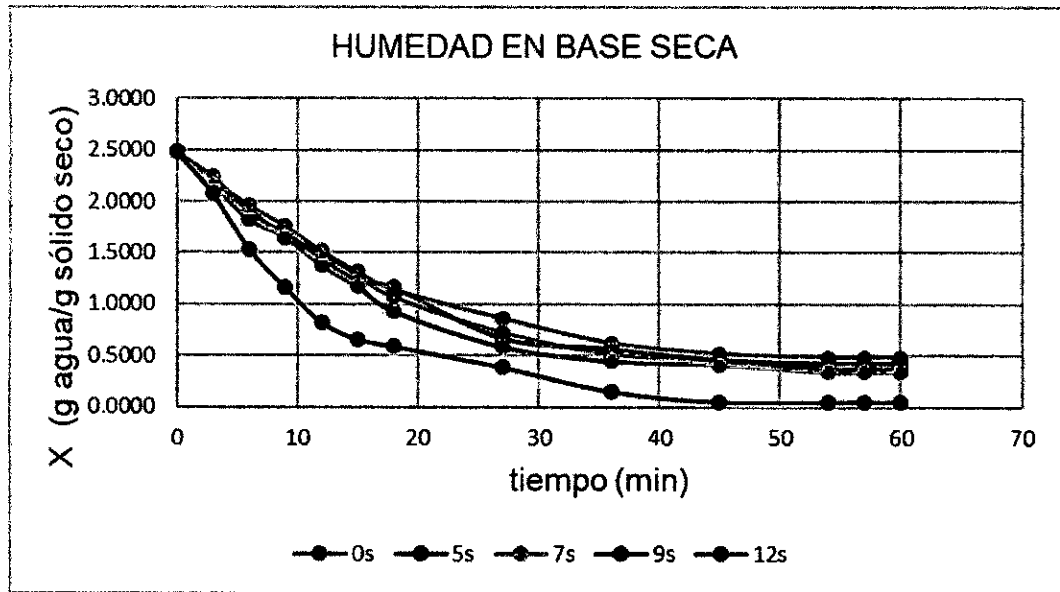


Gráfico 26. Comparativa de curvas de secado a 60°C y diferentes tiempos de pulsaciones de microondas

Fuente: Elaboración propia

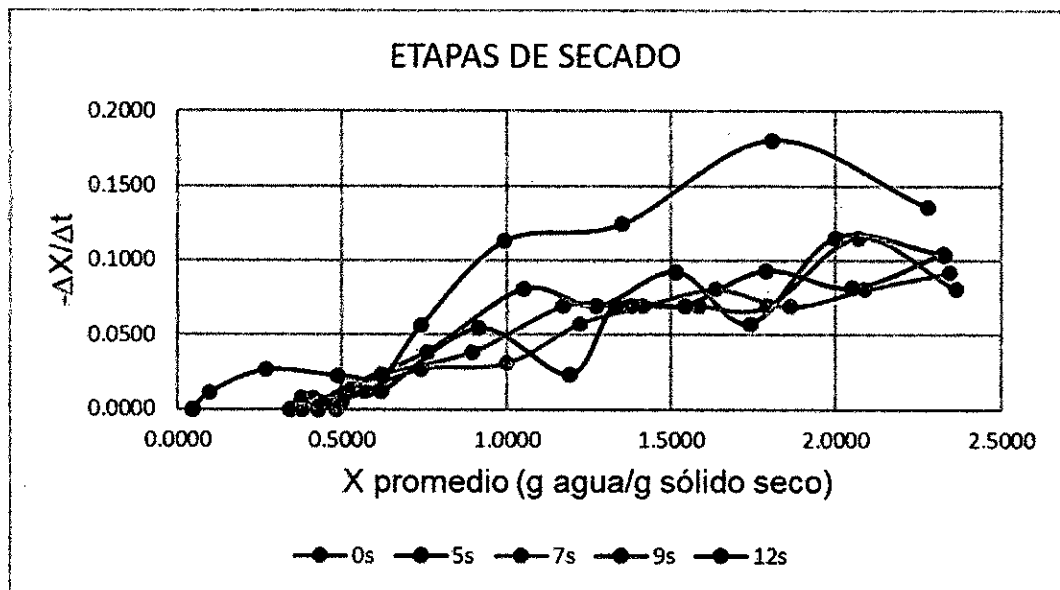


Gráfico 27. Comparativa de curvas de velocidad de secado a 60°C con diferentes tiempos de pulsaciones de microondas

Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Análisis de proteínas totales

Se trabajaron muestras de 0,25 gramos en granos frescos y desamargados, como también de los granos secados y molidos a diferentes temperaturas de aire caliente (50, 55 y 60°C) y diferentes tiempos de pulsaciones de microondas (5, 7, 9 y 12 s), las cuales pasaron por un proceso de ataque, destilación y valorización. Se determinaron las concentraciones de nitrógeno contenido mediante el análisis volumétrico, siguiendo el procedimiento presentado en el apartado metodológico.

Aplicando el método de Kjeldahl, se lograron los resultados de la tabla (...)

Tabla 35.

Data obtenida en el análisis de proteínas totales de muestras de chocho, basados en los parámetros de control del secado.

Numero de pruebas	masa (g) muestra	Gasto (ml) HCl	Proteínas totales (%)
50°C-0s	0,25	26,4	47,41
50°C-5s	0,25	27,5	49,38
50°C-7s	0,25	26,5	47,5
50°C-9s	0,25	27,40	49,20
50°C-12s	0,25	27,00	48,48
55°C-0s	0,25	27,35	49,20
55°C-5s	0,2500	26,4	47,36
55°C-7s	0,25025	27,8	49,87
55°C-9s	0,2500	27,6	49,56
55°C-12s	0,2515	26,5	47,56
60°C-0s	0,2504	27,35	49,03
60°C-5s	0,25075	27,35	48,87
60°C-7s	0,2503	27,45	49,23
60°C-9s	0,25015	27,25	48,91
60°C-12s	0,2500	27,45	49,22

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36.
Humedad en base seca de todas las pruebas

tiempo (min)	X (g agua/g sólido seco)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	2.4828	2.4828	2.4828	2.4828	2.4828	2.4828	2.4828	2.4828	2.4828	2.4828	2.4828	2.4828	2.4828	2.4828	2.4828
3	2.2414	2.239	2.2759	2.2738	2.2759	2.2738	2.2390	1.6291	2.2041	2.2041	2.2414	2.1693	2.2069	2.1724	2.0770
6	2.0000	2.0648	1.9655	2.0300	2.0000	1.9952	1.9952	1.2535	1.9603	1.9603	1.8966	1.9255	1.9655	1.8276	1.5360
9	1.7931	1.7862	1.8276	1.8559	1.7931	1.9255	1.7862	1.0145	1.7514	1.7514	1.6897	1.6469	1.7586	1.6552	1.1640
12	1.5517	1.6121	1.5172	1.6469	1.6552	1.6817	1.6469	0.7414	1.5076	1.5076	1.4828	1.4379	1.5172	1.3793	0.8259
15	1.4138	1.4031	1.4138	1.4379	1.4138	1.5076	1.4728	0.6048	1.3334	1.3334	1.2759	1.2290	1.3103	1.1724	0.6568
18	1.2414	1.2638	1.0690	1.2986	1.2414	1.3334	1.3334	0.5365	1.1593	1.1593	1.0690	1.1593	1.1379	0.9310	0.5892
27	0.8966	0.7762	0.8276	0.9155	0.8621	0.9503	0.9503	0.2166	0.8110	0.8110	0.7241	0.6717	0.8621	0.5862	0.3863
36	0.6552	0.6021	0.7241	0.7414	0.6552	0.7762	0.7762	0.0934	0.6021	0.6021	0.5172	0.5672	0.6207	0.4483	0.1496
45	0.4828	0.4628	0.5862	0.5672	0.5517	0.6369	0.6369	0.0585	0.5324	0.5324	0.4483	0.4628	0.5172	0.4138	0.0482
54	0.3793	0.3931	0.5517	0.4976	0.5172	0.5672	0.6021	0.0243	0.4976	0.4628	0.3793	0.4279	0.4828	0.3448	0.0482
57	0.3793	0.3931	0.5517	0.4976	0.5172	0.5672	0.6021	0.0243	0.4976	0.4628	0.3793	0.4279	0.4828	0.3448	0.0482
60	0.3793	0.3931	0.5517	0.4976	0.5172	0.5672	0.6021	0.0243	0.4976	0.4628	0.3793	0.4279	0.4828	0.3448	0.0482

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37.
Data para el análisis de la terna:
Temperatura , interval de
pulsacione, porcentaje de proteínas.

Temperatura (°C)	Pulsaciones (s)	% Proteínas	Proteínas (g/100g de tarwi)
50	0	0.4741	47.41
50	5	0.4938	49.38
50	7	0.4759	47.59
50	9	0.492	49.2
50	12	0.4848	48.48
55	0	0.492	49.2
55	5	0.4736	47.36
55	7	0.4987	49.87
55	9	0.4956	49.56
55	12	0.4756	47.56
60	0	0.4903	49.03
60	5	0.4897	48.97
60	7	0.4923	49.23
60	9	0.4936	49.36
60	12	0.4891	48.91

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38.

Datos de la superficie respuesta: Proteínas vs temperatura; pulsaciones

Response Surface Regression: Proteínas (g/100 versus Temperatura (°C); Pulsaciones (s)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	2.1109	0.42219	0.48	0.783
Linear	2	1.3410	0.67049	0.76	0.495
Temperatura (°C)	1	1.3296	1.32961	1.51	0.250
Pulsaciones (s)	1	0.0114	0.01137	0.01	0.912
Square	2	0.6269	0.31347	0.36	0.710
Temperatura (°C)*Temperatura (°C)	1	0.0071	0.00705	0.01	0.931
Pulsaciones (s)*Pulsaciones (s)	1	0.6199	0.61989	0.70	0.423
2-Way Interaction	1	0.2743	0.27428	0.31	0.590
Temperatura (°C)*Pulsaciones (s)	1	0.2743	0.27428	0.31	0.590
Error	9	7.9174	0.87971		
Total	14	10.0283			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.937927	21.05%	0.00%	0.00%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		48.916	0.491	99.62	0.000	
Temperatura (°C)	0.737	0.369	0.300	1.23	0.250	1.02
Pulsaciones (s)	0.082	0.041	0.361	0.11	0.912	1.00
Temperatura (°C)*Temperatura (°C)	0.092	0.046	0.514	0.09	0.931	1.00
Pulsaciones (s)*Pulsaciones (s)	-0.911	-0.455	0.543	-0.84	0.423	1.00
Temperatura (°C)*Pulsaciones (s)	-0.493	-0.247	0.442	-0.56	0.590	1.02

Regression Equation in Uncoded Units

$$\begin{aligned} \text{Proteínas (g/100g de tarwi)} = & 47.2 - 0.08 \text{ Temperatura (°C)} + 0.611 \text{ Pulsaciones (s)} \\ & + 0.0018 \text{ Temperatura (°C)*Temperatura (°C)} \\ & - 0.0127 \text{ Pulsaciones (s)*Pulsaciones (s)} \\ & - 0.0082 \text{ Temperatura (°C)*Pulsaciones (s)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Proteínas (g/100g de tarwi)} = & 47.2 - 0.08 \text{ Temperatura (°C)} + 0.611 \text{ Pulsaciones (s)} \\ & + 0.0018 \text{ Temperatura (°C)*Temperatura (°C)} \\ & - 0.0127 \text{ Pulsaciones (s)*Pulsaciones (s)} \\ & - 0.0082 \text{ Temperatura (°C)*Pulsaciones (s)} \end{aligned}$$

Fuente: Elaboración propia

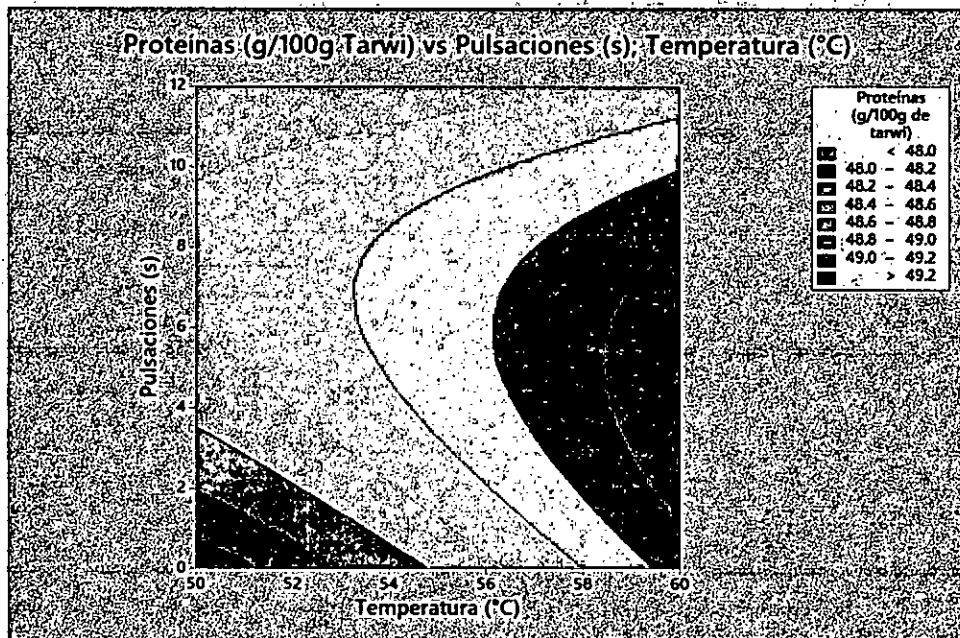
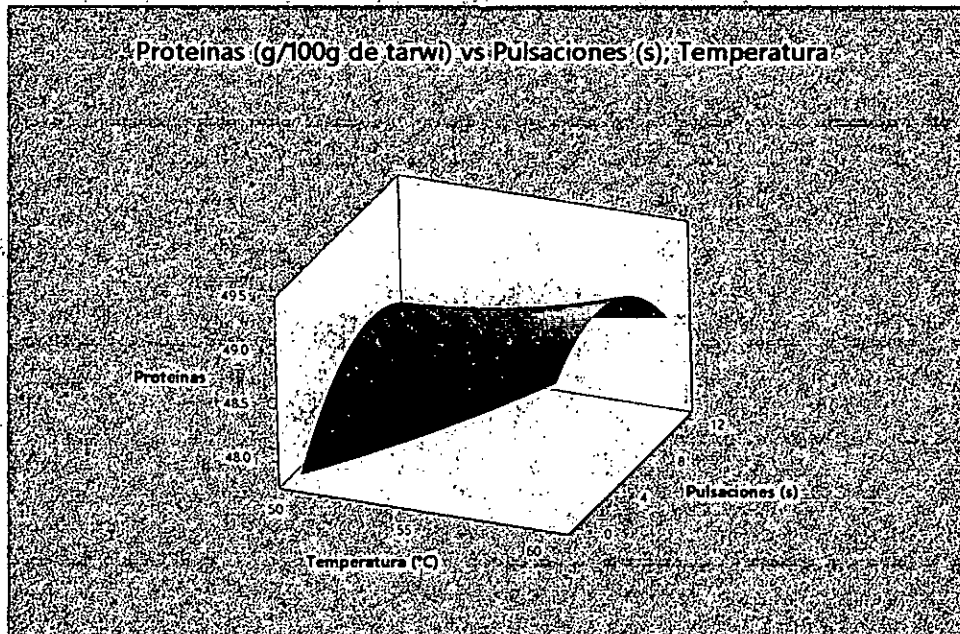


Gráfico 28. Representación de las proteínas como función de la temperature y pulsaciones

Fuente: Elaboración propia

50

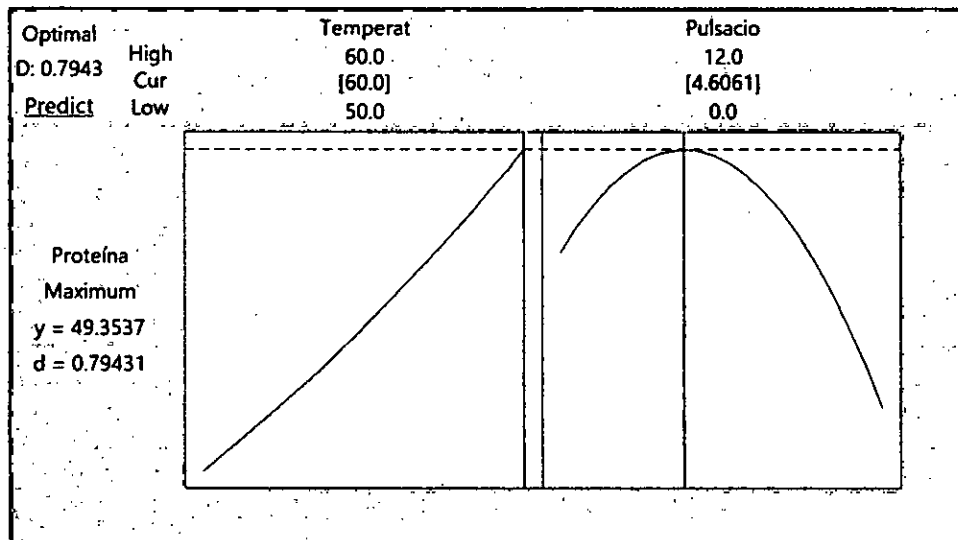


Gráfico 29. Muestra la interpretación de los resultados de optimización (% proteínas como función de la temperature y period de pulsaciones

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39.
Data para el análisis de la terna: Temperatura, interval de pulsaciones y tiempo de secado

Temperatura (°C)	Pulsaciones (s)	Tiempo de secado (min)
50	0	54
50	5	54
50	7	54
50	9	54
50	12	54
55	0	54
55	5	54
55	7	54
55	9	54
55	12	54
60	0	54
60	5	50
60	7	50
60	9	50
60	12	45

Fuente: Elaboración propia

50

Tabla 40. Resultados de la superficie respuesta: Tiempo de secado vs temperaturay pulsaciones

Response Surface Regression: Tiempo de secado (min) versus Temperatura (°C); Pulsaciones (s)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	88.3703	17.6741	14.16	0.000
Linear	2	47.3326	23.6663	18.97	0.001
Temperatura (°C)	1	35.4179	35.4179	28.39	0.000
Pulsaciones (s)	1	11.9147	11.9147	9.55	0.013
Square	2	15.0055	7.5027	6.01	0.022
Temperatura (°C)*Temperatura (°C)	1	14.7000	14.7000	11.78	0.007
Pulsaciones (s)*Pulsaciones (s)	1	0.3055	0.3055	0.24	0.633
2-Way Interaction	1	17.5589	17.5589	14.07	0.005
Temperatura (°C)*Pulsaciones (s)	1	17.5589	17.5589	14.07	0.005
Error	9	11.2297	1.2477		
Total	14	99.6000			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1.11703	88.73%	82.46%	44.75%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		54.280	0.585	92.82	0.000	
Temperatura (°C)	-3.805	-1.903	0.357	-5.33	0.000	1.02
Pulsaciones (s)	-2.660	-1.330	0.430	-3.09	0.013	1.00
Temperatura (°C)*Temperatura (°C)	-4.200	-2.100	0.612	-3.43	0.007	1.00
Pulsaciones (s)*Pulsaciones (s)	-0.639	-0.320	0.646	-0.49	0.633	1.00
Temperatura (°C)*Pulsaciones (s)	-3.946	-1.973	0.526	-3.75	0.005	1.02

Regression Equation in Uncoded Units

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de secado (min)} = & -199.6 + 9.25 \text{ Temperatura (°C)} + 3.502 \text{ Pulsaciones (s)} \\ & - 0.0840 \text{ Temperatura (°C)*Temperatura (°C)} \\ & - 0.0089 \text{ Pulsaciones (s)*Pulsaciones (s)} \\ & - 0.0658 \text{ Temperatura (°C)*Pulsaciones (s)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de secado (min)} = & -199.6 + 9.25 \text{ Temperatura (°C)} + 3.502 \text{ Pulsaciones (s)} \\ & - 0.0840 \text{ Temperatura (°C)*Temperatura (°C)} \\ & - 0.0089 \text{ Pulsaciones (s)*Pulsaciones (s)} \\ & - 0.0658 \text{ Temperatura (°C)*Pulsaciones (s)} \end{aligned}$$

Fuente: Elaboración propia

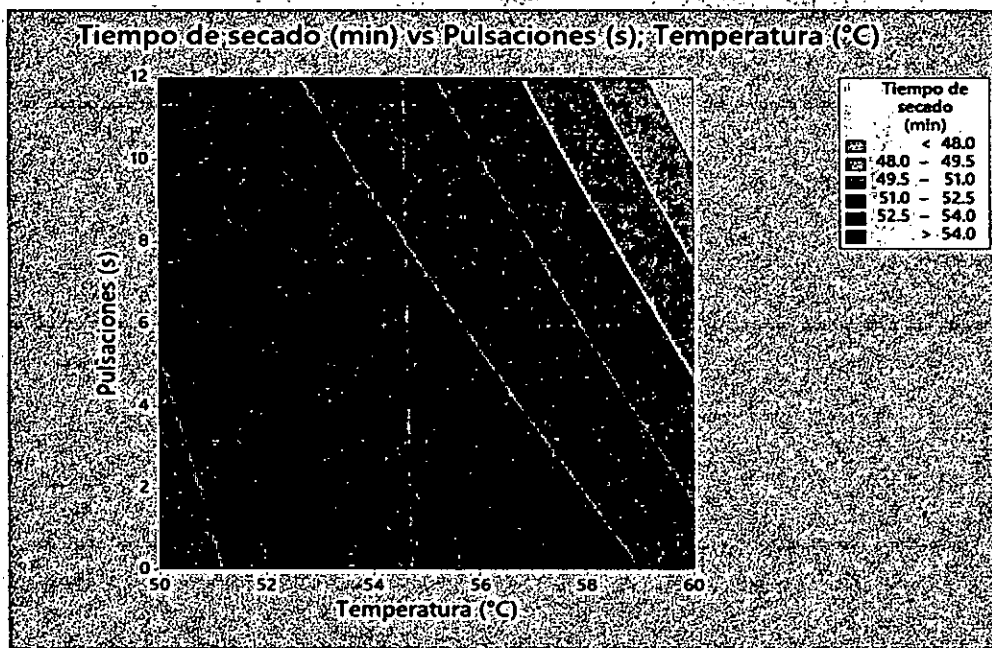
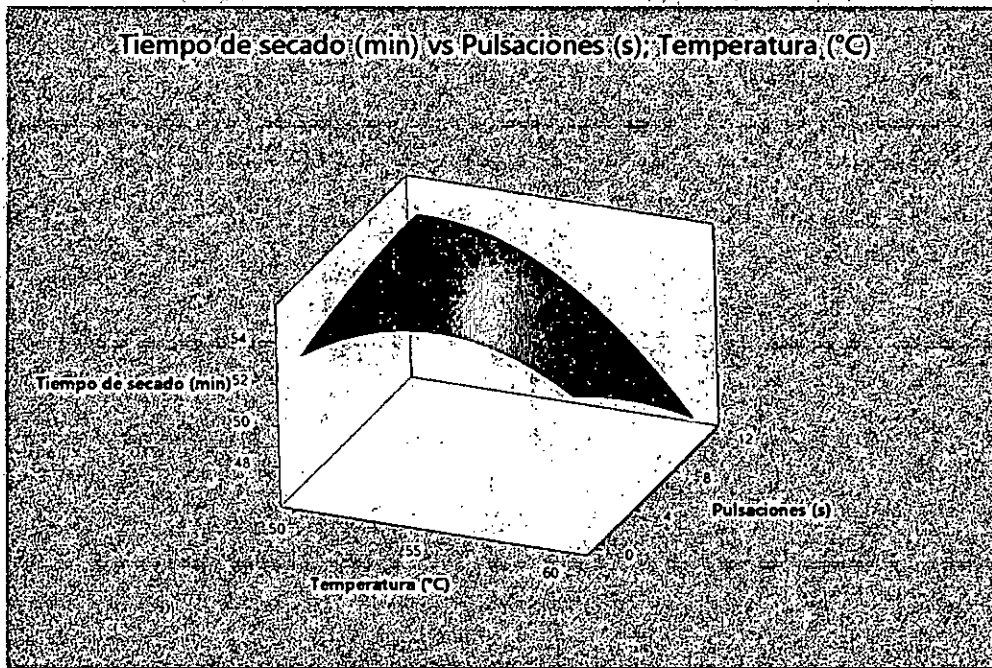


Gráfico 30. Representación del tiempo de secado como función de la temperatura y pulsaciones

Fuente: Elaboración propia

30

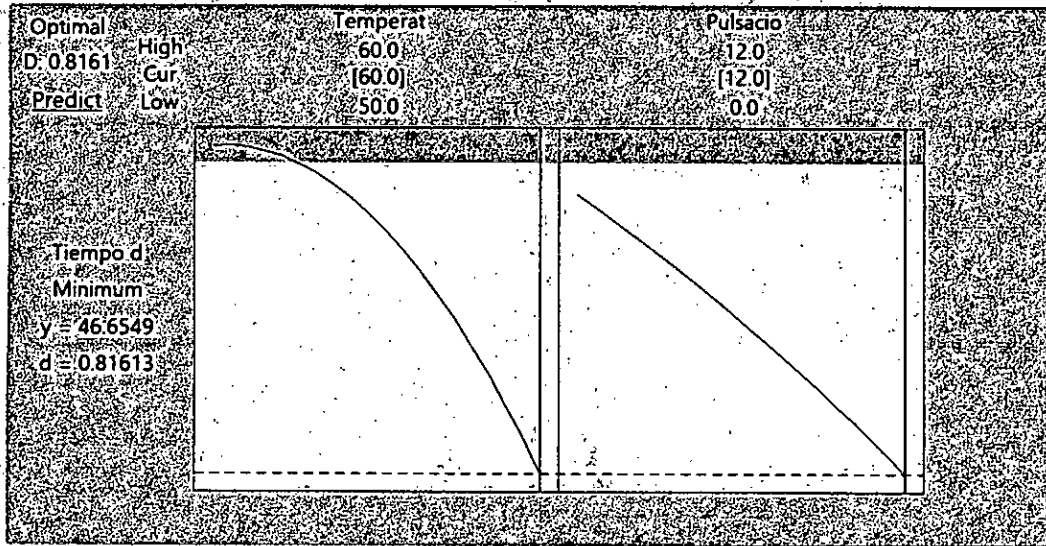


Gráfico 31. Muestra la interpretación de los resultados de optimización del tiempo de secado como función de la temperatura y periodo de pulsaciones

Fuente: Elaboración propia

30

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Caracterización del chocho (*Lupinus mutabilis*)

La humedad inicial del chocho (*Lupinus mutabilis*), desamargado proveniente del Distrito de Ferrer Ancash-Perú fue de 71,29 + 0,5% (base húmeda). Un análisis fisicoquímico indica que este grano desamargado reportó un 51,68 (g/100 gramos de muestra seca) de proteínas totales, el cual sufre una degradación leve a medida que se incrementa la temperatura a través del método combinado aire caliente – microondas.

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 41.
Pruebas de secado

Temperatura (°C)	Pulsaciones (s)	Tiempo de secado (min)
50	0	54
50	5	54
50	7	54
50	9	54
50	12	54
55	0	54
55	5	54
55	7	54
55	9	54
55	12	54
60	0	54
60	5	50
60	7	50
60	9	50
60	12	45

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro anterior y de los gráficos 8;15 y 22 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 los gráficos 31 y 32 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 del grado proteico en las muestras

Sabiendo que la degradación del grado proteico es un punto clave en la optimización de condiciones del secado del grano, se obtuvo el siguiente cuadro de resultados:

Tabla 42.
Análisis del grado proteico en las muestras

Temperatura (°C)	Pulsaciones (s)	% Proteínas	Proteínas (g/100g de tarwi)
50	0	0.4741	47.41
50	5	0.4938	49.38
50	7	0.4759	47.59
50	9	0.492	49.2
50	12	0.4848	48.48
55	0	0.492	49.2
55	5	0.4736	47.36
55	7	0.4987	49.87
55	9	0.4956	49.56
55	12	0.4756	47.56
60	0	0.4903	49.03
60	5	0.4897	48.97
60	7	0.4923	49.23
60	9	0.4936	49.36
60	12	0.4891	48.91

Fuente: Elaboración propia

También se verifica una disminución lenta de la degradación de proteínas en el chocho 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.

6.4 Cinética del secado

En los gráficos 31 y 32 se muestra la evolución de la variación porcentual de la humedad en base seca en función del tiempo, tanto para el grano desamargado 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 71,29 + 0,5% en $t= 0$ horas hasta 19,58% (b.h) en 46,6548 minutos empleando la técnica del proceso combinado.

6.5 Analisis estadístico

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 de proteínas en el grano de chocho.

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 de proteínas.

➤ **Función de la máxima retención de proteínas:**

$$\begin{aligned} \text{Proteínas (g/100g de tarwi)} = & 47.2 - 0.08 \text{ Temperatura (°C)} + 0.611 \text{ Pulsaciones (s)} \\ & + 0.0018 \text{ Temperatura (°C)Tempera (°C)} \\ & - 0.0127 \text{ Pulsaciones (s)*Pulsacs)} \\ & - 0.0082 \text{ Temperatura (°C)us)} \end{aligned}$$

Para determinar los parámetros de la ecuación de la máxima retención de las proteínas 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.

➤ **Función del tiempo de secado:**

Tiempo de secado (h) =

5.64 + 0.003 Temperatura (°C) - 0.303 Pulsaciones (s)

- 0.00030 Temperatura (°C)*Temperatura (°C)

+ 0.00732 Pulsaciones (s)*Pulsaciones (s)

+ 0.00037 Temperatura (°C)*Pulsaciones (s)

Para evaluar el tiempo de secado se elige una terna referencial de tres temperaturas (50,55 y 60 °C) acordes con la mayor retención de sus proteínas que es una de las principales valías de este grano, encontrando que a la temperatura de 60°C el sistema tradicional demoró 54 minutos, mientras que en el método combinado aire caliente-microondas se empleó 45 minutos lográndose evidenciar una variación mínima de tiempo.

En las figuras 8,13,15,20,22, y27 se observa la influencia de la temperatura en la velocidad de secado para el chocho (*Lupinus mutabilis*), 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 las condiciones óptimas de trabajo son las siguientes:

Tabla 43.
Optimización de variables

	Temperatura (°C)	Pulsaciones (s)
Para mínimo tiempo de secado	60	12
Para máxima cantidad de proteínas	60	4,6061

Fuente: Elaboración propia

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

Temperatura	60 ° C
Intervalo de pulsaciones en microondas	4,6061 s

VII. CONCLUSIONES

1. El tiempo involucrado en el proceso de secado del chocho (*Lupinus mutabilis*), empleando la técnica del proceso combinado aire caliente-microondas fue sólo un 17% 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 (g proteínas /100 g de grano fresco), temperatura y tiempo, envueltas en el desarrollo de superficie respuesta resultaron tener efectos significativos en el proceso incluyendo la interacción (g de proteínas/100 g de grano fresco) temperatura según lo arrojado en el análisis de varianza. La máxima cantidad de retención de proteínas en el lupinus andino fue de 95,50065% correspondiente a un valor inicial presente del fruto fresco. Estos parámetros fueron de 60 °C con intervalos de pulsaciones en el tiempo aproximado de 5 segundos.
3. Se verificó el incremento lento de la velocidad de difusión del agua contenida en el chocho (*Lupinus mutabilis*) mediante la técnica del proceso combinado aire caliente-microondas, verificando que el uso de microondas es un aporte a este incremento lento de velocidad, en comparación con el método tradicional.
4. Se construyó un equipo provisto de un sistema combinado aire caliente - microondas (figura 7) que ayudó a hacer las pruebas experimentales con el chocho (*Lupinus mutabilis*)
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 grano de chocho desamargado en mucho tiempo, permitiendo así retener la máxima cantidad de las proteínas, al emplear esta técnica del método combinado.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Realizar la experimentación en las condiciones de temperatura y nivel de 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 granos tan pronto haya cumplido el periodo del desamargado, a fin de evitar que se honguee.
3. Experimentar bajo otras condiciones de trabajo, para tener más puntos al momento de hacer la optimización de variables.
4. Para obtener mayor precisión y ahorro de tiempo realizar el análisis de proteínas mediante métodos colorimétricos de valoración cuantitativa.



IX. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Abril, J.; Gómez, A.; López, R.; Casp, A.. (2011). *Simulación de tratamientos térmicos aplicados a alimentos envasados En barquetas plásticas*. (Vol. 1). Universidad Pública de Navarra.
- Acuña, O.; Caiza, J. (2010). Obtención de hidrolizado enzimático de proteína de chocho (*lupinus mutabilis*) a partir de harina integral. *Revista politécnica*, 29(1).
- Amparo, I.; Vegas, R.; Vegas, C.. . (01 de 01 de 2001). Efecto de la temperatura sobre la cinética de secado y el color de la pasta desgrasada de las semillas de *Lupinus mutabilis* variedad criolla. .
- Ángeles, C. . (2012). Informe Final. Callao: Instituto de Investigación de Ingeniería Química - UNAC.
- Antúnez de Mayolo, S. . (1982). *Tarwi in Ancient Perú. En: Proceedings of the First International Lupine workshop*. Lima - Cusco, Perú.
- Apunte, G.; León, G.; Cornejo, F. (2010). Utilización de la harina de chocho en la elaboración de pan . *Facultad de ingeniería mecánica y ciencias de la producción*.
- Bacigalupo, A.; Tapia, E. (2005). Agroindustria del Tarwi. Santiago de Chile: FAO.
- Bazán , J. . (2009). *Diseño de Sistema Concentrador Solar Cilíndrico-Parabólico para proceso de deshidratación de alimentos*. Piura: Universidad de Piura – Área de Ingeniería Mecánico-Eléctrica.
- Blanco, O. (1982). *Genetic variability of the tarwi, Lupinus mutabilis Sweet. En: Agricultural and Nutritional Aspects of Lupines. Proceeding of the First International Lupine Workshop*. Alemania: R. Gross and E.S. Bunting. Eschborn.
- Bravo, K.; Sepulveda, S.; Lara, O.; Navas, A.; Osorio, E. (2015). Influence of cultivar and ripening time on bioactive compounds and antioxidant properties in Cape gooseberry . *Physalis peruviana L.*
- Caicedo, C.; Peralta, E.;. (2000). El Chocho. Proteína Vegetal y Potencial Económico. *Folleto*. Perú.

- 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.
- Clarke, P. (22-25 de Agosto de 2004). Refractance window TM - “Down under”. Drying – Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004). B, 813-820.
- Contreras, C. (s.f.). Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de la manzana y fresa deshidratadas. . [10.4555/thesis/10251/1932](https://doi.org/10.4555/thesis/10251/1932).
- Coronado, M.; Hilario, R. (2001). *Procesamiento de Alimentos para pequeñas y microempresas agroindustriales*. Lima - Perú: CIED.
- Dávila, J. (1987). Lupino como alimento humano: Proteína y aceite. Evento de información y difusión de resultados de investigación sobre chocho y capacitación en nuevas técnicas de laboratorio. 1-5, 20. Ambato: ED. CONACYT/EPN/IIT.
- Dong, X.; Mujumdar, A. . (2008). *Drying technologies in food processing*. Reino Unido: Blackwell Publishing.
- Edumedia. (05 de febrero de 2017). *Conducción Térmica*. Obtenido de : <https://www.edumedia-sciences.com/es/media/99-conduccion-termica>
- FAO. (1993). *Procesamiento de frutas y hortalizas mediante métodos artesanales y de pequeña escala*. Santiago de Chile.
- Fito, P., Chiralt, A., Barat, J.M.M., Andrés, A., Martínez, M.J.; Martínez, N.N. (2001). Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, 297-302.
- Gamboa, D.; Ibañez, D.; Melendez, M.; Paredes, E.; Siche, R. (2014). Secado de lúcuma (*Pouteria abovata*) empleando la técnica de la Ventana Refractante. *Scientia Agropecuaria*, 5(2).
- Gori, L., Crozza, D. & Pagano, A. . (2010). Desarrollo de la ingeniería de proceso para la Deshidratación de frutas (Ciruelas president). . *Parte 1: Estudio experimental del proceso combinado de osmósis y secado por aire*. . Buenos Aires, Argentina: Facultad de Ingeniería y Programa Institucional ALIMENTOS - UNICEN.

- Gross, R. . (1982). El cultivo y la utilización del tarwi. *Estudio FAO. Producción y Protección Vegetal*. Roma, Italia.
- Gross, R. (1982). Situación actual de la investigación alimentaria del lupino. Proyecto Lupino,. *Proyecto Lupino*, 8, 142-167. Lima, Perú: Instituto Nacional de Nutrición.
- Hernández, J.; Quinto, P. (2005). Secado de medios porosos: una revisión a las teorías actualmente en uso científica. *Científica*, 9(2), 63-71.
- Huaranga, E.; Matos, A. (2011). Importancia de los parámetros reológicos de la pulpa de Capulí (*Physalis peruviana* L.) a diferentes Temperaturas de Procesamiento. *Congreso Nacional De Investigación – Iasd*, 1, 1-6.
- Ibañez, D.; Gamboa, D.; Melendez, M., Pareeds, E., Siche, R. (s.f.). *Secado de la lucma (Pouteria Obovad) empleando la técnica de ventana refractante Th*. Obtenido de 10.17268/sci.asnpecer.2014.02.05,2306-6741
- INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS. (2011). Deshidratación: secado y liofilización. México: Instituto Tecnológico Superior de Calkiní.
- Izli, N.; Yildiz, G.; Unal, H.; Isik E.; Uylaser, V. (2014). Effect of different drying methods on drying characteristics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity of Goldenberry. *Physalis peruviana* L., 49, 9-17. International Journal of Food Science and Technology.
- Jacobsen, S.; Mujica, A. (2006). El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres. 458-482. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés.
- Jarrín, P. . (2003). Tratamiento del agua de desamargado del chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) proveniente de la planta piloto de la estación Santa Catalina. INIAP. *Tesis doctoral en Bioquímica y Farmacia*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias.
- Jun, K.; Li, L.; Hua, X.; Hui, Z.; Quan, B.; Zhang, Y.; Lian, X. (2016). Antioxidant Components From Cape Gooseberry. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40, 893-898.
- Keeler, R.F.; Gross. R. (1979). El contenido total de alcaloides y de anagirina de algunas selecciones amargas y dulces de *Lupinus* utilizadas como alimentos. *Proyecto Lupino*, 4, 91-108. Lima, Perú: Instituto de Nutrición.



- Kudra, T.; Mujumdar, A.S. (2009). *Advanced drying technologies*. . Florida, USA: CRC Press.
- León, J. (1964). *Plantas alimenticias andinas. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas*, . Lima, Perú: Boletín Técnico N° 6.
- Mahecha, J. . (2011). Determinación de los parámetros para la simulación matemática del proceso de deshidratación de la Uchuva (*Physalis Peruviana L.*). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Marcotte; Tamguay. (21-23 de Agosto de 2005). Design and scaling -up a continuous osmotic dehydration contractor for small fruits. *Processing of 3rd Inter-American Drying conference*, , 1-4. Montral, Canada.
- Maskan, M. (2001). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Science*, 48, 177-182.
- Mendoza, A.; Espinoza, H.; Lara, E.; Martínez, C.,. (2011). Modelación matemática del proceso de secado empleando flujo del aire revertido. *Ciencia y mar*, 15(43).
- Moreno, M.; Fabián, L. (2008). Determinación de los Parámetros para la Simulación Matemática del Secado de Almidón de Yuca. 176. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Mujica, A.; Sven, E. (2006). *El tarwi (Lupinus mutabilis Sweet) y sus parientes silvestre*. Puno - Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Ninaquispe, Siche. (2013). Secado del tarwi (*Lupinus mutabilis*) por métodos combinados: deshidratación osmótica y microondas con aire caliente. *Agroindustrial Science*, 3(2). doi:ISSN226-2989
- Nindo, C.I.; Feng, H.; Shen, G.Q.; Tang, J.; Kang, D.H.,. (2003). Energy utilization and microbial reduction in a new film drying system. *Journal of Food Processing and Preservation*. 27(2), 117–136.
- Nindo, C.T.; Tang, J. (2007). Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. *Drying Technology*, 25(1), 37-48.
- Ortega, D.; Rodríguez, A.; ZamoraBurbano, A. . (2009). Caracterización de semillas de lupino (*Lupinus mutabilis*) sembrado en los Andes de Colombia. . Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Páez, A. (2010). *Bebidas fermentadas*. Cali: Universidad del Valle.

- Prieto, J.; Prieto, F.; Román, A.; Otazo, E.; Méndez, M. (2012). *Correlación de modelos matemáticos de adsorción de humedad en cereales para desayuno*. Obtenido de file:///C:/Users/Paola/Downloads/Dialnet-CorrelacionDeModelosMatematicosDeAdsorcionDeHumeda-3877532.pdf
- Rabbie, M.; Soliman, A.; Diaconeasa, Z.; Constantin, B. (2014). Effect of pasteurization and shelf life on the physicochemical properties of *Physalis* (*Physalis Peruviana* L.) juice .
- Rastogi, N.; Raghavarao, S.; Niranjana, K.; Knorr, D. (2002). Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science & Technology*, 48-59.
- Sebastian, R.; Ferreyra, R.; Antonio R. (2009). Parámetros de Transferencia de Materia en el Secado de Frutas. *Scielo*, 20(2). doi:ISSN 0718-0764
- Socorro, A., Hernández, E., Calderón, S., Penichet, H.,. (2007). Modelo para curvas isotérmicas de humedad de equilibrio en semillas de interés agrícola. *Club física*, 24(2), 138-143.
- Tapia M.E. . (1982). El proceso agroindustrial del tarwi. *II Conferencia internacional del Lupino*. Torremolinos, España.
- Tapia, M. (2015). *El Tarwi Lupino Andino*. Perú: Fondo Ítalo Peruano.
- Valencia, R. . (2016). Diseño de un secador a escala banco para la producción de harina de sangre de pollo. Lima: Universidad Nacional del Callao.
- Vanaclocha, A. C. . (2003). Procesos de conservación de alimentos. Madrid: Ed. MundiPrensa.
- Vega, A.; Puente, L.; Lemus, R.; Miranda, M.; 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.
- Vega, A.; Puente L.; Lemus, R.; Miranda, M.; Torres, M. (2012). Mathematical modeling of thin-layer drying kinetics of Cape gooseberry . *Physalis Peruviana* L.
- Viveros, G. . (2016). *Industrialización del chocho (Lupinus muabilis) en la elaboración de hojuelas confitadas*. Ecuador: Universidad Politécnica Estatal del Carchi.

ANEXOS



A1. MATRIZ DE CONSISTENCIA:

TEMA: EFECTO DE LA TRANSFERENCIA DE MASA EN EL SECADO DE LAS SEMILLAS DE CHOCHO (*Lupinus mutabilis*) ANCASHINO, EMPLEANDO LA TÉCNICA DEL MÉTODO COMBINADO, A FIN DE SER REVALORADO E INDUSTRIALIZADO EN FORMA DE HOJUELAS NUTRITIVAS “

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEP.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cómo optimizar la velocidad de difusión durante el proceso de secado del chocho (<i>Lupinus mutabilis</i>), a fin de lograr la máxima retención de proteínas, empleando la técnica del proceso combinado de aire caliente – microondas?	Lograr la máxima retención de proteínas contenido en este fruto, incrementando la velocidad de difusión del agua durante el proceso de secado del chocho (<i>Lupinus mutabilis</i>), empleando la técnica del proceso combinado aire caliente-microondas.	La máxima retención de proteínas contenido en el chocho (<i>Lupinus mutabilis</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 chocho (<i>Lupinus mutabilis</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 chocho (<i>Lupinus mutabilis</i>)?	a Construir un equipo para el secado del chocho (<i>Lupinus mutabilis</i>) provisto de un sistema combinado aire caliente-microondas.	a. Empleando este nuevo equipo de secado de sistema combinado aire caliente-microondas para secar chocho (<i>Lupinus mutabilis</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 chocho (<i>Lupinus mutabilis</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 chocho (<i>Lupinus mutabilis</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 chocho (<i>Lupinus mutabilis</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 chocho (<i>Lupinus mutabilis</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 chocho (<i>Lupinus mutabilis</i>)	c. La función matemática que modela el secado del chocho (<i>Lupinus mutabilis</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 chocho (<i>Lupinus mutabilis</i>)	Estructura matemática	Y=f(x ₁ ,x ₂ ,x ₃)	- Análisis del ácido ascórbico usando el método la titulación con un agente que se oxida como el tinte 2,6-diclorofenol-indofenol (DCPIP). o de

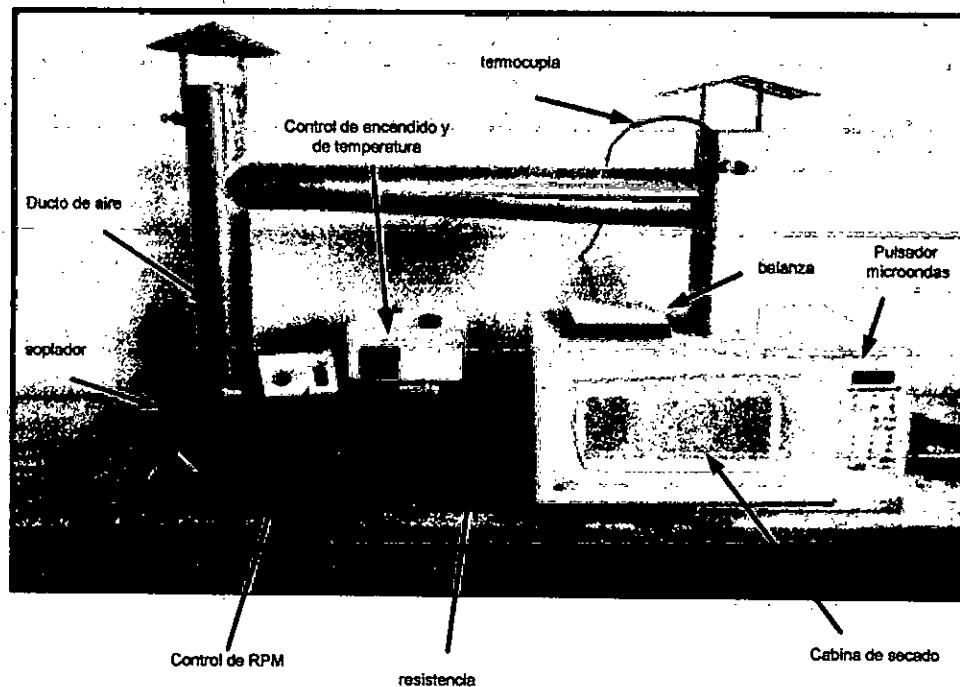
50

A2. 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 Nº 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

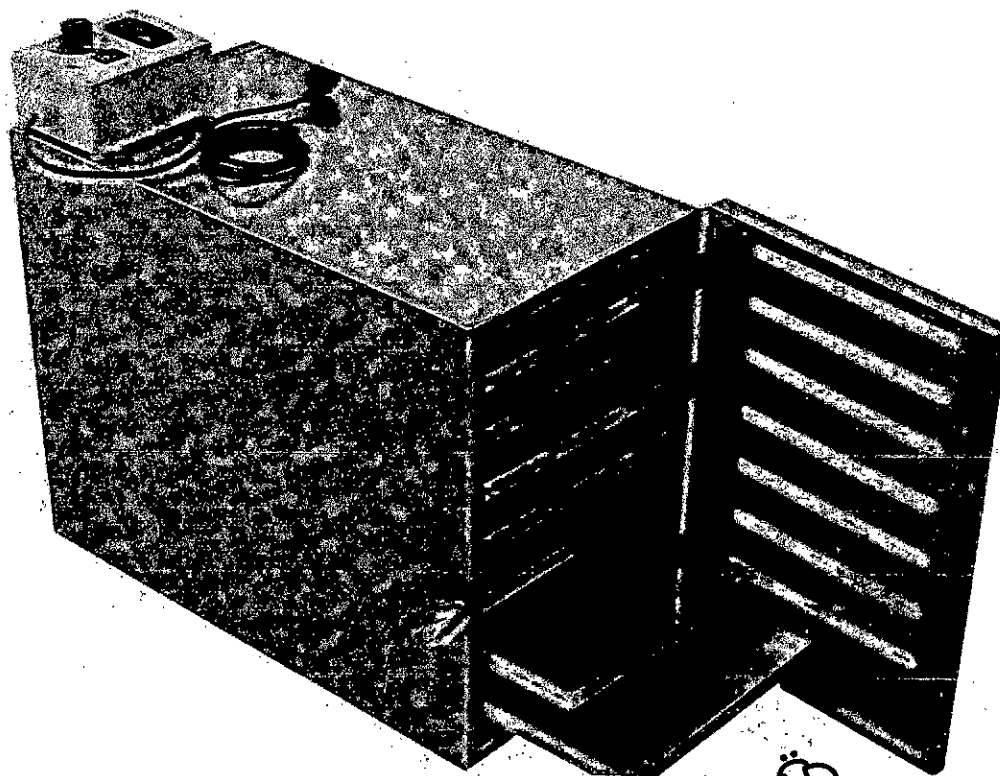
EQUIPO DE SECADO EXPERIMENTAL USANDO AIRE CALIENTE Y MICROONDAS



Fuente: Elaboración propia

30

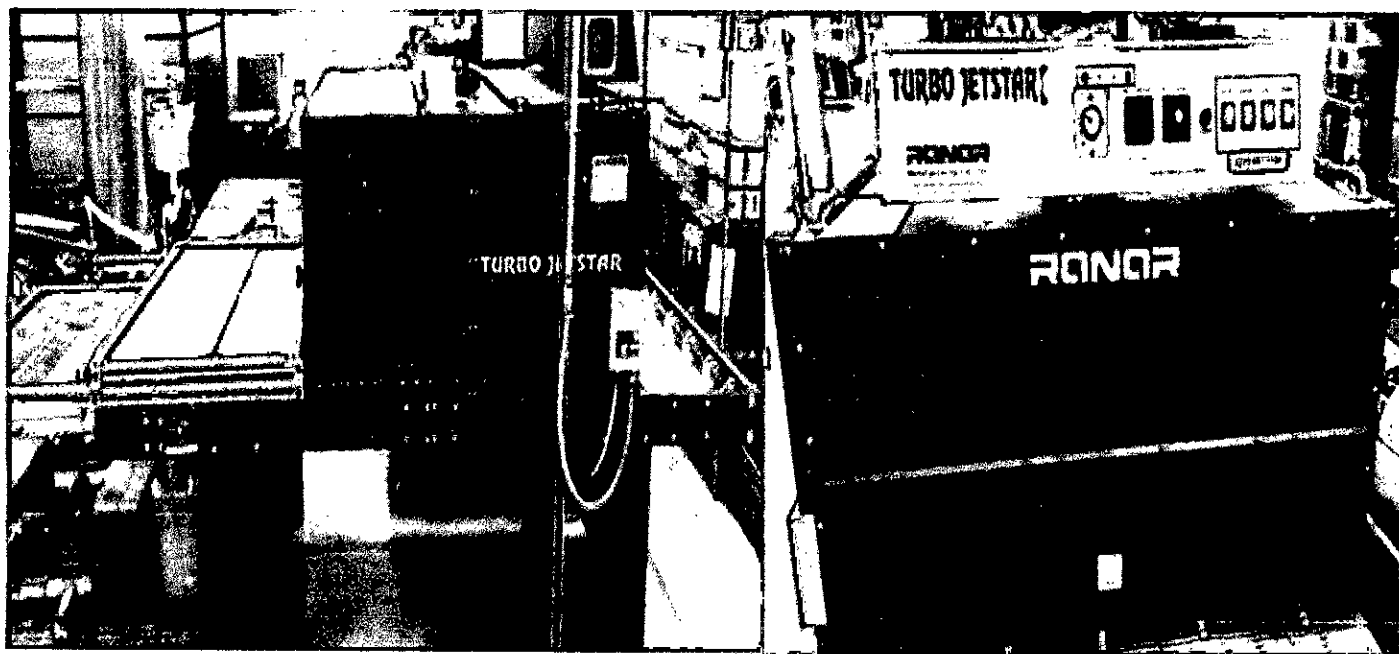
A3. SECADOR DE BANDEJAS CON AIRE CALIENTE



Modèle	Code	Puissance		Tension	Capacité	Dimensions	
		(W)	(V)			(mm)	
Séchoir	RM-SP1	1.200	1×230	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
à pollen	RM-SP3	6.000	1×230	1×230	13 plateaux	900 x 500	1.080 x 550 x 790

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

A4. SECADOR SOLO DE MICROONDAS



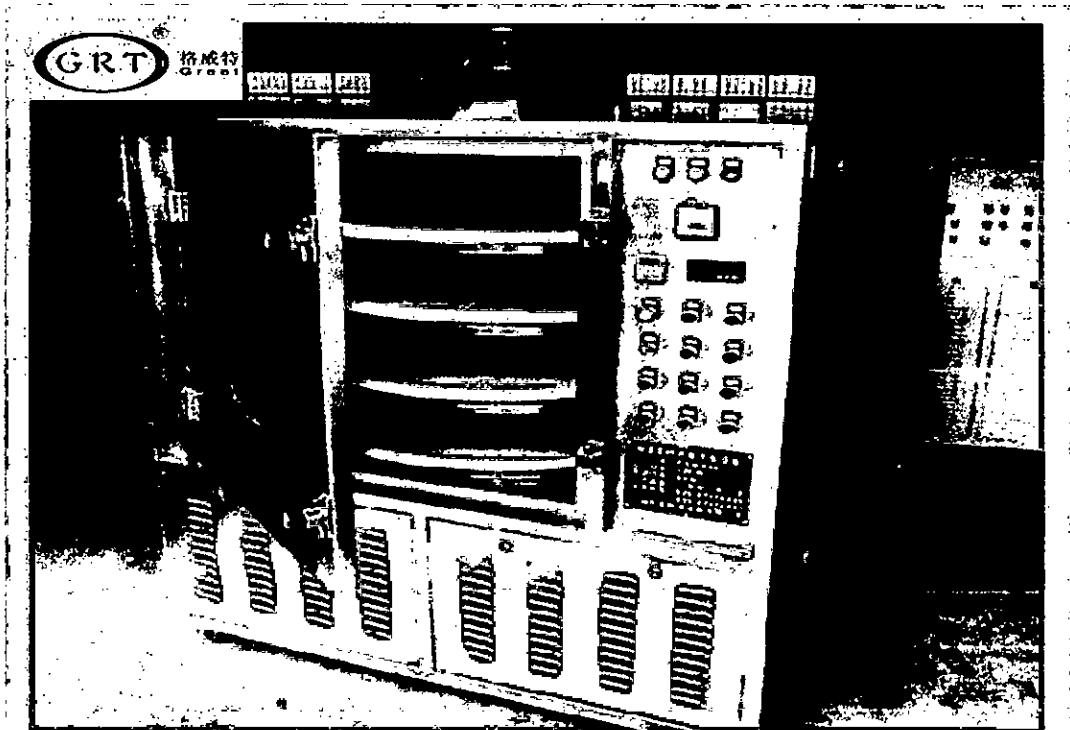
Especificaciones del equipo

	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/

59

A5 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:	vacío máquina de secado por microondas	garantía:	un año	material del cuerpo:	de acero inoxidable
método de calefacción:	microondas	diimension:	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>