

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA QUÍMICA



INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

**CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN DEL AJO (*Allium sativum*), BUSCANDO LA
MÁXIMA RETENCIÓN DE ALICINA A FIN DE SER ENCAPSULADO,
EMPLEANDO LA TÉCNICA COMBINADA AIRE CALIENTE-MICROONDAS.**

AUTOR:

LEONARDO RUFINO, CARLOS PEREYRA

PERIODO DE EJECUCIÓN: Del 01 de febrero de 2022 al 31 de enero de 2023

(Resolución de aprobación N° 150-2022-R)

Callao, 2023

PERÚ

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized, cursive letter 'P' with a long, sweeping tail that curves downwards and to the right.

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



AGRADECIMIENTO

Quiero dar las gracias a todas las personas que de una u otra forma han hecho posible la realización de este trabajo.

De forma especial a la empresa TECNIGAL SRLtda, por permitirnos el ingreso de nuestro equipo de secado a vuestro laboratorio a fin de recoger la data de este proceso de deshidratación del ajo.

A la Universidad Nacional del Callao, quien a través del fondo especial de desarrollo Universitario (FEDU) por brindarme el apoyo económico para desarrollar este proyecto, compartiendo experiencias y estrategias con otros colegas dedicados a este campo del deshidratado preservando la máxima cantidad de alicina en el ajo macho.

Vaya mi reconocimiento especial a mi querido profesor QF. Walter Tapia Chacaltana y a nuestra egresada Carmen Huaraca Santivañes, por participar en la obtención de la data para este trabajo de investigación. Así mismo a los directivos y al personal técnico del laboratorio de Operaciones Unitarias e Investigación de la FIQ-UNAC

A todos mis familiares expreso mis más cálidas palabras de gratitud por comprenderme y por unirse a mi causa como un solo puño, el reconocimiento especial a mi esposa Nice y a mis hijos Loit y Samir por brindarme el apoyo moral y la energía radiante a fin de concluir con este aporte orientado a preservar la salud del ser humano elevando su inmunología.



INDICE

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
INDICE DE TABLAS	1
INDICE DE FIGURAS.....	1
RESUMEN	5
ABSTRACT.....	6
INTRODUCCIÓN	7
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.2. Formulación del problema	10
1.2.1. Problema general	10
1.2.2. Problemas específicos.....	10
1.3 Objetivos.....	11
1.3.1. Objetivo general.....	11
1.3.2. Objetivos específicos	11
1.4. Limitantes de la investigación	11
1.4.1. Teórico.....	11
1.4.2. Temporal.....	12
1.4.3. Espacial.....	12
II. MARCO TEÓRICO.....	13
2.1. Antecedentes.....	13
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	13
2.1.2. <i>Antecedentes nacionales</i>	17
2.2. Bases teóricas.....	18
2.2.1. <i>El ajo</i>	18
2.2.2. El ajo en la historia	19
2.2.3. Descripción biológica del ajo	21
2.2.4 Descripción bioquímica.....	21
2.2.5 <i>Composición del ajo (Allium sativum, L.)</i>	23
2.2.7 <i>Tiosulfatos</i>	26
2.2.8 <i>Relación entre alicina y ácido pirúvico</i>	30
2.2.9. <i>Métodos analíticos para determinar alicina en el ajo</i>	30
2.2.10. <i>Métodos directos</i>	31
2.2.11. Usos terapéuticos del ajo.....	34
2.2.12. El ajo como alimento funcional	36

2.3	Marco conceptual	39
2.3.1	Secado	39
2.3.2	Secado de alimentos.....	40
2.3.3	Cálculo de la difusividad térmica aparente.....	42
2.3.4	Contenido de humedad, en base húmeda.....	42
2.3.5	Contenido de humedad, en base seca.....	42
2.3.6	Actividad de agua	44
2.3.7	Descripción del proceso de secado o deshidratación.....	46
2.3.8	Variables físicas que influyen en el potencial de secado.....	51
2.3.9	Transferencia de calor.....	53
2.3.10	Microondas	54
2.3.11	Secado por microondas	55
2.3.12	Secado combinado	57
2.4	Definición de términos básicos.....	58
III.	VARIABLES E HIPÓTESIS.....	60
3.1.	Hipótesis	60
3.1.1.	Hipótesis general.....	60
3.1.2.	Hipótesis específicas.....	60
3.2.	Definición conceptual de variables.....	60
3.2.1	Variable dependiente	60
3.2.2	Variables independientes	60
3.3.	Operacionalización de variables	61
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO	62
4.1.	Tipo y diseño de investigación	62
4.1.1	Tipo de investigación.....	62
4.1.2	Nivel de investigación.....	62
4.1.3	Metodología de la investigación	62
4.2.	Método de investigación.....	62
4.3	Población y muestra.....	64
4.3.1	Población.....	64
4.3.2	Muestra	64
4.3.3	Determinación del tamaño de muestra.....	64
4.4.	Lugar de estudio.....	65
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	65
4.5.1	Materiales y/o equipos	66
4.5.2.	Primera etapa	71

4.5.3 Segunda etapa (Determinación de la alicina).....	75
4.5 Plan de análisis estadístico.....	83
4.5.1 Estadística de regresión.....	84
V. RESULTADOS.....	85
5.1. Resultados descriptivos.....	85
5.2. Resultados inferenciales.....	85
5.2.1 Pruebas de secado.....	85
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	129
6.1. Contratación de la hipótesis.....	129
6.2. Contratación de los resultados con otros estudios similares.....	130
6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.....	131
CONCLUSIONES.....	132
RECOMENDACIONES.....	133
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	134
ANEXOS.....	139
A.1 Matriz de consistencia:.....	140
A. 2 Base de datos (Excel).....	141



INDICE DE TABLAS

Tabla 1 : <i>Información nutricional de polvo de ajo (cada 100 g)</i>	22
Tabla 2: <i>Matriz de operacionalización de variables e indicadores</i>	61
Tabla 3: <i>Registro de reporte diario</i>	64
Tabla 4: <i>Características del equipo experimental de secado combinado aire caliente – microondas</i>	71
Tabla 5: <i>Concentraciones de los patrones disueltos para su análisis en el espectrofotómetro</i>	77
Tabla 6: <i>Espectroscopía con absorciones IR para grupos funcionales representativos</i>	81
Tabla 7: <i>Data obtenida de las 13 muestras en el espectrofotómetro SHIMADZU</i>	83
Tabla 8: <i>Promedio de la velocidad del aire en el secador en todas las pruebas</i>	85
Tabla 9: <i>Prueba inicial de la humedad del ajo fresco</i>	85
Tabla 10: <i>Data del secado del ajo a 40°C con 0 s de pulsaciones de microondas</i>	86
Tabla 11: <i>Data para encontrar la velocidad de secado del ajo a 40 ° C con 0s de pulsaciones</i>	87
Tabla 12: <i>Data del secado del ajo a 40°C con 3s de pulsaciones</i>	89
Tabla 13: <i>Data para determinar la velocidad de secado del ajo a 40 ° C con 3s de pulsaciones</i>	90
Tabla 14: <i>Data para el secado del ajo a 40° C con 5 s de pulsaciones</i>	92
Tabla 15: <i>Data para determinar la velocidad de secado del ajo a 40 ° C con 5s de pulsaciones</i>	92
Tabla 16: <i>Data para el secado del ajo a 40° C con 7 s de pulsaciones</i>	95
Tabla 17: <i>Data para determinar la velocidad de secado del ajo a 40 ° C con 7s de pulsaciones</i>	95
Tabla 18: <i>Comparativa de curvas de secado del ajo a 40°C con diferentes pulsaciones en microondas</i>	98
Tabla 19: <i>Data para el secado del ajo a 45° C con 0 s de pulsaciones</i>	99
Tabla 20: <i>Data para determinar la velocidad de secado del ajo a 45 ° C con 0s de pulsaciones</i>	100
Tabla 21: <i>Data para el secado del ajo a 45° C con 3 s de pulsaciones</i>	101
Tabla 22: <i>Data para determinar la velocidad de secado del ajo a 45 ° C con 3s de pulsaciones</i>	101
Tabla 23: <i>Data para el secado del ajo a 45° C con 5 s de pulsaciones</i>	102

Tabla 24: <i>Data para determinar la velocidad de secado del ajo a 45 ° C con 5s de pulsaciones.....</i>	103
Tabla 25: <i>Data para el secado del ajo a 45° C con 7 s de pulsaciones.....</i>	104
Tabla 26: <i>Data para determinar la velocidad de secado del ajo a 45 ° C con 7s de pulsaciones.....</i>	105
Tabla 27: <i>Comparativa de curvas de secado del ajo a 45°C con diferentes pulsaciones en microondas.....</i>	106
Tabla 28: <i>Data para el secado del ajo a 50° C con 0 s de pulsaciones.....</i>	108
Tabla 29: <i>Data para determinar la velocidad de secado del ajo a 50 ° C con 0s de pulsaciones.....</i>	108
Tabla 30: <i>Data para el secado del ajo a 50° C con 3 s de pulsaciones.....</i>	109
Tabla 31: <i>Data para determinar la velocidad de secado del ajo a 50 ° C con 3s de pulsaciones.....</i>	110
Tabla 32: <i>Data para el secado del ajo a 50° C con 5 s de pulsaciones.....</i>	111
Tabla 33: <i>Data para determinar la velocidad de secado del ajo a 50 ° C con 5 s de pulsaciones.....</i>	112
Tabla 34: <i>Data para el secado del ajo a 50° C con 7 s de pulsaciones.....</i>	113
Tabla 35: <i>Data para determinar la velocidad de secado del ajo a 50 ° C con 7 s de pulsaciones.....</i>	114
Tabla 36: <i>Comparativa de curvas de secado del ajo a 50°C con diferentes pulsaciones en microondas.....</i>	115
Tabla 37: <i>Concentraciones de alicina y %Tramitancia(%T) en los patrones.....</i>	116
Tabla 38: <i>Concentración de alicina y %T en ajo crudo laminado.....</i>	119
Tabla 39: <i>Concentración de alicina y %T en ajo laminado a 40°C y diferentes pulsaciones en microondas.....</i>	120
Tabla 40: <i>Concentración de alicina y %T en ajo laminado a 45°C y diferentes pulsaciones en microondas.....</i>	123
Tabla 41: <i>Concentración de alicina y %T en ajo laminado a 50 ° C y diferentes pulsaciones en microondas.....</i>	126
Tabla 42: <i>Data para el análisis: Temperatura, intervalo de pulsaciones y tiempo de secado.....</i>	129



INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Muestras del ajo peruano variedad (macho).....	19
Figura 2 : <i>Las reacciones químicas y estructuras del ajo encontradas en (a) dientes de ajo fresco e intactos, (b) en el corte (c) y procesado.</i>	23
Figura 3: <i>Estructura química de la aliina</i>	25
Figura 4: <i>Localización subcelular de los precursores de la alicina (aliina y la enzima alinasa) en el ajo.</i>	26
Figura 5: <i>Principales transformaciones de los tiosulfínatos del ajo triturado.</i>	28
Figura 6: <i>Reacción de la aliina y la alinasa</i>	29
Figura 7: <i>Reacción de la aliina-alinasa</i>	30
Figura 8: <i>Reacción de la alicina con la cisteína</i>	31
Figura 9: <i>Reacción que relaciona la producción de alicina con el ácido pirúvico</i>	31
Figura 10: <i>Reacción del NTB y la alicina</i>	32
Figura 11: <i>Reacción de 4-MP y alicina</i>	32
Figura 12: <i>Descomposición térmica de la alicina</i>	33
Figura 13: <i>Secado de alimentos en rodajas</i>	41
Figura 14: <i>Diagrama de la humedad de equilibrio</i>	43
Figura 15: <i>Isoterma de equilibrio del almidón de yuca.</i>	45
Figura 16: <i>Esquema de deshidratación en capa delgada</i>	47
Figura 17: <i>Curva de secado a 50°C de pulpa de cupuaçu (theobromagrandidiflorum) en rodajas.</i>	48
Figura 18: <i>Etapa de velocidad de secado constante. pulpa de cupuaçu (theobromagrandidiflorum) en rodajas a 50°C</i>	49
Figura 19: <i>Influencia de la temperatura en la velocidad de secado, curvas de secado de pimienta roja a diferentes temperaturas</i>	50
Figura 20: <i>Influencia de la velocidad del aire en la velocidad de secado, cinética de secado de la lúcuma</i>	51
Figura 21: <i>Diseño de la investigación</i>	63
Figura 22: <i>Muestras de bulbos de ajo con cáscara, pelado y granulado</i>	67
Figura 23: <i>Secador experimental acoplado a microondas</i>	68
Figura 24: <i>Cámara experimental de secado</i>	68
Figura 25: <i>Panel de control de temperatura</i>	69

Figura 26: Fuente de poder del secador experimental	69
Figura 27: Diagrama de flujo para el secado combinado aire-microondas	70
Figura 28: Diagrama para registro de datos en el secador.....	72
Figura 29: Anemómetro digital	72
Figura 30: Balanza registradora de masa	73
Figura 31: Data Log	73
Figura 32: Muestras de ajo fresco a ser analizado.....	74
Figura 33: Ajo laminado exento de agua liberable.....	74
Figura 34: Frasco de 100 pastillas que contienen 5000mcg de alicina	76
Figura 35: Peso de 1 pastilla del Patron de Alicina	76
Figura 36: Proceso de triturado de muestras secas de Ajo en laminas que contienen alicina	78
Figura 37: Muestras hechas durante el proceso de obtención de Alicina	79
Figura 38: Muestra seca de ajo en láminas y triturada	79
Figura 39: Espectrofotometro SHIMADZU IRPRESTIGE-21	80
Figura 40: Primeras muestras de ajo en láminas triturado disuelto en alcohol etílico	80
Figura 41: Análisis de muestras en el espectrofotómetro SHIMADZU	82
Figura 42: Curva de humedad del ajo fresco.....	86
Figura 43: Curva de secado del ajo a 40°C con 0s de pulsaciones.....	87
Figura 44: Curva de la variación de masa.....	88
Figura 45: Curva de la velocidad del secado a 40 °C con 0 pulsaciones.....	88
Figura 46: Segmento de curva de velocidad de secado a 40°C y 0 pulsaciones	89
Figura 47: Curva de secado del ajo a 40°C con 3s de pulsaciones.....	90
Figura 48: Curva de la velocidad del secado a 40 °C con 3s de pulsaciones	91
Figura 49: Segmento de curva de velocidad de secado a 40°C y 3s de pulsaciones.....	91
Figura 50: Curva de secado del ajo a 40°C con 5s de pulsaciones.....	93
Figura 51: Curva de la variación de masa del ajo a 40°C con 5s de pulsaciones.....	93
Figura 52: Curva de la velocidad del secado a 40 °C con 5s de pulsaciones	94
Figura 53: Segmento de curva de velocidad de secado a 40°C y 5s de pulsaciones.....	94
Figura 54: Curva de secado del ajo a 40°C con 7s de pulsaciones.....	96
Figura 55: Curva de la variación de masa del ajo a 40°C con 7s de pulsaciones.....	96
Figura 56: Curva de la velocidad del secado a 40 °C con 7s de pulsaciones	97
Figura 57: Segmento de curva de velocidad de secado a 40°C y 7s de pulsaciones.....	97
Figura 58: Segmento de curva de velocidad de secado a 40°C con diferentes pulsaciones ...	98

Figura 59: Segmento de curva de velocidad de secado a 40°C con diferentes pulsaciones	99
Figura 60: Curva de secado del ajo a 45°C con 0s de pulsaciones.....	100
Figura 61: Curva de la variación de masa del ajo a 45°C con 3s de pulsaciones.....	102
Figura 62: Curva de la velocidad del secado a 45 °C con 5s de pulsaciones	103
Figura 63: Segmento de curva de velocidad de secado a 45°C y 5s de pulsaciones.....	104
Figura 64: Curva de la velocidad del secado a 45 °C con 7s de pulsaciones	105
Figura 65: Segmento de curva de velocidad de secado a 45°C y 5s de pulsaciones.....	106
Figura 66: Segmento de curva de velocidad de secado a 45°C con diferentes pulsaciones .	107
Figura 67 : Segmento de curva de velocidad de secado a 45°C con diferentes pulsaciones .	107
Figura 68: Curva de secado del ajo a 50°C con 0s de pulsaciones.....	109
Figura 69: Curva de secado del ajo a 50°C con 3s de pulsaciones.....	110
Figura 70: Segmento de curva de velocidad de secado a 50°C y 3s de pulsaciones.....	111
Figura 71: Curva de secado del ajo a 50°C con 5s de pulsaciones.....	112
Figura 72: Segmento de curva de velocidad de secado a 50°C y 5s de pulsaciones.....	113
Figura 73: Curva de secado del ajo a 50°C con 7s de pulsaciones.....	114
Figura 74: Segmento de curva de velocidad de secado a 50°C con diferentes pulsaciones .	115
Figura 75: Segmento de curva de velocidad de secado a 50°C con diferentes pulsaciones ..	116
Figura 76: Curva de concentraciones vs %T de alicina en los patrones.....	117
Figura 77: Grafica patrón 1 en el espectrofotómetro	117
Figura 78: Grafica patrón 2 en el espectrofotómetro	118
Figura 79: Grafica patrón 3 en el espectrofotómetro	118
Figura 80: Grafica patrón 4 en el espectrofotómetro	118
Figura 81: Curva de concentraciones vs %T de alicina en ajo húmedo a 29°C	119
Figura 82: Gráfica del Ajo húmedo a 29°C en el espectrofotómetro	119
Figura 83: Curva de concentraciones vs %T de alicina en ajo laminado a 40°C y diferentes pulsaciones en microondas	120
Figura 84: Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 40°C y 0s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro	121
Figura 85: Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 40°C y 3s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro	121
Figura 86: Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 40°C y 5s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro	122

Figura 87: <i>Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 40°C y 7s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro</i>	122
Figura 88: <i>Curva de concentraciones vs %T de alicina en ajo laminado a 45°C y diferentes pulsaciones en microondas</i>	123
Figura 89: <i>Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 45°C y 0s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro</i>	124
Figura 90: <i>Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 45°C y 3s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro</i>	124
Figura 91: <i>Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 45°C y 5s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro</i>	125
Figura 92: <i>Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 45°C y 7s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro</i>	125
Figura 93: <i>Curva de concentraciones vs %T de alicina en ajo laminado a 50°C y diferentes pulsaciones en microondas</i>	126
Figura 94: <i>Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 50°C y 0s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro</i>	127
Figura 95: <i>Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 50°C y 3s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro</i>	127
Figura 96: <i>Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 50°C y 5s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro</i>	128
Figura 97: <i>Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 50°C y 7s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro</i>	128



RESUMEN

En este trabajo se determinan las condiciones óptimas de temperatura para un proceso de deshidratación del ajo (*Allium sativum*), empleando la técnica de un proceso combinado de aire caliente-pulsos de microondas. Se realiza un seguimiento de la degradación de la alicina con el tiempo y la temperatura. Los dientes de ajo macho cortados en finas plaquetas y expuestas al aire del medio ambiente a fin de que los compuestos azufrados en contacto con el oxígeno generen la alicina. Estas plaquetas fueron sometidos a una terna de temperaturas (40,45 y 50°C) bajo una terna de intervalos de pulsaciones (3s,5s, y 7s) a fin de contrastar al método tradicional con el combinado, evidenciando en la práctica que se emplearon 2,25 h en el tradicional mientras que con el combinado 1,04h ambos sometidos a la temperatura de 45 °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 alicina 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 alicina contenida en el ajo (*Allium sativum*.), se obtuvieron a la temperatura de 45°C con un intervalo de 5,3021s (5 segundos) de pulsaciones, empleando la técnica del proceso combinado aire caliente –microondas.

Palabras clave: Deshidratación, conducción térmica, radiación electromagnética, *Allium sativum*, alicina.



ABSTRACT

In this work, the optimum temperature conditions for a garlic (*Allium sativum*) dehydration process are determined, using the technique of a combined hot air-microwave pulse process. The degradation of allicin with time and temperature is monitored. The cloves of male garlic were cut into thin platelets and exposed to ambient air in order to allow the sulfur compounds in contact with oxygen to generate allicin. These platelets were subjected to a series of temperatures (40, 45 and 50°C) under a series of pulse intervals (3s, 5s, and 7s) in order to contrast the traditional method with the combined one, showing in practice that 2.25 h were used in the traditional one while with the combined one 1.04h, both subjected to the temperature of 45°C.

The research carried out was of the experimental type and started with the preparation of the experimental sample, which was subjected to tests in an equipment designed and built, which allowed variations of hot air temperature and microwave pulses, with the subsequent analysis of allicin in each sample that passed through the drying process in order to achieve optimization.

The optimum results to achieve the maximum retention of allicin contained in garlic (*Allium sativum*.), were obtained at a temperature of 45°C with an interval of 5.3021s (5 seconds) of pulses, using the combined hot air-microwave process technique.

Key words: Dehydration, thermal conduction, electromagnetic radiation, *Allium sativum*, allicin.



INTRODUCCIÓN

El ajo (*Allium sativum*) es una especie que pertenece a la familia de las amarilidáceas, planta herbácea de la cual se aprovecha para el consumo el bulbo que forma. Posee un sabor típico, particularmente acre y un aroma sulfuroso penetrante, dicho sabor característico del ajo se debe a la presencia de la alicina, un compuesto sulfurado que se forma a partir del ácido glutámico y el sulfóxidoalicisteina, la cual se descompone rápidamente por acción de la enzima alinasa al romper los tejidos del ajo. También contiene vitamina A, B₁, B₂ y amina del ácido nicotínico.

El ajo es considerado como una especie líder dentro de la cocina y medicina popular, debido a sus propiedades condimentarias y medicinales. En la actualidad su uso se ha extendido debido a la corriente naturista, tanto como condimento como materia prima de muchas industrias de fármacos para humanos, veterinarios y agrícolas.

Este consumo masivo en fresco también se ha extendido a los productos industriales, dentro de los cuales destacan: ajo deshidratado entero o en polvo, pastas, salsas y cremas, aceites esenciales y oleorresinas. Así mismo el ajo deshidratado (en escamas, gránulos o polvo) constituye la base condimentaria de muchas comidas preparadas y caldos industriales.

Diversas variedades del género *Allium* se han utilizado como especies y como medicina popular para curar diversas enfermedades. El fuerte e inusual sabor de muchas de estas plantas y de sus posibles aplicaciones médicas han atraído la atención de los fisiólogos y de los químicos (Haciseferog ullan, Ozcan y Calisir, 2005). El ajo (*Allium sativum*, L.) pertenece a éste género y la mayoría de sus efectos profilácticos y terapéuticos se atribuyen a los compuestos solubles en agua como organosulfuros que son responsables del olor y del sabor típicos del ajo (Block, 1985). Por las características medicinales que tiene el ajo, se les llama alimento nutraceúutico.

Existen diversas fuentes de energías renovables, entre ellas se encuentra la energía solar térmica. Ejemplo de esto lo constituye la aplicación de los secadores solares que ha adquirido una gran importancia en la deshidratación de los excedentes de las cosechas, obteniéndose productos de primera necesidad y a bajo costo, así como medicamentos a partir de plantas medicinales secas (Moreno, 2013).



Según Bèrriz (1999), con el secador solar se puede disminuir la humedad del material a secar, utilizando la radiación solar como fuente de energía, obteniéndose ventajas sobre el secado directo al sol, además, el producto no está expuesto a la acción de la humedad, el polvo y está protegido de insectos y animales indeseables.

En los países tropicales subdesarrollados incide un número importante de condiciones que propician la necesidad de lograr una integración en la agricultura orgánica urbana y sub-urbana buscando alguna estrategia de conservación de los alimentos, principalmente hortalizas, condimentos y plantas medicinales.

Las fuentes tradicionales de energía, han sufrido una crisis de agotamiento, debido a su empleo desmedido, lo cual, viene generando un incremento considerable de la contaminación ambiental, por lo que se ha hecho necesario buscar nuevas opciones de fuentes renovables de energía con el propósito de satisfacer a una demanda energética en desarrollo (Altobelli et al , -2011)

Bajo este contexto, en los últimos años se desarrollan nuevas aplicaciones para aprovechar energías alternativas como la del método combinado aire caliente-microondas que aplicaremos en este trabajo.

En la primera parte del presente trabajo, se desarrolla el marco teórico referencial de este estudio. Se aborda, en primera instancia, aspectos referidos al ajo desde una perspectiva económica a nivel internacional, nacional y provincial. Posteriormente, se efectúa una breve caracterización botánica y bioquímica. Se describe los componentes bioactivos del ajo, los usos del mismo como alimento funcional y fitofármaco y, finalmente, se alude a los procesos de deshidratación; temas, estos últimos, de interés para el presente trabajo ya que contextualizan la problemática del mismo.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

El mercado mundial relacionado a la salud, se ha inundado con productos provenientes de plantas con propiedades nutraceuticas con diferente capacidad bioactiva y en algunos casos con baja o nula efectividad farmacológica. Cada material tiene comportamientos diferentes y no todos los procesos de producción dan como resultado productos con alto contenido nutraceutico, para conservar su capacidad bioactiva, los productos nutraceuticos necesitan procesos de alto costo de inversión y producción.

El ajo ha sido ampliamente estudiado pues contiene una gran cantidad de compuestos nutraceuticos. La alicina, principal compuesto nutraceutico del ajo, es altamente reactivo e inestable y difícil de medir (Kaye y col., 2002). El ajo fresco no tiene alicina, pero si se corta, machaca o se fractura, se ponen en contacto sus precursores, la aliina y la alinasa que reaccionan para formar la alicina, ácido pirúvico y amoniaco (Bhagyalakshmi, 2005). Sin embargo, la preservación de la alicina es complicada por su naturaleza inestable y reactiva, una vez que se forma la alicina, ésta se transforma fácilmente en otros compuestos (Ratti y col., 2007), y pierde sus propiedades nutraceuticas durante el almacenamiento.

El secado es uno de los métodos de conservación mas adecuado para el ajo, porque la pérdida de capacidad de formación de la alicina es menor que con otros métodos de conservación (Cui y col., 2003; Song y Milner, 2001) como lo confirman los estudios de diferentes procesos de secado del ajo que concluyen que hay una disminución en la capacidad de formación de alicina (Sharma y Prasad, 2001; Cui y col, 2003; Sacilik y Unal, 2005; Ratti y col. 2007) cuando se utiliza un secado convectivo con temperatura constante. Sin embargo, aunque las pérdidas de los precursores son importantes es posible obtener cantidades aceptables de alicina una vez que los precursores son puestos en contacto. De acuerdo a la farmacopea Británica (1998), el contenido mínimo de alicina para asegurar la viabilidad farmacéutica y económica de los productos de ajo en polvo debe ser de 4.5 mg/g.



Para lograrlo es necesario utilizar un proceso de secado que disminuya las pérdidas de capacidad de formación de alicina en el ajo a un precio accesible y poder competir en el mercado de alimentos nutraceuticos.

Existen procesos de secado como la liofilización que reducen significativamente las pérdidas de calidad de los alimentos deshidratados y conserva mejor las propiedades nutraceuticas (9.5 mg de alicina/g s.s., en el caso del ajo), pero este proceso no se utiliza extensamente en el sector alimenticio debido a su alto costo de operación, y gran consumo energético. Otro método es el empleo de microondas al vacío, con el cual se obtiene valores de alicina de 8.66 mg de alicina/g s.s. (Cui y col., 2003), pero existe poca información sobre este método por lo que todavía no se ha utilizado en la industria, tiene inversión inicial elevada y con dificultades de implementación industrial debido a que no hay uniformidad de la distribución de calor (Sharma y Prasad, 2006). El método más utilizado y accesible es el secado convectivo a temperaturas constantes, aunque reduce la capacidad de alicina (5.28 mg de alicina/g s.s.) por la exposición prolongada a altas temperaturas que provoca daño en su estructura interna (Ratti y col., 2007), existen alternativas para reducir las desventajas del secado convectivo, una de ellas es el secado con condiciones variables de temperatura (Chua y col., 2000; Chua y col., 2002; Chua y col., 2003), que disminuye el tiempo de exposición y conserva mejor la calidad del producto deshidratado.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo optimizar la velocidad de difusión del agua durante el proceso de deshidratación del ajo (*Allium sativum*) a fin de lograr la máxima retención de alicina, empleando la técnica del proceso combinado aire caliente –microondas?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál es la marcha sistemática para determinar la cantidad de alicina en el ajo macho fresco y deshidratados con la técnica combinada: aire caliente-microondas?
- b. ¿Cuáles serán los parámetros cinéticos a controlar durante el proceso de deshidratación del ajo (*Allium sativum*) empleando la técnica combinada: aire caliente-microondas?
- c. ¿Cuál será la relación que nos permita controlar la transferencia de masa y calor a



través del tiempo, admitiendo una forma geométrica en forma de plaquetas con el menor espesor posible durante el proceso de deshidratación del ajo (*Allium sativum*) ?

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Lograr la máxima retención de la alicina contenida en el polvo de ajo (*Allium sativum*) durante la deshidratación, empleando la técnica del proceso combinado aire caliente-microondas.

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Implementar la marcha sistemática que permita determinar la cantidad de alicina en el ajo fresco y en los ajos deshidratados (en polvo), mediante la técnica combinada: aire caliente-microondas.
- b. Detectar los parámetros cinéticos a controlar durante el proceso de deshidratación del ajo (*Allium sativum*) empleando la técnica combinada: aire caliente-microondas.
- c. Obtener la relación que nos permita obtener la máxima retención de la alicina en el polvo de ajo, controlando la velocidad de deshidratación en función de las variables de operación, durante el proceso de deshidratación de esta hortaliza.

1.4. Limitantes de la investigación

El presente proyecto pone énfasis en la necesidad de contar con un módulo de PLC para determinar la cantidad de alicina en las muestras de ajo, tanto fresco como deshidratados a distintas temperaturas.

1.4.1. Teórico

Se establecieron como limitantes teóricas que debido a ser un proyecto pionero a desarrollarse en las instalaciones de la FIQ- UNAC, se necesitó además de las fuentes bibliográficas de libros e internet, concertar entrevistas con jefes de proyectos que vienen trabajando en el laboratorio de investigación, a fin de lograr la data de la alicina contenida en el ajo empleando el espectrofotómetro IR.



1.4.2. Temporal

El periodo de tiempo en la recolección de datos experimentales fue insuficiente. Según antecedentes bibliográficos el proceso de secado del ajo se desarrolla en un tiempo de 6 meses a más.

La puesta en marcha del módulo de secado combinado aire caliente-microondas, tomó más de dos semanas debido a que no se pudo estabilizar el proceso. Todo ello nos llevó a un desajuste en nuestro programa establecido, máxime al presentarse una serie de inconvenientes debido a la crisis sanitaria en que nos encontramos.

1.4.3. Espacial

Según el artículo 2, inciso 22 de la Constitución política del Perú, se establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

Ley general del ambiente – Ley N° 28611 al 15/10/2018

En el artículo primero menciona que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida; y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento de los recursos naturales de manera sostenible y el desarrollo sostenible del país.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Sikandar et. al (2014) publican: Ajo de remedio a estimulante: la evaluación del potencial antifúngico revela diversidad en el contenido de fitoalexina, alicina entre cultivares de ajo; la alicina que contiene extractos acuosos de ajo activan los antioxidantes en el pepino.

Departamento de Ciencias Vegetales, Facultad de Horticultura, Universidad Northwest A&F, Yangling, China

El ajo tiene el carisma de un remedio potente y tiene reputación de panacea terapéutica desde los albores de la civilización. Se adoptó un enfoque integrado para evaluar la diversidad genética entre los cultivares de ajo chinos por su potencia antifúngica, así como la distribución del contenido de alicina y, además; Se realizó un bioensayo para estudiar el mecanismo de bioestimulación de extractos acuosos de ajo (AGE) en el crecimiento y fisiología del pepino (*Cucumis sativus*). Inicialmente, se evaluaron 28 cultivares de ajo contra cuatro tipos de hongos fitopatógenos; *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea*, *Verticillium dahliae* y *Phytophthora capsici*, respectivamente. Se observó un caprichoso potencial antifúngico entre los cultivares de ajo seleccionados. La determinación de huellas dactilares y la cuantificación por HPLC confirmaron la diversidad en la abundancia de alicina entre los cultivares seleccionados. Los cultivares G025, G064 y G074 tuvieron el mayor contenido de alicina de 3.98, 3.7 y 3.66 mg g⁻¹, respectivamente, mientras que se encontró que G110 tenía el contenido más bajo de alicina de 0,66 mg g⁻¹. El análisis de conglomerados reveló tres grupos sobre la base de la actividad antifúngica y el contenido de alicina entre los cultivares de ajo. Los cultivares G025, G2011-4 y G110 se evaluaron adicionalmente para autenticar los hallazgos a través de diferentes disolventes y duración de la vida útil, y G025 tuvo la actividad antifúngica más fuerte en todas las condiciones. La concentración mínima inhibitoria y la concentración mínima de fungicida del estándar acuoso de alicina (AAS) y AGE mostraron un papel significativo de la alicina como sustancia antifúngica primaria de AGE. Bioensayo de disco foliar contra *P. capsici* y *V. dahliae* Al estudiar comparativamente la acción directa de AGE y AAS durante el proceso de infección empleando hojas de berenjena y pimiento, se mostró una reducción significativa en el porcentaje de infección. Para

estudiar la bioactividad de AGE, se realizó un bioensayo utilizando plántulas de pepino y los resultados revelaron que AGE es biológicamente activo dentro de las plántulas de pepino y altera el mecanismo de defensa de la planta, probablemente activando especies reactivas de oxígeno a concentraciones leves. Sin embargo, en concentraciones más altas, podría causar peroxidación de lípidos y daño de la membrana que modera el crecimiento de las plántulas de pepino. Como resultado del estudio, se presenta el argumento de que los hallazgos de la investigación actual proporcionan las bases para la selección de cultivares en cuanto a la efectividad antifúngica, así como la variabilidad genética de los cultivares.

*Lip Yong Chung (2006) en su trabajo: Las propiedades antioxidantes de los compuestos del ajo: alil cisteína, aliína, alicina y disulfuro de alilo. Publicado en la Universidad de Malaya.

Se ha informado que el ajo y los extractos de ajo, a través de sus actividades antioxidantes, brindan protección contra el daño de los radicales libres en el cuerpo. Este estudio investigó las propiedades antioxidantes de los compuestos de ajo que representan las cuatro clases químicas principales, aliína, alil cisteína, alil disulfuro y alicina, preparados por síntesis química o purificación. La aliína eliminó el superóxido, mientras que la alil cisteína y el disulfuro de alilo no reaccionaron con el superóxido. La alicina suprimió la formación de superóxido por el sistema xantina / xantina oxidasa, probablemente a través de un mecanismo de intercambio de tiol. Alin, alil cisteína y disulfuro de alilo, todos radicales hidroxilos eliminados; las constantes de velocidad calculadas en base al ensayo competitivo de desoxirribosa fueron $1,4-1,7 \times 10^{-10}$ (10), $2,1-2,2 \times 10^{-9}$ (9) y $0,7-1,5 \times 10^{-10}$ (10) M (1) segundo (1), respectivamente. Contrariamente a informes anteriores, la alicina no mostró actividad de eliminación de radicales hidroxilos en este estudio. La aliína, la alicina y la alil cisteína no impidieron la peroxidación lipídica microsomal inducida, pero tanto la aliína como la alil cisteína fueron eliminadores de hidroxilo y el disulfuro de alilo fue un terminador de la peroxidación lipídica. En resumen, nuestros hallazgos indicaron que el disulfuro de alilo, aliína, alicina y alil cisteína exhiben diferentes patrones de actividades antioxidantes como compuestos protectores contra el daño de los radicales libres.



*Venegas et. al (2016) en su trabajo: Progresos en el uso de productos naturales y sus componentes activos contra el Helicobacter pylori, que se publicó en la revista Advances in Microbiology , Vol.6 No.14 , 28 de diciembre, sostienen:

El Helicobacter pylori es considerado el principal agente etiológico de gastritis, úlceras y carcinoma gástrico. Coloniza la mucosa gástrica humana con bastante eficacia. El 50% de la población mundial está realmente infectado. Desde el descubrimiento de H. pylori en 1982, es bien conocida la sensibilidad de varias cepas de H. pylori a varios antibióticos cuando se analizan in vitro. Sin embargo, las terapias de erradicación con un solo agente antibacteriano han fracasado. Recientemente, las terapias triples, cuádruples, secuenciales, concomitantes e híbridas que incluyen antibióticos y un inhibidor de la bomba de protones muestran una tasa de erradicación mejorada y efectos secundarios bajos. Sin embargo, han surgido nuevos problemas. La resistencia a los antimicrobianos a los antibióticos habituales que se utilizan se ha convertido en un problema tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. En particular, las cepas resistentes a la claritromicina y al metronidazol de H. pylori son un problema importante en los países donde H. pylori es muy prevalente. Por tanto, el uso generalizado de antibióticos no es económicamente viable y podría aumentar las dificultades en el tratamiento de H. pylori. En la actualidad, no hay vacunas disponibles en el mercado. Como alternativa, los compuestos no antibióticos eficaces deberían ser muy deseables, ya que su uso puede ser más seguro y adecuado para erradicar H. pylori. El primer paso en esta dirección ha sido estudiar el efecto de hierbas medicinales y productos naturales, como té verde, ginseng, ajo, propóleo y probióticos, luego identificar sus componentes activos como polifenoles, antioxidantes, purificarlos y finalmente probar utilizando ensayos de crecimiento de H. pylori in vitro e in vivo. Algunos de ellos han resultado bastante efectivos.

* Lawson L.D y Wang Z.J (2016) , en su trabajo - Baja liberación de alicina de los suplementos del ajo. Un problema importante debido a la sensibilidad de la actividad de las alininas.

La mayoría de los suplementos de ajo están estandarizados en cuanto al potencial de alicina y tienen un recubrimiento entérico para prevenir la inactivación del ácido gástrico de la enzima productora de alicina, aliinasa. Para determinar si estos productos liberan la cantidad declarada de alicina en condiciones gastrointestinales



simuladas, se aplicó el método de disolución 724A de la USP para liberación de fármacos a las 24 marcas conocidas de comprimidos con recubrimiento entérico. Se descubrió que casi todas las marcas empleaban recubrimientos eficaces y que cumplían con sus requisitos de potencial de alicina cuando se trituraban y se suspendían en agua. Sin embargo, todas las marcas excepto una, dieron liberación de alicina de baja disolución, y el 83% de las marcas liberaron menos del 15% de su potencial. Se descubrió que la baja liberación de alicina se debía tanto a la alteración de la actividad de la aliinasa, principalmente causada por los excipientes de los comprimidos, como a la lenta desintegración de los comprimidos. Lo que también altera la actividad de las alinasas. Solo cuando las tabletas tenían una alta actividad aliinasa y se desintegraban rápidamente, mostraban una alta liberación de alicina. La capacidad de la USP 724A para estimar la liberación de alicina in vivo se validó controlando los niveles respiratorios del metabolito de la alicina, alil metil sulfuro. En conclusión, los suplementos de ajo en polvo ya no deben estandarizarse en el potencial de alicina, sino en la liberación de alicina en disolución.

*Ting-ting et al. (2011) Materiales y métodos cultivares de ajo, preparación de extracto acuoso y cuantificación de alicina

Se seleccionaron bulbos frescos de tamaño uniforme de 28 cultivares de ajo del germoplasma de ajo NWSUAF Yangling, Shaanxi, China. Los cultivares seleccionados se almacenaron a -20°C hasta su uso posterior. Los extractos acuosos se prepararon de acuerdo ligeras modificaciones. Brevemente, se molieron 10 g de muestra seleccionados al azar de cada cultivo en un mortero estéril y pistilo y luego se homogeneizaron en 100 ml de agua destilada. El homogeneizado se volvió a centrifugar a 10.000 rpm y el sobrenadante se recogió y se filtró a través de un filtro de poros de $0,22\ \mu\text{m}$. En consecuencia, se llevaron a cabo diluciones en serie para cada bioensayo según fuera necesario. Preparamos extracto fresco para cada vez con el fin de asegurar el máximo rendimiento.

El estándar acuoso de alicina (ASB-0001535-005) se adquirió de ChromaDex International USA. Para HPLC, seguimos el procedimiento estándar (Wallock-Richards et al., 2014) con algunas modificaciones. Se prepararon diluciones en serie de estándar acuoso de alicina (AAS) de $3900\text{--}39\ \mu\text{g mL}^{-1}$ para la calibración del método RP-HPLC (Dimensiones de la columna: $150\ \text{mm} \times 4,6\ \text{mm}$, C18 Diamonsil, Dikma Technologies). Las condiciones de elución fueron las siguientes: elución isocrática con MeOH/agua (60:40, v / v) en $1\ \text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ con detección UV a $240\ \text{nm}$, 25

° C con un volumen de inyección de 10 µL para todas las muestras. La masa de alicina se confirmó en el AAS mediante espectrometría de masas de infusión directa.

2.1.2. Antecedentes nacionales

*Maza P. (2015) En este trabajo de investigación tiene por finalidad extraer inulina de la raíz de Dahlia aplicando el Método de Extracción en Caliente bajo tres factores controlados que son la relación pulpa/agua, tiempo y temperatura, que a la vez tienen tres niveles (1: 1, 1:2 y 1:3 en relación pulpa/agua; 5, 10 y 15 minutos respectivamente en tiempo 80° C, 90° c y 100° C en temperatura) y tres réplicas (en total fueron 81 tratamientos), estos factores fueron evaluados para determinar el mejor tratamiento de extracción de inulina expresado en porcentaje de rendimiento el cual fue de 21.45% en 50 gramos de pulpa en promedio trabajando a 100° C con una relación de pulpa/agua de 1 :3 por 10 minutos, además se evaluó la influencia de los tres factores actuando solos y conjuntamente en el proceso de extracción mediante un diseño Trifactorial completamente al azar, donde se observó que los tres factores y actuando conjuntamente tienen influencia en la extracción de inulina.

* Fuertes M. (2014) Nos menciona en su investigación que la obtención de inulina a partir del ajo mediante extracción sólido-líquido, utilizando agua como solvente. En el proceso de extracción que se lleva a cabo durante 45 minutos y con agitación constante, se varía la relación agua/ajo: 2, 3 y 4 [ml agua/ g ajo] y la temperatura: 30, 55 y 80 [°C]. El refinado obtenido de la filtración del extracto se secó y se pesó; cada extracto se purifica mediante carbonatación e intercambio de iones y se cuantifica la inulina en la solución con el método de cromatografía líquida de alta resolución. Los resultados indican que el ajo contiene aproximadamente un 18 % de inulina y las mejores condiciones de extracción son: temperatura de 80°C y relación agua/ajo de 4, para obtener alrededor de 30,7 g de inulina en el extracto purificado a partir de 200 g de materia prima. Además, se observa que es posible cuantificar inulina del ajo blanco común, trabajando a una temperatura de 80°C y relación agua/ajo de 3. La curva de refinado indica que la capacidad de retención de la solución de inulina en el refinado a las condiciones de trabajo es ligeramente mayor a 80 que a 55 °C.

* Jesús J.L. y Carbajal W. (2018) UPA en la tesis: Obtención y caracterización de inulina a partir del bulbo de *Allium sativum* "ajo", variedad "Mapuri" obtenida de Ahuac-Chupaca de abril a diciembre 2018; considerando que en dicha campaña existe una



sobre producción de ajo variedad Mapuri con la consecuente disminución de precios en el mercado local se propone dar una solución aprovechando el componente más abundante del ajo que es la inulina para tal efecto se plantea investigar, la temperatura y relación más adecuada para la extracción de inulina; Con el objetivo de obtener y caracterizar inulina a partir de bulbo *Allium sativum* "Ajo", Variedad Mapuri. El cual se realizó bajo la metodología de extracción sólida líquido en medio acuoso bajo un tratamiento térmico de 30 a 80° C por un tiempo de 35 minutos. La composición química proximal de ajos variedad Mapuri presenta humedad de 64,65% \pm 0.74; proteínas 5.50% \pm 0.30; grasa 0.31% \pm 0.05; fibra 0.88% \pm 0.09; cenizas 1.31% \pm 0.05 y carbohidratos totales 27.35% \pm 0.88; además acidez de 1.66% \pm 0.11; pH 3.67 \pm 0.12; °brix 10,57 \pm 0.60 y IM 4.11% \pm 0,54. Para la extracción 400mL/200 g a 30°C por 35 minutos se obtiene de 13.09g, \pm 0,50 de Inulina; y para 400mL/ 200 g a 80°C por 35 minutos se obtiene 24,52 g, \pm 0,81; sin embargo a 800mL / 200 g a 30°C por 35 minutos se obtuvo 19,12 g, \pm 1,64 y para 800mL/200g a 80°C por 35 minutos se obtuvo 33.79 g, \pm 1.35 respectivamente. Según estos cuatro tratamientos la relación óptima de extracción de inulina es 80°C por un tiempo de 35 minutos bajo una relación de 800mL de agua/200g de pulpa de *Allium sativum* "ajo". obteniendo 16,90%, \pm 0.67 respectivamente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. El ajo

Es una hortaliza en forma de bulbo, que contiene una elevada proporción de agua (65%), conteniendo, además: carbohidratos, compuestos azufrados, proteínas, aminoácidos, derivados fenólicos y fibra. Así mismo, contiene un apreciable contenido de minerales tales como: calcio, magnesio, sodio, hierro y manganeso



Figura 1

Muestras del ajo peruano variedad (macho)



Entre sus principales compuestos azufrados están la aliína, alicina, ajoeno, salicisteína.

2.2.2. El ajo en la historia

Diversas especies del género *Allium*, al que pertenece el ajo, han sido cultivadas por miles de años por sus propiedades terapéuticas, profilácticas, su significancia religiosa, su sabor y aroma. Esta hortaliza es un condimento natural por excelencia y forma parte de los hábitos alimentarios y terapéuticos de muchas culturas (Lancaster y Boland, 1990).

Su origen se ubica en Asia Central; asimismo, los chinos y egipcios ya lo utilizaban desde la más remota antigüedad. En China se estima que en el año 2000 a.C. ya se conocía el ajo y formaba parte de la dieta diaria como condimento picante y era un componente medicinal importante para combatir, principalmente, enfermedades respiratorias, digestivas e infecciones. En Egipto, alimentaban con ajos a los esclavos que construían las pirámides porque entendían que les aportaba energía. Es interesante señalar que en la tumba del rey Tutankhamon, descubierta en el año

1922, se encontraron dientes de ajos que fueron claramente identificados. Si bien no se sabe, específicamente, el significado religioso del mismo, su presencia en la tumba evidencia que era un vegetal utilizado en ese tiempo. También, se lo empleó como moneda y en el proceso de momificación. En Grecia, en excavaciones realizadas en templos y en el palacio de Knossos en Creta, se encontraron ajos bien preservados. El mismo formaba parte de la dieta de los soldados pues consideraban que esta hortaliza aportaba energía; igualmente, en los juegos olímpicos le daban ajo a los atletas antes de que compitieran. Hipócrates, recordado como el padre de la medicina, lo utilizaba como remedio para enfermedades pulmonares y para dolores abdominales. Como en Grecia, los romanos reconocían al ajo como un agente energizante y, también, como un potente afrodisíaco. Igualmente, lo usaban para curar enfermedades digestivas, mordeduras de animales, artritis y convulsiones. Asimismo, en la India, el ajo estaba asociado a la salud de las personas desde épocas muy remotas.

En la época medieval, en Europa, el ajo era utilizado con fines esotéricos, es decir, se lo consideraba un elemento que permitía librarse de brujas, vampiros y malos espíritus. El mismo fue cultivado en los monasterios. También, la escuela de Medicina de Salerno (Nápoles, Siglo X) fue un centro de difusión de las bondades del ajo como buen preservador de la salud. En el Renacimiento, el ajo, también, fue considerado como una planta medicinal y era cultivado en jardines de hierbas terapéuticas en diferentes ciudades de Italia. Enrique IV de Francia, fue bautizado con agua que contenía ajo. Además, los ingleses incluían al ajo en sus medicinas para aliviar dolores de dientes y constipaciones. El Codex Ebers, un papiro médico que data del 1550 a.C., contiene 22 menciones sobre el ajo y su aplicación en el control de cardiopatías, mordeduras, parásitos intestinales y tumores. En el siglo pasado, durante la II Guerra Mundial se entregaba ajos a los soldados para que tuvieran un remedio contra las heridas (Rivlin, 2001).

Desde entonces hasta nuestros días, el interés por el consumo de ajo y otras hortalizas se ha ido incrementando por diversas causas; por un lado, cada vez existen más evidencias epidemiológicas que demuestran la correlación negativa entre la incidencia de enfermedades como el cáncer o afecciones cardiovasculares y la ingesta de hortaliza. Por otro lado, existe un alto costo asociado al mantenimiento de los programas de salud pública. Por estas razones, el interés por el consumo de



hortalizas y el ajo en particular, ha ido en aumento tanto para la elaboración de alimentos funcionales como de fitofármacos.

2.2.3. Descripción biológica del ajo

El ajo (*Allium sativum L.*), pertenece a la familia de las *Alliaceae*. Es una planta vivaz, bianual y resistente al frío cuyas raíces son blancas, fasciculadas, muy numerosas y con escasas ramificaciones. El tallo o disco, está representado por una masa cónica, que en la madurez forma un callo muy duro. Las yemas vegetativas auxiliares de las hojas se hipertrofian durante la fase de bulbificación formando los “dientes” del ajo por acumulación de sustancias nutritivas, que se encuentran rodeadas de túnicas (coloreadas o no) que son restos de vainas foliares.

La yema terminal del disco, dependiendo de la variedad puede generar el escapo o tallo floral carnoso en cuyo ápice se localiza la inflorescencia umbela

Las hojas del ajo son planas, y algo acanaladas, característica que lo diferencia de la cebolla. El conjunto del disco, “dientes”, que varía según la variedad, y túnicas, se denomina “bulbo” de ajo (González, 2004).

2.2.4 Descripción bioquímica

El ajo fresco, al igual que el ajo en polvo, posee distintos componentes entre los que se destacan los carbohidratos, como la fructosa, compuestos azufrados, proteínas, fibras y aminoácidos libres. Tiene altos niveles de fósforo, potasio, azufre, zinc, moderados niveles de selenio y vitaminas A y C y bajos niveles de calcio, magnesio, sodio, hierro, manganeso y vitaminas del complejo B. Asimismo, posee un alto contenido de compuestos fenólicos, polifenoles y fitoesteroles. Todos ellos son solubles en agua, excepto una pequeña cantidad es liposoluble (Rahman, 2003). En la tabla 1, se muestra la tabla de información nutricional de polvo de ajo, por ser la categoría que se utiliza en el presente estudio. **Información nutricional de polvo de ajo**



Tabla 1*Información nutricional de polvo de ajo (cada 100 g)*

Nutriente	Unidad	Valor	Minerales	Unidad	Valor
Agua	g	58,58	Calcio (Ca)	mg	181,00
Energía	kcal	149,00	Hierro (Fe)	mg	1,70
Energía	kJ	623,00	Magnesio (Mg)	mg	25,00
Proteínas	g	6,36	Fosforo (P)	mg	153,00
Lípidos totales	g	0,50	Potasio (K)	mg	401,00
Cenizas	g	1,50	Sodio (Na)	mg	17,00
Carbohidratos (por diferencia)	g	33,06	Zinc (Zn)	mg	1,16
Fibras Alimentaria	g	2,10	Cobre (Cu)	mg	0,29
Azúcar total	g	1,00	Manganeso (Mn)	mg	1,67
			Selenio (Se)	µg	14,20
Ácidos grasos saturados Totales	Unidad	Valor	Aminoácidos	Unidad	Valor
4:0	g	0,08	Triptofano	g	0,07
6:0	g	0,00	Trionina	g	0,16
8:0	g	0,00	Isoleucina	g	0,22
10:0	g	0,00	Leucina	g	0,31
12:0	g	0,00	Lisina	g	0,27
14:0	g	0,00	Metionina	g	0,08
16:0	g	0,00	Cisteína	g	0,06
18:0	g	0,08	Fenilalanina	g	0,18
	g	0,00	Tirosina	g	0,08
Ácidos grasos Monosaturados Totales	Unidad	Valor	Valina	g	0,29
16:1 (indiferenciada)	g	0,01	Arginina	g	0,63
18:1 (indiferenciada)	g	0,00	Histidina	g	0,11
20:1	g	0,01	Alanina	g	0,13
22:1 (indiferenciada)	g	0,00	Ácido aspártico	g	0,48
	g	0,00	Ácido glutámico	g	0,80
			Glicina	g	0,20
			Prolina	g	0,10
			Serina	g	0,19
Ácidos grasos Polisaturados Totales	Unidad	Valor	Vitaminas	Unidad	Valor
18:2 (indiferenciada)	g	0,25	C (Ácido ascórbico total)	mg	31,20
18:3 (indiferenciada)	g	0,23	Tiamina	mg	0,20
	g	0,02	Riboflavina	mg	0,11
	g	0,00	Niacina	mg	0,70
	g	0,00	Ácido Pantoténico	mg	0,60
	g	0,00	B6	mg	1,23
	g	0,00	E (alfatocoferol)	mg	0,01
	g	0,00	K (filoquinona)	µg	1,40

Fuente: USDA Food search for window, version 1.0, database version SR18.

2.2.5 Composición del ajo (*Allium sativum*, L.)

El principal componente del ajo es agua, 56-68 % (de su peso), seguido por los carbohidratos (26-30%). Los componentes medicinales presentes en el ajo, son los compuestos organosulfuros (11-35 mg/ g ajo fresco). Otros componentes presentes son las vitaminas (ácido ascórbico 30 mg/100 g peso fresco, vitamina E 9.4 µg/g) y minerales (selenium 0.014 mg/100 g) (Lawson, 1993).

2.2.6 Composición química del ajo (*Allium sativum*, L.)

a. Los compuestos orgánicos de azufre en el ajo

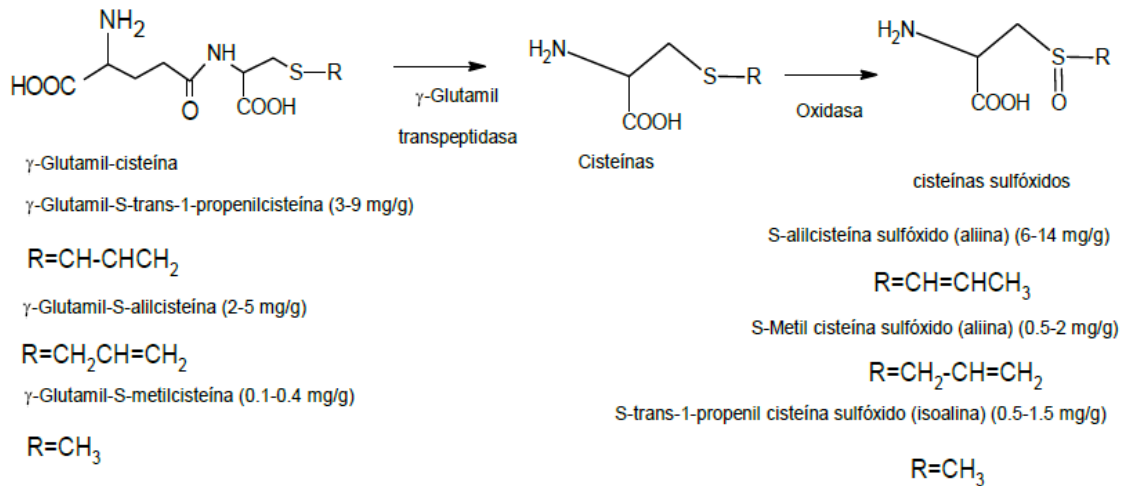
Los principales compuestos organosulfuros (orgánicos de azufre) del ajo fresco son las cisteínas sulfóxidos, como la aliina (7-14 mg/g de ajo fresco), metiina (0.5-2 mg/ g ajo fresco) e isoalina (0.1-2 mg/g de ajo fresco). Estas cisteínas sulfóxidos se forman del glutamil- cisteína (glutamil-S-trans-1-propenil cisteína, glutamil-S-alilcisteína, y glutamil-S- metilcisteína) durante la maduración, cuando aumentan los niveles de la enzima glutamil- transpeptidasa. Este proceso solo ocurre durante el almacenamiento y se lleva a cabo rápidamente a temperaturas de refrigeración. Las cisteínas sulfóxidos (8-19 mg/g ajo fresco) y los glutamyl- cisteínas (5-16 mg/g), representan aproximadamente el 82% del total de los sulfuros en el ajo fresco. Los bulbos contienen la mayor cantidad cisteína sulfóxido, aproximadamente 85%, mientras que las hojas contienen el 12% y las raíces el 2%. Cuando el ajo se corta, machaca o tritura, las cisteínas sulfóxidos se transforman en tiosulfonatos por la acción de la enzima alinasa. El contenido total de sulfuros en el ajo es aproximadamente 1.0% de su peso seco o 0.35% de su peso fresco. (Lawson 1993).

Figura 2.

Las reacciones químicas y estructuras del ajo encontradas en (a) dientes de ajo fresco e intactos, (b) en el corte (c) y procesado.

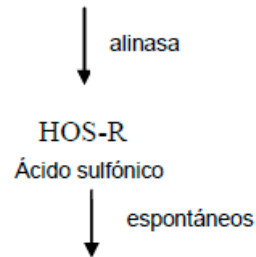


a. Durante la maduración y almacenamiento en bulbos de ajo fresco (intactos)



b) Corte y machacado del ajo

No reacciona durante el corte y machacado



Tiosulfinatos

Alil 2-propano
 ALICINA (2.5-6.0 mg/g)

Alil metano
 Tiosulfinatos (0.5 mg/g)

c) Procesado

Largo tiempo de incubación en medios acuosos
 S-allil-cisteína (2-2.4 mg)
 S-1-propanil cisteína

Incubación en agua (lento) o destilación del vapor (rápido)
 Disulfidos
 Dialil disulfidos
 Alil metil disulfido

Trisulfidos
 Dialil disulfido
 Alil metil trisulfidos

Incubación con aceite o solventes orgánicos
 Vinil ditiinas

Ajoeno
 E-Ajoeno
 Z-Ajoeno

Fuente: Adaptado de Lawson (1993)

La figura 2 muestra las reacciones que se llevan a cabo durante el almacenamiento del ajo a temperaturas de refrigeración, los γ –glutamyl-cisteínas reaccionan con la enzima γ –glutamyl-transpeptidasa para formar las cisteínas y por oxidación se

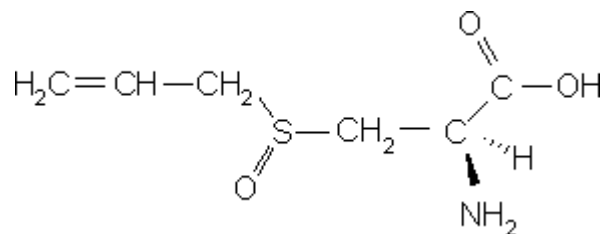
forma la alicina presente en el ajo. Si el ajo se machaca o se corta, la aliina por la acción de la enzima alinasa se convierte rápidamente en tiosulfatos, donde el 70% del total de tiosulfatos corresponde a la alicina. Dependiendo del proceso de extracción o incubación, los tiosulfatos se transforman en diferentes compuestos.

b. Aliina (S-alilcisteína sulfóxido)

La aliina es inodora y estable (Figura 2), es el compuesto de azufre más abundante en el ajo fresco. La aliina (S-alilcisteína sulfóxido), está compuesta de un grupo alil, un grupo sulfóxido, y cisteína. El ajo entero contiene de 7 a 14 miligramos de aliina por gramo de peso fresco, y de 18 a 42 mg/g de peso seco.

Figura 3.

Estructura química de la aliina.



La aliina se cristaliza en diluciones de etanol o acetona y es estable en soluciones acuosas y a altas temperaturas (Stoll y Seebeck, 1951). Cuando las células se rompen, la aliina se mezcla con la alinasa, y en aproximadamente diez segundos toda la aliina expuesta se convierte en un nuevo grupo de compuestos: en alicina y sus parientes más cercanos que emiten el aroma de ajo fresco (Lawson, 2005).

c. Enzima alinasa (Alliin Liasa)

La alinasa ó aliin liasa, es una enzima, encontrada en muchas plantas del género Allium, como el ajo (A. sativum), cebolla (A. cepa), puerro (A. porrum), chalote (A. ascalonicum), la cebolla galesa (A. fistulosum), cebollinos chinos (A. tuberosum). La alinasa comprende del 10–12% de material proteico soluble en los dientes de ajo y se encuentra en las vacuolas y se separa físicamente de su substrato natural, la aliina, que se encuentra en el citoplasma de las células del ajo (Figura 3) (Kuettner y col, 2002).

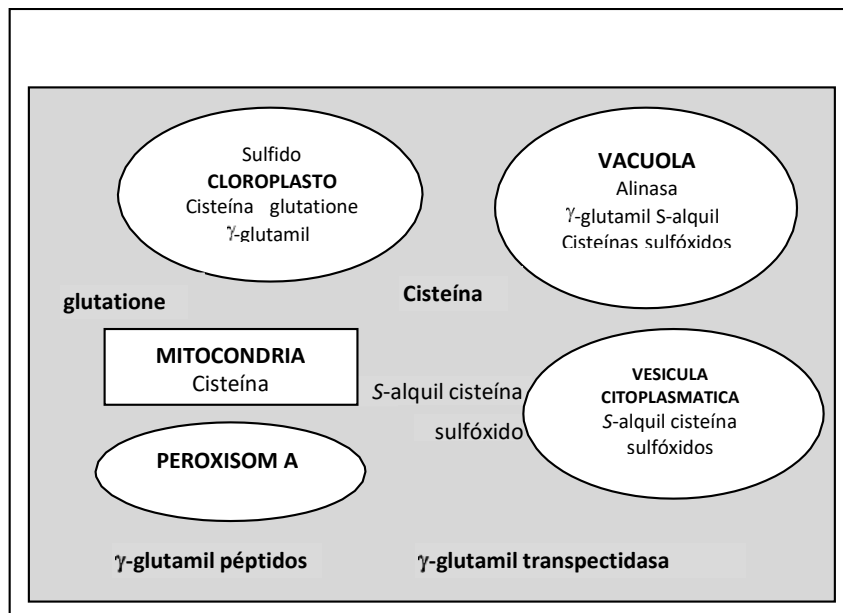
La enzima se activa a pH 4.5-9, pero se inactiva rápidamente y de forma irreversible a valores de pH 1.5-3; La alinasa actúa de dos formas diferentes en el ajo. Una es

específica para la aliina y la isoaliina, y tiene un pH óptimo de 4.5, mientras la otra es específica para la metiina y tiene un pH óptimo de 6.5 (Lawson, 1993).

Krest y Keusgen en 1999, determinaron que la actividad enzimática decrece rápidamente a 42°C, indicando que la temperatura optima de activación de la enzima alinasa, se encuentra entre 35°C a 37°C y la inactivación se da entre 42°C a 60 °C, a temperaturas mayores de 60°C la actividad enzimática se destruye.

Figura 4

Localización subcelular de los precursores de la alicina (aliina y la enzima alinasa) en el ajo.



Fuente: (Modificado de Jones y col, 2004).

2.2.7 Tiosulfinatos.

a. Formación de los tiosulfinatos

Los tiosulfinatos se forman cuando el ajo se corta, tritura o machaca o se le agrega agua al ajo deshidratado (Krest y Keusgen, 1999; Ratti y col., 2007; Méndez y Castaigne, 2008).

La alicina (alil-SS(O)-alil) representa el 70-80% del total de tiosulfinatos formados (Lanzotti, 2006), seguido por los tiosulfinatos, alil-SS(O)-metil (6-16%), metil-SS(O)-alil (3-9%), *trans*-1-propenil-SS(O)-alil (1-7%), alil-SS(O)-*trans*-1 propenil (0.2-4%), *trans*-1-propenil-SS(O)-metil y metil-SS(O)-*trans*-1-propenil (0.1-2.5%), y metil-SS(O)-metil (2%) (Lawson, 1993).

La formación de la alicina (alil 2-propenotiosulfinato o dialil tiosulfinato), se completa en 0.2-0.5 min a temperatura ambiente, mientras que la formación del metil tiosulfinato se forma de 1.5-5 min. Los alil tiosulfatos representan el 95 al 98 % del total de los tiosulfatos, los metil tiosulfatos representan del 10 al 30% del total de los tiosulfatos y (Lawson, 1993). El contenido de isoalina y aliina incrementa con el almacenamiento, especialmente cuando se almacenan en frío, el contenido del *trans*-1-propenil tiosulfinato en el ajo almacenado para ser comercializado es de 7-18% del total de los tiosulfatos. La alicina no incrementa con el almacenamiento del ajo porque la aliina y la isoaliina formadas durante el almacenamiento son usadas para formar el alil *trans*-propenil tiosulfatos, que se producen más rápidamente que la alicina.

b. Estabilidad de los tiosulfatos.

Los tiosulfatos que se forman cuando se machaca el ajo son muy reactivos y experimentan un gran número de transformaciones dependiendo de la temperatura, pH y condiciones de extracción. Lawson (1993), encontró que los alil-S-tiosulfatos (alicina, alil-SS(O)-metil y alil-SS(O)-*trans*-1-propenil) son los menos estables de todos los tiosulfatos del ajo, porque forman tioacrolein ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{S}$) y alilmercaptano (alil-SH) como intermediarios para

futuras reacciones. Por otra parte, los alil-S(O) tiosulfatos (metil-SS(O)-alil y *trans*-1propenil-SS(O)-alil), no pueden formar tioacrolein, por lo cual son muy estables.

En éter, el alil-SS(O)-metil tiene una vida promedio igual a la alicina (3 horas), mientras que el metil-SS(O)-alil no muestra una pérdida significativa después de 6 días. Los tiosulfatos son más estables en solventes polares. La vida promedio de la alicina (0.1-0.4 mg/ml) a temperatura ambiente es de 10 días en 1 mM de ácido cítrico (pH 3), 4 días en agua, 48 horas en metanol o cloroformo, 30 horas en diclorometano, 24 horas en etanol o acetonitrilo, 3 horas en éter, 2 horas en hexano, y 16 horas en la ausencia de solventes (Lawson, 1993).

c. Transformaciones de los tiosulfatos.

Los tiosulfatos al mezclarse con agua se transforman principalmente en dialil trisulfido, dialil disulfido, y alil metil trisulfido. La velocidad de formación de los

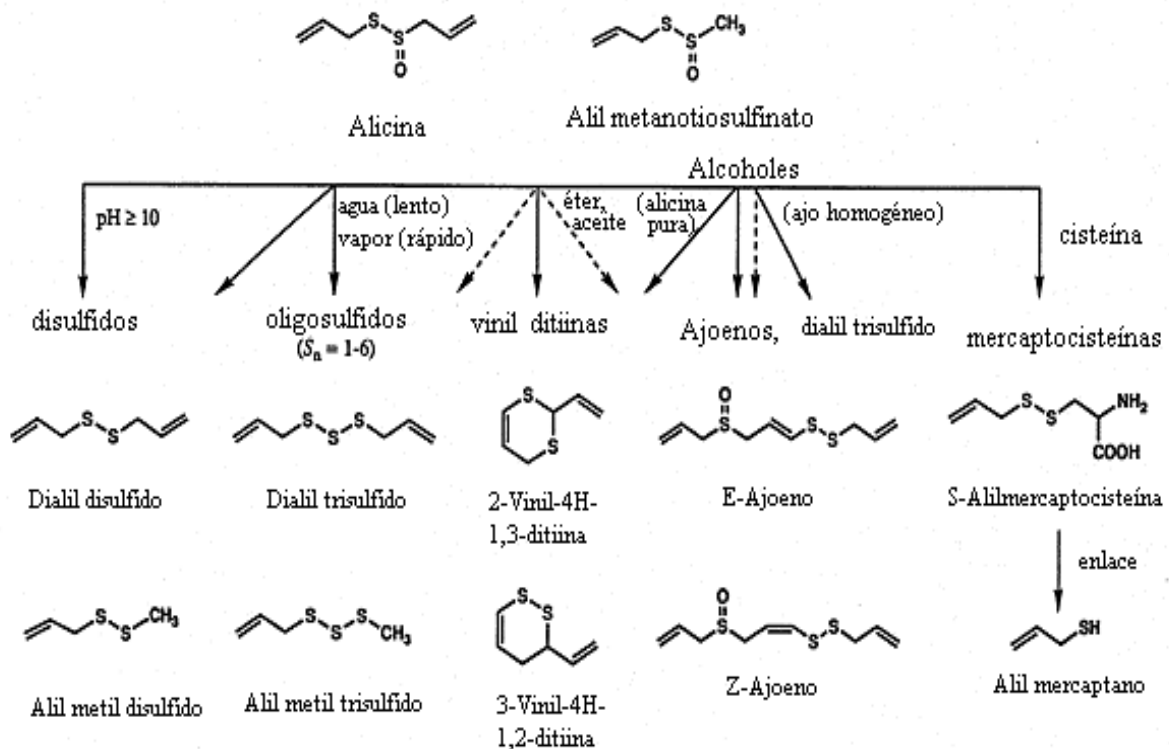
sulfidos incrementa considerablemente con el calentamiento del ajo, así como durante la destilación con vapor (Figura 4).

Los estudios cinéticos del ajo fresco, deshidratado, aceite de ajo obtenido por destilación al vapor indican que los trisulfidos se forman primero, seguidos por la lenta transformación de algunos disulfidos, que son tan estables como los tetrasulfidos. Al mezclarse la alicina o alil metanotiosulfinato con solventes de baja polaridad (cloroformo, ether, hexano, aceites vegetales), o sin solvente, se produce principalmente 1,3-vinil-ditiina (51%), 1,2-vinil-ditiina (19%) y en menor cantidad el ajoeno (12%) y sulfidos (18%).

Cuando la alicina se mezcla con etanol, se produce principalmente dialil trisulfido (73%) y algunos dialil disulfidos (8%) y ajoeno (8%), sin embargo, cuando se utiliza alicina pura se obtiene ajoeno (55%) y vinil-ditiinas (34%) y algunos sulfidos (0-11%). Al mezclar alicina con el metanol se produce principalmente dialil trisulfido (83%) y dialil disulfido (10%), pero sólo pequeñas cantidades de ajoeno (1%) y vinil-ditiinas (1%), y 5% de compuestos no identificados (Lawson, 1993).

Figura 5.

Principales transformaciones de los tiosulfatos del ajo triturado.



Fuente: Modificado de Lawson (1993)

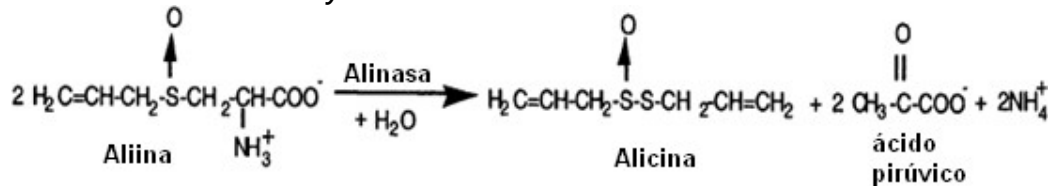
Entre los tiosulfatos se tienen disulfuros y trisulfuros, 2-vinil-2,4-dihidro-1,3-ditiina, 3-vinil-3,4-dihidro-1,2-ditiina, y ajoeno. A temperaturas más altas (aproximadamente 100 °C) se forman compuestos de poli-sulfuros que contienen más de 5 átomos de azufre. Siguiendo las reacciones de la alicina y polisulfidos con tioles que dan como resultado especies de azufre adicionales, tales como S-allylmercaptocisteína, allylmercaptano, allylpertiol y posiblemente allyl hidrottrisulfido (Münchberg y col., 2007).

D. La alicina (dialil tiosulfato)

Es el compuesto más activo en el ajo, y representa cerca del 70% de todos los tiosulfatos presentes o formados en el ajo machacado (Lawson, 1993; Miron y col., 2002). Esto se produce por la interacción del aminoácido no proteico llamado aliina, abundante en dientes de ajo con la enzima alinasa (alliin liasa), como se presenta (Figura 5).

Figura 6

Reacción de la aliina y la alinasa



Fuente: Miron y col.(2002).

Se considera que la alicina es el más importante de los componentes biológicamente activos de los bulbos de ajo machacados. Sin embargo, la alicina no existe en el ajo como tal, pero se produce rápidamente cuando se machaca el ajo o se agrega agua al ajo en polvo o deshidratado, debido a que su precursor la aliina, se convierte rápidamente por la acción de la enzima allinase en alicina, piruvato y amoníaco (Krest y Keusgen, 1999; Bhagyalakshmi y col., 2005).

La aliina y la alinasa son estables en el ajo seco, y aun sufriendo este proceso el ajo todavía tiene el potencial para producir alicina una vez que se le agrega agua. La estabilidad de esta enzima durante el proceso de secado, es esencial para que los productos del ajo puedan comercializarse (Bhagyalakshmi y col., 2005).

El componente oloroso del ajo lo conforma la alicina, que es un componente oxidante producido por el ajo crudo cuando sus células se rompen, por ejemplo, durante el acto del corte (Cocca E-2007).

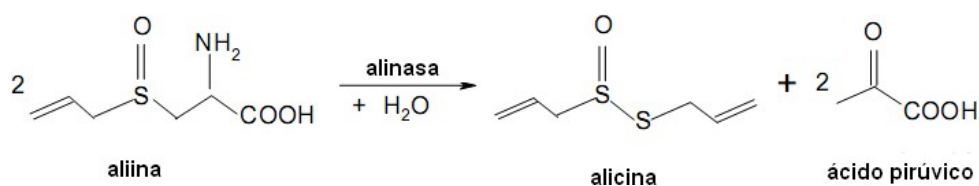
La aliina es el componente “madre”, farmacológicamente inactivo e inodoro, del que se deriva la sustancia activa alicina, cuyo poder bactericida fue descubierto en el año 1944. La aliina, por acción de un fermento contenido en los propios ajos, la alinasa, primero se convierte en alicina (esta conversión ocurre en contacto con el aire y cuando el pH es superior a tres) y después en disulfuro de alilo, con el característico olor del ajo (Ried K. et al-2008)

2.2.8 Relación entre alicina y ácido pirúvico

La capacidad de formación de alicina puede medirse por dos métodos: por la concentración de ácido pirúvico que mide la actividad enzimática de la alinasa, y midiendo la alicina producida cuando se rompen las células del ajo y se mezclan sus precursores. Estos dos métodos se basan en la reacción de la aliina-alinasa, que produce dos moléculas de ácido pirúvico y una de alicina (Krest y Keusgen, 1999; Méndez y Castaigne, 2008).

Figura 7

Reacción de la aliina-alinasa



Fuente: Méndez y Castaigne (2008).

El método de ácido pirúvico se ha preferido, porque la alicina es térmicamente inestable y difícil de medir.

2.2.9. Métodos analíticos para determinar alicina en el ajo.

i. Métodos indirectos

Los trabajos de Cavallito y col. (1944), que determinaron la estructura química de la alicina y su reacción con la cisteína (Figura 7) y el descubrimiento y caracterización de la alinasa realizada por Stoll y Seebeck, sirvieron de base para desarrollar el método de medida de pungencia del ajo.

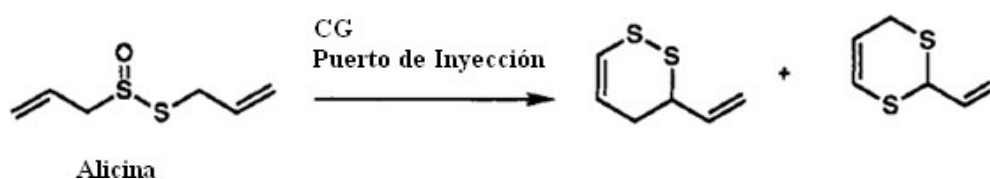
b. Cromatografía de gases (CG)

La primera referencia del uso de GC en la investigación del ajo fue en 1961 cuando Carson y Wong utilizaron esta técnica para separar alkyl di- y tri-sulfuros para su posterior identificación. Debido a la excelente resolución y la capacidad de identificación del CG y CG-MS, estas técnicas se han utilizado para cuantificar la volatilidad de plantas del genero *Allium*. Algunos tiosulfinatos como la alicina se destruyen por las temperaturas utilizadas en este análisis. La alicina es reactiva e inestable cuando se calienta, reacciona produciendo dialyldisulfuros, dialyl trisulfuros y polisulfuros.

Block y col. (1992), reportaron algunos métodos cromatográficos para caracterizar y cuantificar los tiosulfinatos inestables, producidos en el ajo cortado, haciendo la observación de que la utilización de CG puede producir compuestos que no se encuentran en el ajo y que se producen en el puerto de inyección del CG debido a la temperatura del gas. Encontraron que incluso al utilizar temperaturas bajas y condiciones suaves de inyección el método de CG no es una técnica adecuada para medir la alicina y hace una falsa representación de la composición de los volátiles en el ajo (Figura 11).

Figura 12

Descomposición térmica de la alicina



Fuente: *Block y col. (1992)*

c. Cromatografía de Líquidos de Alta Eficiencia (HPLC).

La cromatografía es un proceso que separa especies químicas, una de la otra. El mecanismo fundamental de la separación de la cromatografía es el equilibrio químico que resulta cuando una especie se distribuye entre dos fases. En la extracción del líquido-líquido, los solutos se distribuyen entre dos fases líquidas inmiscibles hasta que se establece el equilibrio. Los solutos también se distribuirán

entre un líquido y una fase sólida. De manera similar, los vapores establecen un equilibrio entre el gas y el sólido o entre el gas y las fases del líquido. Para cualquier sistema particular de la fase, el equilibrio de las concentraciones depende sobre todo de la composición química del soluto. El HPLC utiliza una fase móvil líquida para separar los componentes de una mezcla. Estos componentes (o analitos) primero se disuelve en un disolvente, y luego son forzados bajo una alta presión a fluir a través de una columna cromatográfica. El HPLC adquiere un alto grado de versatilidad que no se encuentran en sistemas cromatográficos y tiene la capacidad de separar fácilmente una amplia variedad de mezclas químicas. (Savant, 1999).

Diversos estudios confirman la efectividad y exactitud de éste método. Block y col. (1992) reportaron que con el método HPLC se obtienen valores cualitativos y cuantitativos confiables. Indicaron que debido a la inestabilidad térmica de los tiosulfatos, el HPLC es el método de análisis más adecuado. Actualmente esta técnica está muy desarrollada y es capaz de presentar una imagen real de los compuestos primarios de plantas del género allium, el trabajo de Block y col. (1992) presenta un estudio completo de los tiosulfatos del género allium por HPLC.

Mochizuki y col. (1998), propusieron el método de cromatografía de líquidos (CL), para determinar aliína en el ajo y otros productos del ajo. Baghalian y col. (2005), evaluaron 24 tipos de ajo en Irán. Ambos investigadores observaron que el método de cromatografía de líquidos para la determinación de aliína y alicina en el ajo es un método simple, directo y exacto.

A pesar de las ventajas que presenta el uso de HPLC, los estudios de Block y col. (1992), muestran factores que afectan la fiabilidad y reproducción del método analítico de HPLC. Uno de ellos es el efecto del tiempo en la preparación del extracto homogéneo y el análisis para el HPLC, es muy alta para el caso de la alicina, que se obtiene dentro de los 30 min posteriores a la preparación del extracto homogéneo. Otro inconveniente del método es la incompleta separación de algunos picos y sus compuestos. Además, la alicina es menos estable en los disolventes orgánicos a temperatura ambiente, por lo que se deben analizar inmediatamente.

2.2.11. Usos terapéuticos del ajo

La permanencia en el tiempo del ajo se sostuvo, seguramente, por sus efectos preventivos de distintas enfermedades y por sus propiedades terapéuticas de lo que

han dado cuenta numerosos estudios e investigaciones realizados sobre este vegetal. Actualmente, esta situación se fortalece por dos circunstancias en auge relacionadas con la nutrición y la salud.

Por un lado, los conceptos básicos de nutrición están experimentando un cambio significativo. En las últimas décadas, el concepto clásico de "nutrición adecuada", es decir, aquella que aporta, a través de los alimentos, los nutrientes (hidratos de carbono, proteínas, grasas, vitaminas y minerales) suficientes para satisfacer las necesidades orgánicas particulares de los seres humanos, tiende a ser sustituido por el de "nutrición óptima". Esta calificación, además de incluir lo ya expuesto, incorpora la potencialidad de los alimentos para promocionar la salud, mejorar el bienestar y reducir el riesgo de desarrollar enfermedades. En este ámbito, aparecen los alimentos funcionales.

En Europa, el primer documento de consenso sobre conceptos científicos en relación con este tipo de alimentos fue elaborado en 1999 por un grupo de expertos coordinados por el Inter. Por otro lado, la difusión masiva de las escuelas de medicina tradicional asiática, en Europa, sensibilizó al público, en general, con respecto a las técnicas de medicina alternativa lo que ha generado abundante información al respecto e interés, por parte de las empresas del sector, por desarrollar nuevos medicamentos sobre la base de plantas, es decir, "fitofármacos" (del griego: "fito" que significa planta y "fármaco", medicamento). En términos generales, estos medicamentos contienen, como principio activo, exclusivamente plantas, partes de plantas, ingredientes vegetales o bien, preparaciones obtenidas a partir de ellas que sirven para la prevención de padecimientos generalizados entre la población.

El interés que despierta las posibilidades terapéuticas que ofrecen los fármacos de origen vegetal toma cada día mayor relevancia en los ámbitos económicos, national Life Sciences Institute (ILSI).

agrícolas, farmacológicos, medicinales, entre otros y, a su vez, alrededor de cada uno de ellos se desarrollaron numerosas líneas de investigación (Mercado Europeo para Fitofármacos,2006).



2.2.12. El ajo como alimento funcional

Diversas investigaciones han demostrado propiedades funcionales que se le atribuyen al ajo. Entre ellas, se pueden mencionar las siguientes:

A. Efecto hipotensor

La hipertensión arterial (HA) es un padecimiento crónico de etiología variada que se caracteriza por el aumento sostenido de la presión arterial ya sea sistólica, diastólica o de ambas. A través de estudios, se comprobó que el ajo tiene una acción hipotensora disminuyendo la resistencia vascular periférica y manteniendo la elasticidad de venas y arterias de todo el cuerpo (Auer y col., 1990; Brown, 1996; Koch and Lawson, 1996). Efecto antioxidante sobre el envejecimiento y el estrés oxidativo

El envejecimiento puede ser definido como una declinación progresiva en la eficiencia de los complejos procesos bioquímicos y fisiológicos que involucran mecanismos genéticos, ambientales y hormonales (Rahman, 2003).

El estrés oxidativo es causado por un desequilibrio entre la producción de radicales libres y la capacidad del organismo para detoxificar rápidamente los reactivos intermedios y reparar el daño que causan (Tapia y col., 2004). Estos procesos se equilibran debido a que el propio organismo posee una compleja red de metabolitos y enzimas antioxidantes que trabajan para prevenir el daño oxidativo.

En la naturaleza, existen una gran variedad de alimentos ricos en fitoquímicos, con una importante diversidad de grupos químicos que tienen propiedades antioxidantes. Entre ellos se encuentra el ajo ya que previene el daño que causan los radicales libres y el estrés oxidativo aportándole un electrón al mismo.

Por ello, para prevenir enfermedades de la vejez, se recomienda el consumo de ajo ya sea en forma natural o como suplemento dietario (Rahman, 2003; Phelps y col., 1993).

B. Efecto sobre las enfermedades cardiovasculares

La arterioesclerosis es un endurecimiento o pérdida de elasticidad de las arterias producida por el depósito de placas de ateroma en las paredes de los vasos sanguíneos, impidiendo el normal paso de oxígeno y materiales nutrientes a las diversas zonas del cuerpo humano (Ira Fox, 2003). Es la causa más importante de



cardiopatías y accidentes cerebro vasculares y responsable de aproximadamente el 50 % de las muertes en EE.UU., Europa y Japón (Guía Médica interactiva 2007 [CD-ROM]).

A lo largo de muchos años, se ha usado el ajo para tratar este tipo de problemas. En un estudio realizado en conejos y ratas con hipercolesterolemia, los cuales fueron alimentados con extracto de ajo, se demostró una importante reducción de colesterol y triglicéridos en plasma por inhibición de las enzimas claves implicadas en la síntesis de estos (Liu y Yeh, 2001).

El colesterol es una lipoproteína que se caracteriza por tener como función orgánica al alcohol y además posee un núcleo de ciclo-pentano-perhidrofenantreno. Las lipoproteínas de mayor tamaño se denominan quilomicrones y su función es transportar los lípidos exógenos (ingeridos en la dieta) a los tejidos adiposos, muscular y cardíaco. Las lipoproteínas de muy baja densidad, VLDL, llevan los lípidos de síntesis endógena (hepática) a los tejidos periféricos. Cuando pierden un porcentaje de sus triglicéridos se transforman en lipoproteínas de baja densidad, LDL, también llamada “colesterol malo”, que lleva el colesterol al plasma. Si hay exceso de esta lipoproteína, o el mismo LDL es dañado por los radicales libres, el colesterol puede depositarse en las paredes de las arterias formando los ateromas. Por su parte, las lipoproteínas de alta densidad, HDL, llamada “colesterol bueno”, remueven el colesterol de los tejidos periféricos y los transportan al hígado, a las glándulas adrenales y a las gónadas para su metabolización, ya que el colesterol es un elemento necesario para la vida, porque sirve para digerir las grasas de los alimentos y para sintetizar adrenalina (la hormona del estrés) y hormonas sexuales (Ira Fox, 2003).

Las personas que ingieren una dieta con abundante colesterol y grasas saturadas y las personas con hipercolesterolemia familiar (trastorno hereditario), tienen una elevada concentración de LDL debido a que sus hígados tienen un número bajo de receptores de LDL y, por lo tanto, tienen menor capacidad de eliminarlo de la sangre; de este modo, puede penetrar a las células endoteliales de las arterias (Ira Fox, 2003). La principal causa del colesterol elevado es por la alimentación; sobre todo, por el gran consumo de grasas de origen animal de tipo saturado. Este tipo de dieta se ha multiplicado en los últimos setenta años y los niveles de colesterol, en consecuencia, se han elevado en la población en general.



La medida fundamental para bajar los niveles de colesterol es la “dieta equilibrada”, pero también, se ha comprobado el papel importante que cumplen los suplementos dietarios. Entre los más popularizados, se encuentra el ajo que reduce el colesterol, especialmente el LDL (malo), aumentando los niveles del HDL (bueno) por inhibición de la biosíntesis y la oxidación de ellos en el hígado del LDL (Singh et al, 2001).

C. Efecto antitrombótico

Las plaquetas sanguíneas son unos minúsculos corpúsculos que sirven, entre otras cosas, para iniciar el proceso de coagulación; circulan libremente por la sangre y en circunstancias especiales aumentan su adhesividad: se pegan literalmente entre sí, formando pequeños trombos alrededor de los cuales se inicia la formación de un coágulo de sangre (en casos de hemorragia) o la agregación de grasas (en el caso de la placa aterosclerótica) (Guía Médica interactiva 2007 [CD-ROM]). En ausencia de daño vascular, las plaquetas se repelen entre sí y, también, son repelidas por el revestimiento endotelial de los vasos. La repulsión de las plaquetas por el endotelio intacto se atribuye a la prostaciclina, un tipo de prostaglandina producida en el interior del endotelio. Es evidente que los mecanismos que evitan que las plaquetas se adhieran a los vasos sanguíneos y entre sí son necesarios para evitar la coagulación inadecuada de la sangre.

La lesión del endotelio de los vasos expone el tejido subendotelial a la sangre. Las plaquetas son capaces de pegarse a las proteínas de colágeno expuestas que han quedado cubiertas por una proteína (el factor von Willebrand) segregada por las células endoteliales. Las plaquetas contienen gránulos secretorios; cuando estas se adhieren al colágeno, se desgranulan cuando los gránulos secretorios liberan sus productos. Estos productos comprenden el ADP (adenosin di fosfato), la serotonina y una prostaglandina llamada tromboxano A₂. Este suceso se conoce como reacción de liberación plaquetaria (Ira Fox, 2003).

Los componentes azufrados del ajo inhiben la ciclooxigenasa que cataliza la conversión del ácido araquidónico en prostaglandinas, impidiendo de este modo la reacción de liberación y la consiguiente formación del trombo plaquetario (Rahman, 2003).



D. Prevención del cáncer

Diversos estudios científicos han demostrado que aquellas personas que tienen un consumo más elevado de ajo tienen un menor riesgo de padecer cáncer de estómago o de colon (Fleischauer y col., 2000). También, se han hecho estudios en otros tipos de cáncer, como son los de mama, cabeza, cuello y próstata, aunque únicamente se ha encontrado un efecto protector en los dos anteriormente mencionados (Bianchini y col., 2001). En correlación a lo mencionado anteriormente, se dice que el aumento de la consumición de ajo está estrechamente relacionado con la reducción de incidencia de cáncer (Bianchini y col., 2001). A pesar de ello, antes de plantearse el empezar a consumir grandes cantidades de ajo para prevenir estas enfermedades, es necesario tener en cuenta que existen unas recomendaciones generales para llevar una vida saludable, como limitar el consumo de grasas animales, evitar el sobrepeso, practicar ejercicio físico regularmente y evitar el consumo excesivo de bebidas alcohólicas.

Todas las propiedades funcionales descritas contribuyen al sustento para la fabricación y comercialización de diversos productos con fines terapéuticos, como se propone esta investigación a través de la cinética del ajo a fin de preservar la máxima cantidad de alicina.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Secado

Es aquel proceso encargado de la 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 (Mujumdar A.,2006).

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 (Mujumdar A.,2006) .



- a. **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 (Fito et al, 2001)
- b. **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 (Fito et al, 2001)
- c. **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 (Mujumdar A.,2006).

2.3.2 Secado de alimentos

El secado de alimentos (figura 13) 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. (Calle L.,2013).



Figura 13

Secado de alimentos en rodajas



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

En la actualidad existen numerosos métodos o procesos para secar alimentos y estos pueden ser evaluados desde el punto de vista de eficiencia energética, tiempo de secado, calidad del producto terminado, entre otros, dependiendo de los requerimientos del mercado. El equilibrio entre estos factores es requerido para alcanzar el objetivo en los procedimientos de fabricación al tiempo que garantiza alimentos con los estándares de calidad que pide el consumidor final (López V.,2015).

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 (Calle L.,2013) 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 (Páez A.,2010)

2.3.3 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 (Abril et al , 2011).

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

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 et al -2011).

2.3.4 Contenido de humedad, en base húmeda

Es la humedad que contiene un sólido, expresada como la relación de la masa de la humedad en el sólido húmedo (Angeles C.,2012)

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

2.3.5 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 (Angeles C.,2012).

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

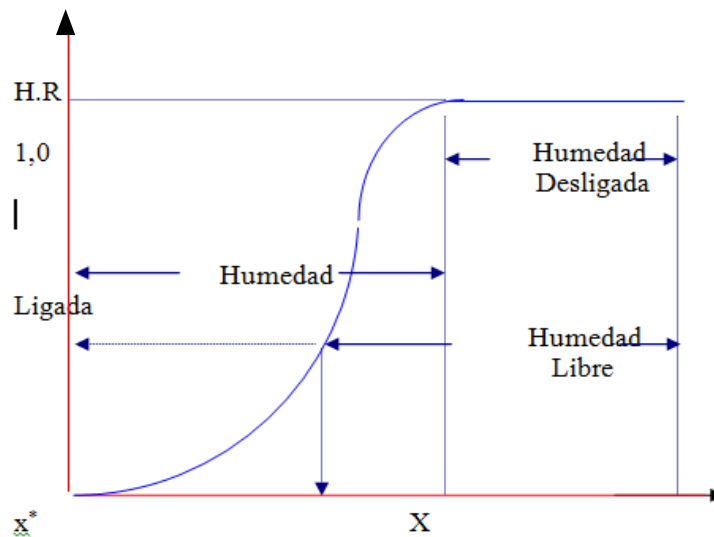
a. Humedad de equilibrio: X*

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 (Angeles C.,2012).

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 (Angeles C.,2012).

Figura 14

Diagrama de la humedad de equilibrio



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 (14) 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 (Martines E. y Lara L., 2010)

b. Temperatura de bulbo seco (TBS):

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

2.3.6 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 (Mahecha, J.,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 (Mahecha, J.,2011)

Vanaclocha A.,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 1, 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.,2003)

$$\frac{a}{\omega} = \frac{P}{P^0} = \frac{\%HR}{100} \quad (1)$$

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.,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 (Mahecha j.,2011).

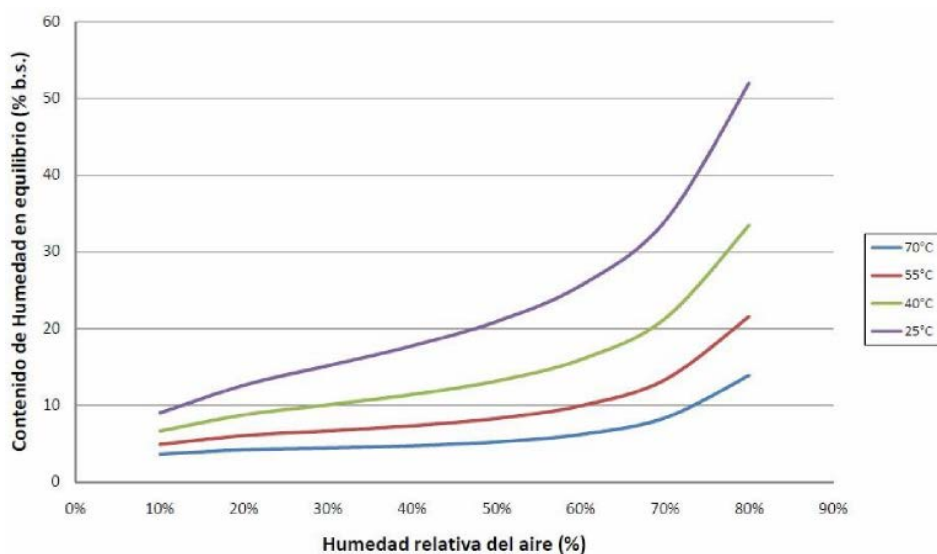
Todo producto alimenticio contiene simultáneamente varias formas de agua: agua libre, agua débilmente ligada y agua fuertemente ligada, estas últimas están retenidas a las moléculas de materia seca por fuerzas relativamente importantes (Mahecha j.,2011).

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.,2003)

La grafica que relaciona el contenido de humedad y la actividad de agua se conoce como isoterma de equilibrio. En la Figura 2.7 se muestran las isotermas tipos para almidón de yuca obtenidas (Moreno M. y Fabián L.,2008)

Figura 15

Isoterma de equilibrio del almidón de yuca



Fuente: Moreno (2008)

2.3.7 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 (Maecha J.,2011).

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) (Barbosa et al-1996)

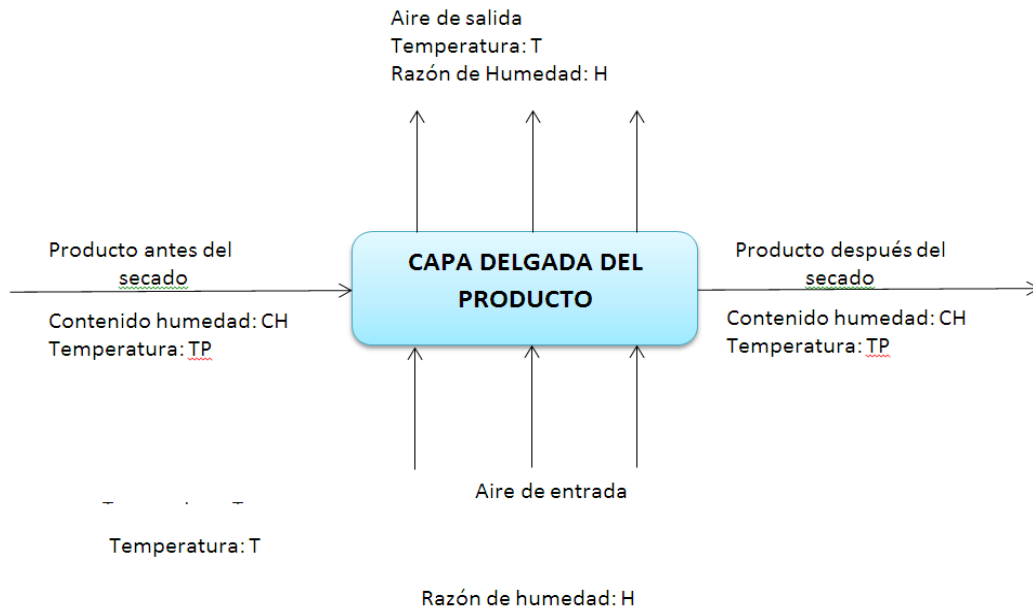
A excepción de la liofilización, secado osmótico y secado a vacío, la eliminación del agua del alimento se consigue de forma mayoritaria mediante una corriente de aire seco, que elimina el agua de la superficie del producto hacia el seno de la corriente de aire. El proceso de secado de alimentos no sólo 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 (Maecha J.,2011).

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 (Maecha J.,2011). El esquema básico de deshidratación en capa delgada se muestra en la figura 2.8. Durante cada intervalo de tiempo, el aire pasa a través de la capa delgada, el producto disminuye su contenido de humedad en ΔCH y el aire aumenta su razón de humedad en ΔH debido a la remoción de la humedad. Simultáneamente, la temperatura del producto aumenta en ΔTP y la temperatura del aire disminuye en ΔT como consecuencia del enfriamiento y el calentamiento del producto (Maecha J.,2011).



Figura 16

Esquema de deshidratación en capa delgada



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 (Vanaclocha A.,2003) . 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 (Maecha J.,2011).

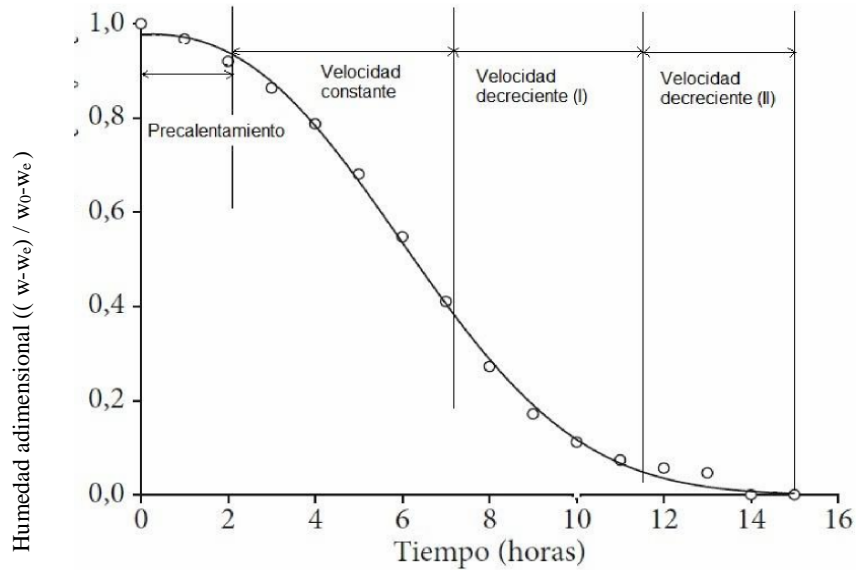
En la figura (16) se pueden distinguir las siguientes etapas:

a. 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.

Figura 17

Curva de secado a 50°C de pulpa de cupuaçu (theobromagrandidflorum) en rodajas.



Fuente: Giraldo-Zúñiga et al., (2010)

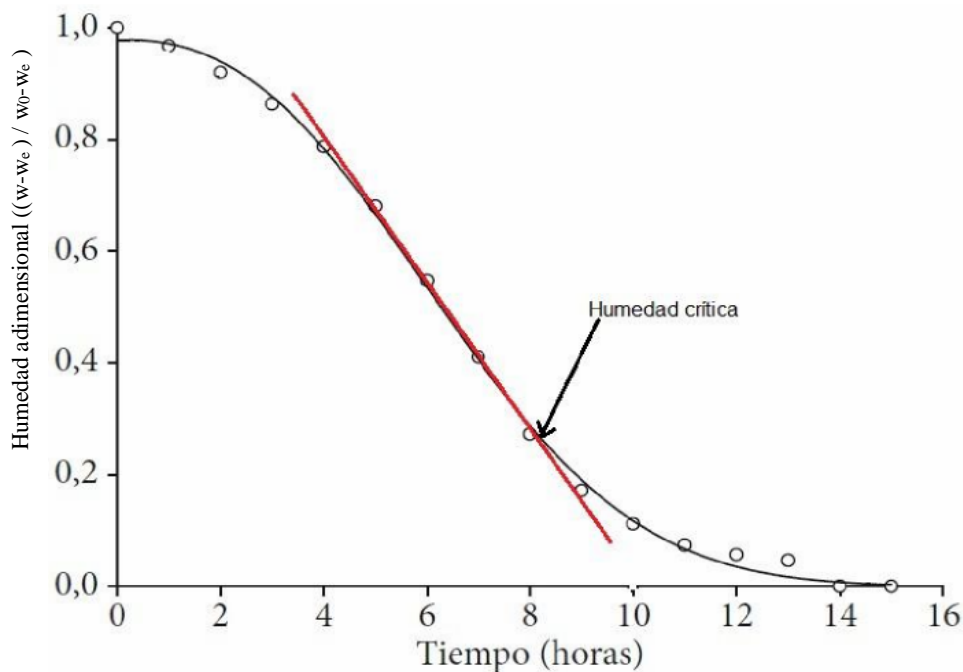
El excedente de calor se utiliza entonces en calentar la superficie del producto, lo cual produce una disminución del gradiente de temperatura, que cesará cuando se alcance el equilibrio estacionario. Este periodo es muy corto en comparación con el tiempo total de secado (Vanaclocha, A.,2003).

b. Etapa de velocidad constante

En esta etapa de velocidad constante durante el cual se produce una reducción importante del contenido de agua, el agua de imbibición se elimina con un flujo másico constante. La evaporación se efectúa en la superficie del producto, a temperatura constante, siendo ésta la de bulbo húmedo del aire. Durante este periodo, el flujo de calor intercambiado entre el aire y el producto se utiliza enteramente para la evaporación del agua.

Figura 18

Etapa de velocidad de secado constante. pulpa de cupuaçu (theobromagrandidflorum) en rodajas a 50°C

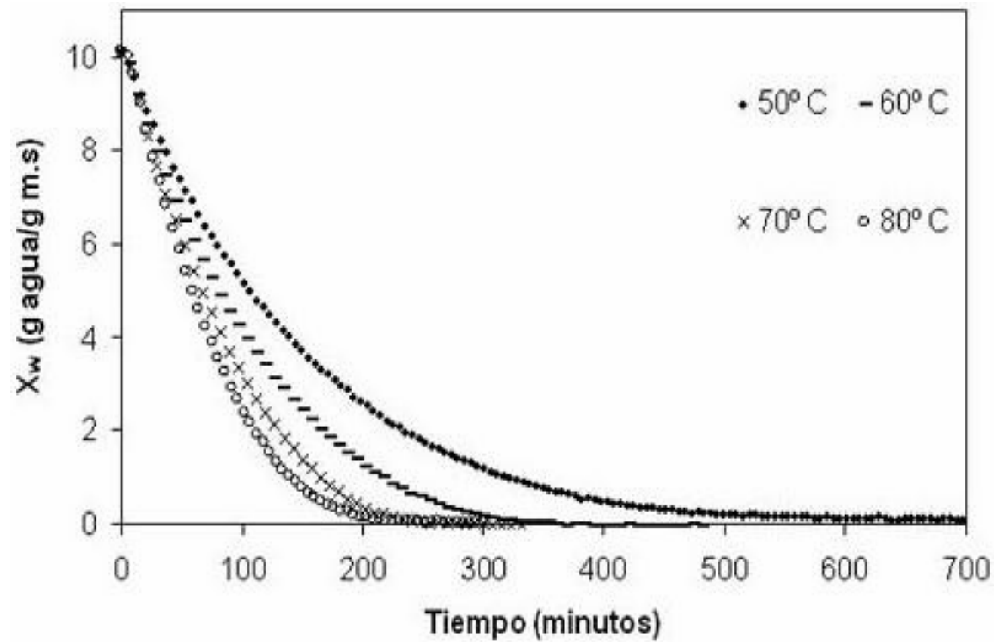


Fuente: Giraldo-Zúñiga et al., (2010)

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) (Mahecha J.,2011)

Figura 19

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

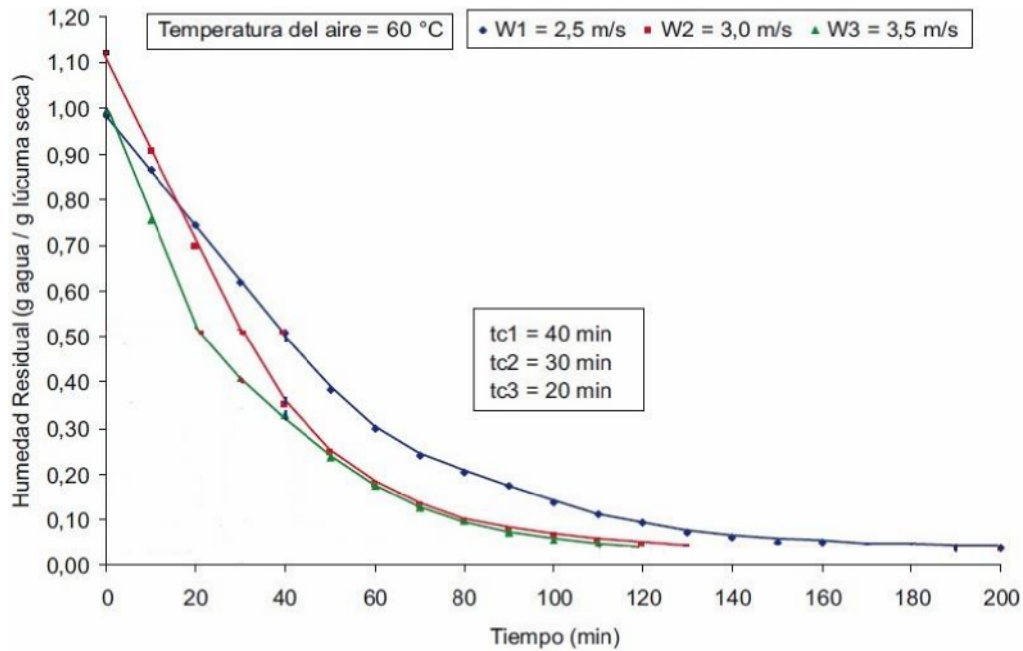


Fuente: Mahecha (2011)

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 hacerlo la temperatura (Figura 19). Lo mismo ocurre con la velocidad del aire de secado, cuanto mayor es ésta mayor es la velocidad del secado (VanacochaA.,2003)

Figura 20

Influencia de la velocidad del aire en la velocidad de secado, cinética de secado de la lúcuma



Fuente: Mahecha (2011)

2.3.8 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 (Mahecha J.,2011) . Las variables que influyen en la cinética de secado se pueden diferenciar entre variables externas y variables internas, que se mencionan a continuación:

A. Variables externas

Estas variables no son propias del producto.

A.1 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 (Mahecha J.,2011)

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 (Moreno y Fabian L.

A.2 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 (Mujumdar A.,2006)

A.3 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 (Mahecha J.,2011).

B.Variables Internas

Estas variables están asociadas al producto (Mahecha J.,2011).

B.1 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. (Treybal,R y Rodriguez A.-1988)

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 (Treybal,R y Rodriguez A.-1988) . La ecuación 2 expresa la relación que hay entre contenido de humedad en base seca y contenido de humedad en base húmeda.

$$CH_{bs} = \left(\frac{CH_{bh}}{100-CH_{bh}} \right) * 100 \quad (2)$$

B.2 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 (Mahecha J.-2011)

B.3 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 (Barbosa G. y Vega H.-1996)

2.3.9 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:

$$\dot{Q} = \frac{k.A.(T_1 - T_2)}{e} \quad (3)$$

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

$$\dot{Q} = h.A.(T_s - T_f) \quad (4)$$

Dónde:

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

A: Superficie de intercambio (m²).

T₁ y T₂: Temperaturas (°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 ($^{\circ}\text{C}$).

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

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

2.3.10 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 (San Roman et al -2014)

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 (San Roman et al -2014)

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 (San Roman et al ,2014)



2.3.11 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 interactúan 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. (Zhang M.; et al -2006)

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. (Zhang M.; et al -2006)

Estos equipos constan de tres componentes principales:

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

Las dos propiedades que determinan la interacción del alimento con las microondas son la constante dieléctrica y la pérdida dieléctrica. La constante dieléctrica representa la habilidad del material para almacenar energía electromagnética y el factor de pérdida dieléctrico efectivo tiene en cuenta la disipación de energía o la



generación de calor. El aire en el interior del horno de microondas absorbe muy poca energía de las microondas, por lo tanto, el alimento es calentado directamente por las ondas electromagnéticas; a excepción de los hornos microondas combinados que también trabajan con convección de aire calentado por una resistencia eléctrica. El tamaño, la forma y las propiedades de los alimentos afectan la distribución espacial de la absorción de las microondas. (Zhang M.; et al -2006)

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 sometiendo 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. (Zhang M.; et al -2006)

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. (Zhang M.; et al -2006)

2.3.12 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. (Zhang M.; et al -2006)

2.4 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 (a_w) para ralentizar los procesos de deterioro a los que se ve sometido un alimento. Se distingue muy claramente de la concentración o evaporación porque, aunque ambas operaciones se basan en disminuir la actividad del agua, la concentración u evaporación da productos líquidos, que aun contienen cantidades del orden de hasta el 50% en agua. Los productos de la Deshidratación son sólidos con un contenido en agua inferior al 10%. Utilizamos el término genérico "Deshidratación" porque durante esta operación no solo se retira el agua que actúa como disolvente o inerte que diluye el alimento, sino que se retira agua que entra en la constitución de las estructuras y tejidos del alimento. (Ingeniería en industria alimentaria-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 (Universidad nacional experimental de Táchira-2013)

- **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) (Foro de la industria nuclear española-2015).



III. VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

Mediante la cinética de deshidratación del ajo (*Allium sativum*), se preserva alrededor del 90.0129% de la alicina, empleando un método combinado de aire caliente-microondas.

3.1.2. Hipótesis específicas

- a. Empleando este nuevo equipo de secado de sistema combinado aire caliente-microondas para secar ajo (*Allium sativum*), aumentara la velocidad de difusión del agua.
- b. El tiempo de secado del ajo (*Allium sativum*) utilizando un sistema combinado aire caliente-microondas es menor que el tiempo empleado en el sistema tradicional.
- c. La función que relaciona el deshidratación del ajo (*Allium sativum*) empleando el método combinado de secado, es función de la velocidad de difusión, de la temperatura y del intervalo de pulsaciones

3.2. Definición conceptual de variables

3.2.1 Variable dependiente

Y= Optimización paramétrica de la deshidratación del ajo (*Allium sativum*.) para hacer máxima la retención de la alicina.

3.2.2 Variables independientes

X1 = Parámetros cinéticos de operacionalización (temperatura, flujo másico, tiempo, intervalo de pulsaciones) empleando un sistema combinado para el control del secado del ajo (*Allium sativum*.)

X2 = El tiempo empleado



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.

$$Y = f(x_1, X_2)$$

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.

Tabla 2

Matriz de operacionalización de variables e indicadores

VARIABLE DEPENDIENTE			
(Y)	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
Optimización paramétrica de secado del ajo (<i>Allium sativum.</i>) para hacer máxima la retención de la alicina.	*Porcentaje de humedad * Porcentaje de alicina retenida. * Temperatura óptima	% % ° C	✓ Experimental
VARIABLES INDEPENDIENTES			
(X ₁)	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
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).	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad del secador • Frecuencia • Sección de incidencia • Costo del equipo de deshidratación. 	,Kw Mhz m ² S/	✓ Experimental
(X ₂)	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
Parámetros cinéticos de operacionalización (temperatura, flujo másico, intervalo de pulsaciones, tiempo) empleando un sistema combinado para el control del secado del ajo (<i>Allium sativum.</i>)	Temperatura Velocidad de Difusión. Tiempo de secado	° C Kg /min s	✓ Experimental



IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo y diseño de investigación

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

4.1.1 Tipo de investigación

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

4.1.2 Nivel de investigación

La investigación será a nivel descriptivo.

4.1.3 Metodología de la investigación

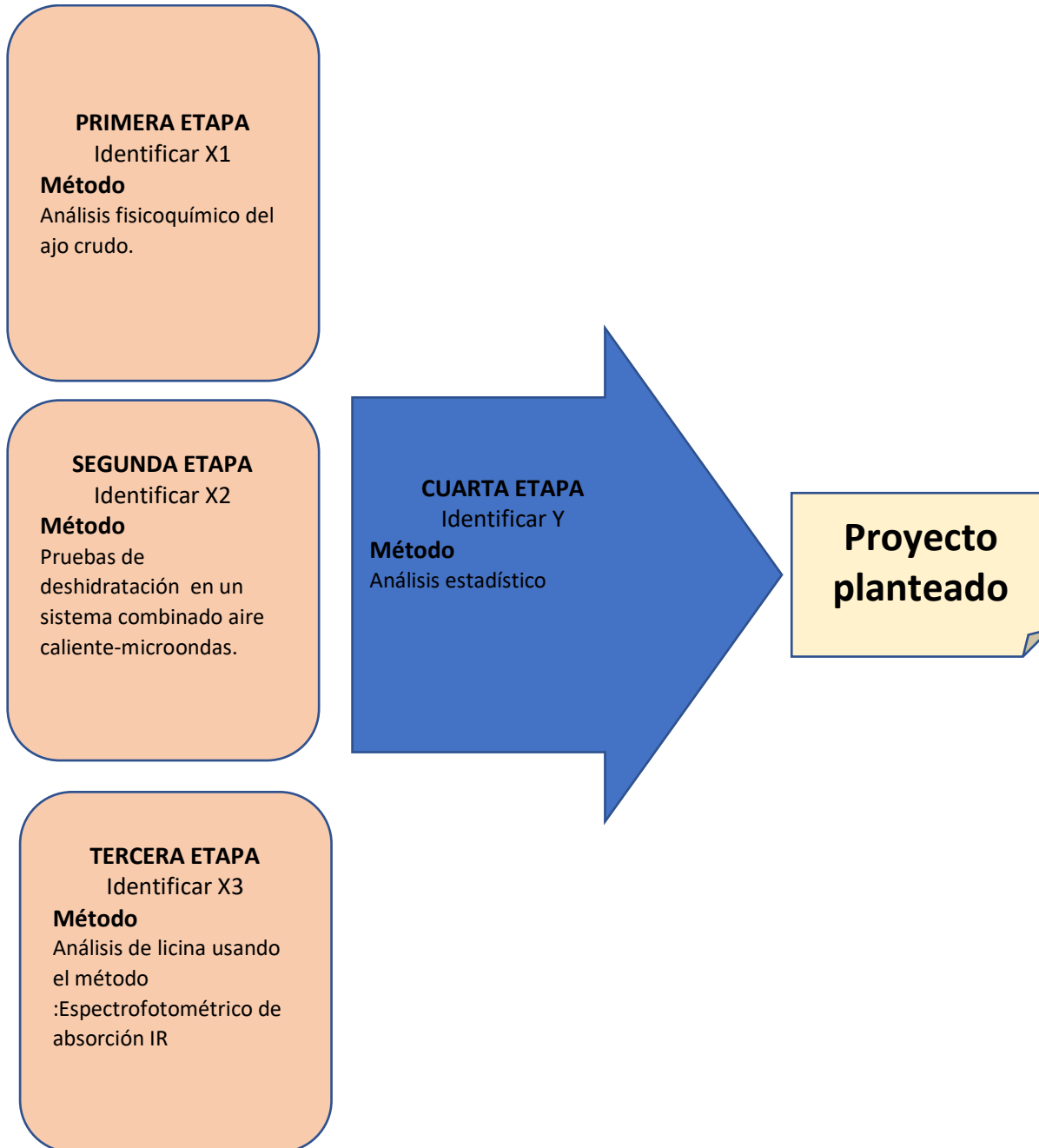
En el presente proyecto se empleará el método experimental, el mismo que se complementará con el estadístico, análisis, síntesis, deductivo y experimental.

4.2. Método de investigación

Se ha considerado la realización de esta investigación en cuatro etapas:

Figura 21

Diseño de la investigación



Primera etapa de la investigación:

Identificar a los componentes fisicoquímicos del ajo crudo (a analizar)

Segunda etapa de la investigación:



Realizar el proceso de deshidratación del ajo, bajo una terna de cambios de temperatura y una terna de cambios de pulsaciones en el microondas, a fin de obtener la data que nos permita buscar el parámetro cinético óptimo.

Tercera etapa de la investigación:

Diseño experimental para el análisis de la alicina, teniendo un patrón referencial estandarizado, empleando el método espectrofotométrico de absorción IR.

La cuarta etapa de la investigación:

Establecer la correlación de las variables independientes con la dependiente a fin de lograr la máxima retención de la alicina contenida en el ajo a la mejor temperatura con el menor tiempo.

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

Para la presente investigación se toma como población toda la cosecha obtenida en la provincia de Arequipa, durante el mes de julio del año 2023.

Tabla 3

Registro de reporte diario

REGISTRO DE PROCESO	POBLACIÓN
Registro del muestreo de campo	1 000 Kg.
Emisión de reporte	1 000 Kg.

4.3.2 Muestra

Para la obtención de la muestra, se le aplica la técnica del muestreo probabilístico aleatorio simple, calculando la muestra para los procesos en el periodo de un mes, debido a que se ha considerado una fecha de muestreo (01 de Junio de 2022), teniendo en cuenta el muestreo a realizarse una vez por día, de lunes a viernes.

Bajo esta modalidad se logra recoger una muestra de 1000 gr de ajo fresco en forma de dientes, de los cuales usaremos 10 gramos en cada corrida de secado.

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 : Límite aceptable de error muestral que varía entre 0.01 y 0.09

σ : Desviación estándar.

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

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

Es decir, del lote con ajos 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.

Unidad de análisis: Cada 10 gramos de ajo fileteado a ser secado.

4.4. Lugar de estudio

a. Proceso de Secado

Laboratorio de la empresa TECNIGAL SRLtda.

b. Proceso de análisis espectrofotómetro.

Laboratorio de Investigación Experimental de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

A. Metodología de la investigación experimental

Para desarrollar y dotar de mayor eficiencia a la tecnología de secado, se determinó el tiempo de secado adecuado, así como los parámetros de temperatura y humedad correspondientes. Se tuvo en cuenta la preparación del producto y su colocación

dentro del secador, así como el modo de operación que más se ajustó a las características del producto a secar (Bérriz, 2013; Bérriz, et al., 2013).

B. Caracterización del experimento

El experimento tuvo lugar en el mes de mayo en el Laboratorio de Calidad, perteneciente al Departamento de Ingeniería de la Facultad de Ciencias Técnicas, de la Universidad Agraria de La Habana. Se efectuó bajo condiciones controladas, con una humedad relativa de 80% y una presión atmosférica de 100 kPa.

C. condiciones iniciales del experimento.

A partir de investigaciones y trabajos precedentes según Almada et al. (2005); Corvalan et al. (2006); Chávez (2010); Rodríguez (2013), se pudo establecer que, en condiciones de secado natural, se puede lograr una temperatura de secado superior a los 50°C. Así mismo, se conoce que es posible lograr, una velocidad de circulación del aire entre los 0,01 m/s y los 0,02 m/s, tanto en condiciones de tiro inducido como en condiciones de tiro forzado.

Por ello, se establecieron los valores de los parámetros bajo los que se efectuó el experimento, en condiciones similares a las del secado solar, recreadas en el laboratorio a partir de los parámetros tecnológicos recogidos y precisados en la tabla 1.

4.5.1 Materiales y/o equipos

Para el desarrollo de este proyecto se utilizará bulbos de calidad estándar (figura 1), luego de ser pelado el cual ingresará al equipo combinado de secado (aire caliente-microondas). Durante este proceso las variables independientes a manipular serán la temperatura, el tiempo y la potencia del equipo.

Este alimento milenario se caracteriza por tener alto contenido proteico y ácidos grasos, entre otros. que la constituyen en una excelente alternativa para la nutrición humana, colocándose en un nivel competitivo con la soja (Dávila, 1987)

Figura 22

Muestras de bulbos de ajo con cáscara, pelado y granulado.



Fuente: Greco M. (2011)

Durante el desarrollo de esta investigación se trabajó con el ajo producido en nuestro país, específicamente de la Región de Arequipa.

A. 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 22, 23, 24 y 25 se tienen imágenes del equipo.

Figura 23

Secador experimental acoplado a microondas



Figura 24

Cámara experimental de secado



Figura 25

Panel de control de temperatura



Figura 26

Fuente de poder del secador experimental



Los elementos que componen la cámara experimental de secado son:

1. Ventilador centrífugo con variador de velocidad.
2. Calentador para aire por medio de una resistencia eléctrica.
3. Tablero de control con termostatos y flujo de aire.

4. Re-cámara combinada de secado.
5. Muestra de producto a deshidratar.
6. Balanza digital que va midiendo la variación de la masa del producto en el tiempo de ensayo.
7. Salida de aire que pasa por la re-cámara de secado.

Figura 27

Diagrama de flujo para el secado combinado aire-microondas

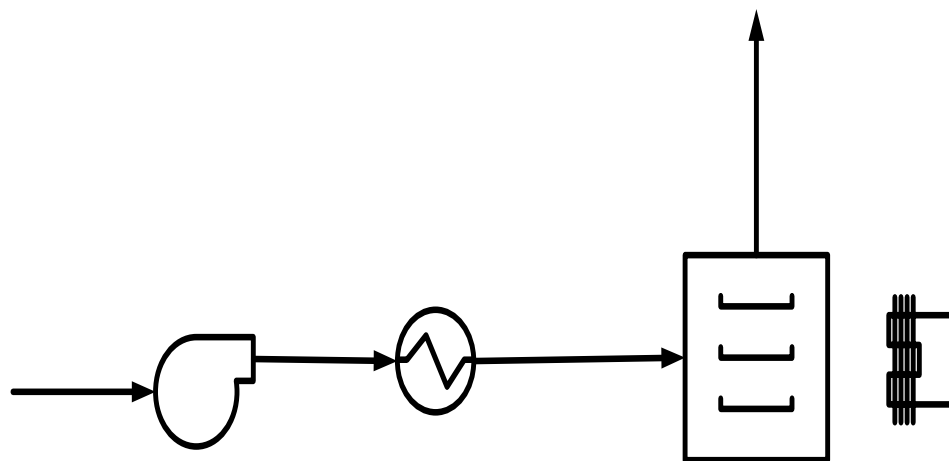


Tabla 4

Características del equipo experimental de secado combinado aire caliente – microondas.

ACCESORIO	CARACTERISTICAS	CAPACIDAD
Soplador de aire	Tipo turbina con ductos de entrada y salida de 2 pulgadas Con 7 variaciones de voltaje	Velocidad máxima de 1600 rpm y 200W de potencia, alimentación de 24 Voltios DC
Variador de velocidad	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 Pirómetro análogo-digital	Rango de medida de 0 °C a 1200°C
Control de temperatura	,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

4.5.2. Primera etapa

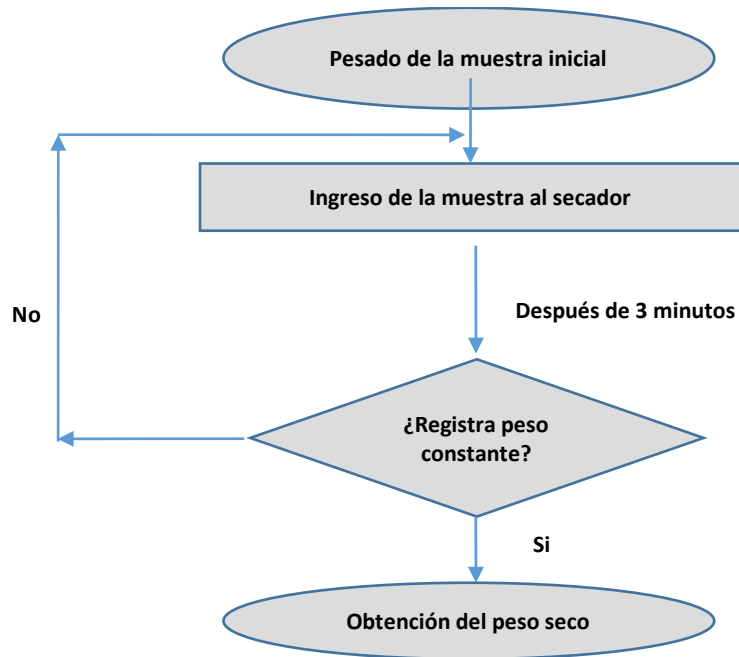
➤ **Procedimiento para hallar la cinética de secado y las condiciones de trabajo.**

El registro de datos siguió el esquema que se muestra en la Figura 27. La medida de la velocidad de aire se realizó utilizando un anemómetro digital marca Benetech Gm816 (Figura 28), 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 29). 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 30).



Figura 28

Diagrama para registro de datos en el secador



Fuente: Valencia (2016)

Figura 29

Anemómetro digital



Figura 30

Balanza registradora de masa



Figura 31

Data Logger



Figura 32

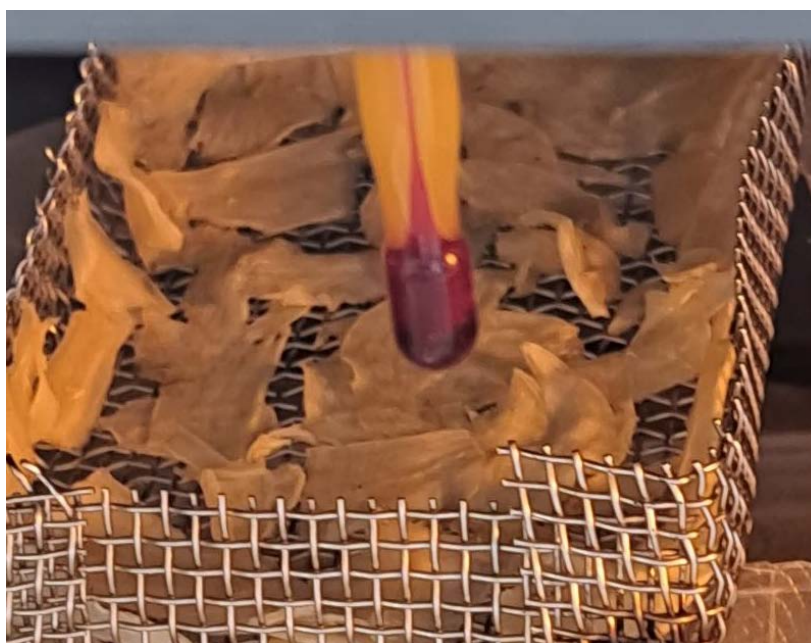
Muestras de ajo fresco a ser analizado



En la Figura 31 se observa una muestra para realizar la medida antes y después del ensayo, siguiendo el procedimiento explicado en el diagrama de bloques (Figura 27).

Figura 33

Ajo laminado exento de agua liberable



Como se puede observar en la figura 32, físicamente el fruto está completamente exento de agua liberable. En la figura 84 podemos observar como el

espectrofotómetro realiza el análisis cualitativo de todos los componentes químicos que contiene la molécula de alicina en una de las muestras de ajo húmedo a través de las longitudes de onda las cuales podemos identificarlas en la tabla 6.

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.

4.5.3 Segunda etapa (Determinación de la alicina)

A. Materiales y/o equipos

- Equipo Kjeldahl 01
- Alcohol metílico 250 ml
- Agua destilada 1000 ml

- Balanza analítica 01
- Vasos de precipitado (de 50 ml) 16
- Espátula 03
- Piceta con agua 01
- Placas petry 12
- Probeta de 50 ml. 03

B. Reactivos e insumos

- Alcohol etílico 1 litro

- Muestra patrón de alicina
 - (en cápsulas de 5000 mcg cada una)- Un frasco de 100 unidades

B. Técnica

B.1 Preparación de la muestra patrón (en base de alicina)

Se partió de un patrón en presentación de pastillas, las mismas que contenían 5000 mcg de alicina cada cápsula.



Figura 34

Frasco de 100 pastillas que contienen 5000mcg de alicina



Figura 35

Peso de 1 pastilla del Patron de Alicina



Tabla 5

Concentraciones de los patrones disueltos para su análisis en el espectrofotómetro

	A	B	C	D
Soluto(en capsulas)	1	2	3	4
Disolvente (C ₂ H ₅ OH)	20 ml	20 ml	20 ml	20 ml
Masa (alicina)	5* 10 ⁻³ mg	10* 10 ⁻³ mg	15*10 ⁻³ mg	20*10 ⁻³ mg

Las preparaciones de estas disoluciones se llevaron al espectrofotómetro infra rojo a fin obtener lecturas de transmitancia, con las cuales podemos obtener la curva característica de concentración vs transmitancia.

B.2 Preparación de las muestras a analizar

1. Moler en un mortero a las diferentes muestras a ser analizadas (13 muestras) una de ajo crudo y doce deshidratadas en diferentes condiciones de la cinética.
2. Las muestras molidas se llevan a una balanza analítica a fin de registrar la masa deseada para cada caso, depositándolas cada una en un vaso de 50 ml. Y rotulándolas correspondientemente.
3. Le añadimos 20 ml de alcohol etílico a cada muestra y sometemos a agitación en el tiempo más corto posible a fin de llevar a la lectura en el equipo espectrofotométrico ya calibrado con el patrón.

Figura 36

Proceso de triturado de muestras secas de Ajo en laminas que contienen alicina



Figura 37

Muestras hechas durante el proceso de obtención de Alicina



Figura 38

Muestra seca de ajo en láminas y triturada



Figura 39

Espectrofotometro SHIMADZU IRPRESTIGE-21



Figura 40

Primeras muestras de ajo en láminas triturado disuelto en alcohol etílico



Tabla 6

Espectroscopía con absorciones IR para grupos funcionales representativos

Grupo funcional	Banda^a	(cm⁻¹)
Alcanos	C-H t	2950-2800
	CH ₂ d	~1465
	CH ₃ d	~1375
	CH ₂ d (4 ó más)	~720
Alquenos	=CH t	3100-3010
	C=C t (aislado)	1690-1630
	C=C t (conjugado)	1640-1610
	C-H d (en el plano)	1430-1290
	C-H d (monosustituído)	~990 y ~910
	C-H d (disustituído - E)	~970
	C-H d (disustituído - 1,1)	~890
	C-H d (disustituído - Z)	~700
	C-H d (trisustituído)	~815
Alquinos	C-H t (acetilénico)	~3300
	CC t (triple enlace)	~2150
	C-H d (acetilénico)	650-600
Aromáticos	C-H t	3020-3000
	C=C t	~1600 y ~1475
	C-H d (mono)	770-730 y 715-685
	C-H d (orto)	770-735
	C-H d (meta)	~880 y ~780 y ~690
	C-H d (para)	850-800
Alcoholes	O-H t	~3650 o 3400-3300
	C-O t	1260-1000
Éteres	C-O-C t (dialquil)	1300-1000
	C-O-C t (diaril)	~1250 y ~1120
Aldehídos	C-H t (aldehído)	~2850 y ~2750
	C=O t	~1725
Cetonas	C=O t	~1715
	C-C t	1300-1100
Ácidos carboxílicos	O-H t	3400-2400
	C=O t	1730-1700
	C-O t	1320-1210
	O-H d	1440-1400
Ésteres	C=O t	1750-1735
	C-C(O)-C t (acetatos)	1260-1230
	C-C(O)-C st (el resto)	1210-1160
Cloruros de ácidos	C=O t	1810-1775
	C-Cl st	730-550
Anhídridos	C=O t	1830-1800 y 1775-1740
	C-O t	1300-900
Aminas	N-H t	3500-3300
	N-H d	1640-1500
	C-N t (alquil)	1200-1025
	C-N t (aril)	1360-1250

	N-H d	~800
Amidas	N-H t	3500-3180
	C=O t	1680-1630
	N-H d	1640-1550
	N-H d (1°)	1570-1515
Haluros de alquilo	C-F t	1400-1000
	C-Cl t	785-540
	C-Br t	650-510
	C-I t	600-485
Nitrilos	C,N t (triple enlace)	~2250
Isocianatos	-N=C=O t	~2270
Isotiocianatos	-N=C=S t	~2125
Iminas	R ₂ C=N-R t	1690-1640
Grupos nitro	-NO ₂ (alifáico)	1600-1530 y 1390-1300
	-NO ₂ (aromático)	1550-1490 y 1355-1315
Mercaptanos	S-H t	~2550
Sulfóxidos	S=O t	~1050
Sulfonas	S=O t	~1300 y ~1150
Sulfonatos	S=O t	~1350 y ~11750
	S-O t	1000-750
Fosfinas	P-H t	2320-2270
	PH d	1090-810
Óxidos de fosfina	P=O t	1210-1140

^a t = vibración de tensión; d = deformación

Fuente: Copyright © 2002 Recursos Educativos de Química Orgánica (QUIORED) Última modificación: agosto de 2002 (quiorred@ugr.es)

Figura 41

Análisis de muestras en el espectrofotómetro SHIMADZU



B.3 Preparación de las muestras a analizar en el espectrómetro de absorción IR

- Extraer los tubos receptores de 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.

Tabla 7

Data obtenida de las 13 muestras en el espectrofotómetro SHIMADZU

Muestra	Longitud de onda (1/cm)	%Tramitancia
M1	1050	60
M2	1050	68
M3	1050	65
M4	1050	68
M5	1050	62
M6	1050	68
M7	1050	62
M8	1050	75
M9	1050	93
M10	1050	69
M11	1050	64
M12	1050	70
M13	1050	68

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 superficie respuesta que se compone del cálculo de estadísticas de regresión y correspondencia con la concentración de alicina.



4.5.1 Estadística de regresión

- Coeficiente 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.
- Coeficiente 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.

4.5.2 Análisis de superficie respuesta

Prueba F: El análisis de superficie respuesta 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.



V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

No aplica

5.2. Resultados inferenciales

5.2.1 Pruebas de secado

Se trabajó a velocidad de aire constante, medida con un anemómetro digital, tomando mediciones en la pérdida de masa (por triplicado).

Tabla 8

Promedio de la velocidad del aire en el secador en todas las pruebas

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

Finalmente se trabajaron todas las corridas a esa velocidad de aire (~3 m/s), a las temperaturas de 40°C, 45°C y 50°C y con pulsaciones de microondas de 0; 3; 5 y 7, segundos luego de cada pesada (intervalos de 30 minutos), sobre una rejilla de acero inoxidable 3/16" con una masa de 25,5g, lográndose los siguientes resultados promedio:

➤ Prueba de la humedad del ajo fresco

Tabla 9

Prueba inicial de la humedad del ajo fresco

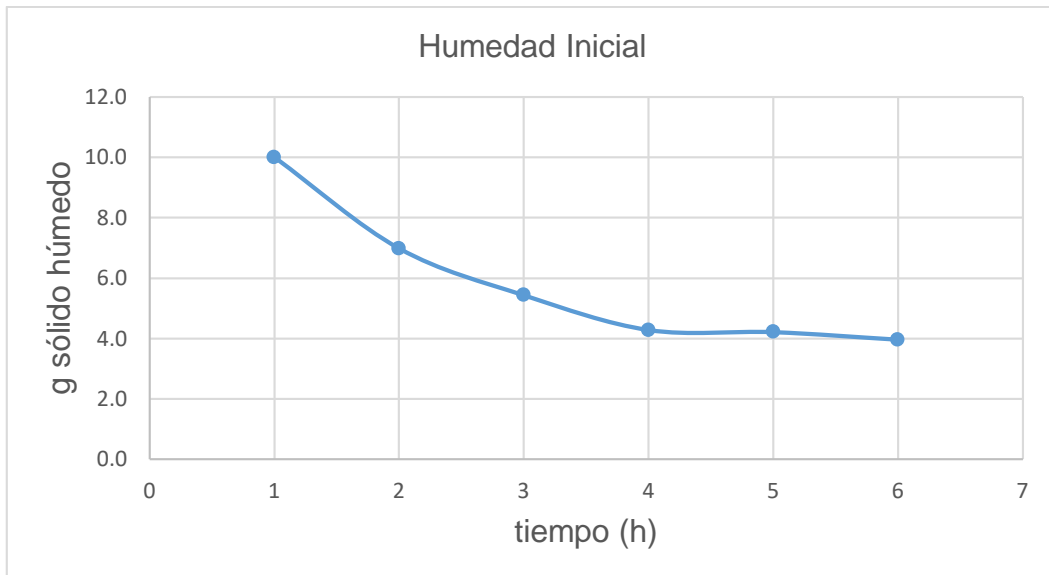
t (h)	m muestra (g)
1	10,0
2	6,98
3	5,43
4	4,28
5	4,21
6	3,96

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

$$\% \text{ Humedad}_{\text{inicial}} = 60.40g \text{ agua} / g \text{ sólido húmedo}$$

Figura 42

Curva de humedad del ajo fresco



A. Pruebas realizadas a 40 ° C

Tabla 10

Data del secado del ajo a 40°C con 0 s de pulsaciones de microondas

40°C 0s				
t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	($\Delta m/m_0$)%
0	10.0	60.40%	1.5253	0.00%
20	6.9	42.36%	0.7348	51.82%
50	5.4	26.26%	0.3561	76.66%
80	4.8	17.84%	0.2172	85.76%
110	4.6	13.54%	0.1566	89.74%
140	4.5	11.21%	0.1263	91.72%
170	4.4	9.59%	0.1061	93.05%
200	4.2	5.04%	0.0530	96.52%
230	4.1	4.35%	0.0455	97.02%
260	4.1	3.65%	0.0379	97.52%
290	4.1	3.65%	0.0379	97.52%
320	4.1	3.65%	0.0379	97.52%
350	4.1	3.65%	0.0379	97.52%



Tabla 11

Data para encontrar la velocidad de secado del ajo a 40 ° C con 0s de pulsaciones

x (g agua/g sólido húmedo)	X (g agua/g sólido seco)	($\Delta m/m_0$)%	Xpromedio	ΔX	Δt	Rate: $-\Delta X/\Delta t$ (g/gss.min)
0.6040	1.5253					
0.4236	0.7348	51.82%	1.1301	-0.7904	20	0.0395
0.2626	0.3561	76.66%	0.5455	-0.3788	30	0.0126
0.1784	0.2172	85.76%	0.2866	-0.1389	30	0.0046
0.1354	0.1566	89.74%	0.1869	-0.0606	30	0.0020
0.1121	0.1263	91.72%	0.1414	-0.0303	30	0.0010
0.0959	0.1061	93.05%	0.1162	-0.0202	30	0.0007
0.0504	0.0530	96.52%	0.0795	-0.0530	30	0.0018
0.0435	0.0455	97.02%	0.0492	-0.0076	30	0.0003
0.0365	0.0379	97.52%	0.0417	-0.0076	30	0.0003
0.0365	0.0379	97.52%	0.0379	0.0000	30	0.0000
0.0365	0.0379	97.52%	0.0379	0.0000	30	0.0000
0.0365	0.0379	97.52%	0.0379	0.0000	30	0.0000

Figura 43

Curva de secado del ajo a 40°C con 0s de pulsaciones

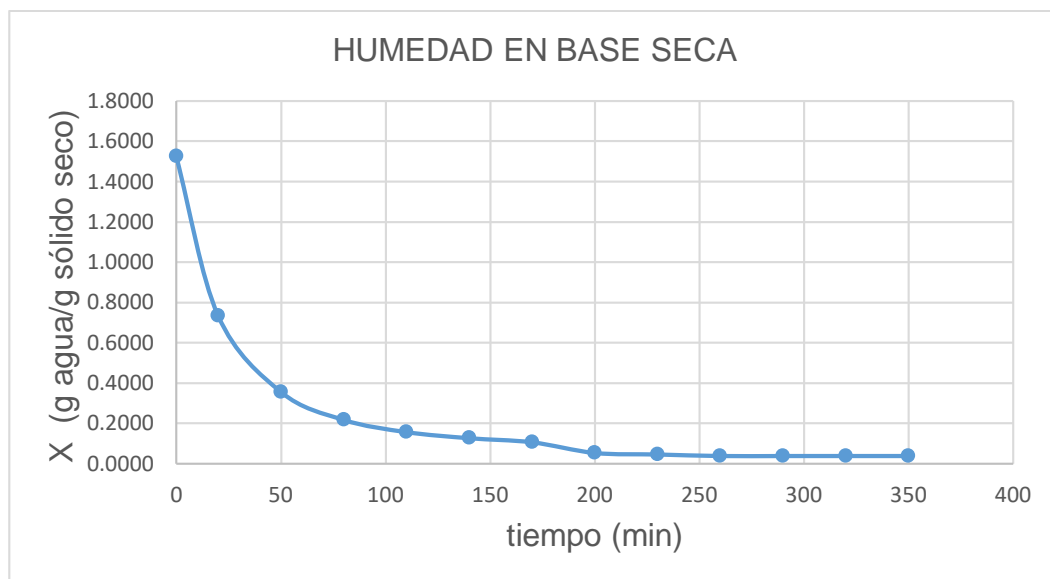


Figura 44

Curva de la variación de masa

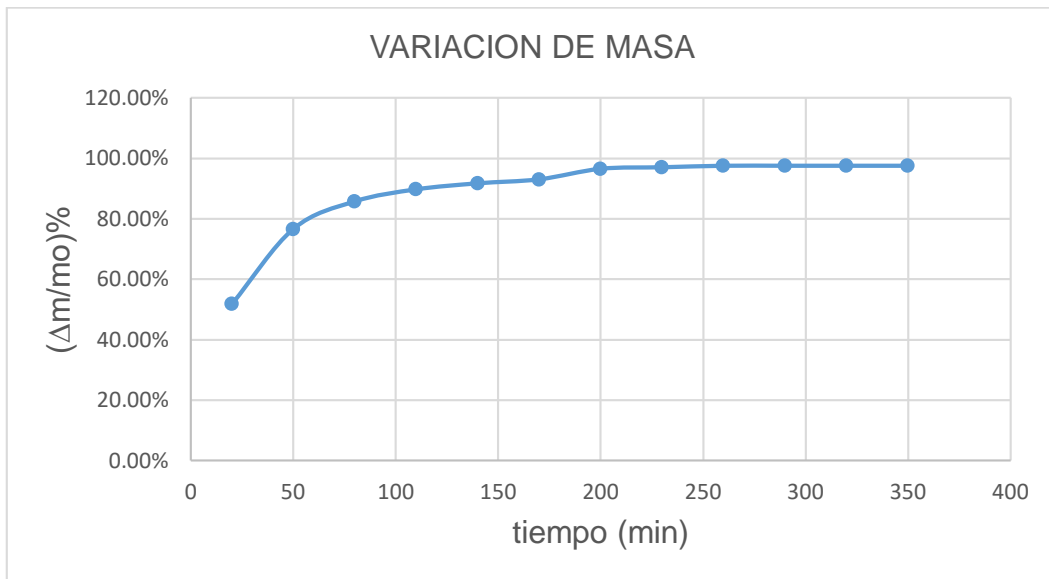


Figura 45

Curva de la velocidad del secado a 40 °C con 0 pulsaciones

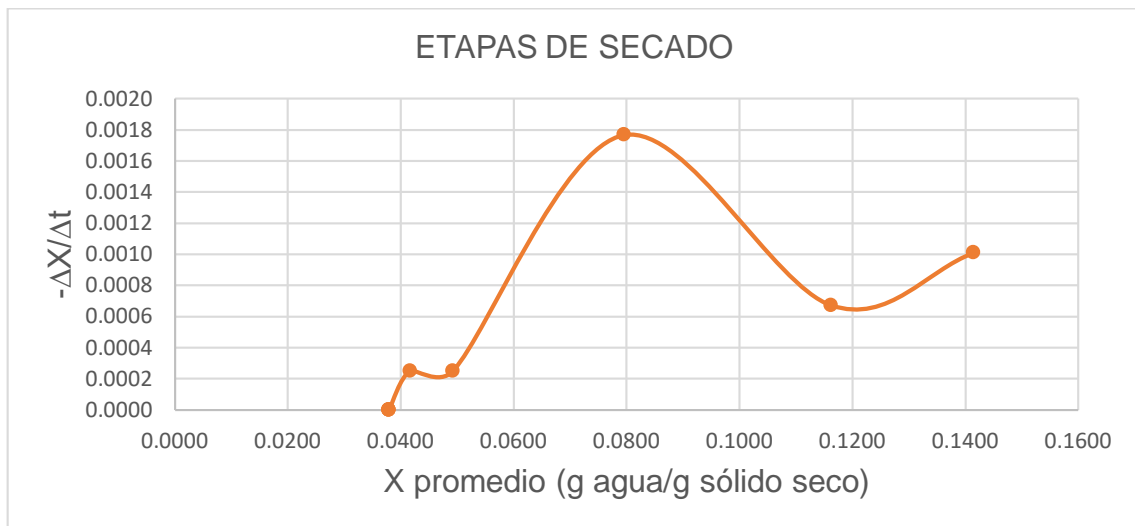


Figura 46

Segmento de curva de velocidad de secado a 40°C y 0 pulsaciones

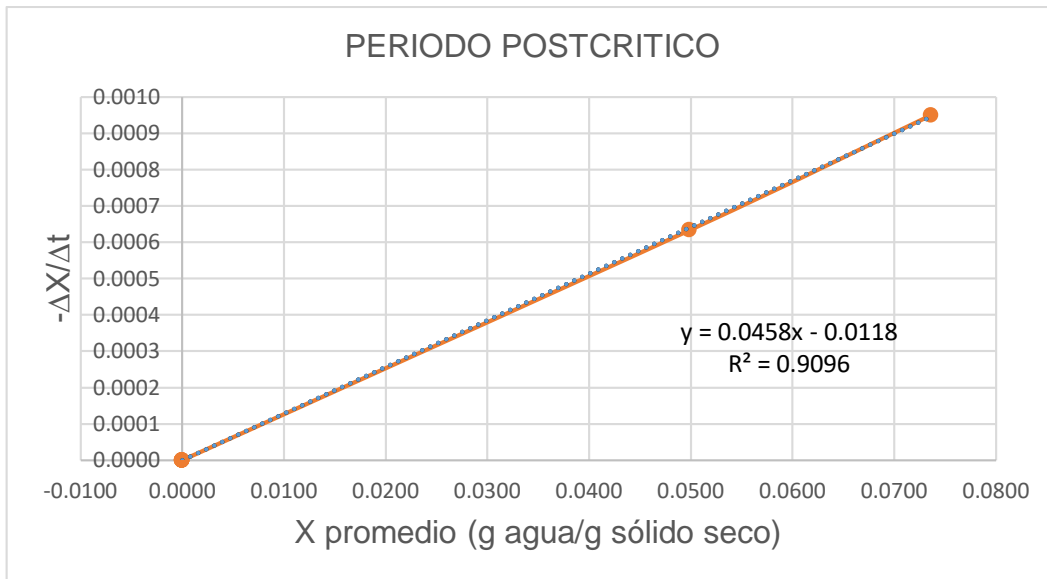


Tabla 12

Data del secado del ajo a 40°C con 3s de pulsaciones

40°C 3s				
t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m ₀)%
0	10.0	60.40%	1.5253	0.00%
20	6.5	38.70%	0.6313	58.61%
50	5.3	25.00%	0.3333	78.15%
80	4.8	18.01%	0.2197	85.60%
110	4.6	13.91%	0.1616	89.40%
140	4.2	4.81%	0.0505	96.69%
170	4.2	4.58%	0.0480	96.85%
200	4.2	4.58%	0.0480	96.85%
230	4.2	4.58%	0.0480	96.85%
260	4.2	4.58%	0.0480	96.85%
290	4.2	4.58%	0.0480	96.85%
320	4.2	4.58%	0.0480	96.85%
350	4.2	4.58%	0.0480	96.85%



Tabla 13

Data para determinar la velocidad de secado del ajo a 40 ° C con 3s de pulsaciones

x (g agua/g sólido húmedo)	X (g agua/g sólido seco)	($\Delta m/m_0$)%	Xpromedio	ΔX	Δt	Rate: $-\Delta X/\Delta t$ (g/gss.min)
0.6040	1.5253					
0.3870	0.6313	58.61%	1.0783	-0.8939	20	0.0447
0.2500	0.3333	78.15%	0.4823	-0.2980	30	0.0099
0.1801	0.2197	85.60%	0.2765	-0.1136	30	0.0038
0.1391	0.1616	89.40%	0.1907	-0.0581	30	0.0019
0.0481	0.0505	96.69%	0.1061	-0.1111	30	0.0037
0.0458	0.0480	96.85%	0.0492	-0.0025	30	0.0001
0.0458	0.0480	96.85%	0.0480	0.0000	30	0.0000
0.0458	0.0480	96.85%	0.0480	0.0000	30	0.0000
0.0458	0.0480	96.85%	0.0480	0.0000	30	0.0000
0.0458	0.0480	96.85%	0.0480	0.0000	30	0.0000
0.0458	0.0480	96.85%	0.0480	0.0000	30	0.0000
0.0458	0.0480	96.85%	0.0480	0.0000	30	0.0000
0.0458	0.0480	96.85%	0.0480	0.0000	30	0.0000

Figura 47

Curva de secado del ajo a 40°C con 3s de pulsaciones

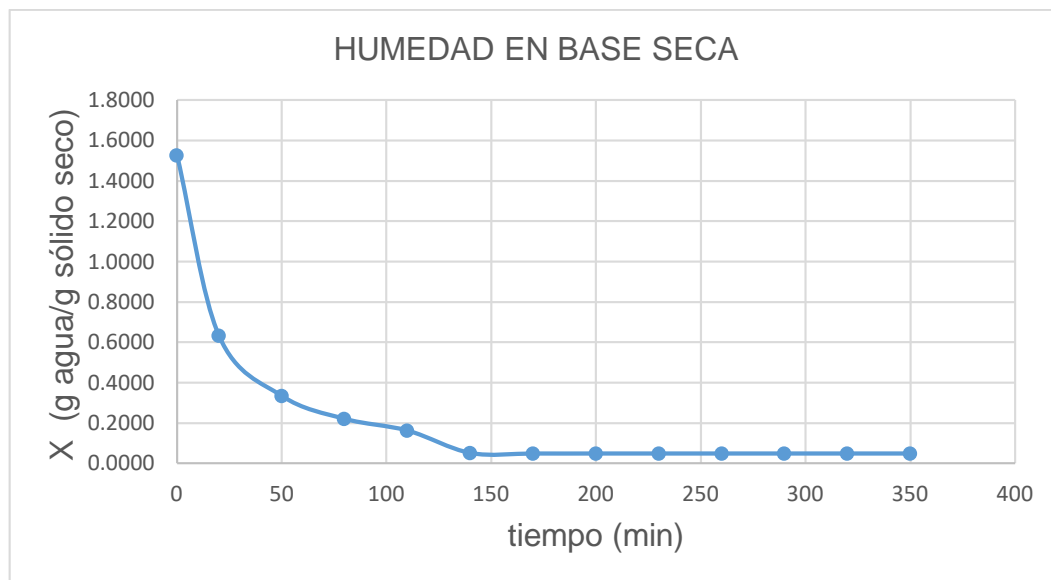


Figura 48

Curva de la velocidad del secado a 40 °C con 3s de pulsaciones

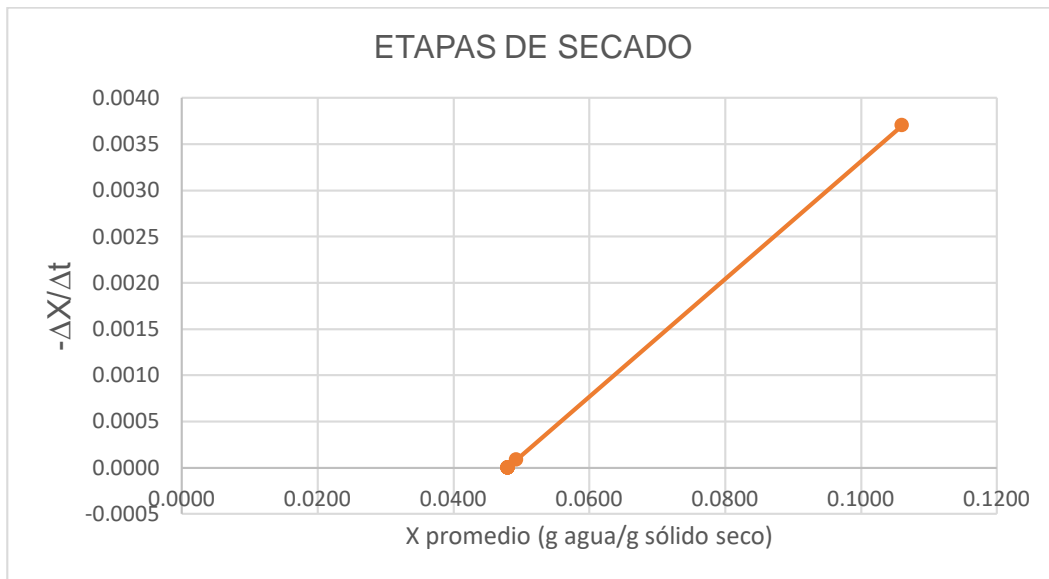


Figura 49

Segmento de curva de velocidad de secado a 40°C y 3s de pulsaciones

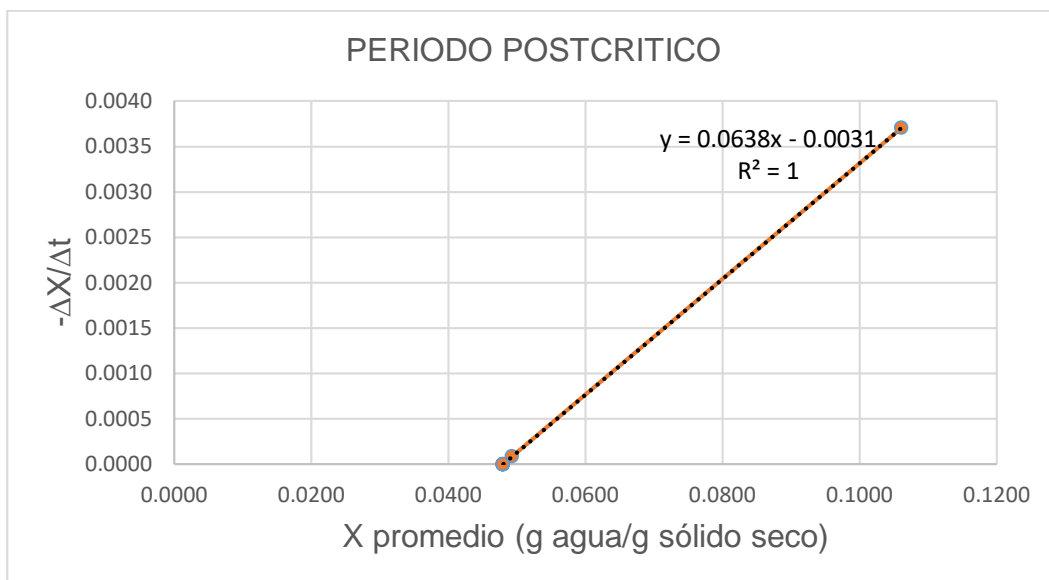


Tabla 14*Data para el secado del ajo a 40° C con 5 s de pulsaciones*

40°C 5s				
t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	($\Delta m/m_0$)%
0	10.0	60.40%	1.5253	0.00%
20	7.0	43.67%	0.7753	49.17%
50	5.6	29.03%	0.4091	73.18%
80	5.0	20.48%	0.2576	83.11%
110	4.7	15.92%	0.1894	87.58%
140	4.2	4.81%	0.0505	96.69%
170	4.1	4.12%	0.0429	97.19%
200	4.1	4.12%	0.0429	97.19%
230	4.1	4.12%	0.0429	97.19%
260	4.1	4.12%	0.0429	97.19%
290	4.1	4.12%	0.0429	97.19%
320	4.1	4.12%	0.0429	97.19%

Tabla 15*Data para determinar la velocidad de secado del ajo a 40 ° C con 5s de pulsaciones*

x (g agua/g sólido húmedo)	X (g agua/g sólido seco)	($\Delta m/m_0$)%	Xpromedio	ΔX	Δt	Rate: $-\Delta X/\Delta t$ (g/gss.min)
0.6040	1.5253					
0.4367	0.7753	49.17%	1.1503	-0.7500	20	0.0375
0.2903	0.4091	73.18%	0.5922	-0.3662	30	0.0122
0.2048	0.2576	83.11%	0.3333	-0.1515	30	0.0051
0.1592	0.1894	87.58%	0.2235	-0.0682	30	0.0023
0.0481	0.0505	96.69%	0.1199	-0.1389	30	0.0046
0.0412	0.0429	97.19%	0.0467	-0.0076	30	0.0003
0.0412	0.0429	97.19%	0.0429	0.0000	30	0.0000
0.0412	0.0429	97.19%	0.0429	0.0000	30	0.0000
0.0412	0.0429	97.19%	0.0429	0.0000	30	0.0000
0.0412	0.0429	97.19%	0.0429	0.0000	30	0.0000
0.0412	0.0429	97.19%	0.0429	0.0000	30	0.0000
0.0412	0.0429	97.19%	0.0429	0.0000	30	0.0000



Figura 50

Curva de secado del ajo a 40°C con 5s de pulsaciones

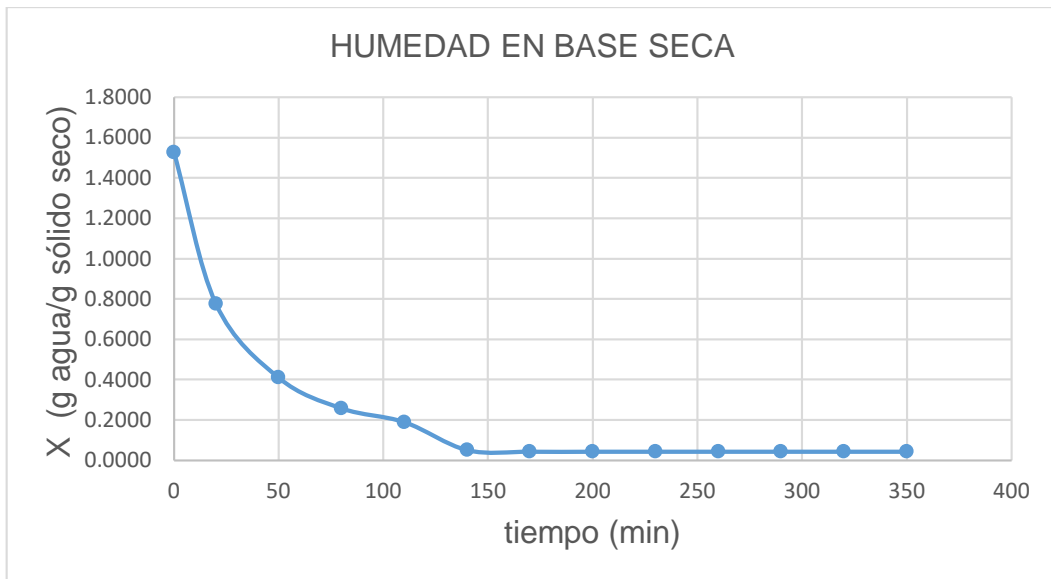


Figura 51

Curva de la variación de masa del ajo a 40°C con 5s de pulsaciones

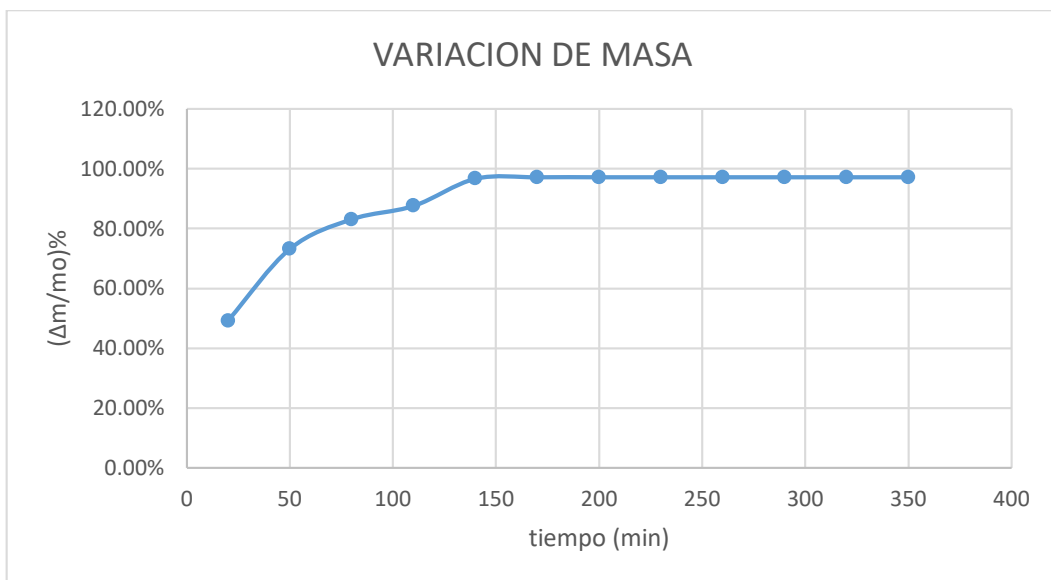


Figura 52

Curva de la velocidad del secado a 40 °C con 5s de pulsaciones

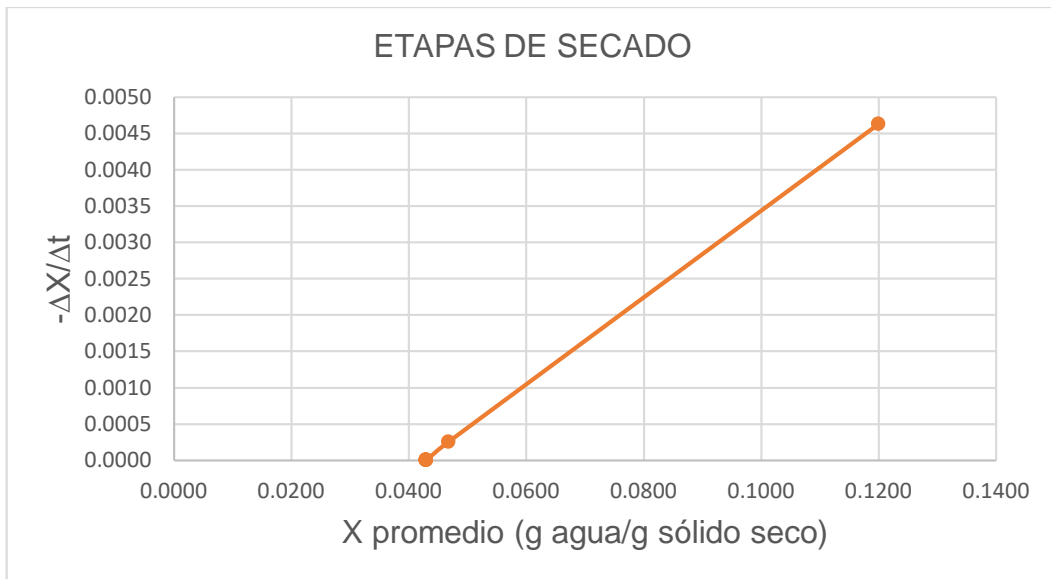


Figura 53

Segmento de curva de velocidad de secado a 40°C y 5s de pulsaciones

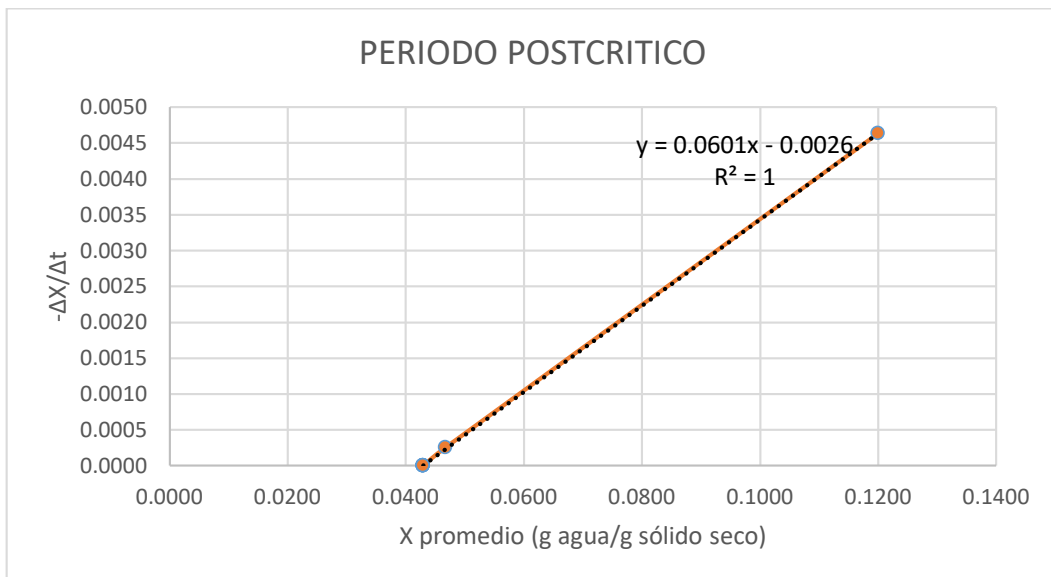


Tabla 16*Data para el secado del ajo a 40° C con 7 s de pulsaciones*

40°C 7s				
t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m ₀)%
0	10.0	60.40%	1.5253	0.00%
20	7.0	43.27%	0.7626	50.00%
50	5.4	26.39%	0.3586	76.49%
80	4.8	16.81%	0.2020	86.75%
110	4.0	1.74%	0.0177	98.84%
140	4.0	1.49%	0.0152	99.01%
170	4.0	1.25%	0.0126	99.17%
200	4.0	1.00%	0.0101	99.34%
230	4.0	1.00%	0.0101	99.34%
260	4.0	1.00%	0.0101	99.34%
290	4.0	1.00%	0.0101	99.34%
320	4.0	1.00%	0.0101	99.34%
350	4.0	1.00%	0.0101	99.34%

Tabla 17*Data para determinar la velocidad de secado del ajo a 40 ° C con 7s de pulsaciones*

x (g agua/g sólido húmedo)	X (g agua/g sólido seco)	(Δm/m ₀)%	Xpromedio	ΔX	Δt	Rate: -ΔX/Δt (g/gss.min)
0.6040	1.5253					
0.4327	0.7626	50.00%	1.1439	-0.7626	20	0.0381
0.2639	0.3586	76.49%	0.5606	-0.4040	30	0.0135
0.1681	0.2020	86.75%	0.2803	-0.1566	30	0.0052
0.0174	0.0177	98.84%	0.1098	-0.1843	30	0.0061
0.0149	0.0152	99.01%	0.0164	-0.0025	30	0.0001
0.0125	0.0126	99.17%	0.0139	-0.0025	30	0.0001
0.0100	0.0101	99.34%	0.0114	-0.0025	30	0.0001
0.0100	0.0101	99.34%	0.0101	0.0000	30	0.0000
0.0100	0.0101	99.34%	0.0101	0.0000	30	0.0000
0.0100	0.0101	99.34%	0.0101	0.0000	30	0.0000
0.0100	0.0101	99.34%	0.0101	0.0000	30	0.0000
0.0100	0.0101	99.34%	0.0101	0.0000	30	0.0000

Figura 54

Curva de secado del ajo a 40°C con 7s de pulsaciones

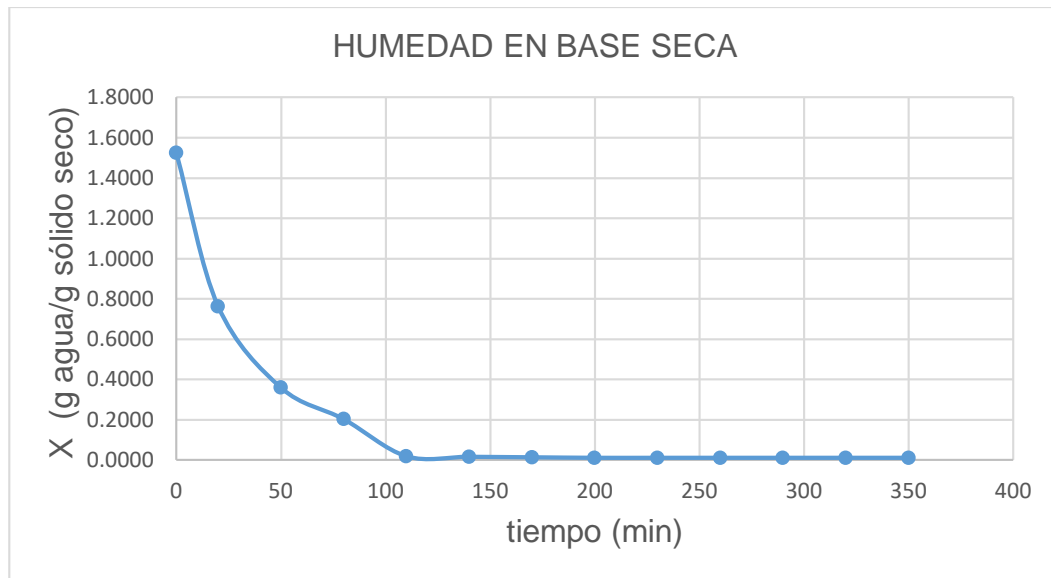


Figura 55

Curva de la variación de masa del ajo a 40°C con 7s de pulsaciones

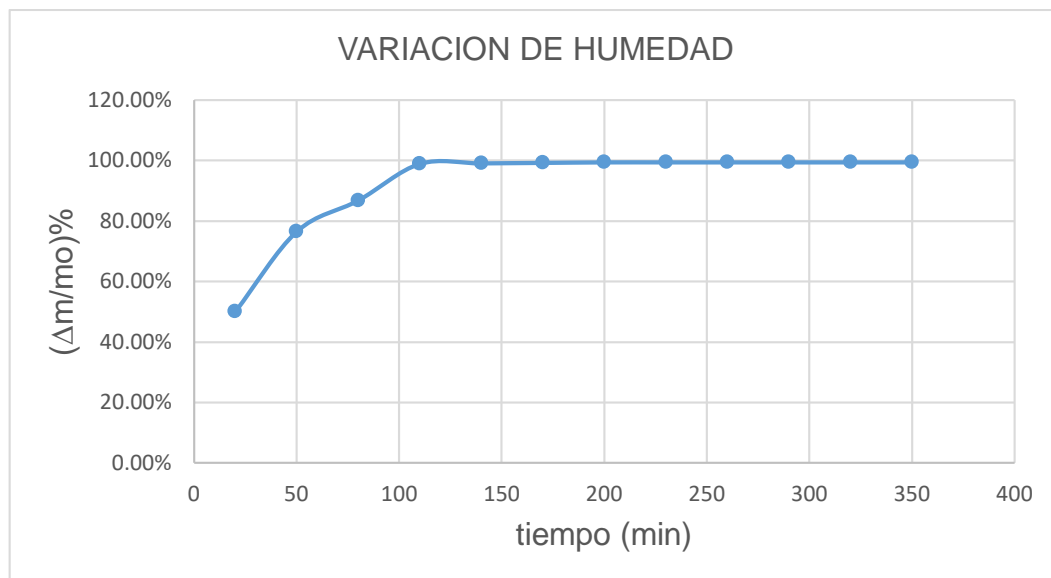


Figura 56

Curva de la velocidad del secado a 40 °C con 7s de pulsaciones

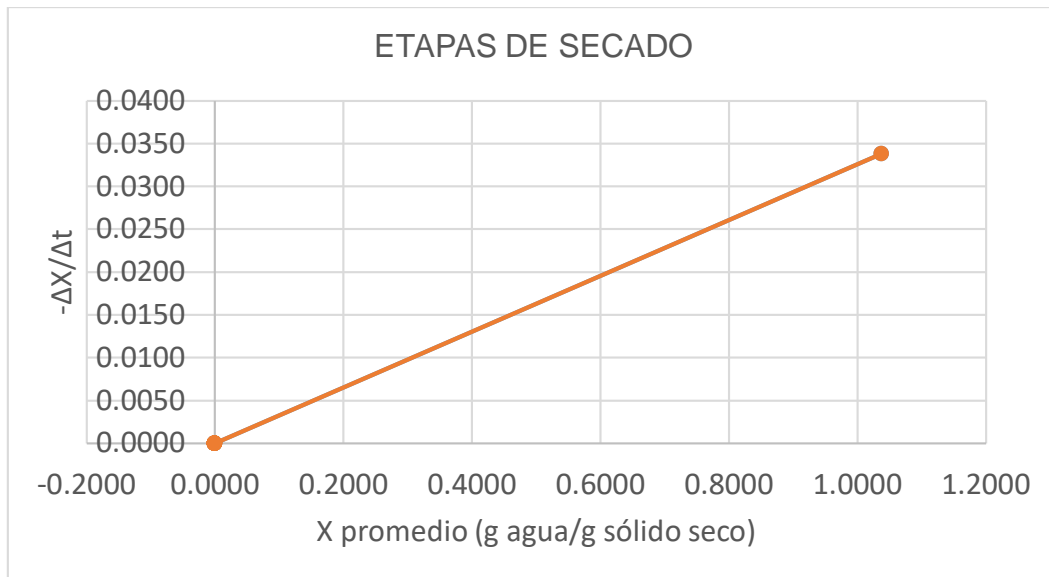


Figura 57

Segmento de curva de velocidad de secado a 40°C y 7s de pulsaciones

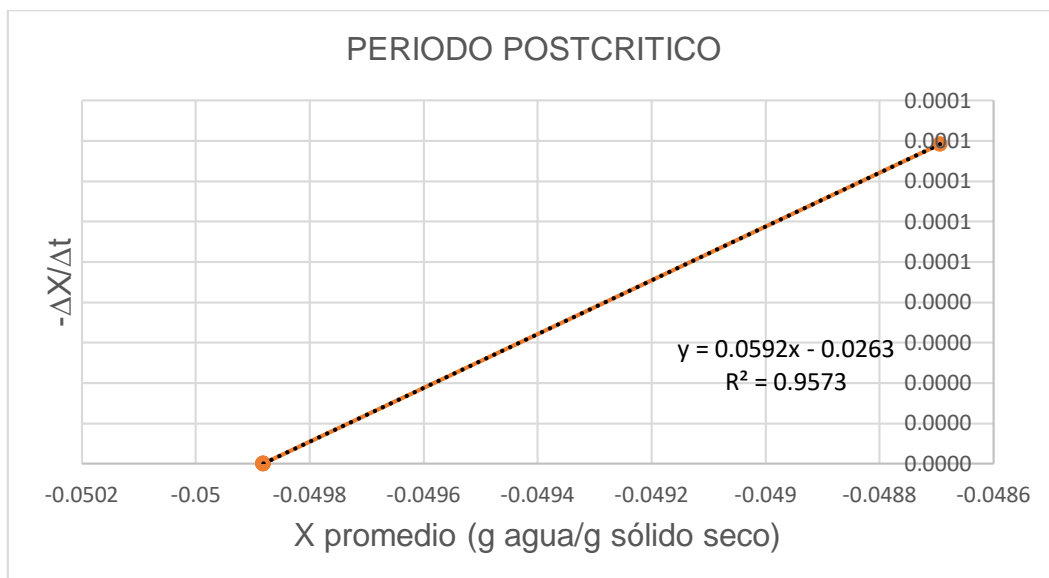


Tabla 18

Comparativa de curvas de secado del ajo a 40°C con diferentes pulsaciones en micrrondas.

Data	X (g agua/g sólido seco)				Xpromedio				-ΔX/Δt			
	Tiempo de pulsación				Tiempo de pulsación				Tiempo de pulsación			
Tiempo (min)	0s	3s	5s	7s	0s	3s	5s	7s	0s	3s	5s	7s
0	1.5253	1.5253	1.5253	1.5253								
20	0.7348	0.6313	0.7753	0.7626	1.1301	1.0783	1.1503	1.1439	0.0395	0.0447	0.0375	0.0381
50	0.3561	0.3333	0.4091	0.3586	0.5455	0.4823	0.5922	0.5606	0.0126	0.0099	0.0122	0.0135
80	0.2172	0.2197	0.2576	0.2020	0.2866	0.2765	0.3333	0.2803	0.0046	0.0038	0.0051	0.0052
110	0.1566	0.1616	0.1894	0.0177	0.1869	0.1907	0.2235	0.1098	0.0020	0.0019	0.0023	0.0061
140	0.1263	0.0505	0.0505	0.0152	0.1414	0.1061	0.1199	0.0164	0.0010	0.0037	0.0046	0.0001
170	0.1061	0.0480	0.0429	0.0126	0.1162	0.0492	0.0467	0.0139	0.0007	0.0001	0.0003	0.0001
200	0.0530	0.0480	0.0429	0.0101	0.0795	0.0480	0.0429	0.0114	0.0018	0.0000	0.0000	0.0001
230	0.0455	0.0480	0.0429	0.0101	0.0492	0.0480	0.0429	0.0101	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
260	0.0379	0.0480	0.0429	0.0101	0.0417	0.0480	0.0429	0.0101	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
290	0.0379	0.0480	0.0429	0.0101	0.0379	0.0480	0.0429	0.0101	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
320	0.0379	0.0480	0.0429	0.0101	0.0379	0.0480	0.0429	0.0101	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
350	0.0379	0.0480	0.0429	0.0101	0.0379	0.0480	0.0429	0.0101	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 58

Segmento de curva de velocidad de secado a 40°C con diferentes pulsaciones

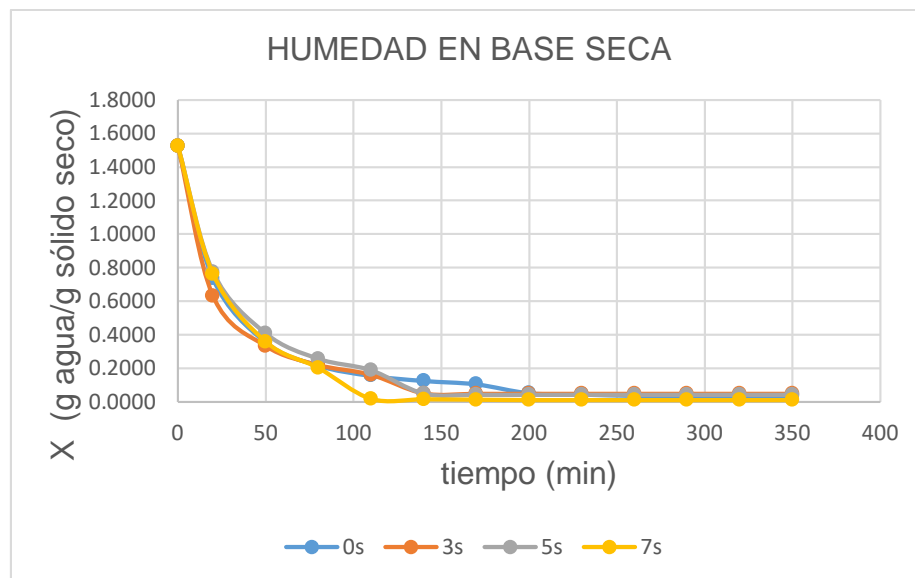
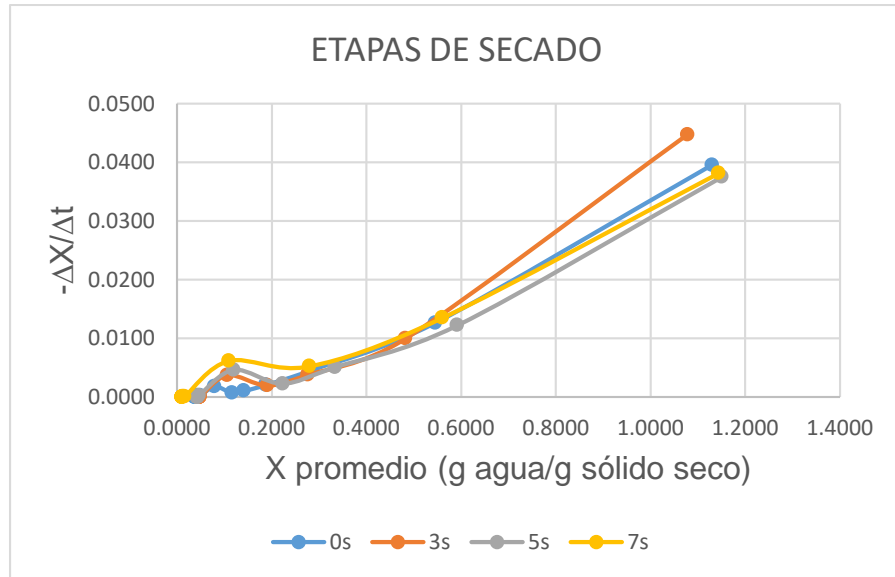


Figura 59

Segmento de curva de velocidad de secado a 40°C con diferentes pulsaciones



B. Pruebas realizadas a 45°C

Tabla 19

Data para el secado del ajo a 45° C con 0 s de pulsaciones

45°C 0s				
t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m ₀)%
0	10.0	60.40%	1.5253	0.00%
20	7.0	43.02%	0.7551	50.50%
50	5.6	29.54%	0.4192	72.52%
80	5.1	22.50%	0.2904	80.96%
110	4.3	8.33%	0.0909	94.04%
140	4.3	8.33%	0.0909	94.04%
170	4.3	8.33%	0.0909	94.04%
200	4.3	8.33%	0.0909	94.04%
230	4.3	8.33%	0.0909	94.04%
260	4.3	8.33%	0.0909	94.04%
290	4.3	8.33%	0.0909	94.04%
320	4.3	8.33%	0.0909	94.04%
350	4.3	8.33%	0.0909	94.04%

Tabla 20

Data para determinar la velocidad de secado del ajo a 45 ° C con 0s de pulsaciones

x (g agua/g sólido húmedo)	X (g agua/g sólido seco)	($\Delta m/m_0$)%	Xpromedio	ΔX	Δt	Rate: $-\Delta X/\Delta t$ (g/gss.min)
0.6040	1.5253					
0.2385	0.3131	79.47%	0.9192	-1.2121	20	0.0606
0.0917	0.1010	93.38%	0.2071	-0.2121	30	0.0071
0.0682	0.0732	95.20%	0.0871	-0.0278	30	0.0009
0.0594	0.0631	95.86%	0.0682	-0.0101	30	0.0003
0.0526	0.0556	96.36%	0.0593	-0.0076	30	0.0003
0.0481	0.0505	96.69%	0.0530	-0.0051	30	0.0002
0.0341	0.0354	97.68%	0.0429	-0.0152	30	0.0005
0.0294	0.0303	98.01%	0.0328	-0.0051	30	0.0002
0.0294	0.0303	98.01%	0.0303	0.0000	30	0.0000
0.0294	0.0303	98.01%	0.0303	0.0000	30	0.0000
0.0294	0.0303	98.01%	0.0303	0.0000	30	0.0000
0.0294	0.0303	98.01%	0.0303	0.0000	30	0.0000

Figura 60

Curva de secado del ajo a 45°C con 0s de pulsaciones

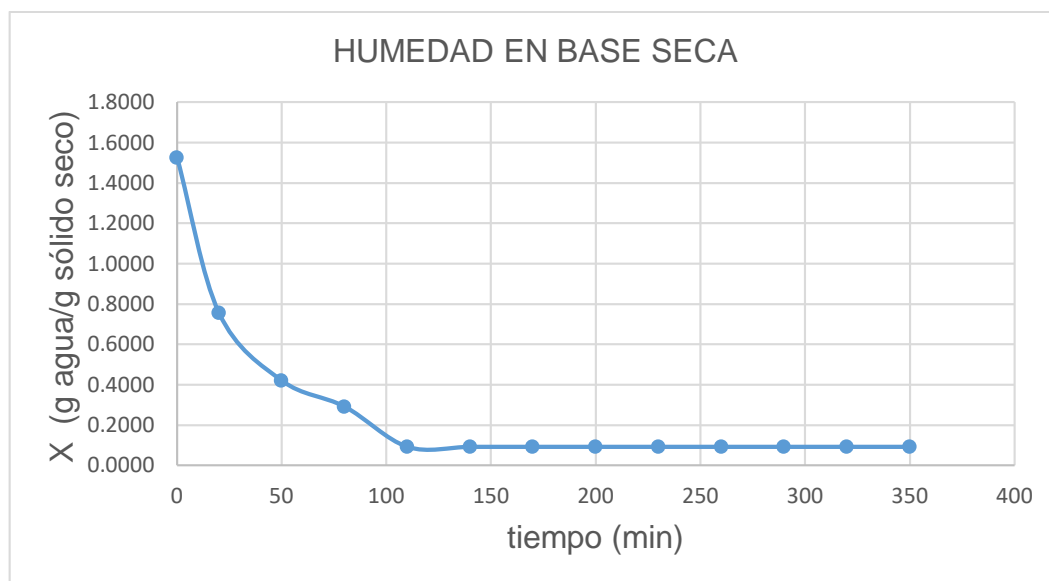


Tabla 21

Data para el secado del ajo a 45° C con 3 s de pulsaciones

45°C 3s				
t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	($\Delta m/m_0$)%
0	10.0	60.40%	1.5253	0.00%
20	7.2	44.64%	0.8063	47.14%
50	5.4	26.86%	0.3673	75.92%
80	5.1	21.51%	0.2740	82.04%
110	4.5	10.92%	0.1226	91.96%
140	4.4	10.52%	0.1176	92.29%
170	4.4	10.52%	0.1176	92.29%
200	4.4	10.52%	0.1176	92.29%
230	4.4	10.52%	0.1176	92.29%
260	4.4	10.52%	0.1176	92.29%
290	4.4	10.52%	0.1176	92.29%
320	4.4	10.52%	0.1176	92.29%
350	4.4	10.52%	0.1176	92.29%

Tabla 22

Data para determinar la velocidad de secado del ajo a 45 ° C con 3s de pulsaciones

x (g agua/g sólido húmedo)	X (g agua/g sólido seco)	($\Delta m/m_0$)%	Xpromedio	ΔX	Δt	$-\Delta X/\Delta t$
0.6040	1.5253					
0.4464	0.8063	47.14%	1.1658	-0.7190	20	0.0359
0.2686	0.3673	75.92%	0.5868	-0.4390	30	0.0146
0.2151	0.2740	82.04%	0.3206	-0.0933	30	0.0031
0.1092	0.1226	91.96%	0.1983	-0.1514	30	0.0050
0.1052	0.1176	92.29%	0.1201	-0.0050	30	0.0002
0.1052	0.1176	92.29%	0.1176	0.0000	30	0.0000
0.1052	0.1176	92.29%	0.1176	0.0000	30	0.0000
0.1052	0.1176	92.29%	0.1176	0.0000	30	0.0000
0.1052	0.1176	92.29%	0.1176	0.0000	30	0.0000
0.1052	0.1176	92.29%	0.1176	0.0000	30	0.0000
0.1052	0.1176	92.29%	0.1176	0.0000	30	0.0000
0.1052	0.1176	92.29%	0.1176	0.0000	30	0.0000

Figura 61

Curva de la variación de masa del ajo a 45°C con 3s de pulsaciones

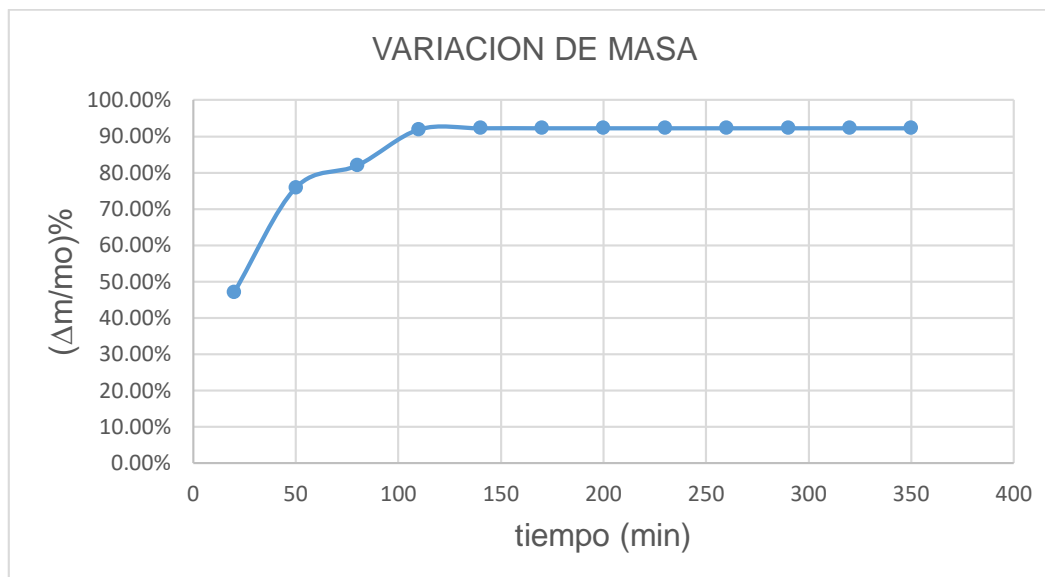


Tabla 23

Data para el secado del ajo a 45° C con 5 s de pulsaciones

45°C 5s				
t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	($\Delta m/m_0$)%
0	10.0	60.40%	1.5253	0.00%
20	7.2	44.69%	0.8081	47.02%
50	5.9	32.54%	0.4823	68.38%
80	5.4	26.12%	0.3535	76.82%
110	5.0	21.43%	0.2727	82.12%
140	4.9	18.85%	0.2323	84.77%
170	4.5	11.61%	0.1313	91.39%
200	4.5	11.01%	0.1237	91.89%
230	4.4	10.61%	0.1187	92.22%
260	4.4	10.00%	0.1111	92.72%
290	4.4	9.79%	0.1086	92.88%
320	4.4	9.38%	0.1035	93.21%
350	4.3	7.69%	0.0833	94.54%
380	4.3	7.69%	0.0833	94.54%
410	4.3	7.69%	0.0833	94.54%

Tabla 24

Data para determinar la velocidad de secado del ajo a 45 ° C con 5s de pulsaciones

x (g agua/g sólido húmedo)	X (g agua/g sólido seco)	($\Delta m/m_0$)%	Xpromedio	ΔX	Δt	Rate: $-\Delta X/\Delta t$ (g/gss.min)
0.6040	1.5253					
0.4469	0.8081	47.02%	1.1667	-0.7172	20	0.0359
0.3254	0.4823	68.38%	0.6452	-0.3258	30	0.0109
0.2612	0.3535	76.82%	0.4179	-0.1288	30	0.0043
0.2143	0.2727	82.12%	0.3131	-0.0808	30	0.0027
0.1885	0.2323	84.77%	0.2525	-0.0404	30	0.0013
0.1161	0.1313	91.39%	0.1818	-0.1010	30	0.0034
0.1101	0.1237	91.89%	0.1275	-0.0076	30	0.0003
0.1061	0.1187	92.22%	0.1212	-0.0051	30	0.0002
0.1000	0.1111	92.72%	0.1149	-0.0076	30	0.0003
0.0979	0.1086	92.88%	0.1098	-0.0025	30	0.0001
0.0938	0.1035	93.21%	0.1061	-0.0051	30	0.0002
0.0769	0.0833	94.54%	0.0934	-0.0202	30	0.0007
0.0769	0.0833	94.54%	0.0833	0.0000	30	0.0000
0.0769	0.0833	94.54%	0.0833	0.0000	30	0.0000

Figura 62

Curva de la velocidad del secado a 45 ° C con 5s de pulsaciones

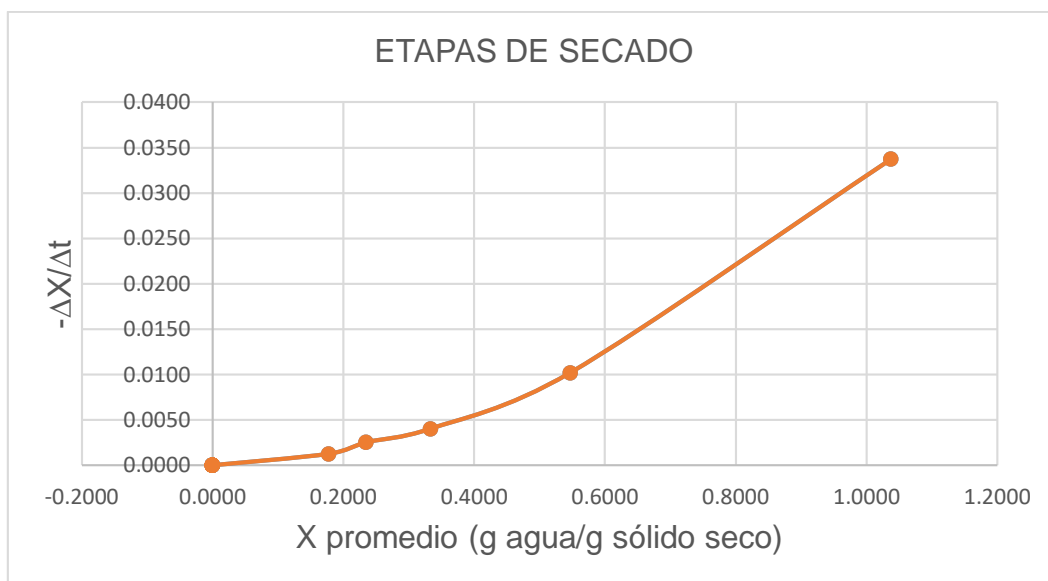


Figura 63

Segmento de curva de velocidad de secado a 45°C y 5s de pulsaciones

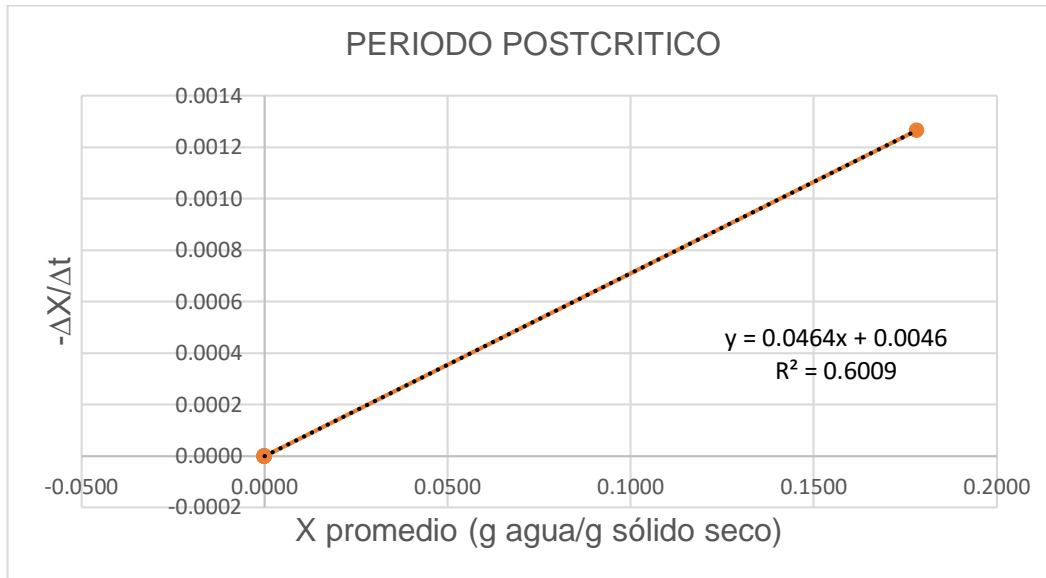


Tabla 25

Data para el secado del ajo a 45° C con 7 s de pulsaciones

45°C 7s				
t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m ₀)%
0	10.0	60.40%	1.5253	0.00%
20	7.2	45.15%	0.8232	46.03%
50	5.9	32.42%	0.4798	68.54%
80	5.2	23.85%	0.3131	79.47%
110	4.5	11.41%	0.1288	91.56%
140	4.4	11.41%	0.1288	91.56%
170	4.4	10.41%	0.1162	92.38%
200	4.4	9.79%	0.1086	92.88%
230	4.3	9.17%	0.1010	93.38%
260	4.3	8.33%	0.0909	94.04%
290	4.3	7.91%	0.0859	94.37%
320	4.2	6.60%	0.0707	95.36%
350	4.2	6.38%	0.0682	95.53%
380	4.2	5.94%	0.0631	95.86%
410	4.2	5.94%	0.0631	95.86%

Tabla 26

Data para determinar la velocidad de secado del ajo a 45 ° C con 7s de pulsaciones

x (g agua/g sólido húmedo)	X (g agua/g sólido seco)	($\Delta m/m_0$)%	Xpromedio	ΔX	Δt	Rate: $-\Delta X/\Delta t$ (g/gss.min)
0.6040	1.5253					
0.4515	0.8232	46.03%	1.1742	-0.7020	20	0.0351
0.3242	0.4798	68.54%	0.6515	-0.3434	30	0.0114
0.2385	0.3131	79.47%	0.3965	-0.1667	30	0.0056
0.1141	0.1288	91.56%	0.2210	-0.1843	30	0.0061
0.1141	0.1288	91.56%	0.1288	0.0000	30	0.0000
0.1041	0.1162	92.38%	0.1225	-0.0126	30	0.0004
0.0979	0.1086	92.88%	0.1124	-0.0076	30	0.0003
0.0917	0.1010	93.38%	0.1048	-0.0076	30	0.0003
0.0833	0.0909	94.04%	0.0960	-0.0101	30	0.0003
0.0791	0.0859	94.37%	0.0884	-0.0051	30	0.0002
0.0660	0.0707	95.36%	0.0783	-0.0152	30	0.0005
0.0638	0.0682	95.53%	0.0694	-0.0025	30	0.0001
0.0594	0.0631	95.86%	0.0657	-0.0051	30	0.0002
0.0594	0.0631	95.86%	0.0631	0.0000	30	0.0000

Figura 64

Curva de la velocidad del secado a 45 ° C con 7s de pulsaciones

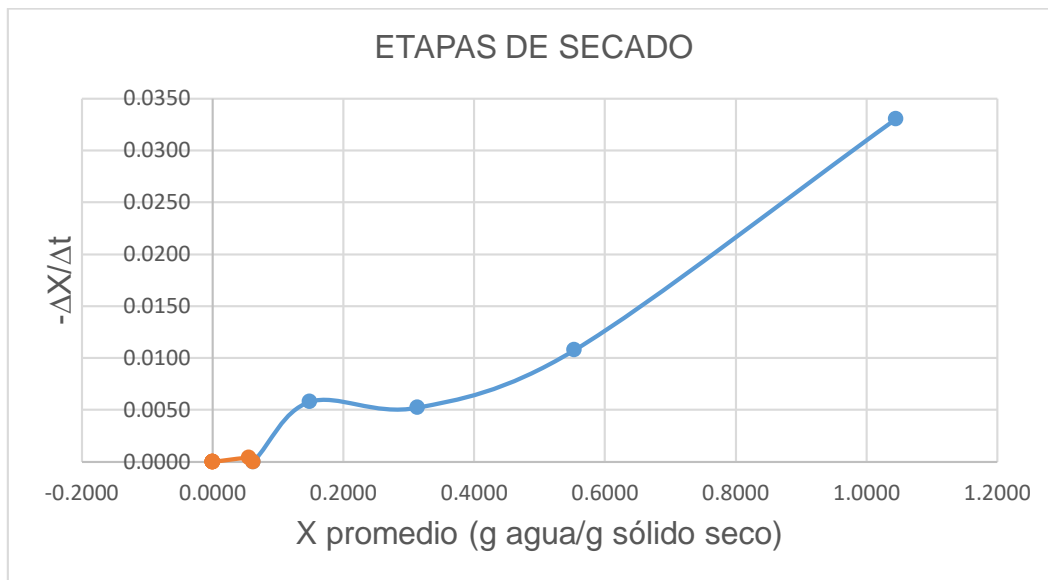


Figura 65

Segmento de curva de velocidad de secado a 45°C y 7s de pulsaciones

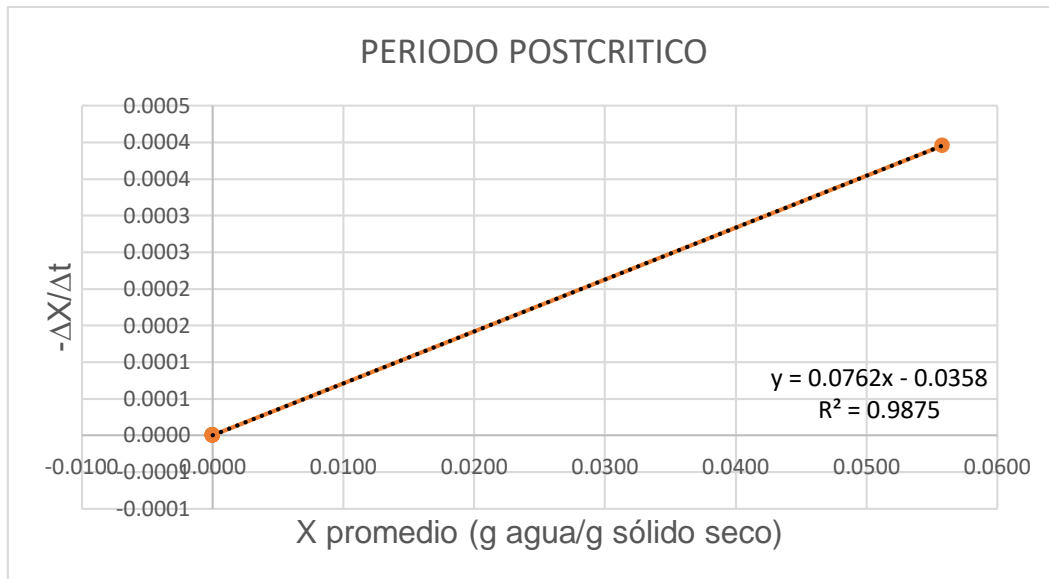


Tabla 27

Comparativa de curvas de secado del ajo a 45°C con diferentes pulsaciones en microondas.

Data	X (g agua/g sólido seco)				Xpromedio				-ΔX/Δt			
	Tiempo de pulsación				Tiempo de pulsación				Tiempo de pulsación			
tiempo (min)	0s	3s	5s	7s	0s	3s	5s	7s	0s	3s	5s	7s
0	1.5253	1.5253	1.5253	1.5253								
20	0.7551	0.8063	0.8081	0.8232	1.1402	1.1658	1.1667	1.1742	0.0385	0.0359	0.0359	0.0351
50	0.4192	0.3673	0.4823	0.4798	0.5871	0.5868	0.6452	0.6515	0.0112	0.0146	0.0109	0.0114
80	0.2904	0.2740	0.3535	0.3131	0.3548	0.3206	0.4179	0.3965	0.0043	0.0031	0.0043	0.0056
110	0.0909	0.1226	0.2727	0.1288	0.1907	0.1983	0.3131	0.2210	0.0066	0.0050	0.0027	0.0061
140	0.0909	0.1176	0.2323	0.1288	0.0909	0.1201	0.2525	0.1288	0.0000	0.0002	0.0013	0.0000
170	0.0909	0.1176	0.1313	0.1162	0.0909	0.1176	0.1818	0.1225	0.0000	0.0000	0.0034	0.0004
200	0.0909	0.1176	0.1237	0.1086	0.0909	0.1176	0.1275	0.1124	0.0000	0.0000	0.0003	0.0003
230	0.0909	0.1176	0.1187	0.1010	0.0909	0.1176	0.1212	0.1048	0.0000	0.0000	0.0002	0.0003
260	0.0909	0.1176	0.1111	0.0909	0.0909	0.1176	0.1149	0.0960	0.0000	0.0000	0.0003	0.0003
290	0.0909	0.1176	0.1086	0.0859	0.0909	0.1176	0.1098	0.0884	0.0000	0.0000	0.0001	0.0002
320	0.0909	0.1176	0.1035	0.0707	0.0909	0.1176	0.1061	0.0783	0.0000	0.0000	0.0002	0.0005
350	0.0909	0.1176	0.0833	0.0682	0.0909	0.1176	0.0934	0.0694	0.0000	0.0000	0.0007	0.0001

Figura 66

Segmento de curva de velocidad de secado a 45°C con diferentes pulsaciones

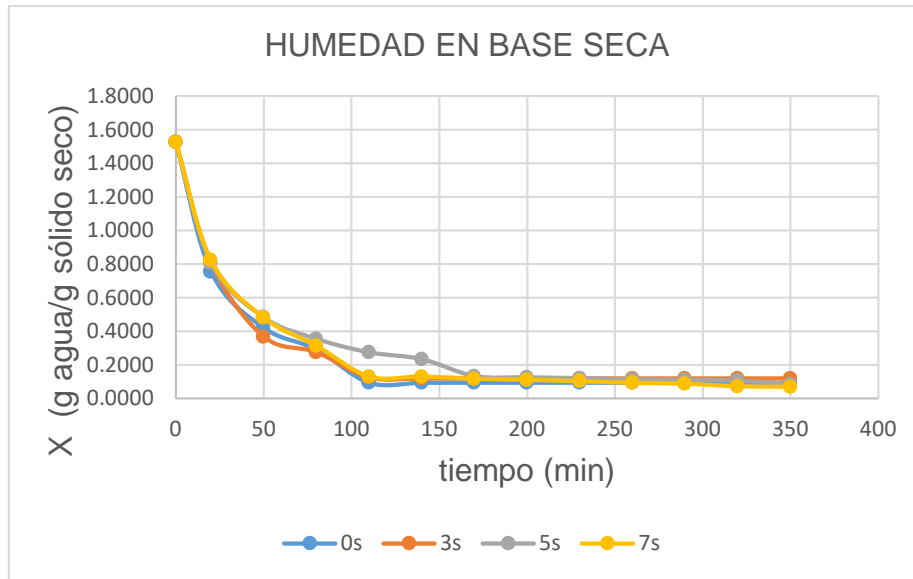
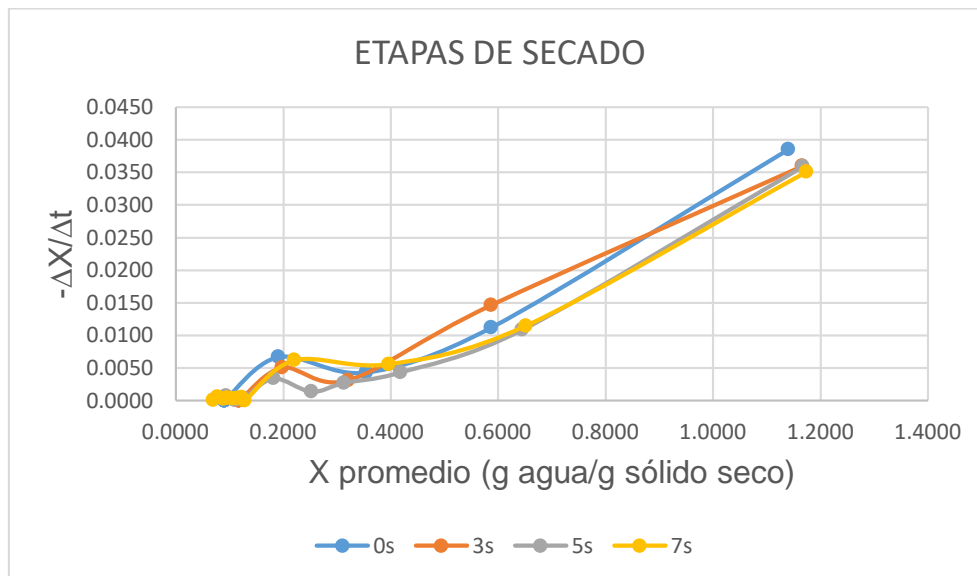


Figura 67

Segmento de curva de velocidad de secado a 45°C con diferentes pulsaciones



C. Pruebas realizadas a 50°C

Tabla 28

Data para el secado del ajo a 50° C con 0 s de pulsaciones

50°C 0s				
t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m ₀)%
0	10.0	60.40%	1.5253	0.00%
20	5.2	23.85%	0.3131	79.47%
50	4.4	9.17%	0.1010	93.38%
80	4.3	6.82%	0.0732	95.20%
110	4.2	5.94%	0.0631	95.86%
140	4.2	5.26%	0.0556	96.36%
170	4.2	4.81%	0.0505	96.69%
200	4.1	3.41%	0.0354	97.68%
230	4.1	2.94%	0.0303	98.01%
260	4.1	2.94%	0.0303	98.01%
290	4.1	2.94%	0.0303	98.01%
320	4.1	2.94%	0.0303	98.01%
350	4.1	2.94%	0.0303	98.01%

Tabla 29

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

x (g agua/g sólido húmedo)	X (g agua/g sólido seco)	(Δm/m ₀)%	Xpromedio	ΔX	Δt	Rate: -ΔX/Δt (g/gss.min)
0.6040	1.5253					
0.2385	0.3131	79.47%	0.9192	-1.2121	20	0.0606
0.0917	0.1010	93.38%	0.2071	-0.2121	30	0.0071
0.0682	0.0732	95.20%	0.0871	-0.0278	30	0.0009
0.0594	0.0631	95.86%	0.0682	-0.0101	30	0.0003
0.0526	0.0556	96.36%	0.0593	-0.0076	30	0.0003
0.0481	0.0505	96.69%	0.0530	-0.0051	30	0.0002
0.0341	0.0354	97.68%	0.0429	-0.0152	30	0.0005
0.0294	0.0303	98.01%	0.0328	-0.0051	30	0.0002
0.0294	0.0303	98.01%	0.0303	0.0000	30	0.0000
0.0294	0.0303	98.01%	0.0303	0.0000	30	0.0000
0.0294	0.0303	98.01%	0.0303	0.0000	30	0.0000

Figura 68

Curva de secado del ajo a 50°C con 0s de pulsaciones

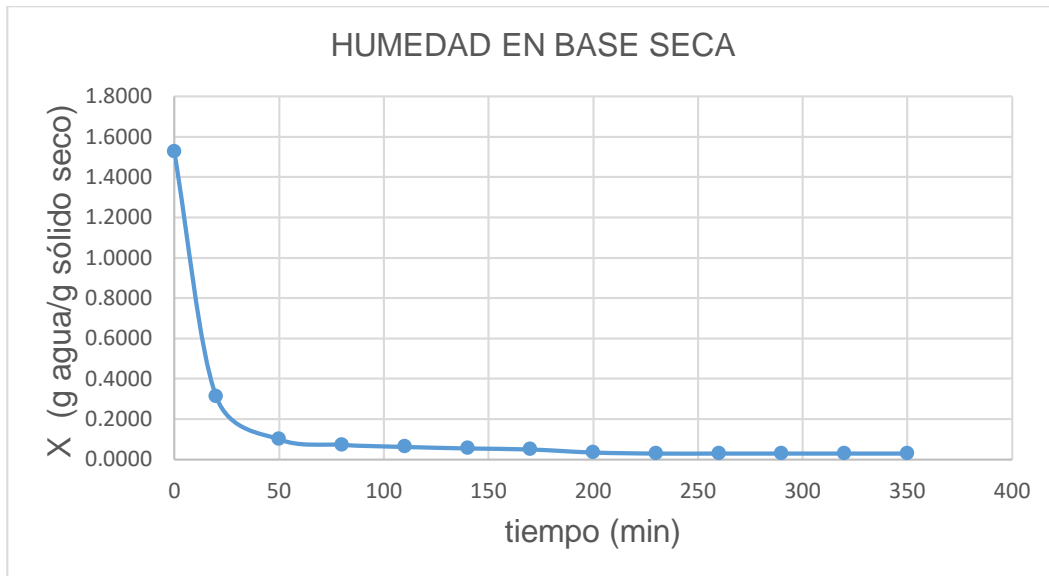


Tabla 30

Data para el secado del ajo a 50° C con 3 s de pulsaciones

50°C y 3s							
t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m ₀)%	X(bs) Valor medio	Rate (g/gss.min)	
0	10.1	60.79%	1.5505	0.00%			
20	5.0	20.16%	0.2525	83.71%	0.9015	0.0649	
50	4.5	11.21%	0.1263	91.86%	0.1894	0.0042	
80	4.4	9.17%	0.1010	93.49%	0.1136	0.0008	
110	4.3	8.12%	0.0884	94.30%	0.0947	0.0004	
140	4.3	7.48%	0.0808	94.79%	0.0846	0.0003	
170	4.2	5.49%	0.0581	96.25%	0.0694	0.0008	
200	4.2	5.49%	0.0581	96.25%	0.0581	0.0000	
230	4.2	5.49%	0.0581	96.25%	0.0581	0.0000	
260	4.2	5.49%	0.0581	96.25%	0.0581	0.0000	
290	4.2	5.49%	0.0581	96.25%	0.0581	0.0000	
320	4.2	5.49%	0.0581	96.25%	0.0581	0.0000	
350	4.2	5.49%	0.0581	96.25%	0.0581	0.0000	

Tabla 31

Data para determinar la velocidad de secado del ajo a 50 ° C con 3s de pulsaciones

x (g agua/g sólido húmedo)	X (g agua/g sólido seco)	($\Delta m/m_0$)%	Xpromedio	ΔX	Δt	$-\Delta X/\Delta t$
0.6079	1.5505					
0.2016	0.2525	83.71%	0.9015	-1.2980	20	0.0649
0.1121	0.1263	91.86%	0.1894	-0.1263	30	0.0042
0.0917	0.1010	93.49%	0.1136	-0.0253	30	0.0008
0.0812	0.0884	94.30%	0.0947	-0.0126	30	0.0004
0.0748	0.0808	94.79%	0.0846	-0.0076	30	0.0003
0.0549	0.0581	96.25%	0.0694	-0.0227	30	0.0008
0.0549	0.0581	96.25%	0.0581	0.0000	30	0.0000
0.0549	0.0581	96.25%	0.0581	0.0000	30	0.0000
0.0549	0.0581	96.25%	0.0581	0.0000	30	0.0000
0.0549	0.0581	96.25%	0.0581	0.0000	30	0.0000
0.0549	0.0581	96.25%	0.0581	0.0000	30	0.0000
0.0549	0.0581	96.25%	0.0581	0.0000	30	0.0000

Figura 69

Curva de secado del ajo a 50°C con 3s de pulsaciones

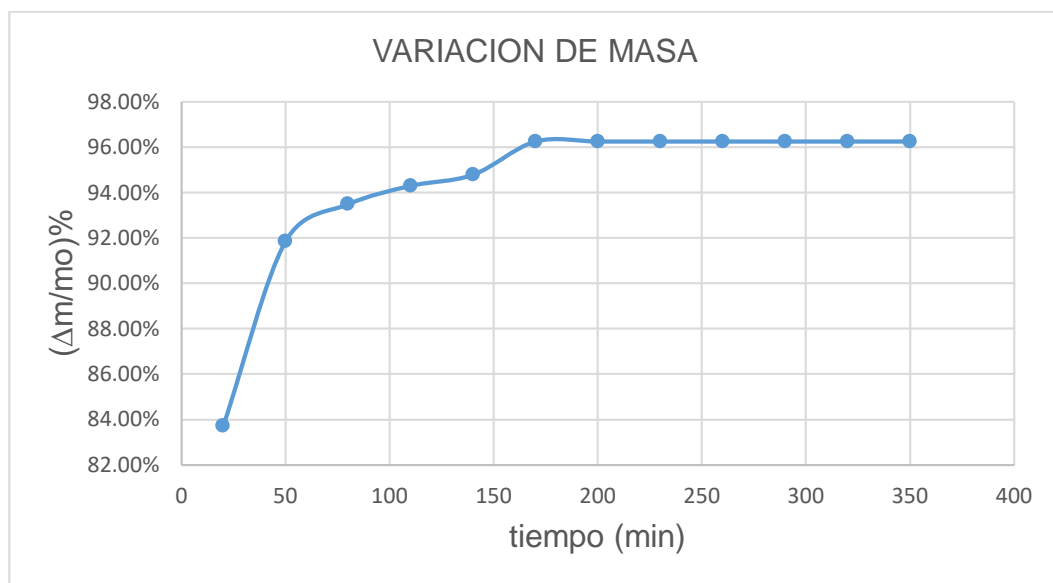


Figura 70

Segmento de curva de velocidad de secado a 50°C y 3s de pulsaciones

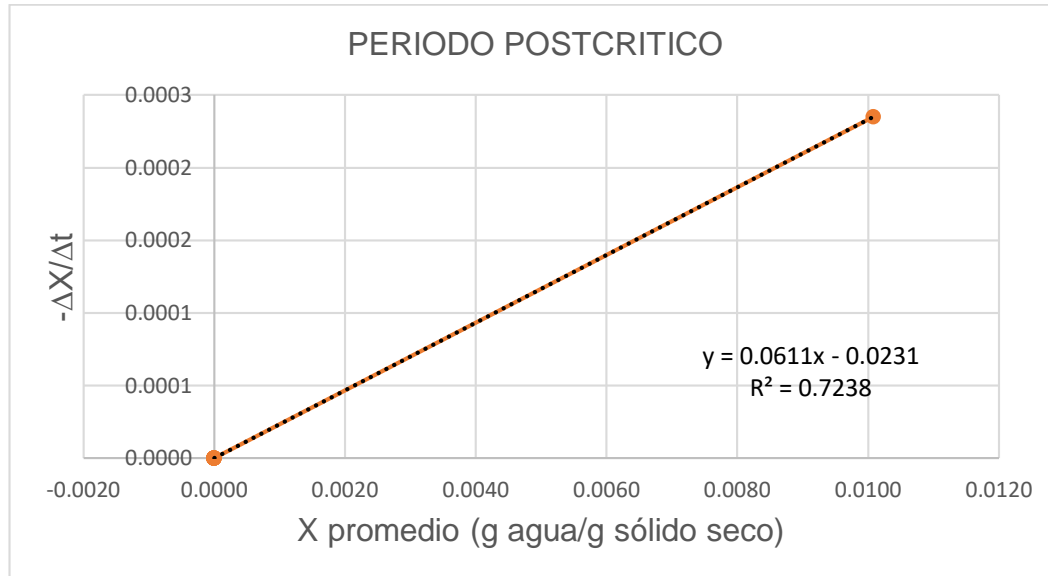


Tabla 32

Data para el secado del ajo a 50° C con 5 s de pulsaciones

50°C y 5s							
t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m ₀)%	X(bs) Valor medio	Rate (g/gss.min)	
0	10.0	60.40%	1.5253	0.00%			
20	5.2	23.92%	0.3143	79.39%	0.9198	0.0605	
50	4.5	11.91%	0.1352	91.13%	0.2248	0.0060	
80	4.3	8.66%	0.0949	93.78%	0.1150	0.0013	
110	4.3	7.81%	0.0848	94.44%	0.0898	0.0003	
140	4.3	7.38%	0.0797	94.77%	0.0823	0.0002	
170	4.3	6.95%	0.0747	95.10%	0.0772	0.0002	
200	4.2	5.17%	0.0545	96.43%	0.0646	0.0007	
230	4.2	4.48%	0.0469	96.92%	0.0507	0.0003	
260	4.2	4.48%	0.0469	96.92%	0.0469	0.0000	
290	4.2	4.48%	0.0469	96.92%	0.0469	0.0000	
320	4.2	4.48%	0.0469	96.92%	0.0469	0.0000	
350	4.2	4.48%	0.0469	96.92%	0.0469	0.0000	

Tabla 33

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

x (g agua/g sólido húmedo)	X (g agua/g sólido seco)	($\Delta m/m_0$)%	Xpromedio	ΔX	Δt	$-\Delta X/\Delta t$
0.6040	1.5253					
0.2392	0.3143	79.39%	0.9198	-1.2109	20	0.0605
0.1191	0.1352	91.13%	0.2248	-0.1791	30	0.0060
0.0866	0.0949	93.78%	0.1150	-0.0404	30	0.0013
0.0781	0.0848	94.44%	0.0898	-0.0101	30	0.0003
0.0738	0.0797	94.77%	0.0823	-0.0050	30	0.0002
0.0695	0.0747	95.10%	0.0772	-0.0050	30	0.0002
0.0517	0.0545	96.43%	0.0646	-0.0202	30	0.0007
0.0448	0.0469	96.92%	0.0507	-0.0076	30	0.0003
0.0448	0.0469	96.92%	0.0469	0.0000	30	0.0000
0.0448	0.0469	96.92%	0.0469	0.0000	30	0.0000
0.0448	0.0469	96.92%	0.0469	0.0000	30	0.0000
0.0448	0.0469	96.92%	0.0469	0.0000	30	0.0000

Figura 71

Curva de secado del ajo a 50°C con 5s de pulsaciones

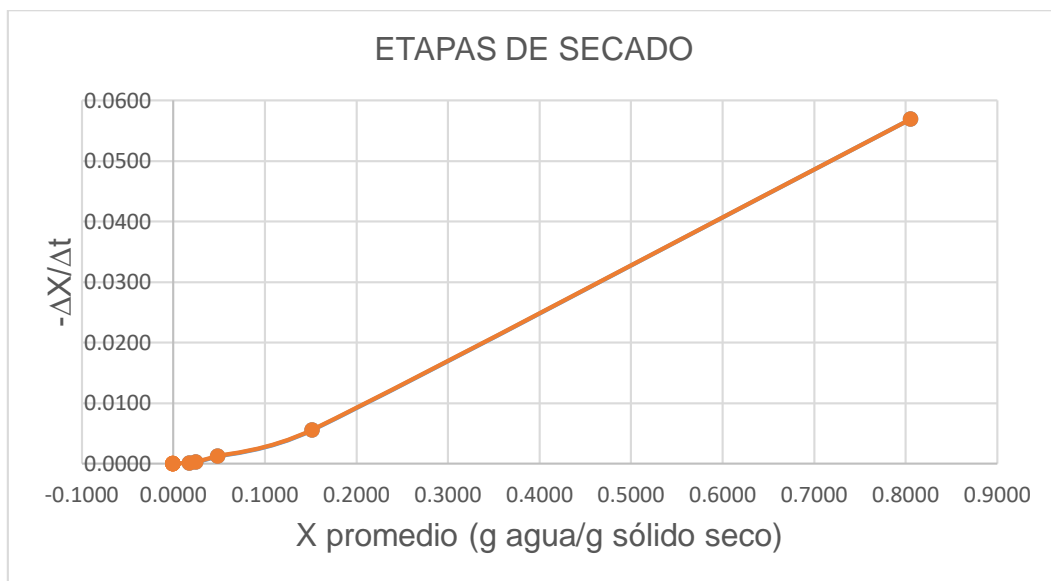


Figura 72

Segmento de curva de velocidad de secado a 50°C y 5s de pulsaciones

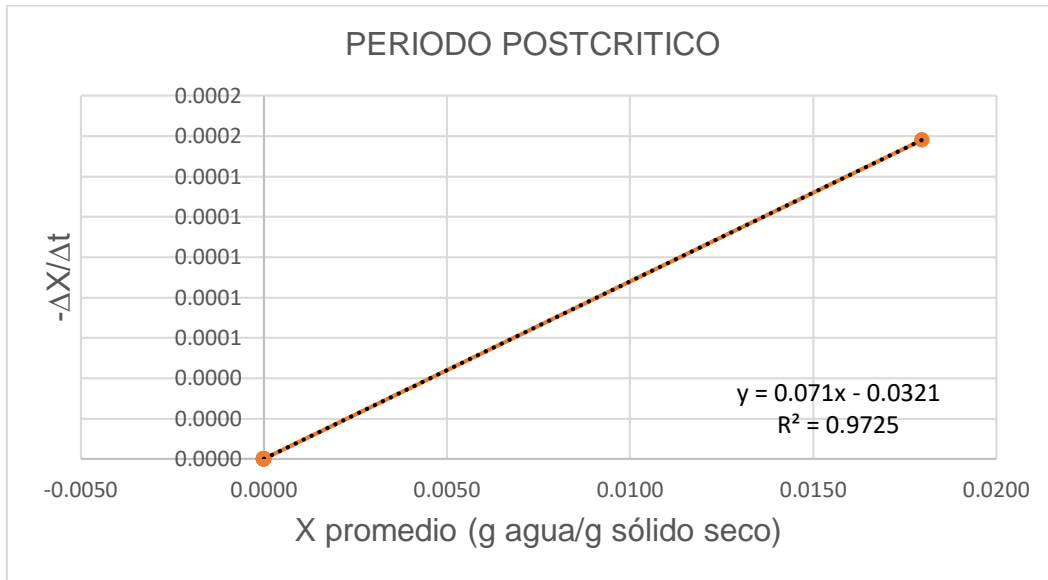


Tabla 34

Data para el secado del ajo a 50° C con 7 s de pulsaciones

50°C y 7s							
t (min)	ω muestra (g)	Y(%) bh	X(bs) Kg/Kg	(Δm/m ₀)%	X(bs) Valor medio	Rate (g/gss.min)	
0	10.0	60.40%	1.5253	0.00%			
20	5.1	21.89%	0.2803	81.62%	0.9028	0.0622	
50	4.6	12.97%	0.1490	90.23%	0.2146	0.0044	
80	4.4	10.20%	0.1136	92.55%	0.1313	0.0012	
110	4.4	9.17%	0.1010	93.38%	0.1073	0.0004	
140	4.0	1.00%	0.0101	99.34%	0.0556	0.0030	
170	4.3	7.69%	0.0833	94.54%	0.0467	-0.0024	
200	4.2	5.94%	0.0631	95.86%	0.0732	0.0007	
230	4.1	3.65%	0.0379	97.52%	0.0505	0.0008	
260	4.1	3.41%	0.0354	97.68%	0.0366	0.0001	
290	4.1	3.41%	0.0354	97.68%	0.0354	0.0000	
320	4.1	3.41%	0.0354	97.68%	0.0354	0.0000	
350	4.1	3.41%	0.0354	97.68%	0.0354	0.0000	

Tabla 35

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

x (g agua/g sólido húmedo)	X (g agua/g sólido seco)	($\Delta m/m_0$)%	Xpromedio	ΔX	Δt	$-\Delta X/\Delta t$
0.6040	1.5253					
0.2189	0.2803	81.62%	0.9028	-1.2449	20	0.0622
0.1297	0.1490	90.23%	0.2146	-0.1313	30	0.0044
0.1020	0.1136	92.55%	0.1313	-0.0354	30	0.0012
0.0917	0.1010	93.38%	0.1073	-0.0126	30	0.0004
0.0100	0.0101	99.34%	0.0556	-0.0909	30	0.0030
0.0769	0.0833	94.54%	0.0467	0.0732	30	-0.0024
0.0594	0.0631	95.86%	0.0732	-0.0202	30	0.0007
0.0365	0.0379	97.52%	0.0505	-0.0253	30	0.0008
0.0341	0.0354	97.68%	0.0366	-0.0025	30	0.0001
0.0341	0.0354	97.68%	0.0354	0.0000	30	0.0000
0.0341	0.0354	97.68%	0.0354	0.0000	30	0.0000
0.0341	0.0354	97.68%	0.0354	0.0000	30	0.0000

Figura 73

Curva de secado del ajo a 50°C con 7s de pulsaciones

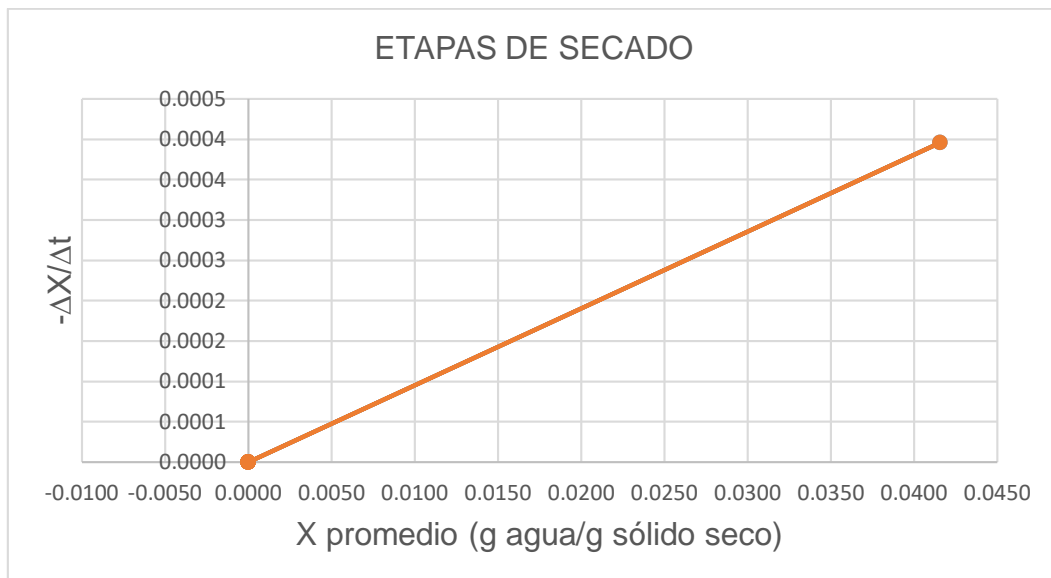


Tabla 36

Comparativa de curvas de secado del ajo a 50°C con diferentes pulsaciones en microondas.

Data	X (g agua/g sólido seco)				Xpromedio				-ΔX/Δt			
	Tiempo de pulsación				Tiempo de pulsación				Tiempo de pulsación			
	0s	3s	5s	7s	0s	3s	5s	7s	0s	3s	5s	7s
tiempo (min)												
0	1.5253	1.5505	1.5253	1.5253								
20	0.3131	0.2525	0.3143	0.2803	0.9192	0.9015	0.9198	0.9028	0.0606	0.0649	0.0605	0.0622
50	0.1010	0.1263	0.1352	0.1490	0.2071	0.1894	0.2248	0.2146	0.0071	0.0042	0.0060	0.0044
80	0.0732	0.1010	0.0949	0.1136	0.0871	0.1136	0.1150	0.1313	0.0009	0.0008	0.0013	0.0012
110	0.0631	0.0884	0.0848	0.1010	0.0682	0.0947	0.0898	0.1073	0.0003	0.0004	0.0003	0.0004
140	0.0556	0.0808	0.0797	0.0101	0.0593	0.0846	0.0823	0.0556	0.0003	0.0003	0.0002	0.0030
170	0.0505	0.0581	0.0747	0.0833	0.0530	0.0694	0.0772	0.0467	0.0002	0.0008	0.0002	0.0024
200	0.0354	0.0581	0.0545	0.0631	0.0429	0.0581	0.0646	0.0732	0.0005	0.0000	0.0007	0.0007
230	0.0303	0.0581	0.0469	0.0379	0.0328	0.0581	0.0507	0.0505	0.0002	0.0000	0.0003	0.0008
260	0.0303	0.0581	0.0469	0.0354	0.0303	0.0581	0.0469	0.0366	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
290	0.0303	0.0581	0.0469	0.0354	0.0303	0.0581	0.0469	0.0354	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
320	0.0303	0.0581	0.0469	0.0354	0.0303	0.0581	0.0469	0.0354	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
350	0.0303	0.0581	0.0469	0.0354	0.0303	0.0581	0.0469	0.0354	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 74

Segmento de curva de velocidad de secado a 50°C con diferentes pulsaciones

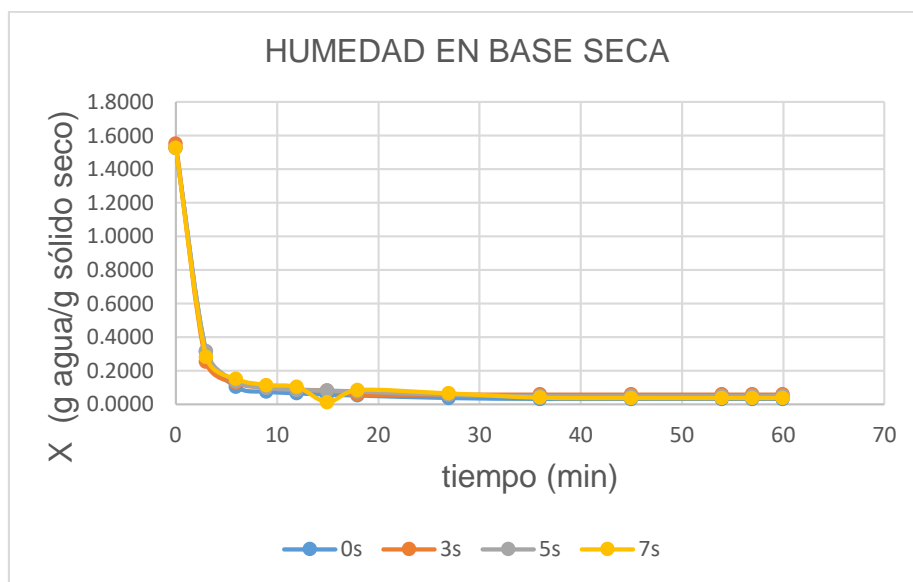
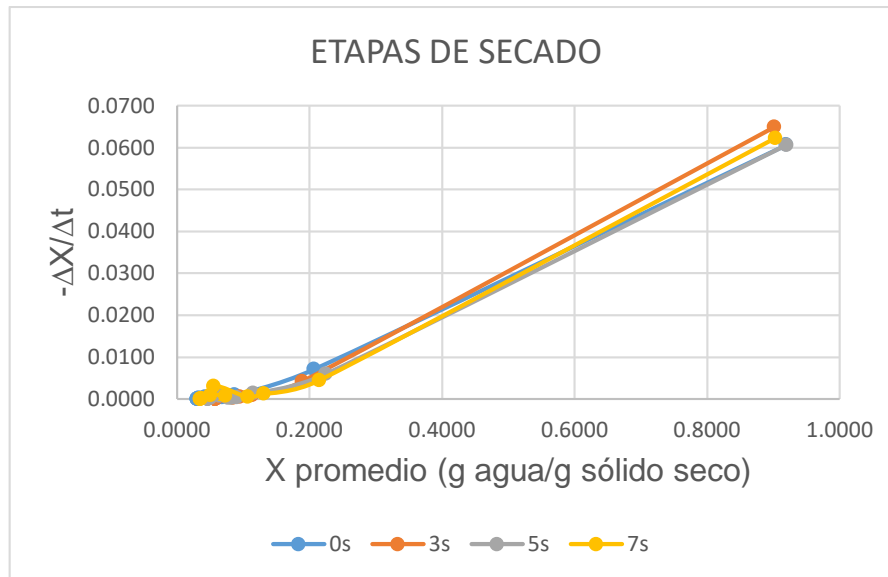


Figura 75

Segmento de curva de velocidad de secado a 50°C con diferentes pulsaciones



D. Resultados del análisis espectrofotométrico IR de alicina, durante la cinética de deshidratación del ajo.

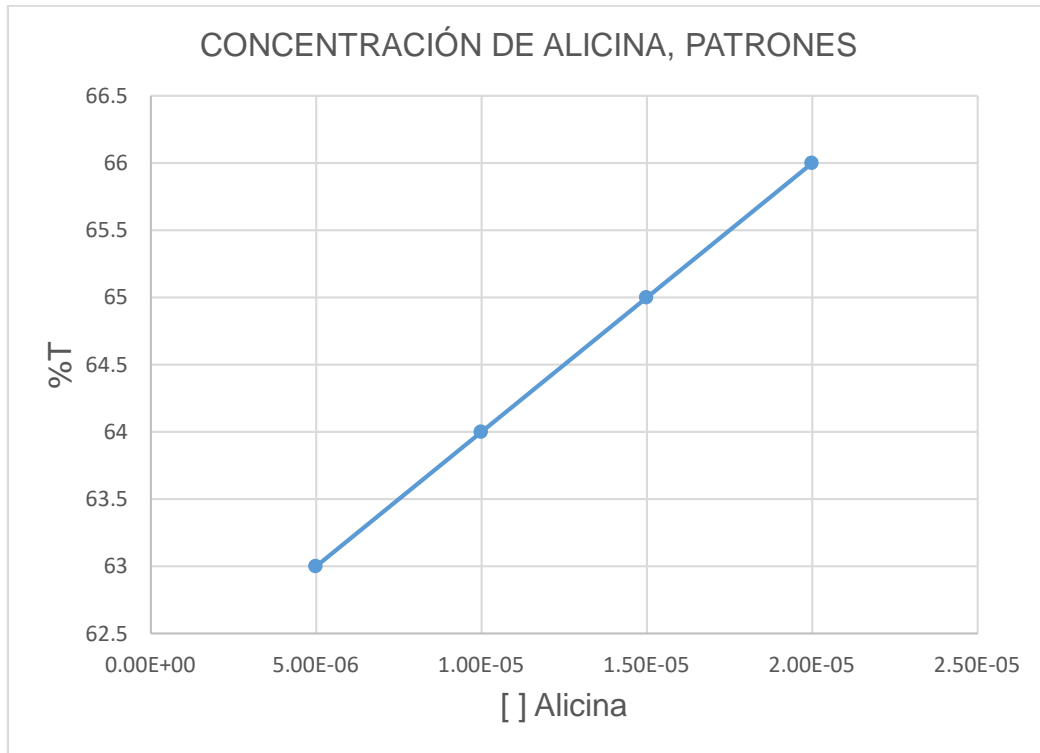
Tabla 37

Concentraciones de alicina y %Tramitancia(%T) en los patrones

PATRONE S	CONCENTRACION mg	%T
1 pastilla	5.00E-06	63
2 pastillas	1.00E-05	64
3 pastillas	1.50E-05	65
4 pastillas	2.00E-05	66

Figura 76

Curva de concentraciones vs %T de alicina en los patrones



GRAFICAS DE ESPECTROFOTOMETRO DE LOS PATRONES

Figura 77

Grafica patrón 1 en el espectrofotómetro

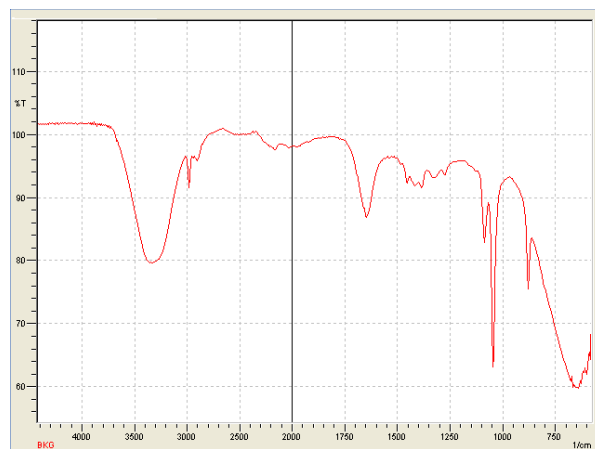


Figura 78

Grafica patrón 2 en el espectrofotómetro

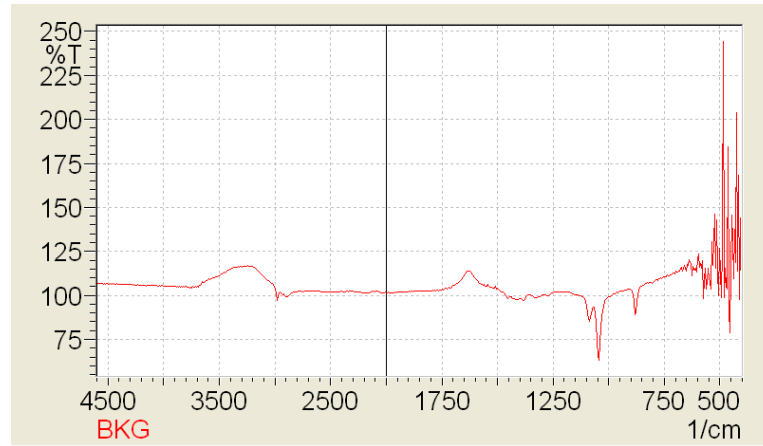


Figura 79

Grafica patrón 3 en el espectrofotómetro

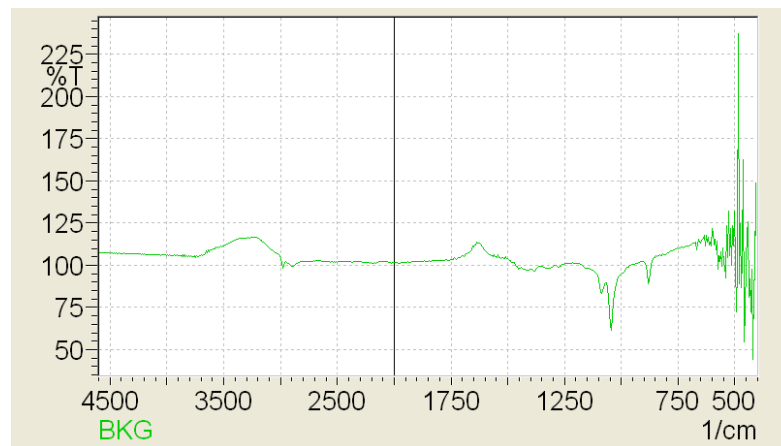


Figura 80

Grafica patrón 4 en el espectrofotómetro

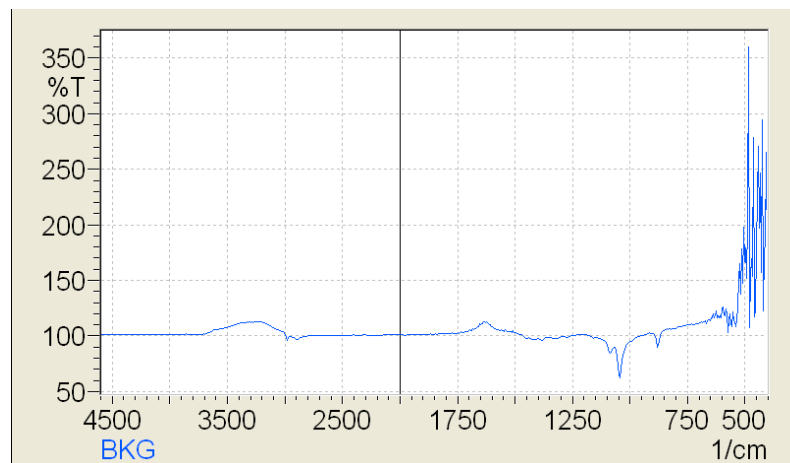


Tabla 38

Concentración de alicina y %T en ajo crudo laminado

AJO CRUDO LAMINADO	
T=29°C	
CONCENTRACION mg	%T
-1.00E-06	60

Figura 81

Curva de concentraciones vs %T de alicina en ajo húmedo a 29°C

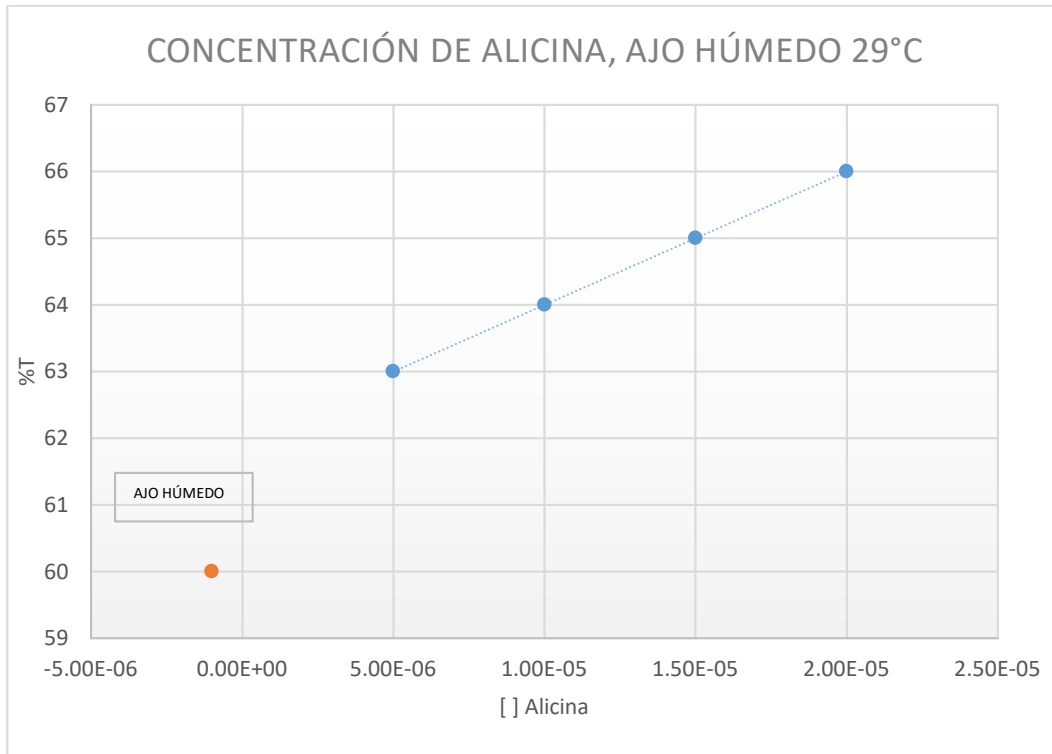


Figura 82

Gráfica del Ajo húmedo a 29°C en el espectrofotómetro

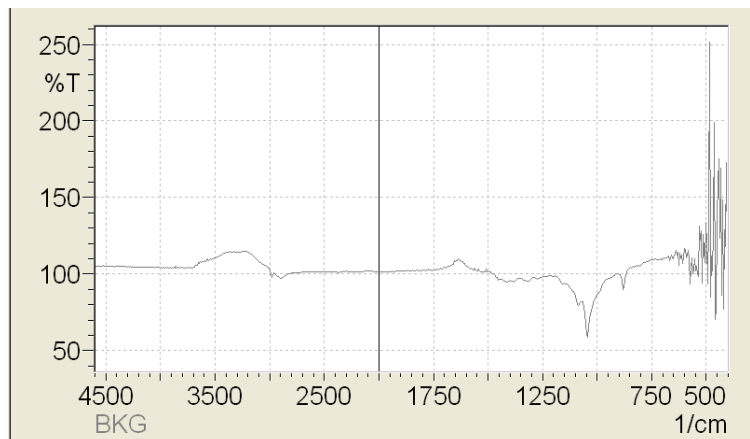


Tabla 39

Concentración de alicina y %T en ajo laminado a 40°C y diferentes pulsaciones en microondas

T= 40°C		
PULSACIONES MICROONDAS	CONCENTRACION	%T
0s	3.00E-05	68
3s	1.50E-05	65
5s	3.00E-05	68
7s	1.00E-07	62

Figura 83

Curva de concentraciones vs %T de alicina en ajo laminado a 40°C y diferentes pulsaciones en microondas

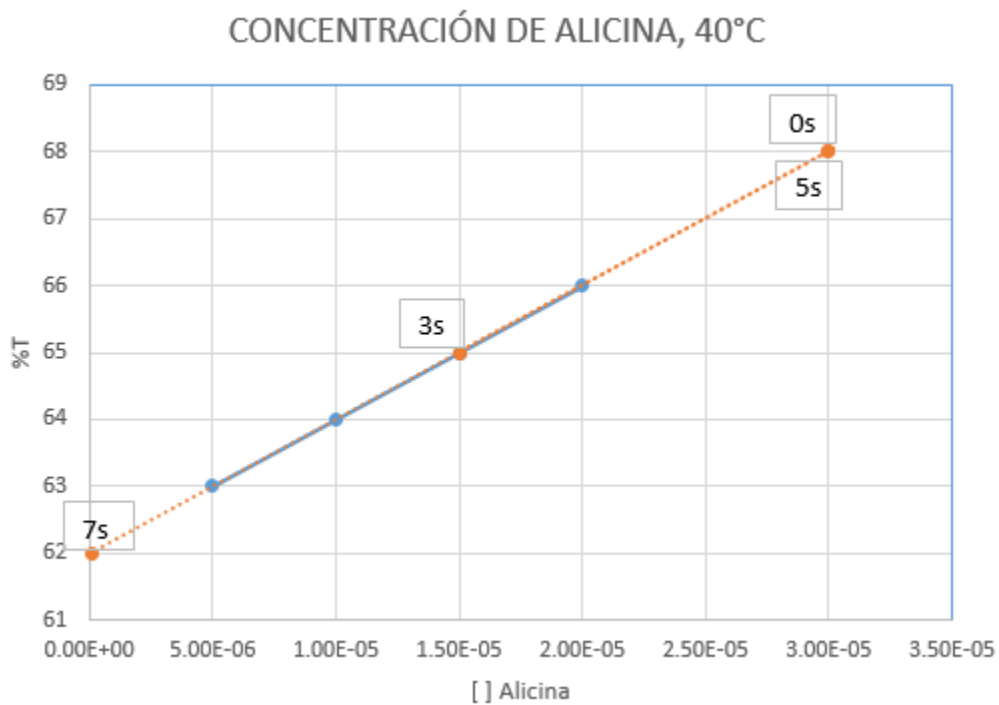


Figura 84

Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 40°C y 0s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro

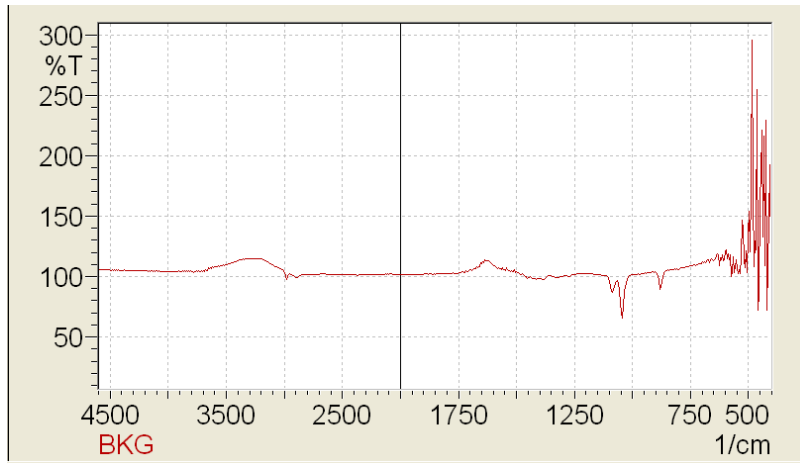


Figura 85

Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 40°C y 3s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro

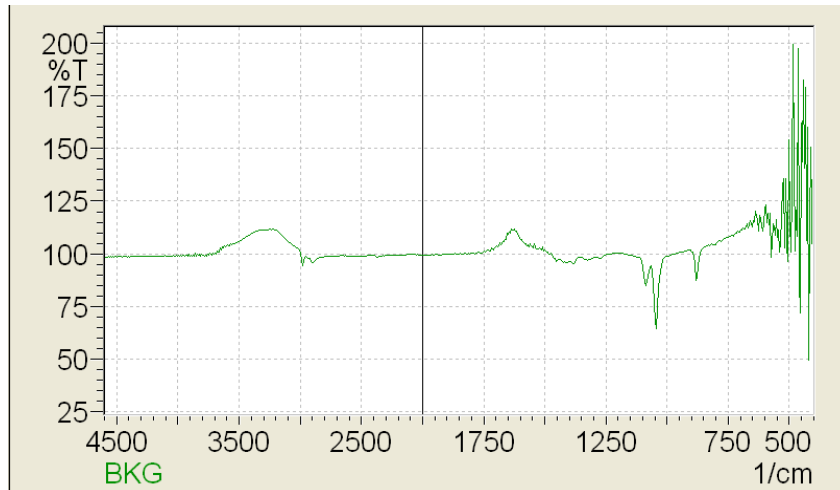


Figura 86

Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 40°C y 5s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro

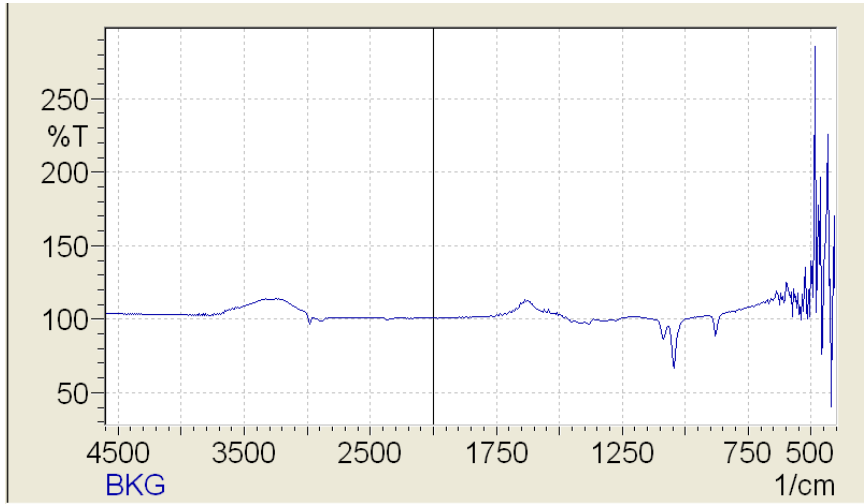


Figura 87

Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 40°C y 7s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro

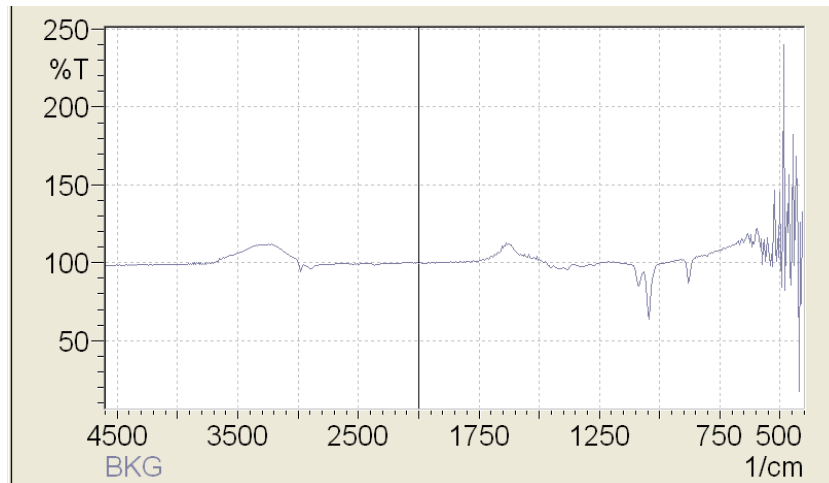


Tabla 40

Concentración de alicina y %T en ajo laminado a 45°C y diferentes pulsaciones en microondas

T= 45°C		
PULSACIONES MICROONDAS	CONCENTRACION	%T
0s	3.00E-05	68
3s	1.00E-07	62
5s	6.50E-05	75
7s	1.55E-04	93

Figura 88

Curva de concentraciones vs %T de alicina en ajo laminado a 45°C y diferentes pulsaciones en microondas

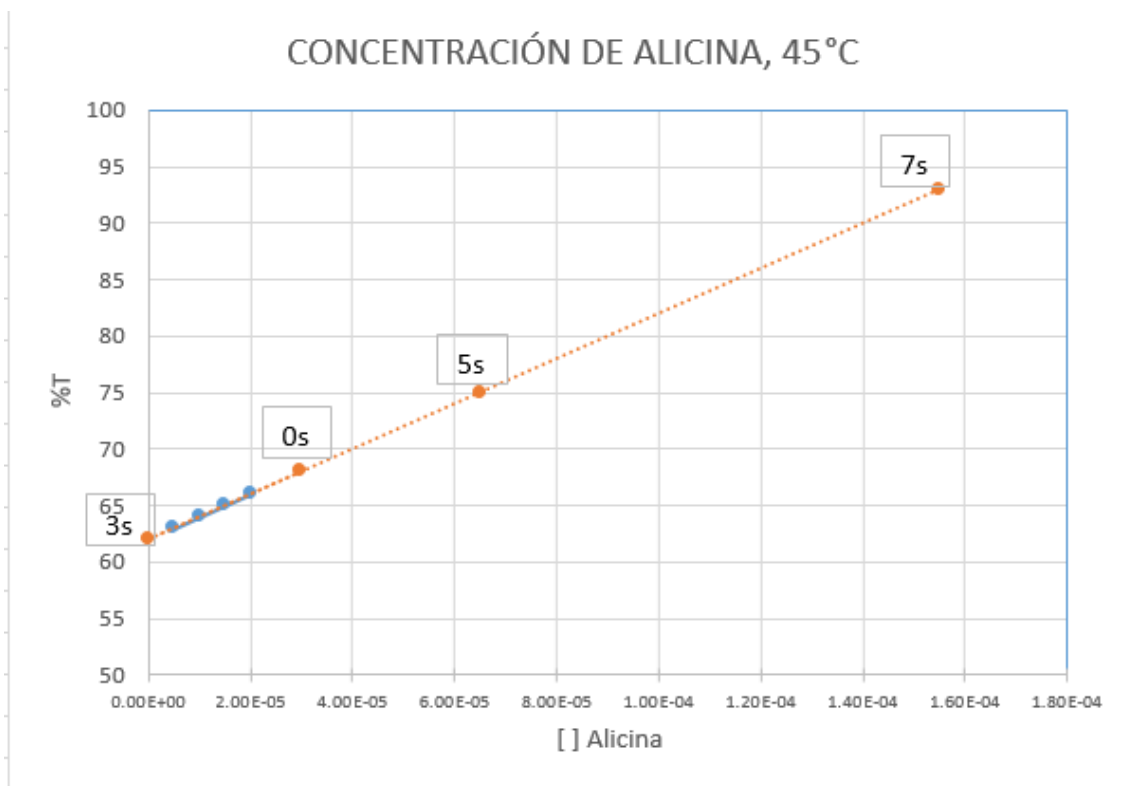


Figura 89

Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 45°C y 0s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro

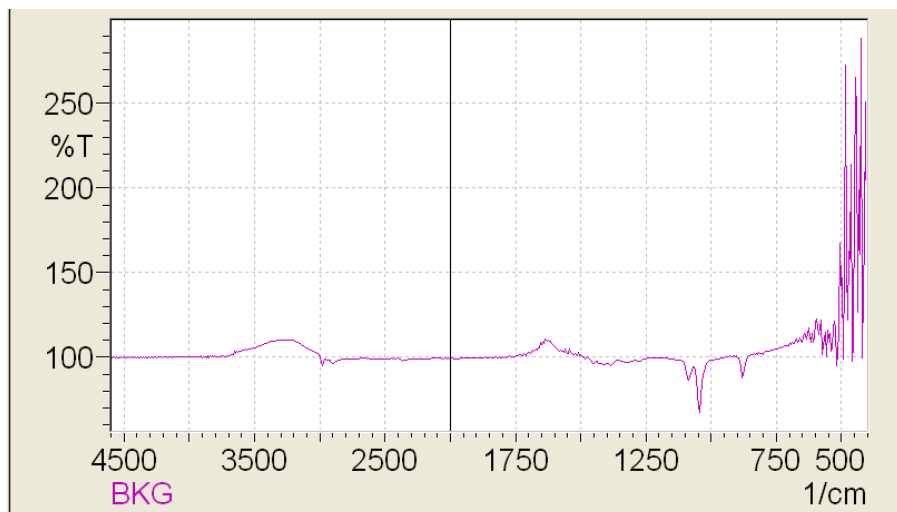


Figura 90

Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 45°C y 3s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro

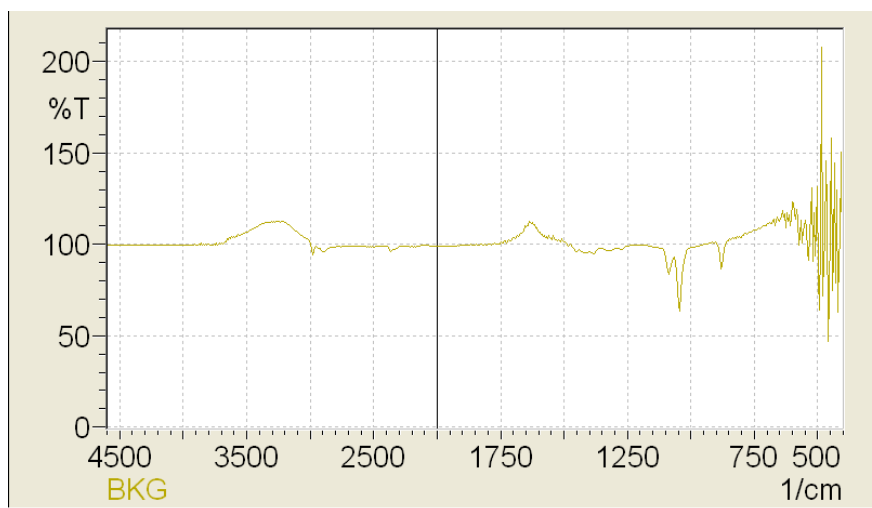


Figura 91

Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 45°C y 5s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro

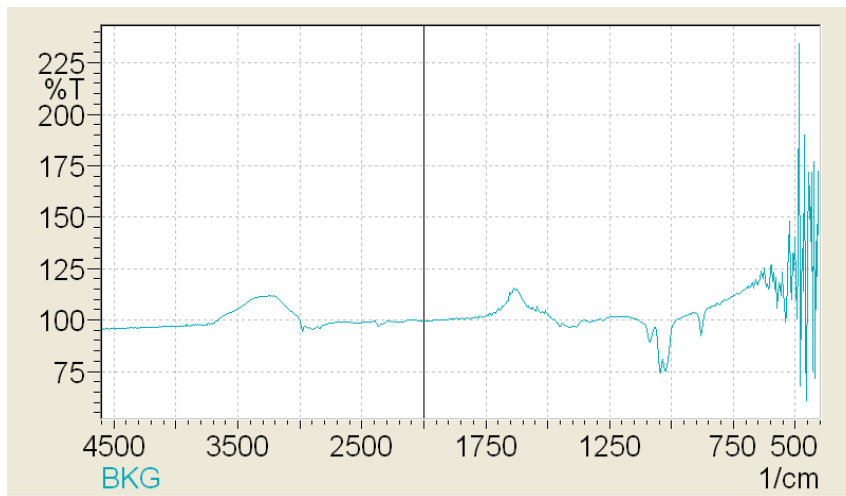


Figura 92

Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 45°C y 7s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro

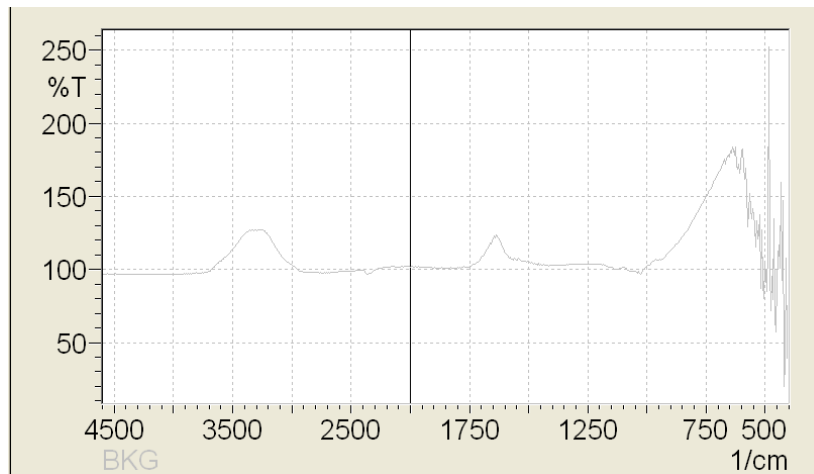


Tabla 41

Concentración de alicina y %T en ajo laminado a 50 °C y diferentes pulsaciones en microondas

T= 50°C		
PULSACIONES MICROONDAS	CONCENTRACION	%T
0s	3.50E-05	69
3s	1.00E-05	64
5s	4.00E-05	70
7s	3.00E-05	68

Figura 93

Curva de concentraciones vs %T de alicina en ajo laminado a 50°C y diferentes pulsaciones en microondas

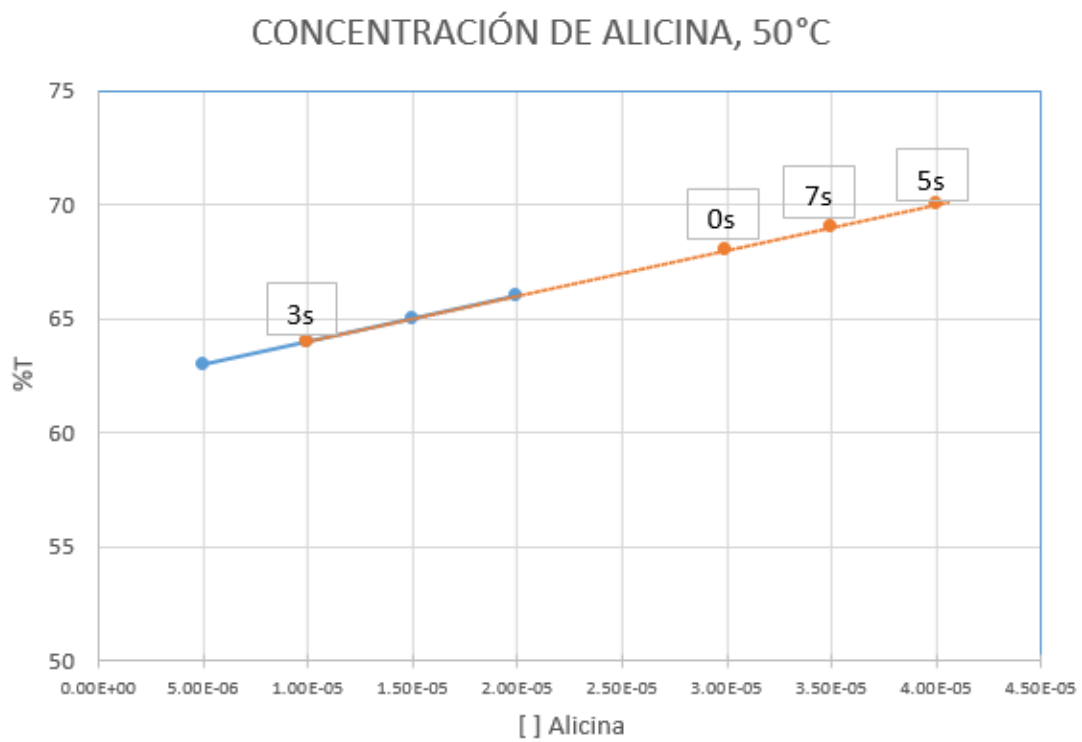


Figura 94

Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 50°C y 0s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro

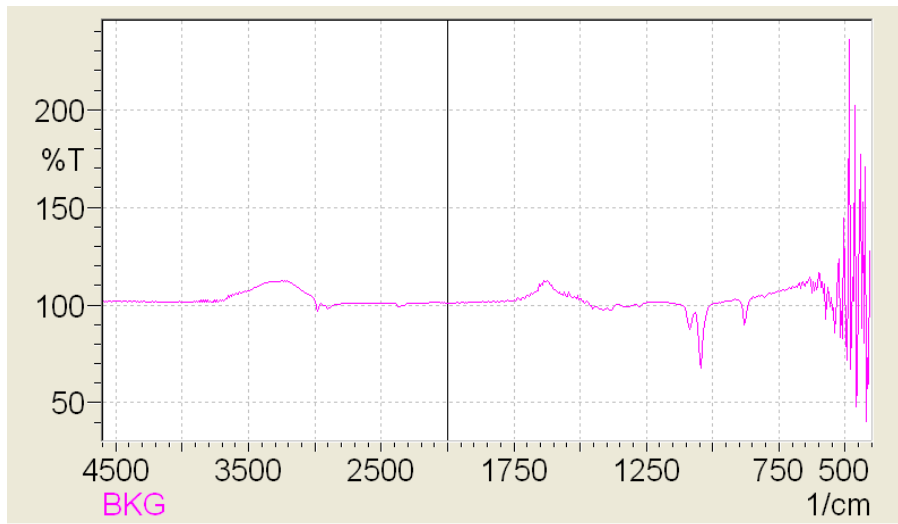


Figura 95

Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 50°C y 3s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro

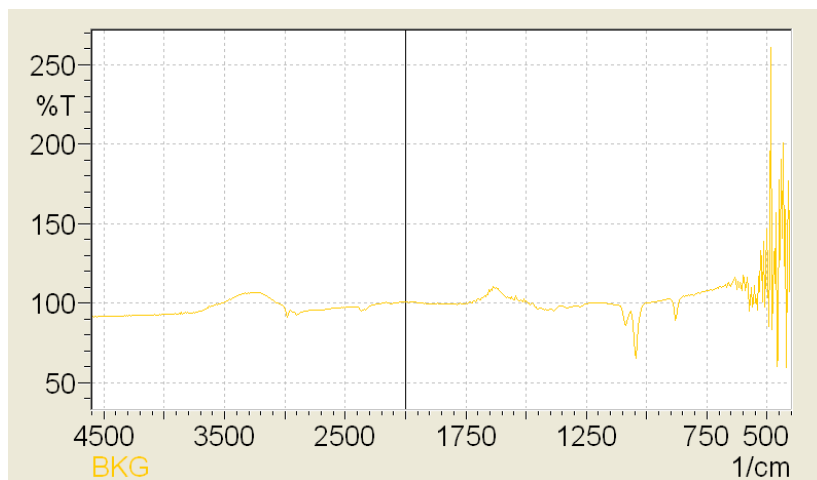


Figura 96

Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 50°C y 5s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro

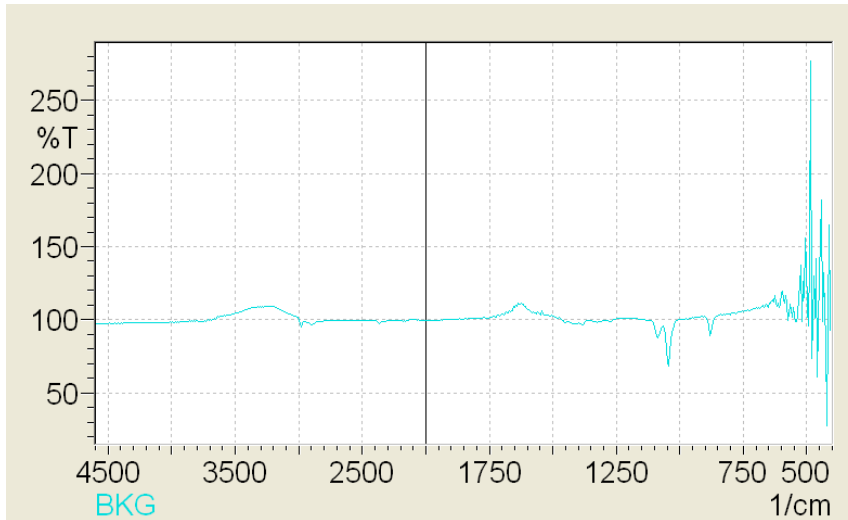
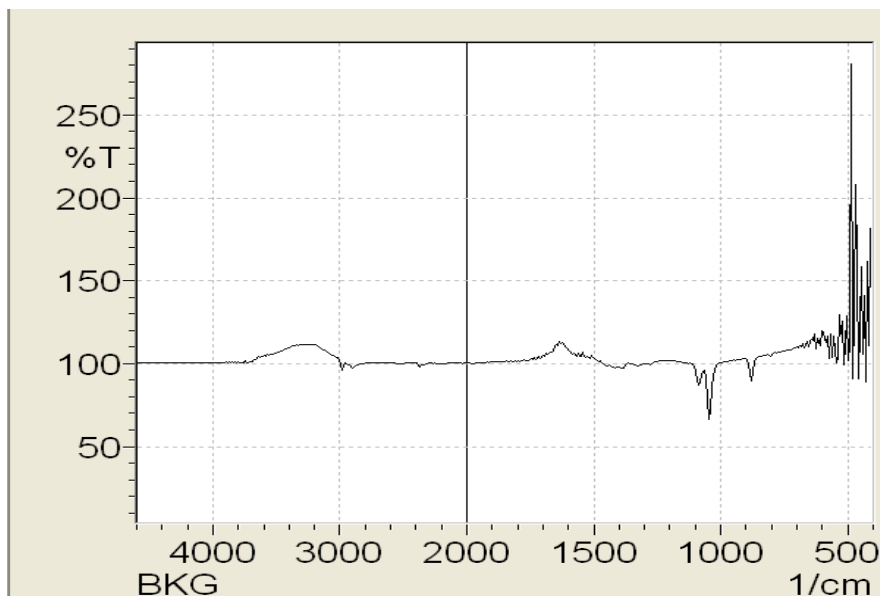


Figura 97

Gráfica de alicina en ajo laminado secado a 50°C y 7s pulsaciones en microondas en el espectrofotómetro



VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación de la hipótesis

a. Caracterización del ajo (*Allium sativum*)

La humedad inicial del ajo (*Allium sativum*), proveniente del Valle de Majes-Región Arequipa-Perú es de $60,40 \pm 0,5\%$.

Un análisis fisicoquímico indica que este ajo reportó un $6,5 \cdot 10^{-5}$ (mg/3,96 gramos de muestra seca) de alicina totales, el cual sufre un leve incremento a medida que se incremente la temperatura hasta 45°C a través del método combinado aire caliente y microondas. Esto se debe al mayor tiempo en contacto con el oxígeno del aire durante el proceso de entrada y salida al horno.

b. 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 42.

Data para el análisis: Temperatura, intervalo de pulsaciones y tiempo de secado.

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Pulsaciones (en s)	Tiempo secado (min)
40	0	230
40	3	170
40	5	140
40	7	110
45	0	200
45	3	170
45	5	110
45	7	140
50	0	200
50	3	170
50	5	200
50	7	140

Del gráfico anterior y de los gráficos 58,66 y 74 podemos verificar que existe una disminución considerable del tiempo de secado en la transición de 40 y 45 °C con pulsaciones de microondas, y de acuerdo con ello debemos determinar cuáles son las condiciones que nos llevaran a lograr tiempos menores.

c. Resultados obtenidos del análisis del grado de alicina

Sabiendo que la degradación de la alicina en el ajo es una función de la temperatura, resulta clave en la optimización de condiciones del secado de esta valiosa hortaliza, se obtuvo una tabla (7) la cual muestra los resultados de transmitancia obtenidos de las 13 muestras sometidas a la lectura en el espectrómetro infra rojo.

Estos valores nos permiten cuantificar la concentración de la alicina tanto en el ajo fresco cortado en finas rodajas y expuestas al medio ambiente durante 15 minutos para garantizar la reacción química que genera la alicina y en las demás sometidas al proceso de deshidratación, verificando una variación de la alicina según la temperatura y pulsaciones del microondas.

De acuerdo a estos resultados el más óptimo en la retención de la alicina es a 45 °C y 7s de pulsaciones en el microondas, el cual está alrededor de 90%.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

a. Relacionado con la tecnología del secado:

Para desarrollar y dotar de mayor eficiencia a la tecnología de secado, se determinó el tiempo de secado adecuado, así como los parámetros de temperatura y humedad correspondientes. Se tuvo en cuenta la preparación del producto y su colocación dentro del secador, así como el modo de operación que más se ajustó a las características del producto a secar (Bérriz, 2013; Bérriz, et al., 2013).

Aporte: En nuestro caso era de suma importancia la forma geométrica para el corte del diente de ajo a fin de lograr que la incidencia fuese homogénea y disminuyera el tiempo de secado a fin de mantener la máxima cantidad de alicina.

b. Condiciones iniciales que debe evaluarse en este tipo de experimentos

A partir de investigaciones y trabajos precedentes según Almada et al. (2005); Corvalan et al. (2006); Chávez (2010); Rodríguez (2013), se pudo establecer que, en condiciones de secado natural, se puede lograr una temperatura de secado superior a los 50°C. Así mismo, se conoce que es posible lograr, una velocidad de circulación del aire entre los 0,01 m/s y los 0,02 m/s, tanto en condiciones de tiro inducido como en condiciones de tiro forzado.

Aporte: Por ello, en nuestro equipo de secador diseñado para doble función, el tradicional y el combinado con aire caliente e impulsos de microondas se establecieron los valores de los parámetros fijos bajo los que se efectuó el experimento, los cuales están fijados en la tabla 1.

6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

El autor declara conocer los reglamentos y procedimientos vigentes establecidos por la Universidad Nacional del Callao y se responsabiliza por la información emitida en el presente proyecto de investigación “Cinética de deshidratación del ajo (*Allium sativum*), buscando la máxima retención de alicina a fin de ser encapsulado, empleando la técnica combinada aire caliente-microonda” ; la cual se desarrolló verificando el cumplimiento de los aspectos éticos, metodológicos, administrativos, legales y de propiedad intelectual, sometiéndome a ser sancionado si se ha actuado en contra de lo establecido.

El presente estudio no realizó ninguna intervención de compromiso a la integridad física y/o psicológica de las personas. El investigador tuvo acceso únicamente a la información necesaria para realizar la investigación.

Beneficencia: Al terminó del estudio, la información obtenida será de beneficio para la Agro-industria, industria alimentaria y sobre todo en la industria farmacéutica, como para otros similares, a fin de tomar medidas para mejorar los procedimientos en la preservación de la alicina.

CONCLUSIONES

1. La máxima cantidad de retención de alicina en el ajo peruano fue de 90.0129% correspondiente a un valor inicial presente en esta hortaliza fresca.
2. Se verificó el incremento lento de la velocidad de difusión del agua contenida en el ajo (*Allium sativum*) 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. Por lo que Se construyó un equipo provisto de un sistema combinado aire caliente – microondas (figura 23) que ayudó a hacer las pruebas experimentales con el ajo (*Allium sativum*)
3. Las tres variables, relación (g alicina /100 g de ajo fresco), temperatura y tiempo, envueltas en el desarrollo del análisis estadístico resultaron tener efectos significativos en el proceso incluyendo la interacción (g de alicina/100 g de ajo fresco). Además el corte del ajo en hojuelas de 0.05mm de espesor logra el secado en menos tiempo. Todos estos parámetros controlables logran una máxima retención de alicina empleando la técnica del método combinado.
4. La relación de 45 °C con intervalos de pulsaciones en el tiempo aproximado de 5 segundos, es donde nos permite obtener la máxima retención de la alicina en el polvo del ajo, controlando la velocidad de deshidratación en función de las variables de operación, durante el proceso de deshidratación.



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 bulbos tan pronto haya cumplido el periodo de maduración del ajo, a fin de evitar que se deteriore.
3. Realizar el análisis de la alicina durante el tiempo del secado al mantener como parámetro fijo las temperaturas en las cuales realizamos la cinética, para tener más puntos al momento de hacer la optimización de variables.
4. La forma del disgregado del diente de ajo influye significativamente en el tiempo del secado y en la molienda, siendo la más recomendada un corte en plaquetas con el espesor más fino posible.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril, J., Gómez, A., López, R. y Casp A.. (2011). Simulación de tratamientos térmicos aplicados a alimentos envasados En barquetas plásticas. Universidad Pública de Navarra, 1, 1-6.
- Antithromboticorganosulfur compounds from garlic: Structural, mechanistic and synthetic studies. Journal American Chemical Society 108. 7045-7055.
- Auer W., Eiber A., Hertkorn E., Hoehfeld E., Koehrlé U., Lorenz A., Mader F., Merx W., Otto G.& Schmid-Otto B (1990). Hypertension and hyperlipidaemia: garlic helps in mild cases. Incorporated Society, Nittendorf, West Germany. [en línea]. Disponible en www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2083170 [consulta: abril de 2010].
- Barbosa-Cánovas, G. y Vega-Mercado H. (1996). Dehydration of foods, Chapman & Hall.
- Bianchini, F. & Vainio, H. (2001, set). Allium Vegetables and Organosulfur Compounds: Do They Help Prevent Cancer? Environ Health Perspect 109:893-902. [en línea]. Disponible en: ehp03.niehs.nih.gov/.../fetchArticle.action;...01109893 [consulta: marzo de 2010]
- Block, E. (1985). The chemistry of garlic and onion. Scientific American 252 (March): 114-119. . Block, E.; Ahmad, S.; Catalfamo, J.; Jain, M. & Apitz-Castro, R. (1986).
- Brennan, G.J.; Butters, J.R.; Cowell, N.D. y Lilly A.E. (1980). Las operaciones en la ingeniería de los Alimentos. Zaragoza: Acribia.
- Brewster, J. (1994). Onions and other Vegetable Alliums. The Biochemistry and Food Science characterization and their determination by HPLC. Planta Medica 56,02-211.
- British Herbal Pharmacopeia. (1990). Vol 4. London British Herbal Medicine Association.
- Burba J.L (2006). Ajo. Un alimento natural. Introducción al conocimiento de nuevas variedades y su destino. Estación Experimental Agropecuaria La Consulta. INTA. Doc. Proyecto Ajo/INTA 079.

- 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.
- Camargo, A. y Masuelli, R. (2001). Contenido de alicina en nuevas cultivares de ajo. En Curso/Taller sobre Producción, Comercialización e Industrialización de ajo. Mendoza, INTA EEA, La Consulta, pp. 157-158.
- Camargo, A. y Masuelli, R. (2004). Caracterización de los cultivares de ajo en Argentina por el contenido de alicina. IV Simposio Internacional de Alliaceae. Acta de Horticultura Nº 668, pp. 308-311.
- Camargo, A.; Buenanueva, A. y Capezzone G. (2000). Análisis de Alicina en *Allium sativum* L., mediante H.P.L.C. IX Jornadas de Investigación y Docencia de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNCuyo. Noviembre de 2000. Resumen nº 69.
- Cavallito, C. y Bailey, J. H. (1944). Allicim, the antibacterial principle of *Allium sativum*. Isolation, physical properties and antibacterial action. J. Am Chem. Soc. 66, 1950-1951.
- Chung Lip Yong.(2001). The antioxidant properties of garlic compounds: allyl cysteine, alliin, allicin, and allyl disulfide. Journal of medicinal food;9 (2): 205-13.
- DONG X. y MUJUMDAR A. (2008). Drying technologies in food processing. Editorial: Blackwell Publishing. Reino Unido.
- Fito, P., Chiralt, A., Barat, J., Andrés, A., Martínez, M. y Martínez, N. (2001). Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. Journal of Food Engineering, 49, 297–302.
- Fleischauer AT, Poole C, Arab L. Garlic consumption and cancer prevention: meta-analyses of colorectal and stomach cancers. Am J Clin Nutr. 2000;72:1047 – 1052.
- Gascón, A.; Muravnick N.; Suliá, P.; Ventura, L.; Bressia C. y D’Innocenzo (2006). Frutas y Hortalizas Deshidratadas. Mendoza: FCA, UNCuyo.
- González, R. (2004). Evolución del contenido de Alicina durante la conservación poscosecha, para el empleo de *Allium sativum* L. en la elaboración de alimentos funcionales. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias.
- Guía Médica Interactiva (2007) [CD- ROOM]. S/d.

- Instituto de Desarrollo Rural (IDR) (2009). Informe de coyuntura de ajo 2008-09. Mendoza.
- Interamericana. pp.376-419 Instituto de Desarrollo Rural (IDR) (2008). Informe de coyuntura de ajo 2007-08. Mendoza.
- Journal American Chemical Society 108. pp. 7045-7055. [en línea] Disponible en: linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0378874191900189 [consulta: agosto de 2010]
- Koch, H.P. and L.D. Lawson (eds.). (1996). Garlic: The Science and Therapeutic Application of *Allium sativum* L. and Related Species, 2nd ed. Baltimore: Williams & Wilkins Publishing Co.
- Krest and Keusgen (1999). Quality of herbal remedies from *Allium sativum*: differences between allinase from garlic powder and fresh garlic. *Planta Medica*, 65:139-143.
- Lancaster, J. E. & Boland M.J. (1990). Flavour Biochemistry. En: Breswter J.L. and Rabinowitch. Onions and Allied Crops. Ed. CRC. Press, Inc. Boca Raton, FL, vol 3 33- 72.
- Lawson, L. and Wang (2001). Low allicin release from garlic supplements: a major problem due to the sensitivities of allinase activity. *Journal of Agricultural and Food Chem*, 49:2592- 2599.
- Lawson, L.; Wang, Z. & Hughes, B. (1991). HPLC analysis of allicin and other thiosulfinates nutritional effects associated with the use of garlic as a supplement: Intake of garlic and of Alliums. *Crop Production Science in Horticulture* 9. 203-212.
- Lawson, L.; Wang, Z. & Hughes, B. (1991). Identification and HPLC quantitation of sulfides and dialk(en)yl thiosulfinates in commercial garlic products. *Planta Médica* 57. 363-370.
- Liu, L. y Yeh, Y. (2001) Cholesterol – Lowering Effect of garlic extracts and organosulfur compounds: human and animal studies. American Society for nutritional Sciences.
- López Luengo, M.T. (2007). El ajo: Propiedades farmacológicas e indicaciones terapéuticas.
- López V. (2015). Certificaciones para exportación en alimentos frescos (II). 05 de enero de 2016, de El economista Sitio web:

<http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2015/12/01/certificaciones-exportacion-alimentos-frescos-ii>

- 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.
- Martines E. y Lira L. (2010). Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos. Simposio de Metrología, 1, 1-6.
- Méndez Laguna, L. y Castaigne, F.(2008). Effect of temperature cycling on allinase activity in garlic. *Food Chemistry* 111 56-60.
- Mercado Europeo de Fitofármacos (2006). [en línea] Disponible en: www.cemue.com.mx/.../Investigacion%20mercado%20sobre%20fitofarmacos%20e. [consulta: octubre de 2010].
- Miller, J.C. (1988). Estadística para la Química Analítica. Iberoamericana. Addison.
- Moreno M. y Fabián L. (2008). Determinación de los Parámetros para la Simulación Matemática del Secado de Almidón de Yuca. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. P. 176.
- Mujumdar, A. (2006) Handbook of Industrial Drying. Singapur. Editorial CRC Press. Cuarta Edición.
- Offarm 26(1):78-81.
- Pereyra, M.; Pérez, A. y Viera, M. (2009). Contexto comercial durante 2008-09 y perspectivas para la actividad en Mendoza. XI Curso Taller sobre Producción, Comercialización e Industrialización de Ajo. 11-13.
- Phelps, S. and W.S. Harris. 1993. Garlic supplementation and lipoprotein oxidation susceptibility. *Lipids* 28(5):475-477.
- Rabinowitch, H.D. (2002). Allium Crop Science: Recent Advances. CABI Publishing, Wallingford, Oxon, U. K. Ch. 4. 515.
- Rahman, K.(2003).Garlic and aging: new insights into an old remedy. *Ageing Research Reviews*, 2, 1: 57-93.
- Randle, W. & Lancaster, J. (1990). Sulphur compounds in Alliums in relation to flavour quality. In: Allium crop science: Recent advances. Ed. Rabinowitch, H. D and Currah, L. CABI Publishing. U.K.. 329-355.
- Reducción y Asimilación del azufre en las planta. [en línea]. Disponible en (<http://fitonutricion.awardspace.biz/contenido/08-03.html>) [consulta: mayo de 2010].

- Rivlin, R. (2001). Historical Perspective on the Use of Garlic. American Society for Nutritional.
- Silveira Rodríguez, M; Monereo Megias, S. y Molina Baena, B. (2003). Alimentos funcionales y nutrición óptima: ¿Cerca o lejos?. Rev. Esp. Salud Publica vol.77, n.3, pp. 317-331. [en línea]. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272003000300003&lng=es&nrm=iso. ISSN 1135-5727 [consulta: 12 de abril 2010].
- Singh, U.; Prithviraj, B.; Sarma, B. & Mandavi Singh. (2001) Role of garlic (*Allium sativum* L.) in human and plant diseases. Indian Journal of Experimental Biology vol 39 310-322.
- Soto, V.; Camargo A.; González R. y Galmarini, C. (2007). Síntesis y Purificación de ajoeno y su cuantificación en aceites comerciales de ajo. Rev. FCA UNCuyo. Mendoza.
- Tapia, A. y Araya, M. (2006). Estrés oxidativo, prooxidantes y Enfermedad de Crohn. Rev Méd Chile; 134, 95-100.
- Vanaclocha, A. C. (2003). Procesos de conservación de alimentos, Ed. MundiPrensa. Madrid.
- Zhang M., Tang J., Mujumdar A.S., and WANG S. (2006) Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables

ANEXOS

A.1 Matriz de consistencia:

TEMA: CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN DEL AJO (*Allium sativum*), BUSCANDO LA MÁXIMA RETENCIÓN DE ALICINA A FIN DE SER ENCAPSULADO, EMPLEANDO LA TÉCNICA COMBINADA AIRE CALIENTE-MICROONDAS.

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEP.	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cómo optimizar la velocidad de difusión del agua durante el proceso de deshidratación del ajo (<i>Allium sativum</i>) a fin de lograr la máxima retención de alicina, empleando la técnica del proceso combinado aire caliente – microondas?	Lograr la máxima retención de la alicina contenida en el polvo de ajo (<i>Allium sativum</i>) durante la deshidratación, empleando la técnica del proceso combinado aire caliente-microondas	Mediante la cinética de deshidratación del ajo (<i>Allium sativum</i>), se preserva alrededor del 90.0129% de la alicina, empleando un método combinado de aire caliente-microondas	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. ¿Cuál es la marcha sistemática para determinar la cantidad de alicina en el ajo macho fresco y deshidratados con la técnica combinada : aire caliente-microondas?	a.Implementar la marcha sistemática que permita determinar la cantidad de alicina en el ajo macho fresco y en los ajos deshidratados (en polvo), mediante la técnica combinada : aire caliente-microondas	a.Empleando este nuevo equipo de secado de sistema combinado aire caliente-microondas para secar ajo (<i>Allium sativum</i>), aumentara la velocidad de difusión del agua.	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 deshidratación del ajo (<i>Allium sativum</i>) empleando la técnica combinada: aire caliente-microondas?	b. Detectar los parámetros cinéticos a controlar durante el proceso de deshidratación del ajo (<i>Allium sativum</i>) empleando la técnica combinada: aire caliente-microondas.	b.. El tiempo de secado del ajo (<i>Allium sativum</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 ajo (<i>Allium sativum</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 expresión matemática que nos permita controlar la transferencia de masa y calor a través del tiempo transcurrido, admitiendo una forma geométrica homogénea durante el proceso de deshidratación del ajo (<i>Allium sativum</i>) ?	c.Obtener la relación que nos permita obtener la máxima retención de la alicina en el polvo de ajo , controlando la velocidad de deshidratación en función de las variables de operación, durante el proceso de secado de esta hortaliza,	c. La función que relaciona la deshidratación del ajo (<i>Allium sativum</i>) empleando este método combinado es función de la velocidad de difusión, la temperatura y del intervalo de pulsaciones	X3=Función que nos permita relacionar al proceso de deshidratación del ajo.(<i>Allium sativum</i>)	Estructura matemática	Y=f(x ₁ ,x ₂ ,x ₃)	- Análisis de la alicina empleando el método espectrofotométrico IR

A. 2 Base de datos (Excel)



1.

Excel-secado.final aj



2. RESULTADOS

ALICINA ESPECTROF



3. Concentrac...ALICI

NA via espectrometr

