



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

DESHIDRATACIÓN DE JÍCAMA *Smallanthus sonchifolius* PARA OBTENCIÓN DE HOJUELAS

Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial

Autor: Arias Pabón Ricardo Alexander

Director: Ing. Ángel Satama

Ibarra – Ecuador

2016

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

DESHIDRATACIÓN DE JÍCAMA *Smallanthus sonchifolius* PARA
OBTENCIÓN DE HOJUELAS

Tesis revisada por los miembros del tribunal, por lo cual se autoriza su presentación como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

APROBADA:

Ing. Ángel Satama Tene

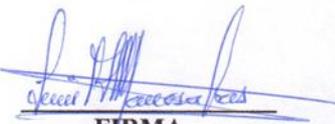
DIRECTOR DE TESIS



FIRMA

Ing. Armado Manosalvas

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



FIRMA

Dr. Lucia Yépez

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



FIRMA

Ing. Jimmy Cuarán

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



FIRMA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100375910-5	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Arias Pabón Ricardo Alexander	
DIRECCIÓN:	Ibarra-La victoria-Av. 17 de Julio Urb. Los Tulipanes	
EMAIL:	alex_17dr@hotmail.com	
TELÉFONO FIJO:	2616-135	TELÉFONO MÓVIL: 0997268407

DATOS DE LA OBRA		
TÍTULO:	“DESHIDRATACIÓN DE JÍCAMA <i>Smallanthus sonchifolius</i> PARA OBTENCIÓN DE HOJUELAS”	
AUTOR:	Arias Pabón Ricardo Alexander	
FECHA:	2016/10 /24	
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO		
PROGRAMA:	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/>	POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO AGROINDUSTRIAL	
ASESOR / DIRECTOR:	Ing. Ángel Satama Tene	

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, **Ricardo Alexander Arias Pabón**, con cédula de identidad número **100375910-5**, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la biblioteca de la universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior, artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 3 días del mes de Octubre del 2016

EL AUTOR:



Arias Pabón Ricardo Alexander

C.I. 100375910-5

ACEPTACIÓN:



Ing. Betty Chávez

JEFE DE BIBLIOTECA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE
LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, **Arias Pabón Ricardo Alexander**, con cédula de identidad Nro. **100375910-5**, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la ley de propiedad intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: **DESHIDRATACIÓN DE JÍCAMA *Smallanthus sonchifolius* PARA OBTENCIÓN DE HOJUELAS**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERO AGROINDUSTRIAL** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.



Arias Pabón Ricardo Alexander

C.I. 100375910-5

Ibarra, a los 3 días del mes de Octubre del 2016

Registro Bibliográfico

Arias Pabón Ricardo Alexander **DESHIDRATACIÓN DE JÍCAMA *Smallanthus sonchifolius* PARA OBTENCIÓN DE HOJUELAS**. TRABAJO DE GRADO. Ingeniera Agroindustrial. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agroindustrial. Ibarra. 03. Octubre 2016. 206p

DIRECTOR: Ing. Ángel Satama Tene

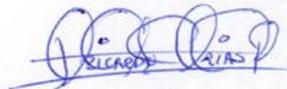
En la presente investigación se evaluó las características físicas químicas, nutricionales, efecto de exposición al sol, temperatura de secado, velocidad de aire de secado, características sensorial y calidad microbiológica en hojuelas deshidratadas de jícama estableciendo condiciones favorables para obtener producto de calidad manteniendo sus propiedades nutricionales.

El producto cumple con los requerimientos microbiológicos establecidos en la norma NTE INEN 2696-2015 para productos deshidratados, la cual garantiza la calidad de producto.

Octubre 2016



Ing. Ángel Satama Tene
f) DIRECTOR DE TESIS



Arias Pabón Ricardo Alexander
f) AUTOR

RESUMEN

La investigación de deshidratación de jícama *Smallanthus sonchifolius* para obtención de hojuelas, se realizó en los laboratorios de la FICAYA de la Universidad Técnica del Norte, ubicados en la ciudad de Ibarra-Ecuador.

Para el desarrollo de hojuelas de jícama se determinó tres factores de estudio con dos niveles cada uno, se establecieron temperaturas de 50°C y 55°C, velocidad de aire de secado 2 m/s y 4 m/s, exposición al sol 0 y 6 días, se aplicó el Diseño factorial 2^3 a ocho tratamientos con tres repeticiones. La investigación se trabajó bajo condiciones de presión atmosférica de la ciudad de Ibarra, con 70,135 Pa; la caracterización del área de estudio en condiciones ambientales del aire de secado mediante la tabla Psicrométrica se obtuvieron los siguientes valores, para bulbo seco (23°C), bulbo húmedo (17°C), humedad relativa (59.50%), humedad absoluta (15,40 g/kg), presión de vapor (2,46 Kpa), volumen específico (0.8599 m³/Kg) entalpía (61,89 KJ/Kg) y punto de rocío (14.95°C) en condiciones ambientales. Para el secado, las condiciones son temperaturas de 50°C y 55°C a las que fue expuesta para su experimentación en secado, la exposición al sol durante los días de secado la temperatura promedio del aire fue 23°C con una radiación solar de (4,997 h8KWh/m²* día), mediante la curva de radiación solar se aprecia que de 10h a 15h la polinómica de radiación llega a su mayor índice por día con 600 a 800 W/m² durante los días de secado al sol.

La temperatura, velocidad de aire de secado y días de exposición al sol, influyen en la deshidratación de jícama *Smallanthus sonchifolius* por lo que se aceptó la hipótesis alternativa.

Finalizada la investigación mediante las curvas de secado se determinó que la jícama tiene un promedio de secado de 4h, y mejores valores cuantitativos y cualitativos de los resultados en la investigación son los T1, T5 y T8.

Con valores de 82,96g en °Brix, actividad de agua 0,43, humedad 10,57 pH 5.87 y cenizas 3.39. obteniendo un producto con características organolépticas de calidad y microbiológicas.

SUMMARY

The dehydration of jicama (*Smallanthus sonchifolius*) to get flakes, this research was carried out in the laboratories of the FICAYA at “Técnica Del Norte” University from Ibarra-Ecuador.

For the development of jicama flakes three factors of study have been determined with two levels of temperatures 50°C and 55°C, velocity of air of drying 2 m / s 4 m / s, the exposure at the sun was established from 0 and 6 days, the factorial design 2^3 applied to eight treatments with three replications. This work was done under atmospheric pressure in Ibarra city, with 70,135Pa; the characterization of the study area under environment conditions of the drying air by psychometric, a chart with the following values was obtained: for dry bulb (23°C), wet bulb (17°C), relative humidity (59.50%), absolute humidity, (15.40 g / kg), vapor pressure (2.46 kPa), specific volume (0.8599 m³ / kg) enthalpy (61.89 KJ / kg) and polinómica (14.95°C) under ambient conditions.

For drying, the conditions of temperatures are 50°C and 55°C, which was exposed for experimentation drying, exposure to the sun during the days of drying, the average air temperature was 23 ° C with a sun radiation of 4,997 h (KW / m² * day), the solar radiation curve shows that from 10h to 15h polynomial radiation reaches its highest rate per day with 600 to 800 W / m² during the days of sun of drying.

Temperature, velocity of air of drying and days of sun exposure, dehydration influence in the jicama, so the alternative hypothesis was accepted.

Following the investigation by the drying curves, it was determined that the jicama has an average drying of 4 h., and better quantitative and qualitative values of the results are T1, T5 and T8. With 82,96g values in ° Brix, 0.43 water activity, moisture and ash 10.57, pH 5.87 3.39., obtaining a product with organoleptic and microbiological quality characteristics.

DEDICATORIA

A mis dos MADRES Hermosas Odilita Pabón y abuelita Michita quien siempre han estado dándome la mano para levantarme desde pequeño, quienes han echo de mi un gran hombre ejemplar con mucho sacrificio de ustedes aprendí a jamás rendirme.

A mi HERMANO Luis Arias, quien es mi amigo y la vez padre, quien siempre me ha apoyado con cariño y amor, gracias muchas gracias por todo su sacrificio, para permitir que yo cumpla con mis sueños, por el apoyo incondicional, y la paciencia que me han tenido desde siempre.

A mi amada esposa, quien es mi apoyo, mi compañera de vida y con quien siempre he contado en mis momentos más difíciles y de alegría, te amo.

Y principalmente dedico mi trabajo de tesis a mi hijo Mateo Arias y a mi sobrinito Cristopher Arias, que son la inspiración y motor de mi vida, para ser cada vez mejor persona y ejemplo de vida.

Gracias.

RICARDO ARIAS

AGRADECIMIENTO

Agradecido principalmente con nuestro creador Dios, por estar siempre a mi lado y brindarme la fortaleza de no dejar atrás mis sueños, mis ideales y luchar siempre por mis objetivos.

A mi Universidad Técnica del Norte, a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales y a cada uno de mis docentes que con sus experiencias y consejos permitieron, que me fortalezca como persona y profesional, con muy buenos principios éticos y morales, con el objetivo de ser un aporte valioso para mi país Ecuador.

Un agradecimiento al Ing. Ángel Satama quien me brindo apoyo incondicional como director en todo el proceso de mi proyecto de titulación.

Mi sincero agradecimiento y especial al Ing. Jorge Castro quien fue mi asesor de tesis y hoy un gran amigo, por toda la colaboración y el apoyo que me brindo para que el proyecto se haga realidad en su totalidad, a pesar que ya no ejercía funciones en la institución.

Al Ing. Rubén Guzmán, Jefe de laboratorio del Ingenio Azucarero del Norte y a todo su equipo de trabajo, por su valiosa ayuda, en el asesoramiento en la investigación.

A mis amigos y familiares que de alguna forma me ayudaron en el camino hacia la consecución de mi título, mil gracias por siempre confiar en mí.

RICARDO ARIAS.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	CAPÍTULO I	1
	INTRODUCCIÓN	1
1.1	PROBLEMA	1
1.2	JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3	OBJETIVOS.....	3
1.3.1	OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4	HIPÓTESIS	3
1.4.1	HIPÓTESIS ALTERNATIVA.....	3
1.4.2	HIPÓTESIS NULA	3
2	CAPÍTULO II	4
	MARCO TEÓRICO	4
2.1	RAÍCES Y TUBÉRCULOS ANDINOS.....	4
2.2	GENERALIDADES.....	4
2.2.1	JÍCAMA <i>Smallanthus sonchifolius</i>	4
2.2.1.1	Generalidades	5
2.2.1.2	Clasificación taxonómica	5
2.2.1.3	Composición química.....	6
2.2.1.4	Características botánicas	7
2.2.1.5	Manejo del cultivo.....	8
2.2.1.6	Plagas y enfermedades	10
2.2.1.7	Cosecha	10
2.2.1.8	Rendimiento	10

2.2.1.9 Comercialización.....	11
2.3 MADUREZ DE COSECHA	11
2.3.1 MADURACIÓN FISIOLÓGICA.	11
2.3.2 MADURACIÓN ORGANOLÉPTICA.....	12
2.3.3 MADUREZ COMERCIAL.....	12
2.3.4 MÉTODOS PARA DETERMINAR LA MADUREZ.....	12
2.3.4.1 Medio visuales.....	12
2.3.4.2 Medios físicos.....	13
2.3.4.3 Métodos químicos	13
2.3.5 ÍNDICES DE MADUREZ.	13
2.4 DESHIDRATACIÓN.....	14
2.4.1 SECADO	14
2.4.1.1 Secado método de conservación.....	14
2.4.2 MÉTODOS DE DESHIDRATACIÓN DE LOS ALIMENTOS.....	15
2.4.2.1 Método por transmisión de calor:.....	15
2.4.2.2 Método por Presión del proceso.....	15
2.4.2.3 Método por tipo de producto a deshidratar	15
2.4.3 SECADO CONVECTIVO	16
2.4.4 TIPOS DE SECADORES DIRECTOS O POR CONVECCIÓN.....	16
2.4.5 PSICROMETRÍA.....	17
2.4.5.1 Entalpía del aire seco.....	18
2.4.5.2 Temperatura de bulbo seco.....	18
2.4.5.3 Temperatura de bulbo húmedo.....	18
2.4.5.4 Humedad relativa	18
2.4.5.5 Humedad Absoluta.....	19
2.4.5.6 Presión de vapor	19

2.4.5.7 Volumen específico.....	19
2.4.5.8 Punto de rocío.....	19
2.4.6 SECADOR DE BANDEJAS.....	20
2.4.6.1 Naturaleza del agua en un alimento	21
2.4.6.2 Agua ligada.....	22
2.4.6.3 Agua en estado libre.....	22
2.4.7 CONDICIONES DEL PRODUCTO.....	22
2.4.7.1 Composición Química.....	22
2.4.7.2 Estructura Celular.....	22
2.4.7.3 Forma y Tamaño del Producto	23
2.4.7.4 Contenido de Humedad.....	23
2.4.8 CONDICIONES DE PROCESO.....	24
2.4.8.1 Temperatura del aire de entrada	25
2.4.8.2 Temperatura de aire de salida.....	25
2.4.8.3 Velocidad del aire.....	25
2.4.8.4 Humedad relativa del aire.....	25
2.4.8.5 Presión del Sistema	26
2.4.8.6 Actividad del Agua.....	26
2.5 CINÉTICA DE SECADO	31
2.5.1 MECANISMOS DE SECADO	31
2.5.1.1 Eliminación de agua vía mecánica	31
2.5.1.2 Eliminación de agua vía térmica	31
2.5.2 PROCESO DE SECADO.....	32
2.5.2.1 Desecación.....	32
2.5.2.2 Deshidratación.....	32
2.5.2.3 Tránsito de masa y calor:	32

2.5.3	PERIODOS DE SECADO	34
2.5.3.1	Período de Inducción (A-B)	35
2.5.3.2	Período de Velocidad Constante (B-C)	35
2.5.3.3	Período de Velocidad Decreciente (C-D).....	35
2.5.3.4	Período de Equilibrio (D).....	36
2.5.3.5	Periodos de precalentamiento.....	36
2.5.3.6	Periodo de velocidad constante	37
2.5.3.7	Periodo de velocidad decreciente	39
3	CAPÍTULO III.....	46
	MATERIALES Y METODOS.....	46
3.1	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	46
3.1.1	CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES DEL AIRE DE SECADO Y DE SECADO DE BANDEJAS.....	47
3.1.1.1	Propiedades psicrométricas de la mezcla aire – vapor de agua	47
3.1.1.2	Temperaturas de secado a presión barométrica de Ibarra	48
3.1.1.3	Tabla psicrométrica secado a 50°C	48
3.1.1.4	Tabla psicrométrica secado a 55°C	49
3.1.2	EXPOSICIÓN SOLAR	50
3.1.2.1	Radiación solar diaria media, h (kWh/m ² *día) - Ibarra	51
3.1.2.2	Curva de radiación solar (wh/m2).....	52
3.2	MATERIALES Y EQUIPOS	53
3.2.1	MATERIA PRIMA	53
3.2.1.1	Materia prima	53
3.2.2	EQUIPOS Y MATERIALES	53
3.2.2.1	Equipos.....	53

3.2.2.2 Equipos de protección personal.....	53
3.2.2.3 Materiales	53
3.3 MÉTODOS.....	54
3.3.1 CARACTERIZACIÓN DEL EXPERIMENTO	54
3.3.1.1 Materia prima	54
3.3.1.2 Acondicionamiento de la jícama <i>Smallanthus sonchifolius</i>	54
3.3.1.3 Proceso de deshidratación	54
3.3.2 FACTORES.....	55
3.3.2.1 Factores en estudio	55
3.3.3 TRATAMIENTOS.....	55
3.3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	56
3.3.5 CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO.....	56
3.3.6 CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL	56
3.3.7 ESQUEMA DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	57
3.3.8 ANÁLISIS FUNCIONAL.....	57
3.4 VARIABLES.....	57
3.4.1 VARIABLES CUANTITATIVAS	57
3.4.1.1 Análisis físico-químico.....	57
3.4.1.2 Análisis microbiológicos.....	58
3.4.2 VARIABLES PARAMÉTRICAS.....	58
3.4.3 DESCRIPCIÓN DE VARIABLES CUANTITATIVAS.....	58
3.4.3.1 Recuento total de aerobios	59
3.4.3.2 Recuento de mohos y levaduras.....	59
3.4.3.3 Cinética de secado.....	59
3.4.3.4 Sólidos solubles totales (SST).....	60
3.4.3.5 Azúcares reductores	60

3.4.3.6	Humedad	60
3.4.3.7	Actividad de agua.....	61
3.4.3.8	pH.....	61
3.4.3.9	Cenizas totales.....	61
3.4.3.10	Fibra.....	62
3.5	DIAGRAMA DE FLUJO PARA ELABORACIÓN DE HOJUELAS DE JÍCAMA <i>SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS</i>	63
3.5.1	BALANCE DE MATERIALES	64
3.5.2	RENDIMIENTO	65
3.5.3	VARIABLES CUALITATIVAS	65
3.5.3.1	VARIABLE ORGANOLÈPTICA	65
3.5.3.2	Descripción de variable organoléptica	66
3.6	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	69
4	CAPÍTULO IV	71
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	71
4.1	CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS Y NUTRICIONALES DE LA JÍCAMA <i>Smallanthus sonchifolius</i>	71
4.2	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DE LAS HOJUELAS DE JÍCAMA <i>SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS</i> DESHIDRATADA	72
4.3	SÓLIDOS SOLUBLE ° BRIX	72
4.3.1	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE SÓLIDO SOLUBLE ° BRIX.....	72
4.3.2	INTERACCIÓN AXC Y BXC VARAIABLE °BRIX	75
4.4	AZUCARES REDUCTORES.....	78
4.4.1	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE AZUCARES REDUCTORES.....	78
4.4.2	INTERACCIÓN AXC Y BXC VARAIABLE AZUCARES REDUCTORES	81

4.5	HUMEDAD.....	84
4.5.1	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE HUMEDAD.....	84
4.5.2	INTERACCIONES AXB Y AXC DE LA VARIABLE HUEMEDAD.....	87
4.6	ACTIVIDAD DE AGUA (a_w).....	90
4.6.1	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE ACTIVIDAD DE AGUA (a_w)	90
4.6.2	INTERACCIONES AXB, AXC Y BXC DE LA VARIABLE ACTIVIDAD DE AGUA a_w	93
4.7	pH.....	98
4.7.1	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL VARIABLE PH.....	98
4.7.2	INTERACCIONES (AXB), (AXC) Y (BXC) DE LA VARIABLES pH	101
4.8	CENIZAS	105
4.8.1	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE CENIZAS	105
4.8.2	INTERACCIÓN (BXC) DE LA VARIABLES CENIZAS	108
4.9	FIBRA	110
4.9.1	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE FIBRA	110
4.9.2	INTERACCIÓN (BXC) DE LA VARIABLE FIBRA	113
4.10	CINÉTICA DE SECADO	115
4.10.1	TABLA DE VALORES DE HUMEDAD Y VELOCIDAD DE SECADO T1.....	115
4.10.2	CURVAS DE DESHIDRATACIÓN DEL TRATAMIENTO T1 AIBIC1 (50°C /2M/S /0 DIAS) HUMEDAD VS TIEMPO Y VELOCIDAD VS HUMEDAD.....	116
4.10.2.1	Humedad vs tiempo.....	116
4.10.2.2	Velocidad vs humedad	117
4.10.3	GRAFICAS DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO (X_e) Y HUMEDAD CRÍTICA (X_c) T1	119

4.10.4 TIEMPO TOTAL DE DESHIDRATACIÓN	120
4.10.5 TABLA DE VALORES DE HUMEDAD Y VELOCIDAD DE SECADO T2	121
4.10.6 CURVAS DE DESHIDRATACIÓN DEL TRATAMIENTO T2 AIBIC12 (50°C /2m/S /6 DIAS) HUMEDAD VS TIEMPO Y VELOCIDAD VS HUMEDAD. 121	
4.10.6.1 Humedad vs tiempo.....	121
4.10.6.2 Humedad vs velocidad	122
4.10.7 GRAFICAS DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO (Xe) Y HUMEDAD CRÍTICA (Xc) T2	124
4.10.8 TIEMPO TOTAL DE DESHIDRATACIÓN	125
4.10.9 TABLA DE VALORES DE HUMEDAD Y VELOCIDAD DE SECADO T3.....	126
4.10.10 CURVAS DE DESHIDRATACIÓN DEL TRATAMIENTO T3 (A1B2C1) (50°C/4m/s /0 Días) HUMEDAD VS TIEMPO Y VELOCIDAD VS HUMEDAD.....	126
4.10.10.1 Humedad vs tiempo.....	126
4.10.10.2 Humedad vs Tiempo	127
4.10.11 GRAFICAS DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO (Xe) Y HUMEDAD CRÍTICA (Xc) T3	129
4.10.12 TIEMPO TOTAL DE DESHIDRATACIÓN	130
4.10.13 TABLA DE VALORES DE HUMEDAD Y VELOCIDAD DE SECADO T4	130
4.10.14 CURVAS DE DESHIDRATACIÓN DEL TRATAMIENTO t4 (A1B2C2) (50°C /4m/s /6 DÍAS) HUEMDAD VS TIEMPO Y VELOCIDAD VS HUMEDAD.....	131
4.10.14.1 Humedad vs tiempo.....	131
4.10.14.2 Velocidad vs humedad	132

4.10.15 GRAFICAS DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO (X_e) Y HUMEDAD CRÍTICA (X_c) T4	134
4.10.16 TIEMPO TOTAL DE DESHIDRATACIÓN	135
4.10.17 TABLA DE VALORES DE HUMEDAD Y VELOCIDAD DE SECADO T5.....	135
4.10.18 CURVAS DE DESHIDRATACIÓN DEL TRATAMIENTO T5 (A2B1C1) (55°C /2m/s /0 DIAS) HUEMDAD VS TIEMPO Y VELOCIDAD VS HUMEDAD	136
4.10.18.1 Humedad vs tiempo.....	136
4.10.18.2 Velocidad vs humedad	137
4.10.19 GRAFICAS DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO (X_e) Y HUMEDAD CRÍTICA (X_c) T5	139
4.10.20 TIEMPO TOTAL DE DESHIDRATACIÓN	140
4.10.21 TABLA DE VALORES DE HUMEDAD Y VELOCIDAD DE SECADO T6	140
4.10.22 CURVAS DE DESHIDRATACIÓN DEL T6 (A2B1C2) (55°C / 2m/s / 6 Días) HUEMDAD VS TIEMPO Y VELOCIDAD VS HUMEDAD.....	141
4.10.22.1 Humedad vs tiempo.....	141
4.10.22.2 Velocidad vs humedad	142
4.10.23 GRAFICAS DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO (X_e) Y HUMEDAD CRÍTICA (X_c) T6	144
4.10.24 TIEMPO TOTAL DE DESHIDRATACIÓN	145
4.10.25 TABLA DE VALORES DE HUMEDAD Y VELOCIDAD DE SECADO T7.....	145
4.10.26 CURVAS DE DESHIDRATACIÓN DEL TRATAMIENTO T7 A2B2C1 (55°C /4M/S /0 DIAS) HUEMDAD VS TIEMPO Y VELOCIDAD VS HUMEDAD	146
4.10.26.1 Humedad vs tiempo.....	146
4.10.26.2 Velocidad vs humedad	147

4.10.27	GRAFICAS DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO (X_e) Y HUMEDAD CRÍTICA (X_c) T7	148
4.10.28	TIEMPO TOTAL DE DESHIDRATACIÒN	149
4.10.29	TABLA DE VALORES DE HUMEDAD Y VELOCIDAD DE SECADO T8	150
4.10.30	CURVAS DE DESHIDRATACIÒN DEL TRATAMIENTO T8 A2B2C2 (55°C /4M/S / 6 DIAS) HUEMDAD VS TIEMPO Y VELOCIDAD VS HUMEDAD.	150
4.10.30.1	Humedad vs tiempo.....	150
4.10.30.2	Velocidad vs humedad	151
4.10.31	GRAFICAS DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO (X_e) Y HUMEDAD CRÍTICA (X_c) T8	153
4.10.32	TIEMPO TOTAL DE DESHIDRATACIÒN	154
4.10.33	TABLA DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO Y HUMEDAD CRÍTICA	155
4.11	EVALUACIÒN DE LA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DE LAS HOJUELAS DE JÍCAMA <i>SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS</i> DESHIDRATADA	156
4.12	ANÁLISIS MICROBIOLÒGICO.....	157
4.13	ANÁLISIS ORGANOLÈPTICO	158
4.13.1	COLOR:	159
4.13.1.1	Prueba de Friedman para color	160
4.13.2	OLOR	161
4.13.2.1	Prueba de Friedman para olor	163
4.13.3	SABOR.....	164
4.13.3.1	Prueba de Friedman para sabor	165
4.13.4	TEXTURA	166
4.13.4.	Prueba de Friedman para textura.....	167
4.14	RESULTADOS DE ANÁLISIS ORGANOLÈPTICO DE LAS HOJUELAS DE JÍCAMA <i>Smallanthus sonchifolius</i>	168

5	CAPITULO V	170
5.1	CONCLUSIONES.....	170
5.2	RECOMENDACIONES	171
6	BIBLIOGRAFÍA	172
7	ANEXOS	178
	ANEXO 4:.....	183
	ANEXO 3:.....	183
	ANEXO 5:.....	184
	ANEXO 6:.....	184
	ANEXO 7:.....	186
	ANEXO 8:.....	189

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Composición química de la jícama <i>Smallanthus sonchifolius</i>	6
Tabla 2.	Datos climatológicos de la ciudad de Ibarra.....	46
Tabla 3	Temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo Ibarra.	47
Tabla 4	Propiedades psicométricas del aire a presión barométrica de Ibarra.....	47
Tabla 5	Propiedades de la temperatura de entrada secado a 50°C	48
Tabla 6	Propiedades del aire de salida a 48°C.....	48
Tabla 7	Propiedades de la temperatura de entrada secado a 55°C	49
Tabla 8	Propiedades del aire de salida a 50°C.....	49
Tabla 9	Temperatura ambiente de días de exposición solar de la jicama.....	50
Tabla 10	Temperatura de días de exposición al sol de la jicama	50
Tabla 11	Radiación solar diaria (w/m2) Marzo 2015.....	51

Tabla 12 Radiación solar mensual media de Ibarra.....	51
Tabla 13 Curva de radiación solar.....	52
Tabla 14. Esquema de los niveles de temperatura de deshidratación (A), velocidad del aire de secado (B) y días de exposición al sol (C).....	56
Tabla 15. . ADEVA (análisis de varianza).....	57
Tabla 16. Metodología de Análisis.....	59
Tabla 17. Evaluación sensorial del color.....	67
Tabla 18. Evaluación sensorial del olor.....	67
Tabla 19. Evaluación sensorial del sabor	68
Tabla 20. Evaluación sensorial de textura	68
Tabla 21 Valores de grados °Brix.....	72
Tabla 22 Análisis de varianza de sólidos solubles	73
Tabla 23 Prueba de tukey para tratamientos variable sólidos solubles	74
Tabla 24 Prueba de Diferencia Mínima de Significación para factores A, B y C variables sólidos solubles.....	74
Tabla 25 Tabla de comparación del contenido de sólidos solubles.....	77
Tabla 26 Valores de azúcares reductores	78
Tabla 27 Análisis de varianza de azúcares reductores	79
Tabla 28 Prueba de tukey para tratamientos de la variable azúcares reductores.....	80
Tabla 29 Prueba de Diferencia Mínima de Significación para los factores A, B y C de la variable azúcares reductores.....	80
Tabla 30 Valores de la humedad	84
Tabla 31 Análisis de la varianza de humedad	85
Tabla 32 Prueba de tukey para tratamientos de la variable humedad	86
Tabla 33 Pruebas de Diferencia Mínima de Significación para los factores A, B y C de la variable humedad.....	86

Tabla 34 Valores de la actividad de agua a_w	90
Tabla 35 Análisis de varianza de la actividad de agua a_w	90
Tabla 36 Prueba de tukey para tratamientos de la variables actividad de agua.....	91
Tabla 37 Prueba de Diferencia Mínima de Significación para los factores A, B y C de la variable actividad de agua	92
Tabla 38 Valores de los tratamientos de variable pH.....	98
Tabla 39 Análisis de varianza de pH.....	98
Tabla 40 Prueba de tukey para tratamientos de la variable pH	99
Tabla 41 Prueba de Diferencia Mínima de Significación para los factores A, B y C de la variable pH	100
Tabla 42 Valores de los cubos de piña antes y después del deshidratado.....	104
Tabla 43 Valores de la variable cenizas	105
Tabla 44 Análisis de varianza de la variable cenizas	105
Tabla 45 Prueba de tukey para tratamientos de la variable cenizas	106
Tabla 46 Prueba de Diferencia Mínima de Significación para los factores A, B y C de la variable	107
Tabla 47 Análisis de varianza de la variable fibra.....	110
Tabla 48 Análisis de varianza de la variable fibra.....	110
Tabla 49 Prueba de tukey para tratamientos de la variable fibra.....	111
Tabla 50 Prueba de Diferencia Mínima de Significación para los factores A, B y C de la variable fibra.....	112
Tabla 51 Comportamiento de humedad y velocidad de secado Tratamiento T1	115
Tabla 52 humedad vs tiempo T1	116
Tabla 53 velocidad vs humedad T1	117
Tabla 54 Valores de humedad y velocidad de secado Tratamiento T2.....	121
Tabla 55 Humedad vs Tiempo T2	121

Tabla 56 Velocidad vs humedad T2	123
Tabla 57 Valores de humedad y velocidad del secado tratamiento T3	126
Tabla 58 Humedad vs tiempo T3	126
Tabla 59 Humedad vs Velocidad T3	127
Tabla 60 Valores de velocidad del secado y humedad del tratamiento T4	130
Tabla 61 Humedad vs tiempo T4	131
Tabla 62 Humedad vs Velocidad T4	132
Tabla 63 Valores de velocidad de secado y humedad del tratamiento T5	135
Tabla 64 Humedad vs tiempo T5	136
Tabla 65 Humedad vs Velocidad T5	137
Tabla 66 Valores de velocidad de secado y humedad del tratamiento T6	140
Tabla 67 Humedad vs tiempo T6	141
Tabla 68 Humedad vs velocidad T6	142
Tabla 69 Valores de velocidad del secado y humedad del tratamiento T7	145
Tabla 70 Humedad vs tiempo T7	146
Tabla 71 Humedad de velocidad T7	147
Tabla 72 Valores de velocidad de secado y humedad del tratamiento T8	150
Tabla 73 Humedad vs tiempo T8	150
Tabla 74 Humedad vs velocidad T8	152
Tabla 75 Valores de humedad de equilibrio y humedad crítica de todos los tratamientos	155
Tabla 76 Variables independientes vs variables Dependientes (resultado de análisis físico químico hojuelas de jícama <i>Smallanthus sonchifolius</i> deshidratada.	156
Tabla 77 Requisitos microbiológicos para productos deshidratados.....	157
Tabla 78 resultado de análisis microbiológico de la jícama deshidratada.....	158
Tabla 79 Rangos del color	159

Tabla 80 Rangos de olor.....	161
Tabla 81 Rangos de sabor.....	164
Tabla 82 Rangos de textura	166
Tabla 83 Comparación estadística de las variables en la fase de degustación	168

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de la jícama	4
Figura 2 Diagrama Psicrométrica.....	17
Figura 3 Isoterma de equilibrio	28
Figura 4 Fenómeno de histéresis	29
Figura 5 Influencia de la temperatura en las isotermas de equilibrio	30
Figura 6 Degradación en función de actividad de agua.....	30
Figura 7 Proceso básico de secado	34
Figura 8. Curva de Secado.....	35
Figura 9 Periodos de secado	36
Figura 10 Periodo de velocidad constante.....	37
Figura 11 Influencia de la temperatura del aire de secado	38
Figura 12 El movimiento del agua durante el secado de un material poroso.....	39
Figura 13 Influencia de la velocidad del aire de secado.....	39
Figura 14 Periodos de velocidad decrecientes.....	40
Figura 15 Mecanismos de difusión superficial y transporte de vapor de agua.....	41
Figura 16 Relación entre el contenido de humedad y difusividad	42

Figura 17 Curva de velocidad de secado	42
Figura 18 Mecanismos de condensación- evaporación de vapor de agua transporte.....	44
Figura 19 Tabla psicrométrica secado 50°C.....	48
Figura 20 Tabla psicrométrica secado a 55°C	49
Figura 21 Curva de secado	60
Figura 22. Diagrama de flujo.....	63
Figura 23. Diagrama de bloques de elaboración	64
Figura 24 Interacción (AXC) °Brix	75
Figura 25 Interacción (BXC) variable °Brix	76
Figura 26 Comportamiento de los tratamientos de la variable °Brix	76
Figura 27 Interacción (AXC) Azucares reductores	81
Figura 28 Interacción (BXC) Azucares reductores	82
Figura 29 Comportamiento de los tratamientos de la variable azucares reductores	83
Figura 30 Interacción (AXB) Humedad	87
Figura 31 Interacción (AXC) Humedad	88
Figura 32 Comportamiento de los tratamientos variable humedad.....	89
Figura 33 Interacción (AXB) Aw	93
Figura 34 Interacción (AXC) Aw	94
Figura 35 Interacción (BXC) Aw	94
Figura 36 Comportamiento de los tratamientos de la variable actividad de agua Aw	95
Figura 37 Interacción (AXB) pH.....	101
Figura 38 Interacción (AXC) pH.....	101
Figura 39 Interacción (BXC) pH.....	102
Figura 40 Comportamiento de los tratamientos variable pH.....	103
Figura 41 Interacción (BXC) Cenizas	108
Figura 42 Comportamiento de los tratamientos en la variable cenizas	109

Figura 43 Interacción (BXC) Fibra	113
Figura 44 Comportamiento de los tratamientos en la variable fibra	114
Figura 45 Curva de secado humedad vs tiempo T1.....	116
Figura 46 curva de velocidad de secado T1	117
Figura 47 Velocidad de secado vs Humedad T1 Xc	119
Figura 48 Velocidad de secado vs Humedad T1 Xe	120
Figura 49 Curva de humedad vs tiempoT2	122
Figura 50 Curva de deshidratación T2	123
Figura 51 Humedad vs velocidad Xc T2	124
Figura 52 Humedad vs velocidad Xe T2.....	125
Figura 53 Curva de secado humedad vs tiempo T3.....	127
Figura 54 Curva de velocidad de secado T3.....	128
Figura 55 Velocidad vs humedad XcT3	129
Figura 56 Velocidad vs humedad Xe T3	129
Figura 57 Curva de secado humedad vs tiempo T4.....	131
Figura 58 Curva de Velocidad de secado T4.....	132
Figura 59 Velocidad vs humedad Xc T4	134
Figura 60 Velocidad vs humedad Xe T4	134
Figura 61 Curva de secado Humedad vs tiempo T5.....	136
Figura 62 Curva de velocidad de secado T5.....	137
Figura 63 Velocidad de secado vs humedad Xc T5	139
Figura 64 Velocidad de secado vs humedad Xe T5	139
Figura 65 Curva de secado Humedad vs tiempo T6.....	141
Figura 66 Curva de velocidad de secado T6.....	142
Figura 67 Velocidad de secado vs humedad Xc T6	144
Figura 68 Velocidad de secado vs humedad Xe T6	144

Figura 69 curva de secado Humedad vs tiempo T7.....	146
Figura 70 Curva de velocidad de secado T7.....	147
Figura 71 Velocidad de secado vs humedad Xc T7	148
Figura 72 Velocidad de secado vs humedad Xe T7	149
Figura 73 Curva de secado Humedad vs tiempo T8.....	151
Figura 74 Curva de velocidad de secado T8.....	152
Figura 75 Velocidad de secado vs humedad Xc T8	153
Figura 76 Velocidad de secado vs humedad Xe T8	154
Figura 77 Promedio de color por tratamiento.....	159
Figura 78 Promedio de olor por tratamiento	162
Figura 79 Promedio de sabor por tratamiento	164
Figura 80 Promedio de textura por tratamientos	166

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Porcentaje de materia seca.....	58
Ecuación 2 Rendimiento del producto.....	58
Ecuación 3 % de cenizas totales	61
Ecuación 4. Ecuación de FRIEDMAN	66
Ecuación 5 Ec. Friedman.....	160
Ecuación 6 Ec. Friedman.....	163
Ecuación 7 Ec. Friedman.....	165
Ecuación 8 Ec. Friedman.....	167

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMA

En los últimos años en América latina, la investigación ha tomado un papel fundamental para el desarrollo de los pueblos, en el Ecuador, al igual que otros países andinos, tienen el gran privilegio de contar con muchas plantas nativas, sin embargo a pesar de esto no se valoran tales recursos, un claro ejemplo es la jícama *Smallanthus sonchifolius*, una raíz andina heredada por antepasados, el consumo y producción han quedado rezagados debido al poco conocimiento de las propiedades alimenticias, y nutricionales que posee esta raíz.

Actualmente la producción y consumo de jícama *Smallanthus sonchifolius* en el Ecuador se lo hace en la zona rural con consumo local, la carencia de investigación en el campo agroindustrial a limitando el gran potencial alimenticio que posee la raíz por el cual la sociedad desconoce la importancia de mantener y potenciar el cultivo de nuestras plantas ancestrales, al igual que la influencia de los hábitos alimenticios de los países desarrollados, y desconocimiento de la calidad nutritiva ha conllevado en la sociedad a presentar un elevado índice de desequilibrio alimentario.

La insuficiencia de políticas integrales ha llevado a la subutilización y en la mayoría de los casos al olvido de los alimentos nativos ancestrales, dejándolos de lado y limitando su comercialización sin tomar en cuenta el potencial nutritivo que posee las plantas nativas del Ecuador.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la investigación y desarrollo de técnicas de conservación de alimentos, permite obtener productos de alta calidad nutricional y sensorial, por lo que debe ser un alimento sano, seguro y económico para responder la necesidad del consumidor al garantizar seguridad y confianza.

Actualmente la tecnología de los alimentos busca conjugar en sus productos cualidades nutritivas.

De ahí la importancia de fomentar la investigación en los alimentos andinos, para evitar la extinción del cultivo y promover su propagación como es el caso de la Jícama *Smallanthus sonchifolius*, su alto nivel nutricional reflejado en el contenido de potasio, carbohidratos y vitamina C realza el interés de investigar y desarrollar un alimento que mantenga sus características nutricionales aplicando las operaciones agroindustriales al elaborar un productos que contengan estos beneficios, que van enfocados a un mercado más creciente de consumidores el cual busca un costo accesible, calidad del producto, vida útil, valor nutritivo y características organolépticas para reducir el desequilibrio alimentario que es evidente en nuestra sociedad.

Por estas razones se ha propuesto realizar la presente investigación, especificando con métodos y técnicas, capaces de brindar una tecnología alternativa a las personas e interesados que pueden brindar a la jícama un valor agregado al incrementar su vida útil contribuyendo de esta manera al desarrollo y fomento de la agroindustria rural.

A través de la investigación se trata de contribuir a la matriz productiva del país, con la interacción de los diferentes sectores sociales que utilizan los recursos en sus actividades productivas.

La matriz productiva de un país está basada en dar valor agregado a sus productos naturales, en la transformación para que contengan valor agregado y sea alimento de calidad que contribuya a mejorar la salud y calidad de vida de la población.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Establecer el proceso de deshidratación de jícama *Smallanthus sonchifolius* para obtención de hojuelas.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características físico químicas y nutricionales de la jícama *Smallanthus sonchifolius*.
- Evaluar el efecto de exposición al sol, temperatura y velocidad de aire de secado en el proceso de deshidratación.
- Evaluar la calidad físico-química, microbiológica y sensorial de las hojuelas de jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 HIPÓTESIS ALTERNATIVA

Hi:

La temperatura, velocidad de aire de secado y días de exposición al sol influyen en las características fisicoquímicas y sensoriales de las hojuelas de jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada.

1.4.2 HIPÓTESIS NULA

Ho:

La temperatura, velocidad de aire de secado y días de exposición al sol no influyen en las características fisicoquímicas y sensoriales de las hojuelas de jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 RAÍCES Y TUBÉRCULOS ANDINOS

La región andina del Ecuador es considerada como la zona más apta para la producción de Raíces y Tubérculos Andinos (RTAS), debido a las facilidades de producción y al gran conocimiento y experiencia de agricultores en otros cultivos como el de la papa. (Tapia & Morillo, 2009)

2.2 GENERALIDADES

2.2.1 JÍCAMA *Smallanthus sonchifolius*



Figura 1. Planta de la jícama

Fuente. (Autor, 2015)

2.2.1.1 Generalidades

El origen de la jícama *Smallanthus sonchifolius* no está definida, ya que se tiene antecedentes que pueden provenir de las regiones de Colombia, Ecuador y Perú. Este tubérculo es común en altitudes medianas como son la de los países de Sudamérica por ejemplo se ha encontrado restos de Jícama *Smallanthus sonchifolius* en tumbas precolombinas en el Perú. (Artica, 1993)

En el Ecuador ha sido reportada en orden de importancia en las provincias de Loja, Azuay, Cañar y Bolívar. Puede encontrarse asociada con otros cultivos indígenas típicos, como son el Melloco, la Mashua y la Oca. (Cañadas, 2001)

2.2.1.2 Clasificación taxonómica

La Jícama se ubica taxonómicamente de la siguiente manera:

Reino: Planta

División: Magnolophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Dicotyledoneae

Orden: Asterales

Familia: Asteraceae

Género: *Smallanthus*

Especie: *sonchifolius* Poep. & Endl

Sinónimos: *Polymnia edulis* Weddell *Polymnia sonchifolius* Poep. & Endl

Nombres comunes: Quechua: Yacón yakuma

Aymara: Aricama, Ancona

Español: Yacón, Jícama, Jacón Ilacón, arboloco

2.2.1.3 Composición química

Tabla 1. Composición química de la jícama *Smallanthus sonchifolius*

PARÁMETROS	JÍCAMA	DATOS
Humedad (%)		89.21
Cenizas (%)		3.90
Proteína (%)		3.73
Fibra (%)		5.52
Extracto Etéreo (%)		0.62
Carbohidratos (%)		85.55
Ca (%)		0.14
P (%)		0.08
Mg (%)		0.12
Na (%)		0.06
K (%)		1.34
Cu (ppm)		8.00
Fe (ppm)		87.00
Mn (ppm)		18.00
Zn (ppm)		36.00
Azúcar total (%)		21.77
Azucares Reductores (%)		12.78
Energía Kcal/100g		416
Eq Retinol /100gmf		34.32
(INIAP Susana.E, Brito B.Villacrés E,Rubio A,Nieto Crijalva J., 2001)	ACTA CIENTIFICA ECUATORINA	

2.2.1.4 Características botánicas

Raíz

La raíz de la jícama se extiende hasta 0,8 m alrededor de la planta y a 0,6 m de profundidad, produciendo hasta 23 raíces tuberosas con un diámetro de 12 cm y una longitud de 30 cm con 0,30 cm de longitud de ápice de la raíz. Internamente presentan dos tipos de fibrosas y reservan tés, las primeras son muy delgadas, su función es la fijación de la planta al suelo y la adsorción de agua y nutrientes. Las raíces reservan tés son engrosadas, fusiformes u ovadas de color blanco, crema o anaranjado y su peso puede fluctuar entre 50 a 1000 g. (In seminario, 2003)

Tallo

El tallo tiene un diámetro de hasta 2,05 cm en la parte más desarrollada (base) de vigor busto, todo el tallo es exuberantemente pubescente, se ha observado que después de 4 a 5 meses aproximadamente de crecimiento empieza a ramificarse, hasta con 8 tallos por planta, con una altura de planta hasta de 2,10 cm en su etapa de máximo crecimiento, con longitud de ramas secundarias hasta de 70 cm hoja

Las hojas son simples palminervias cordiformes, de color verde en el haz y en el envés con pilosidad de 1 a 1,5 mm. El limbo es de forma acorazonada lisa palmada. El borde de la lámina es aserrado algo festoneado en hojas ternas, las hojas llegan a tener una longitud de 22 cm y un ancho de 15 cm flores. (Ayala, 2001)

La flor en la jícama son posibles de observarse desde los 4 a 5 meses después de la plantación, la inflorescencia racimosa de tipo cabezuela en capítulo con un promedio de 10 flores por planta con 5 sépalos por flor, de color amarillo anaranjado en número de 15 y flores centrales tubulares color amarillo oscuro fruto.

El fruto de la jícama es un aquenio en forma elipsoidal de tipo indehiscente de color café oscuro con epidermis lisa, endocarpio sólido caracterizándose por el libre desprendimiento del pericarpio con un ligero frotamiento semilla. (Capcha, 2008)

Selección de plantas madres: durante el desarrollo vegetativo se marcan las plantas uniformes, vigorosas, de buena conformación, sanas de plagas y enfermedades con buen número de tallos y resistentes a factores adversos.

Preparación de propágulos: Cosechar las plantas marcadas, separar la cepa y con ayuda de un cuchillo dividir la corona con 1 a 3 yemas uniformes de buen diámetro 0,5 a 0,8 y de 2 a 4 cm. de longitud, después de cada corte desinfectar el cuchillo o navaja.

La reproducción sexual de la jícama es difícil debido a la escasa formación de semilla sexual fértil. (Capcha, 2008)

Composición Química

Composición química de las raíces.

Las raíces frescas acumulan principalmente agua y carbohidratos entre el 40 a 70% del peso seco está en forma de oligofructosa (OF) - un azúcar especial que tiene varios efectos favorables en la salud- y 15 a 40% está en forma de azúcares simples: sacarosa, fructosa y glucosa. El contenido de otros nutrientes es bajo, sólo el potasio se encuentra en cantidades importantes. Tanto las raíces como las hojas contienen compuestos con un alto poder antioxidante: ácido clorogénico, triptófano y varios fenoles derivados del ácido cafeico.

La Jícama es una de las raíces reservante comestibles con mayor contenido de agua. Entre el 80 y 90 % del peso fresco de las raíces es agua. Los carbohidratos constituyen aproximadamente el 90 % del peso seco de las raíces recién cosechadas, de los cuales entre 50 y 70 % son fructooligosacáridos (FOS). El resto de carbohidratos lo conforman la sacarosa, fructosa y glucosa. Las raíces reservante acumulan, además, cantidades significativas de potasio, compuestos poli fenólicos derivados del ácido cafeico, sustancias antioxidantes como ácido clorogénico y triptófano y varias fitoalexinas con actividad fungicida. (Capcha, 2008)

2.2.1.5 Manejo del cultivo

El cultivo de Jícama está asociado a pequeños agricultores, quienes la cultivan en pequeñas parcelas para aprovechar la raíz reservante en su dieta alimenticia o venderlas al mercado. (Tapia., 1990)

Sistema de cultivo

La Jícama se cultiva tradicionalmente bajo tres sistemas monocultivo, asociado y huerto familiar. Las asociaciones son con fréjol arbustivo o semiarbustivo, maíz para choclo,

tomate, repollo. Otras veces se siembra alrededor de los cultivos de papa y maíz en época de siembra. (Tapia, y Fries, 2007)

La Jícama se puede cultivar todo el año en la ceja de selva sierra interandina, donde no hay presencia de heladas, o las heladas se presentan al final del cultivo.

Sin embargo se recomienda sembrar a inicios de las precipitaciones pluviales entre los meses de septiembre y octubre

Propagación

La Jícama es propagada vegetativamente entre 5-12 cm de propágulos (semilla vegetativa) separados de la corona. De un kilo de cepa, se obtienen aproximadamente 20 propágulos deben ser dejadas bajo la sombra por 1 a 3 días para favorecer la cicatrización de la herida. Esta herida puede ser tratada con Benlate o cenizas que pueden favorecer la protección de los patógenos. El enraizamiento puede ser favorecido o acelerado usando reguladores de crecimiento (auxinas). El distanciamiento entre plantas es 0.5-0.6 m entre surcos es 1-1.2 m. Es decir a aproximadamente 10-12 mil plantas por Ha control de maleza.(Piccha, 1994)

Después de 35 a 45 días de la plantación, se realizará el control de malas hierbas, el deshierbo manual se realiza empleando azadón en el momento oportuno.

Requerimientos de fertilización

Existen pocos trabajos publicados sobre el tipo y el nivel de fertilización requerido para producir comercialmente jícama.

En la Jícama se recomienda usar 140-120-100, las fuentes de NPK utilizados son Nitrato de Amonio 33.5%, Superfosfato Triple de Calcio 46%, cloruro de Potasio 60%, con el nitrogenado fraccionado, 50% a la siembra y el otro 50% a los 40 días posteriores junto con el aporque. (Ayala, 2001)

La Composición química de jícama, el Centro Internacional de la papa (1997-1998), determina que los nutrientes removidos del campo por tonelada de raíces (materia fresca) de jícama son de 0.4 a 0.8 kg de nitrógeno, 0.2 a 0.3 kg de fósforo y 1.8 a 2.9 kg de potasio.

El efecto del abonamiento orgánico con humus de lombriz. Los resultados preliminares sugieren que una aplicación de 5 a 10 Tm/ha, es suficiente para producir jícama de manera

regular. Otros tipos de abonamiento que deben estudiarse son el estiércol de ganado, compost. (In seminario, 2003)

Es necesario implementar estas alternativas de fertilización si se quiere acceder al mercado creciente de productos orgánicos.

2.2.1.6 Plagas y enfermedades

En las áreas pequeñas donde se cultiva Jícama las plantas se muestran sanas pero se presentan ciertos problemas sanitarios que seguramente se acrecentaran conforme las áreas de cultivo se incrementen.

2.2.1.7 Cosecha

Las raíces alcanzan su madurez entre 6-10 meses, esto depende de la zona donde se cultiva, generalmente en zonas bajas la cosecha se adelanta. Esta operación se realiza cuando el follaje empieza a secarse. Esto se realiza en los andes en forma manual con lampas o azadón, las raíces se separan dejando en el campo las cepas. (Tapia, y Fries, 2007)

Post-Cosecha

Para consumo en fresco las raíces son expuestas al sol por algunos días (3-8 días) para incrementar su dulzor. Para almacenamiento por periodo largo, las raíces son colocadas en cuartos fríos (4°C) en oscuridad y secos. Bajo estas condiciones las raíces de la Jícama pueden ser guardadas por algunos meses.

2.2.1.8 Rendimiento

El carácter muy interesante de la Jícama es su alta productividad, algunos reportes disponibles indican variación desde 10 a 100 toneladas por Ha. El rendimiento de producción es de 38 toneladas por hectárea, ya que un tubérculo comúnmente pesa de 200 a 500 gr. Puede alcanzar hasta 2 Kg. los tubérculos se recogen se asolean y almacenan, frescos son insípidos, almacenados pueden durar por varios meses (council, 1989) rendimiento de raíces.

El rendimiento promedio de la colección de jícama es de 1.5 kg/planta, siendo entradas promisorias la ECU-1237 y ECU-1238 con 3.5 kg/planta, correspondientes al morfotipo morado. (morrillo, 1998)

La densidad de siembra tiene un gran efecto sobre el rendimiento de raíces y su tamaño, así en un experimento realizado en Brasil, se encontró que el mayor rendimiento de raíces (65.8 Tm/ha) se obtuvo con menores distancias de siembra de 0.8m x 1.0m (Amaya, 2002).

En la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, se registran rendimientos de 30 a 74 Tm/ha. (Nieto, 1991)

Rendimiento de hojas

Cada tallo produce entre 13 a 16 pares de hojas, hasta el momento de la floración, los 3 a 4 pares son hojas pequeñas, que tienen poca repercusión, en el rendimiento. Considerando una densidad de plantación de 18500 plantas por hectárea, el rendimiento de hoja seca al ambiente, se estima de 3 a 4 Tm de hoja seca por hectárea. (In seminario, 2003)

2.2.1.9 Comercialización

Con respecto a la jícama, sus productos intermedios no están tan diversificados, Sin embargo, la harina de jícama es el producto con creciente demanda exterior. En Nueva Zelanda se vende como un camote crudo, en el Perú se encuentra la jícama junto con las plantas medicinales y las frutas el mismo trato se le da en los diferentes países.

2.3 MADUREZ DE COSECHA

La vida de las frutas se divide en tres etapas fundamentales: crecimiento, maduración y senescencia, siendo la etapa más importante y compleja del desarrollo de la fruta, el proceso de maduración. Este último puede dividirse a su vez, en dos fases: la fase de maduración fisiológica y la de maduración organoléptica. De hecho, en la literatura de habla inglesa se distingue entre ambas, denominando dichos procesos como “maturación” y “ripening” respectivamente. Además otro término empleado en el mercado es la madurez comercial siendo aquel estado fisiológico que los compradores exigen de la fruta. (Rodees, 1971).

2.3.1 MADURACIÓN FISIOLÓGICA.

La madurez fisiológica suele iniciarse antes de que termine el crecimiento celular y finaliza, más o menos, cuando el fruto tiene las semillas en disposición de producir nuevas plantas. La evolución de la maduración fisiológica sólo se complementa adecuadamente cuando el fruto se encuentra en la planta.

2.3.2 MADURACIÓN ORGANOLÉPTICA.

La maduración organoléptica hace referencia al proceso por el cual las frutas adquieren las características sensoriales que las define como comestibles. Por lo tanto, se trata de un proceso que transforma un tejido fisiológicamente maduro pero no comestible en otro visual, olfatorio y gustativamente atractivo (Leopold y Kriedemann, 1975). Aunque el resultado difiere significativamente, la maduración organoléptica se puede completar tanto en la planta como una vez que la fruta ya se ha recolectado. En general, esta etapa es un proceso que comienza durante los últimos días de maduración fisiológica y que irreversiblemente conduce a la senescencia de la fruta.

2.3.3 MADUREZ COMERCIAL.

La madurez comercial hace referencia al momento adecuado de proceder a la recolección de un producto destinado a un fin concreto, al objeto de que cumpla las exigencias del mercado.

En el grado de madurez comercial óptima, el producto debe tener los índices de madurez adecuada para el consumidor (por ej., debe encontrarse organolépticamente maduro, en el caso de los frutos no climatéricos, como las naranjas) o ser capaz de alcanzarla.

Generalmente la madurez comercial guarda escasa relación con la madurez fisiológica y puede coincidir con cualquier etapa del proceso de desarrollo (maduración fisiológica, maduración organoléptica o senescencia).

Por lo que no suele ser fácil distinguir claramente las distintas etapas del desarrollo (crecimiento, madurez fisiológica, madurez organoléptica y senescencia). (Wills et al., 1997)

2.3.4 MÉTODOS PARA DETERMINAR LA MADUREZ.

Hay diferentes métodos para determinar la madurez, bien sea la fisiológica o comercial o la de consumo; entre ellos, se destacan:

2.3.4.1 Medio visuales

Se basa en la inspección visual de los frutos: tamaño, color, resistencia del pedúnculo, presencia de hojas secas, secamiento de la planta.

2.3.4.2 Medios físicos

Una manera más objetiva para determinar la madurez es hacer pruebas de firmeza. Para ello se utiliza equipos que permiten obtener datos sobre la resistencia y consistencia del tejido. Los equipos más utilizados para estas pruebas son el penetrómetro y el texturómetro.

A medida que el fruto madura, sus sólidos totales y, por consiguiente, su peso específico, aumenta. En consecuencia, la determinación del peso específico podría utilizarse como un método rápido para definir la madurez.

2.3.4.3 Métodos químicos

La determinación de ciertas características químicas de los productos agrícolas, durante su periodo de maduración, ayuda a determinar su estado de maduración, sobre todo el producto va a ser utilizado en el procesamiento industrial. Como índices químicos, se destacan: contenido de sólidos, contenido ácidos, relación sólidos/ácidos (relación de madurez), contenido de almidón, contenido de azúcares, porcentaje de jugo.

Por lo tanto, a medida que el fruto se desarrolla en el árbol sufre una serie de cambios anatómicos, fisiológicos y bioquímicos que son perfectamente evaluables.

2.3.5 ÍNDICES DE MADUREZ.

Debido a la importancia de obtener frutos con unas características de madurez óptimas existen índices para determinar el momento óptimo de recolección.

Los índices más utilizados para medir la de madurez de un fruto son el color de fondo, la firmeza, el contenido de sólidos solubles, la prueba de almidón y la acidez, siendo todos ellos de empleo muy práctico.

Otros, como número de días desde plena floración, la intensidad de respiración y la producción de etileno son más indicados para estudiar las características fisiológicas. (knee y Hattfield, 1989)

2.4 DESHIDRATACIÓN

2.4.1 SECADO

El secado es una de las técnicas ampliamente utilizada para la conservación de alimentos. El secado al sol de frutas, granos, vegetales, carnes y pescados ha sido ampliamente utilizado, desde los albores de la humanidad, proporcionando al hombre una posibilidad de subsistencia en época de carencia de alimentos. (Vega, Andrés, & Fito, 2005)

Son ampliamente conocidas las ventajas de los alimentos deshidratados, ya que al reducir el contenido de humedad, se previene el crecimiento de microorganismos y se minimizan las demás reacciones que los deterioran. (Doymaz & Pala, 2003)

También el secado de los alimentos reduce su peso y en muchos casos el volumen, lo que incluye en una reducción importante, de los costos de empaque, almacenamiento y transporte. Los productos secos además permiten ser almacenados a temperatura ambiente por largos periodos de tiempo. (Barbosa & Vega, 1996)

2.4.1.1 Secado método de conservación

El secado constituye un método de conservación de los alimentos que consiste en eliminar parte del agua disponible de un alimento, en condiciones ambientales naturales o bien con una fuente de calor suave y corrientes de aire. Se debe considerar aspectos fundamentales como los siguientes:

- **Temperatura empleada:** dependerá del alimento y del Procedimiento (las temperaturas no deben ser muy altas para no formar costra y evitar la degradación de las vitaminas).
- **Humedad relativa de aire:** entre más seco sea el aire más humedad arrastrará.
- **Velocidad del aire:** a mayor velocidad, mayor humedad arrastrará.
- **Duración de secado:** dependerá de la temperatura empleada, del producto y del tipo de secado.

Ventajas:

- Reducir el número de microorganismos.
- Los microorganismos que quedan presentes no son patógenos.
- Se aumenta la vida útil.

- Reducir el peso y algunas veces de volumen.
- Se minimizan los costos relativos al transporte.
-

Desventajas:

- La coloración generalmente se afecta de manera negativa.
- El alimento tratado tiende a ganar humedad en ambientes con humedad relativa alta.

2.4.2 MÉTODOS DE DESHIDRATACIÓN DE LOS ALIMENTOS.

Según (Colina., (2010) hace referencia que existen diferentes métodos y equipos de deshidratación de alimentos, varios métodos se clasifican de acuerdo a criterios de los diferentes autores, de los que pueden mencionarse:

2.4.2.1 Método por transmisión de calor:

- Deshidratación por convección (por aire)
- Deshidratación por conducción
- Deshidratación por radiación
- Deshidratación osmótica
- Deshidratación por congelación (liofilización)

2.4.2.2 Método por Presión del proceso

- Deshidratación Atmosférica
- Deshidratación al vacío

2.4.2.3 Método por tipo de producto a deshidratar

- Deshidratación de sólidos
- Deshidratación de fluidos de baja viscosidad
- Deshidratación de fluidos de alta viscosidad (pastas)
- Deshidratación de fluidos con sólidos de gran tamaño en suspensión.

2.4.3 SECADO CONVECTIVO

Este tipo de secado se caracteriza por tener una serie de bandejas en donde es colocado el alimento. Las bandejas se colocan dentro de un compartimiento del secador en donde es expuesto al aire caliente. El secador cuenta con un ventilador y una serie de resistencias eléctricas a la entrada que permiten generar aire caliente el cual es llevado a través de la sección de bandejas.

Con este método, el aire caliente se pone en contacto con el material húmedo a secar para facilitar la transferencia de calor y masa, siendo la convección el mecanismo principalmente implicado. Se les llama también, por lo tanto, secaderos directos o por convección. El aire caliente arrastra fuera del secadero el aire húmedo producido.

Según (Maupoey, 2001)“La evaporación superficial se produce cuando un producto se somete a la acción de una corriente de aire caliente, el líquido que contiene se evapora aumentando su contenido en el aire. Se produce así una desecación. Este es el método más utilizado, también llamado deshidratación por aire caliente.” p 10.

2.4.4 TIPOS DE SECADORES DIRECTOS O POR CONVECCIÓN.

Según (Casp A., 2011) son aparatos sencillos y de fácil manejo. Los secadores por convección son los más utilizados en las industrias alimentarias y constan de las siguientes partes:

- Recinto.
- Sistema de calefacción.
- Sistema de impulsión de aire.

Entre los principales secadores de este tipo podemos señalar los siguientes:

- Secadores de horno o estufa
- Secadores de bandeja o armario
- Secadores de túnel
- Secadores de cinta transportadora
- Secador de torre o de bandejas giratorias
- Secadores de cascada

- Secadores rotatorios
- Secadores de lecho fluidizado
- Secadores por arrastre neumático
- Secadores por atomización

2.4.5 PSICROMETRÍA

Un diagrama psicrométrico o carta psicrométrica es un gráfico integrado por familias de curvas, trazadas a partir de las ecuaciones de estado que relacionan los parámetros que caracterizan la mezcla aire-vapor de agua para poder determinar todos los parámetros del aire húmedo que son descritos posteriormente. El cálculo psicrométrico y el estudio de las transformaciones del aire son necesarios para su acondicionamiento y conservación en multitud de campos: conservación de alimentos en cámaras, climatización de locales, procesos de secado y fabricación de medicamentos, metrología, atmósferas explosivas, ambientes en salas de informática, industria textil, salas blancas, etc. Esto implica que se requiere un diagrama distinto para cada localidad, según sea su altitud sobre el nivel del mar, la mayor parte de los diagramas están construidos para la presión a nivel del mar (101.325 Pa). (J.M.Pinazo., 1995)

Según (Singh, (2013), el aire es una mezcla de varios gases, cuya composición varía ligeramente en función de la posición geográfica y altitud.

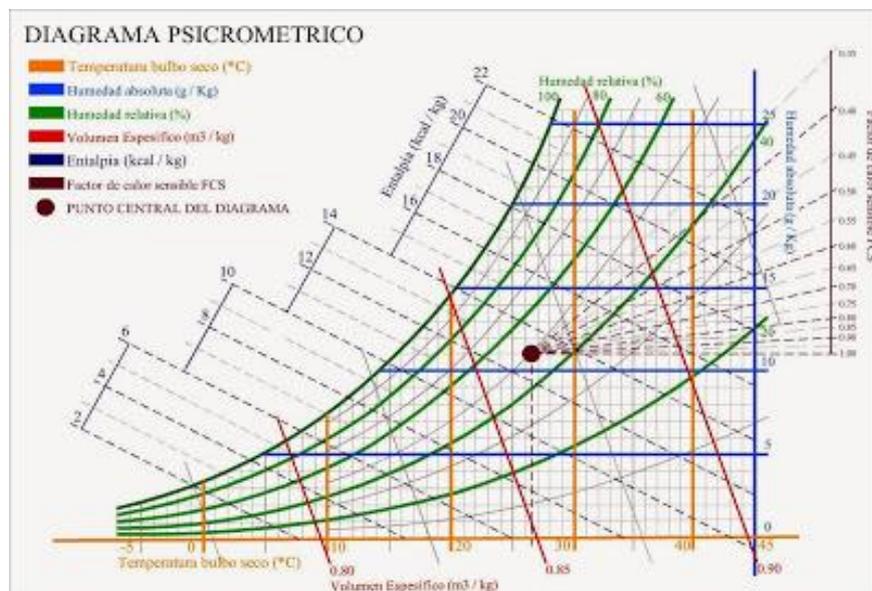


Figura 2 Diagrama Psicrométrica

Fuente: (Improveyourwork., 2012)

2.4.5.1 Entalpía del aire seco.

La entalpía o contenido energético del aire seco es un término relativo que necesita la elección de un punto de referencia. En los cálculos psicrométricos la presión de referencia es la atmosférica y la temperatura de referencia es 0o C.

Utilizando la presión atmosférica como referencia es posible utilizar la siguiente ecuación para calcular la entalpía específica.

$$Ha = 1,005(Ta - T0)$$

2.4.5.2 Temperatura de bulbo seco.

La temperatura de bulbo seco es la temperatura mostrada por un indicador de temperatura invariable.

Dicha temperatura contrasta con la temperatura de bulbo húmedo donde el indicador se mantiene cubierto por una capa de agua.

2.4.5.3 Temperatura de bulbo húmedo.

Cuando se describen las mezclas de aire-vapor se utilizan generalmente dos temperaturas de bulbo húmedo: la temperatura de bulbo húmedo psicrométrica y la temperatura de bulbo húmedo termodinámica. La primera es la que se alcanza cuando el bulbo de un termómetro de mercurio cubierto con un paño húmedo se expone a una corriente de aire sin saturar que fluye a elevadas velocidades, o también, el termómetro con el bulbo cubierto con un paño húmedo puede moverse en el seno del aire sin saturar. En contraste con la temperatura de bulbo húmedo psicrométrico, la temperatura de bulbo húmedo termodinámica se alcanza cuando se satura adiabáticamente aire húmedo mediante la evaporación de agua.

2.4.5.4 Humedad relativa

El gradiente de humedad entre el aire de deshidratación y la superficie del producto es la fuerza impulsora para la transferencia externa de masa, en este caso la remoción del agua del producto. Cuando menor sea la humedad relativa del aire mayor será dicho gradiente y, por ende, mayor la velocidad de deshidratación, la humedad relativa del aire al final del proceso de deshidratación también determina la humedad de equilibrio del producto. Una vez que el aire y el alimento alcanzan una humedad de equilibrio, el producto no puede deshidratarse más, por lo que la humedad del aire de salida influye mucho en la calidad del producto deshidratado.

$$HR = \frac{\text{densidad de vapor actual} \times 100}{\text{Densidad de vapor de saturación}}$$

2.4.5.5 Humedad Absoluta

El término "humedad absoluta" (ha), se refiere al peso del vapor de agua por unidad de volumen. Esta unidad de volumen, generalmente es un espacio de un metro cúbico (o un pie cúbico). En este espacio, normalmente hay aire también, aunque no necesariamente. La humedad relativa está basada en la humedad absoluta, bajo las condiciones establecidas; es decir, la humedad relativa es una comparación con la humedad absoluta a la misma temperatura, si el vapor de agua está saturado. Tanto la humedad absoluta, como la relativa, están basadas en el peso del vapor de agua en un volumen dado.

2.4.5.6 Presión de vapor

La presión a la que se realiza el proceso determina las relaciones de equilibrio del agua, por lo que influye en la velocidad de deshidratación. Cuando la velocidad se efectúa bajo vacío, se reduce la presión de vapor del aire y la remoción del agua del producto, en el período de velocidad constante, se realiza con mayor rapidez. Sin embargo, en el período de velocidad decreciente, donde la deshidratación está limitada por la transferencia de masa interna en el producto, el vacío ejerce poca influencia. (Colina., (2010))

2.4.5.7 Volumen específico

El volumen específico se define como el volumen por unidad de masa; este es el recíproco de la densidad; esta propiedad se clasifica como una propiedad intensiva, ya que no dependen de la cantidad de materia; también se clasifica como una propiedad específica, ya que el volumen es una propiedades extensivas dividida entre una unidad de masa. (Cesar Osorio., 2013)

2.4.5.8 Punto de rocío

El punto de rocío se define como: la temperatura abajo de la cual el vapor de agua en el aire, comienza a condensarse. También es el punto de 100% de humedad. La humedad relativa de una muestra de aire, puede determinarse por su punto de rocío. Existen varios métodos para determinar la temperatura del punto de rocío.

2.4.6 SECADOR DE BANDEJAS

(Maupoey et al, (2011) Normalmente funciona en régimen intermitente. Está formado por una cámara metálica rectangular que contiene unos soportes móviles sobre los que se apoyan los bastidores. Cada bastidor lleva un cierto número de bandejas poco profundas, montadas unas sobre otras con una separación conveniente que se cargan con el material a secar.

El secado de este equipo puede ser:

- De flujo horizontal, si el aire circula paralelamente al lecho a secar.
- De flujo transversal, si el aire circula perpendicularmente al lecho a secar.

Los rendimientos térmicos de este tipo de secador suelen estar comprendidos entre el 20 y el 50 %, pudiendo ser más bajos.

Los secadores de bandejas son útiles para secar pequeñas cargas de productos valiosos. En general se aplican cuando la capacidad necesaria no excede de 25 a 50 kg/h de producto seco. En los secadores de bandejas, que también se llaman secadores de anaqueles, el material que puede ser un sólido en forma de terrones o pasta, se esparce uniformemente sobre una bandeja de metal. Un ventilador recircula aire calentado con vapor sobre la superficie de las bandejas, paralelamente a las mismas; también se usa calor obtenido con electricidad.

Según (Colina., (2010) Estos deshidratadores comúnmente se utilizan en la industria de alimentos. Debido a que su capacidad es relativamente baja se emplean para deshidratar diversos tipos de alimentos, o bien, cuando el volumen del producto a deshidratar es pequeño o estacional. Consisten en cámaras o gabinetes aislados que contienen bandejas sobre las que se coloca una o más capas del producto por deshidratar y se hace circular aire caliente, ya sea con flujo paralelo o con flujo transversal al producto.

En estos equipos las condiciones de deshidratación se controlan de manera muy simple y se cambian con facilidad. Sin embargo es común que las bandejas cercanas a la entrada de aire estén expuestas a condiciones distintas de las que se encuentran cerca del final de la trayectoria del aire.

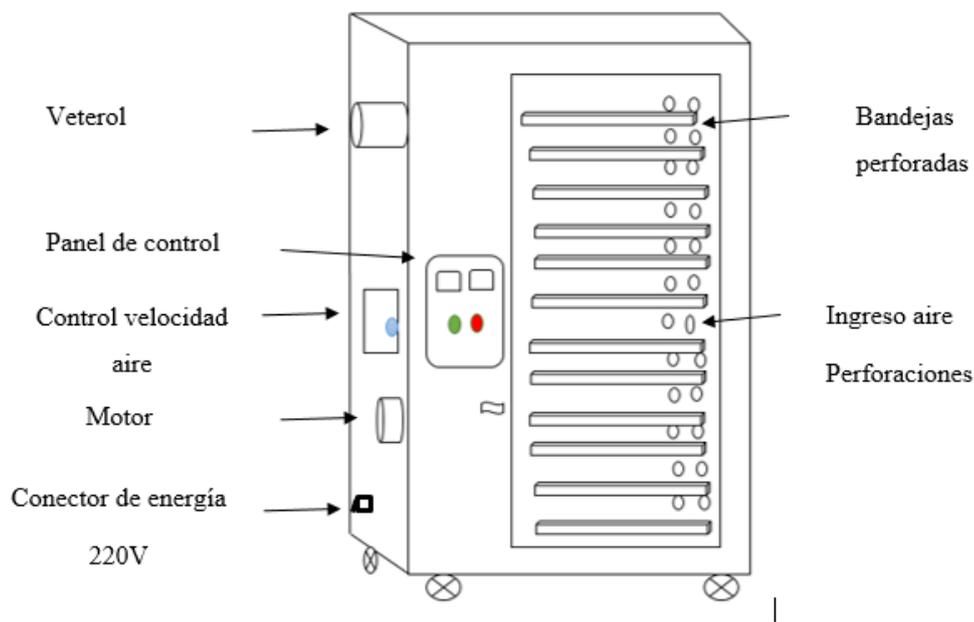
Esta falta de uniformidad es principalmente resultado del movimiento no uniforme del aire dentro del deshidratador. Para evitar esto y lograr un proceso de deshidratación uniforme en todo el producto, es importante eliminar las bolsas de aire estancado y mantener una

temperatura uniforme en todo el deshidratador, lo cual se logra haciendo pasar grandes volúmenes de aire a velocidades relativamente altas sobre las bandejas.

Como el gasto energético de calentar estos grandes volúmenes de aire es elevado, muchas veces se procede a la recirculación de una fracción del aire caliente. (Colina 2010)

Según (Casp A., 2011) Los deshidratadores de este tipo son relativamente baratos de construir y requieren bajos costos de mantenimiento. Sin embargo, su operación es costosa debido a la baja economía calorífica y los altos costos de mano de obra. Este tipo de secadores son comúnmente usados para estudios de laboratorio.

Deshidratador de 30 bandejas de frutas y hortalizas para procesos agroindustrial de pequeña y grande escala de unidades Edu productivas.



Autor (2016)

2.4.6.1 Naturaleza del agua en un alimento

Según (Colina 2010) “El agua contenida en un alimento interacciona con los diferentes constituyentes del mismo, de una manera compleja y heterogénea. Se considera que el agua

contenida en los alimentos se encuentra absorbida en capas y pueden clasificarse en dos tipos de capas que son agua ligada y agua libre”, p. 15.

2.4.6.2 Agua ligada.-

Las moléculas de agua están unidas a grupos iónicos, tales como grupos carboxílicos y grupos amino (proteínas, pectinas y sales minerales). Este tipo de agua posee menor presión de vapor, movilidad y punto de congelación en relación con el agua pura. Puede considerarse como la adsorción de una molécula de agua sobre los solutos. Este tipo de agua no puede ser utilizada por microorganismos.

2.4.6.3 Agua en estado libre.-

Las moléculas de agua se mantienen en el alimento por los constituyentes solubles y componentes estructurales. Es agua retenida físicamente por las membranas celulares, quiere decir que está contenida dentro de las células y entre los tejidos, además de que se comporta como agua pura.

2.4.7 CONDICIONES DEL PRODUCTO.

2.4.7.1 Composición Química

Según (Colina., (2010), el tipo y la concentración de los componentes químicos, presentes en un alimento, determinan no solo su contenido inicial de humedad, sino la forma en que el agua interactúa con ellos, que se refleja en la actividad de agua del alimento e influye en la movilidad de las 23 moléculas de agua durante la deshidratación. Algunos solutos como azúcares, almidones, gomas, proteínas y sales, interactúan con el agua del alimento, disminuyendo la velocidad de transporte de agua, y, por consiguiente, reduciendo la velocidad de deshidratación.

2.4.7.2 Estructura Celular

Para (Casp A., 2011), en la mayoría de los alimentos una porción del agua está contenida dentro de las células (agua intracelular), y el resto del agua se encuentra fuera de ellas (agua intercelular). La primera es más difícil de remover, ya que debe difundirse a través de la membrana celular. Cuando se rompen las estructuras celulares, por ejemplo durante el escaldado, la deshidratación se realiza con mayor facilidad.

2.4.7.3 Forma y Tamaño del Producto

Afirma (Singh, (2013), la distancia que las moléculas de agua deben recorrer desde el interior del alimento hasta la superficie del mismo, donde son removidas, determina la velocidad de deshidratación, sobre todo en la etapa de velocidad decreciente, donde la transferencia interna del agua es el factor limitante para remover humedad. Cuando los alimentos se rebanan o cortan en finos segmentos aumenta su área superficial y esto facilita la deshidratación, ya que disminuye el grosor del producto y, por tanto, se reduce la distancia entre cualquier punto interno del alimento y la superficie.

2.4.7.4 Contenido de Humedad

Según (Colina., (2010) el contenido de humedad de un alimento es la cantidad de agua total que contiene y que puede expresarse en tres diferentes formas:

Porcentaje de humedad

Es la forma más común de expresar el contenido de humedad de un alimento y puede calcularse con la siguiente expresión:

$$\text{Humedad} = \frac{\text{Masa de agua de un producto (Kg)} \times 100}{\text{Masa total del producto húmedo (Kg)}}$$

Contenido de humedad en base húmeda (Wbh).

Que puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$\text{Wbh} = \frac{\text{Masa de agua de un producto (Kg agua)}}{\text{Masa total del producto húmedo (Kg producto húmedo)}}$$

Contenido de Humedad en Base Seca (W).

Esta forma de expresar el contenido de humedad de un alimento es la que se utiliza en la construcción de las curvas de secado, así como en los cálculos de tiempo y velocidad de deshidratación y puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$\text{W} = \frac{\text{Masa de agua de un Producto (Kg agua)}}{\text{Masa de sólidos secos del producto (Kg sólidos secos)}}$$

Humedad de Equilibrio

Es el contenido de humedad que tiene un producto, cuando su presión de vapor está en equilibrio con el medio que lo rodea. La humedad de equilibrio es la humedad más baja a la que puede llegar dicho producto deshidratado, bajo condiciones específicas de temperatura y humedad del aire circundante. Los alimentos rara vez se deshidratan hasta su contenido de humedad de equilibrio, ya que en este punto el alimento se encuentra demasiado ávido de agua y cualquier cambio en el medio ambiente circundante puede provocar una adsorción indeseable de agua por parte del alimento. Es por eso que la humedad final (W_f) de un producto deshidratado, por lo común es ligeramente superior al contenido de humedad de equilibrio (W_e).

Humedad Crítica

Corresponde al contenido de humedad del producto cuando se ha eliminado prácticamente toda su agua en estado libre y solo le resta agua débilmente ligada. Es importante en virtud de que establece el final de la etapa de velocidad constante y el inicio de la etapa de velocidad decreciente. La humedad crítica de los alimentos normalmente se encuentra entre 15 y 45% pero depende mucho de factores como:

- Composición química (presencia de componentes hidrofílicos, como polisacáridos, proteínas, etc.).
- Integridad de los tejidos.
- Para frutas y verduras variedad y estado de madurez.
- Para carne y pollo raza, edad, alimentación, lugar de crianza.
- Por lo que debe determinarse experimentalmente para cada caso en particular.

2.4.8 CONDICIONES DE PROCESO.

Afirma (Singh, (2013) ” Entre las condiciones de proceso se encuentran la temperatura, velocidad y humedad relativa del aire utilizado para la deshidratación, así como la presión existente en el sistema y los tratamientos previos al secado.”

2.4.8.1 Temperatura del aire de entrada

La velocidad de deshidratación de un alimento varía en relación directa con la temperatura del aire utilizado para la deshidratación, es decir con el aire que entra al deshidratador. Cuando entra aire a altas temperaturas se incrementa la velocidad de transferencia de calor, lo cual trae como consecuencia mayor velocidad de evaporación. Por otra parte la humedad relativa del aire decrece conforme aumenta la temperatura del mismo, lo cual aumenta el gradiente de humedad entre el aire y la superficie del producto, y acelera la remoción del agua del producto.

2.4.8.2 Temperatura de aire de salida

Conforme ocurre la deshidratación de un producto, el aire del interior del deshidratador va cediendo calor sensible al producto y adquiriendo su humedad. En consecuencia, a la salida del deshidratador el aire se encontrará a menor temperatura y mayor humedad relativa que el aire de entrada. La mayor eficiencia del deshidratador se obtiene con la mayor temperatura del aire de entrada y la menor temperatura del aire de salida. El mínimo de temperatura del aire de salida se fija de acuerdo con su humedad y las especificaciones de humedad final que el producto debe tener a la salida del deshidratador.

2.4.8.3 Velocidad del aire

La velocidad a la que el aire utilizado para la deshidratación fluye sobre, o a través del producto, afecta la velocidad de evaporación del agua de la superficie del producto hacia el aire. Un incremento en la velocidad del aire, y su consecuente aumento en la turbulencia de la corriente, aumenta la velocidad de la transferencia de masa por convección y, por consiguiente, aumenta la velocidad de deshidratación. Sin embargo, velocidades excesivamente altas de aire provocan arrastre de producto, dificultan el control de las condiciones del proceso e incrementan los costos de operación debido al mayor gasto energético requerido para calentar y hacer circular una mayor masa de aire.

2.4.8.4 Humedad relativa del aire

El gradiente de humedad entre el aire de deshidratación y la superficie del producto es la fuerza impulsora para la transferencia externa de masa, en este caso la remoción del agua del producto. Cuando menor sea la humedad relativa del aire mayor será dicho gradiente y,

por ende, mayor la velocidad de deshidratación, la humedad relativa del aire al final del proceso de deshidratación también determina la humedad de equilibrio del producto. Una vez que el aire y el alimento alcanzan una humedad de equilibrio, el producto no puede deshidratarse más, por lo que la humedad del aire de salida influye mucho en la calidad del producto deshidratado.

2.4.8.5 Presión del Sistema

La presión a la que se realiza el proceso determina las relaciones de equilibrio del agua, por lo que influye en la velocidad de deshidratación. Cuando la velocidad se efectúa bajo vacío, se reduce la presión de vapor del aire y la remoción del agua del producto, en el período de velocidad constante, se realiza con mayor rapidez. Sin embargo, en el período de velocidad decreciente, donde la deshidratación está limitada por la transferencia de masa interna en el producto, el vacío ejerce poca influencia. (Colina, 2010)

2.4.8.6 Actividad del Agua

Uno de los factores más importantes de la deshidratación de los alimentos es la condición de equilibrio que determina el límite del proceso. Aunque este valor es una parte importante del gradiente que provoca el movimiento del agua, la actividad de ésta se ha convertido en un factor determinante en el estudio de la estabilidad de los alimentos secos. Por definición la actividad del agua es la humedad relativa de equilibrio dividida por 100.

El agua contenida en un alimento, sea de origen animal o vegetal, está más o menos disponible para participar en las reacciones físicas, químicas y microbiológicas esta disponibilidad varia de un producto a otro según su composición, algunas estructuras o moléculas retienen más agua que otras; varia incluso para un mismo producto, un fruto maduro no se comporta de la misma forma que un fruto verde.

La mejor 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 un alimento (p) y la presión de vapor de agua pura (P_0) a la misma temperatura.

La relación:

$$a_w = \frac{p}{p_0} = \frac{\% HRE}{100}$$

Define la actividad de agua en el producto y su relación con la humedad relativa de equilibrio (%HRE) del medio. El concepto fue introducido en 1957 el microbiólogo Scott y hoy en día se considera, junto con la temperatura, uno de los parámetros más importantes que influyen en las reacciones de deterioro de los alimentos.

El efecto de la actividad de agua se ha estudiado no solo para definir la estabilidad microbiológica del producto sino también por la influencia en las reacciones bioquímicas que se producen en el sistema y su relación con la actividad del alimento.

La actividad de agua se define con relación a un estado de referencia que es el del agua pura, dicha actividad es igual a 1 si el agua se encuentra en estado libre, $P = P_0$. Si por el contrario, el agua está ligada al sustrato seco por fuerzas de unión físico – química, se tendrá que $P < P_0$. su valor está pues comprendido entre 0 y 1 ($0 \leq a_w \leq 1$) y es tanto más bajo cuando mayores son las fuerzas de unión y, por el contrario, tiende a 1 cuando el agua se aproxima a estado libre y se evapora como el agua pura al aire libre. Por analogía se dice que este producto contiene agua libre.

La actividad de agua de un producto es siempre inferior a 1 es decir disminuyen su capacidad de vaporizarse, se habla entonces de agua ligada más o menos fijada al producto al producto por adsorción. Un producto alimentario contiene en general 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, la mayoría de frutas y hortalizas el agua está en forma de agua libre y de agua débilmente adsorbida, retenida por capilaridad en los tejidos del producto. En los productos más secos, como la mayoría de los cereales según su textura y su composición química una parte importante del agua estará fuertemente adsorbida por el producto, durante el proceso de deshidratación se libera primero las moléculas de agua menos ligada.

A temperatura constante y bajo condiciones de equilibrio, existe una única relación entre el contenido de humedad y la actividad de agua o la humedad relativa de equilibrio de un alimento dependiendo de que el equilibrio se alcance por adsorción o por desorción. Esta relación se conoce como isoterma de equilibrio. La actividad de agua disminuye al mismo

tiempo que lo hace el contenido de agua (W) la curva $W = f(a_w)$ es generalmente sigmoideal, como resultado de varios mecanismos básicos de interacción del agua ligada.

Intervalo: $0 < a_w < 0,2$

El producto contiene muy poca agua las moléculas de agua están muy ligadas a los puntos activos, la adsorción es la primera capa de moléculas de agua **punto A en la isoterma** se llama **mono capa** y está alrededor de una actividad de agua de 0,2 – 0,4 y por debajo de un contenido de humedad de 0,1 g de agua / g de sólido. (Casp Vanaclocha, (2008))

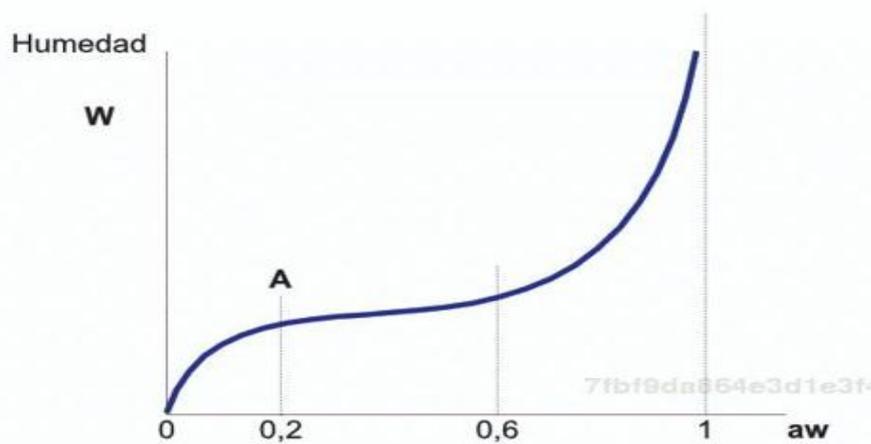


Figura 3 Isoterma de equilibrio
Fuente: (Casp Vanaclocha, (2008))

Intervalo $0,2 < a_w < 0,6$

Corresponde a la parte central de la curva. En esta zona intermedia el agua se encuentra bajo forma de capas poli moleculares que recubren parcialmente la superficie del sustrato seco, las moléculas de agua están ligadas más débilmente que las de la capa anterior. La entalpia de vaporización es ligeramente superior a la del agua pura. Este tipo de agua de constitución puede entenderse como un estado de transición continuo entre agua ligada y el agua libre.

Intervalo: $a_w > 0,6$

A esta tercera parte corresponde la fracción de agua libre que se encuentra en estado líquido y que es retenida en la superficie del sustrato seco solo por fuerza de capilaridad. Es esta la única fracción de agua verdaderamente disponible para las reacciones químicas enzimáticas, etc. En estas condiciones el crecimiento microbiano es la causa más importante de deterioro de los alimentos, por esta razón a veces se le llama agua biológica. El estado de equilibrio isoterma depende de la forma que se alcanzado:

El proceso de incremento de humedad del alimento (ganancia de agua) se denomina **ADSORCIÓN**, y el de reducción de esta humedad (perdida de agua) se denomina **DESORCIÓN**. Generalmente la isoterma de adsorción presenta menor contenido de humedad para una determinada actividad de agua que la isoterma de desorción. Este fenómeno se denomina histéresis y es principalmente acusado en la zona intermedia de equilibrio.



Figura 4 Fenómeno de histéresis

Fuente: (Casp Vanaclocha, (2008)



Figura 5 Influencia de la temperatura en las isothermas de equilibrio

Fuente: (Casp Vanaclocha, (2008))

Las principales alteraciones observadas en los productos deshidratados pueden ser químicas o físicas y están gobernadas por la isoterma de absorción como puede apreciarse en la figura 5.

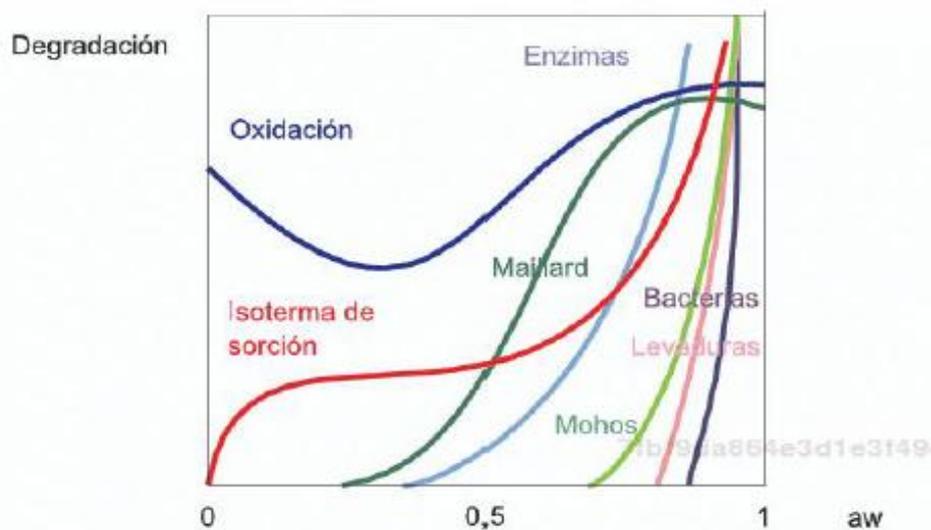


Figura 6 Degradación en función de actividad de agua

Fuente: (Labuza, 1971)

2.5 CINÉTICA DE SECADO

2.5.1 MECANISMOS DE SECADO

La eliminación de agua de un producto se puede conseguir por vía mecánica o vía térmica.

2.5.1.1 Eliminación de agua vía mecánica

El presecado puede llevarse a cabo por simple transferencia de cantidad de movimiento.

La eliminación de agua por vía mecánica solo nos permite la separación de una parte del agua libre de los productos tratados. Ningún procedimiento mecánico permite reducir la humedad de un producto más de 60% se elimina solo una fracción del agua no ligada implica un menor consumo de energía y por este procedimiento no se elimina agua pura sino que se trata de una solución menos rica extracto seco.

2.5.1.2 Eliminación de agua vía térmica

Se trata de una operación de **transferencia de masa** que requiere una activación previa del agua por una cierta cantidad de energía aportada por una **transferencia de calor**.

Entre las técnicas de eliminación de agua por vía térmica se debe distinguir los procedimientos por ebullición y por arrastre.

Eliminación de agua por ebullición:

Se lleva el producto a una temperatura suficiente para que la presión de vapor del agua del producto sea igual a la presión del ambiente. Si se trata de presión atmosférica esta temperatura es $\geq 100^{\circ}\text{C}$ que no es deseable para algunos productos si se trabaja a vacío esta temperatura es más baja pero presenta inconvenientes económicos

Eliminación de agua por arrastre:

La energía es aportada generalmente por aire caliente, cuya presión parcial de agua es inferior a la presión de vapor de agua en el producto. Los procedimientos por ebullición son menos costosos energéticamente que los de arrastre pero el procedimiento de arrastre permite la eliminación completa de agua sin alterar excesivamente la calidad del producto tratado (Casp Vanaclocha, (2008).

2.5.2 PROCESO DE SECADO

El secado es un procedimiento de conservación que al eliminar la totalidad del agua libre de un alimento, impide toda actividad microbiana y reduce la actividad enzimática. Existen diferentes denominaciones de este sistema de conservación: desecación, secado y deshidratación, que pueden considerarse sinónimos aunque algunos autores establecen diferencias, únicamente cuantitativas, entre ellos:

2.5.2.1 Desecación

Es la eliminación de agua hasta una humedad final que esté en equilibrio con la del aire de secado. Esta humedad final oscila entre 0,12 y 0,14 kg de agua por kg de producto húmedo. El valor alcanzado debe ser suficientemente bajo para inhibir el crecimiento microbiano así como para limitar las reacciones enzimáticas (Jurado, 2008)

2.5.2.2 Deshidratación

Es la eliminación del agua de un producto hasta un nivel próximo al 0% de humedad.

2.5.2.3 Tránsito de masa y calor:

El agua se elimina de los alimentos por medio de difusión, en fase líquida o vapor, a través de su estructura interior. Al movimiento del agua líquida le seguirá su evaporación en algún punto del alimento, para lo cual es necesario calor, por lo tanto el proceso supone realmente un transporte simultáneo de materia y calor.

La transmisión de calor tiene lugar en el interior del alimento, y está relacionada con el gradiente de temperatura existente, entre su superficie de la capa húmeda en el interior del producto hacia la superficie de este. El gradiente de presión existe entre la superficie del agua en el interior y en el aire exterior al alimento, es el que provoca la difusión del vapor de agua hacia la superficie de este.

Por lo tanto durante el secado se producen cuatro procesos de transporte:

1.-Trasmisión de calor desde el gas hasta la superficie del producto.

Puede realizarse por conducción, convección o radiación. En este método El aire caliente se pone en contacto con el material húmedo a secar para facilitar la transferencia de calor y masa, siendo la convección el mecanismo principalmente implicado. Se les llama también,

por lo tanto, secaderos directos o por convección. El aire caliente arrastra fuera del secadero el aire húmedo producido.

2.- Trasmisión de calor desde la interface sólido – gas hasta el interior del sólido.

Solo puede tener lugar por conducción, en régimen no estacionario (las condiciones varían con el tiempo). Y en el aire exterior al alimento es el que provoca la difusión del vapor de agua hacia la superficie de esta.

3.- Trasmisión de materia a través del sólido.

Se puede producir por difusión o por capilaridad. Difusión debida a las diferencias de concentración y capilaridad, aprovechando los capilares existentes. La difusión tiene lugar en el secado de productos con humedades del orden de 25% base húmeda o inferior, mientras que la capilaridad se presenta por niveles altos de humedad 65% o más, siempre y cuando en la estructura interna del producto exista capilares.

4.- Transferencia de vapor desde la interface sólido-gas hacia el seno del gas.

Los equipos de deshidratación utilizarán por tanto para la trasferencia de energía, procesos basados en la convección, conducción o radiación desde la fuente de calor hasta el alimento. Los sistemas más usuales emplean la convección como mecanismo de transferencia de calor y aire como vehículo de esta energía, por lo tanto la transferencia de calor dependerá en este caso de la temperatura el aire, de su humedad, de su caudal, de la superficie expuesta del alimento y de la presión. (Casp Vanaclocha, (2008)

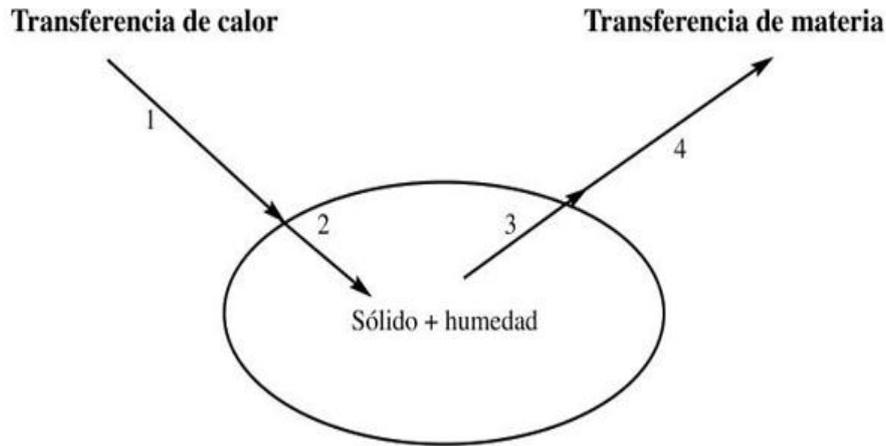


Figura 7 Proceso básico de secado

Fuente: (Casp Vanaclocha, (2008)

Es necesario tomar en cuenta los cuatro procesos ya que la velocidad de secado será proporcional al más lento de ellos. En la mayoría de los casos los procesos limitantes serán los de transporte de materia y calor en el interior del alimento. (Casp Vanaclocha, (2008)

Deshidratación por aire caliente

Esta operación se efectúa aplicando aire caliente al producto, el agua en los tejidos vegetales se evapora. El vapor es absorbido por el aire y alejado del producto.

Manifiesta (Meyer, 2007)“La temperatura máxima que se puede utilizar es de 70°C, iniciando el secado con una temperatura elevada, el agua de los tejidos superficiales se evapora demasiado rápido. Esto dificulta la salida del agua de los tejidos internos, dando como resultados productos de baja calidad.”, p. 51.

2.5.3 PERIODOS DE SECADO

Manifiesta (Vian & Ocon, (2008) reporta que existen cuatro períodos de secado en todo proceso de eliminación de humedad, los cuales se representan en la figura 6.

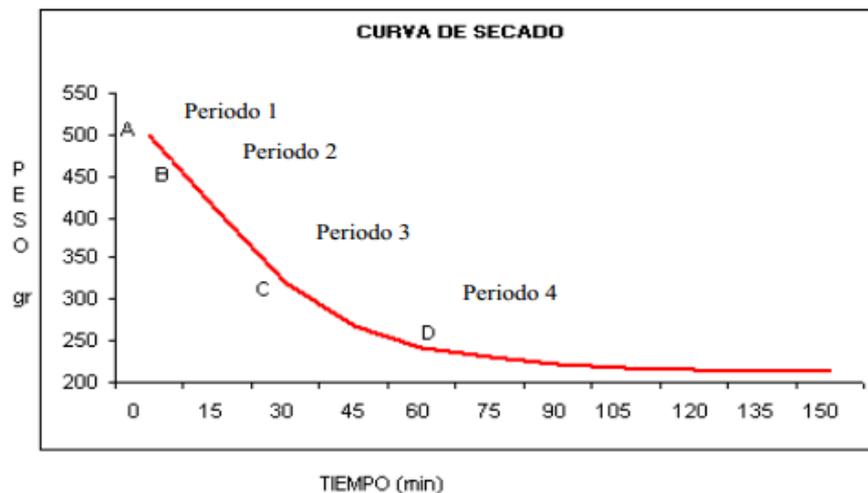


Figura 8. Curva de Secado

Fuente: (Vian & Ocon, (2008)

2.5.3.1 Período de Inducción (A-B)

En el tramo A-B llamado período de inducción, la semilla tiene una humedad alta, donde las condiciones de la superficie de la semilla se encuentra en equilibrio con el aire de secado.

2.5.3.2 Período de Velocidad Constante (B-C)

En este período la semilla permanece saturada con agua líquida, el movimiento del agua va desde el interior hasta la superficie de la misma. El secado tiene lugar por el movimiento del vapor de agua, desde la superficie de la semilla hasta la corriente general del aire de secado.

La velocidad de transmisión hacia la materia, disminuye la velocidad del calor, la temperatura de la superficie de secado permanece constante.

2.5.3.3 Período de Velocidad Decreciente (C-D)

En esta etapa la superficie de la semilla empieza a secarse, este período se conoce como punto crítico o pérdida de velocidad decreciente de humedad, la temperatura de la superficie de la semilla empieza a elevarse mientras se prolonga el tiempo de secado.

2.5.3.4 Período de Equilibrio (D)

En el punto D se representa el período de equilibrio. La humedad en estado libre se anula, es decir que la humedad de la semilla es igual a la de equilibrio con el aire de secado. (Vian & Ocon, (2008)

(Casp Vanaclocha, (2008) Reitera que el proceso de secado está dividido en tres periodos o fase primer periodo de precalentamiento seguido de otra velocidad de secado decreciente representada en la figura 9.

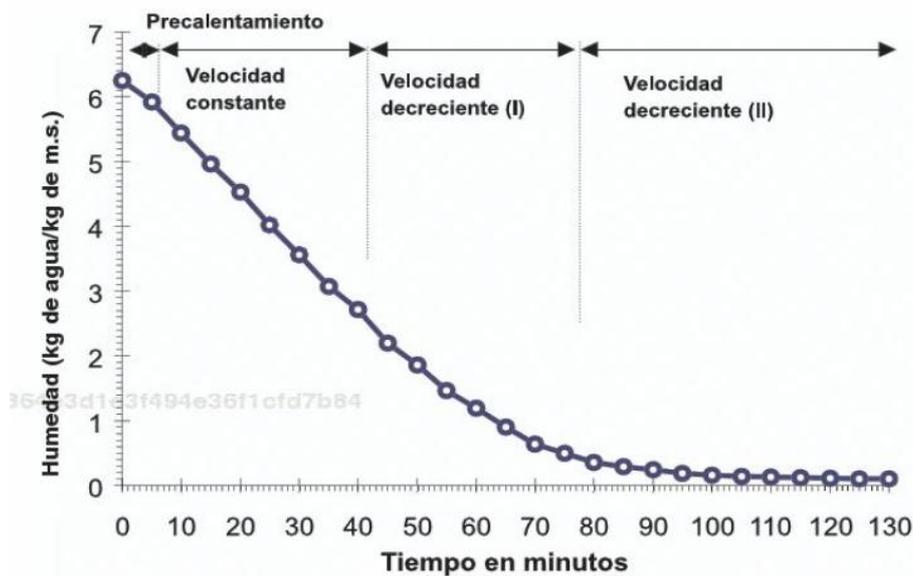


Figura 9 Periodos de secado

Fuente: (Casp Vanaclocha, (2008)

En el secado por convección se distingue los tres periodos:

2.5.3.5 Periodos de precalentamiento

Periodos de precalentamiento que transcurre mientras el producto y el agua en la contenida se calientan ligeramente, hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo característica del ambiente secante. El producto a secar al principio esta frio, su presión de vapor es igualmente baja, por lo tanto la velocidad de trasferencia de masa es muy lenta. Por el contrario, el gradiente de temperatura entre el aire caliente y la superficie fría del producto es elevado, en consecuencia la trasferencia de calor es alta. La cantidad de calor trasferida a la superficie

del producto es netamente superior a la cantidad de calor arrastrado por la poca agua evaporada existe un desequilibrio. Este periodo es muy corto comparación con el tiempo total del secado.

2.5.3.6 Periodo de velocidad constante

En este periodo 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 esta 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, este periodo continua mientras que la superficie del producto este alimentada por agua libre liquida desde el interior, fundamentalmente por capilaridad y finaliza cuando el producto alcanza el valor de la humedad critica.

En la curva de secado este periodo deberá ajustarse a una recta como se señala en la figura 10.

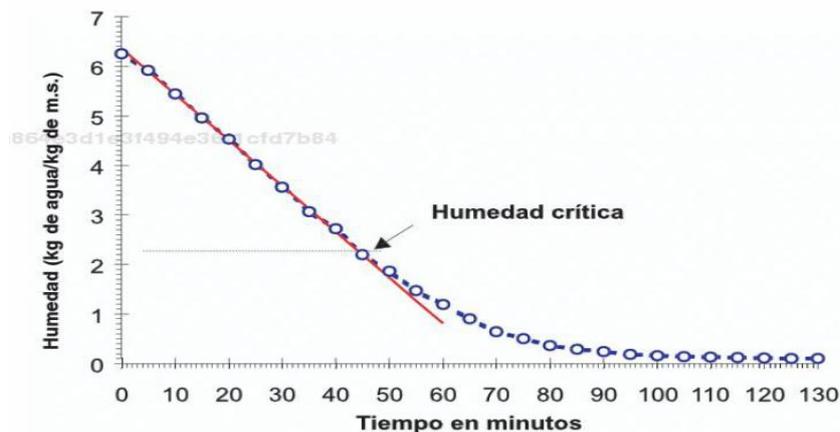


Figura 10 Periodo de velocidad constante

Fuente: (Casp Vanaclocha, (2008))

La humedad crítica no es una propiedad del alimento, sino depende del tamaño de la 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 de capilar de agua líquida, aunque puede existir alguna difusión de líquido, el flujo

de humedad no afecta a la velocidad de secado en este periodo es el entorno secante el aire el impone la velocidad de secado, que se incrementa al hacerlo la temperatura.

Lo mismo ocurre con la velocidad del aire de secado, cuando mayor es esta mayor velocidad del secado.

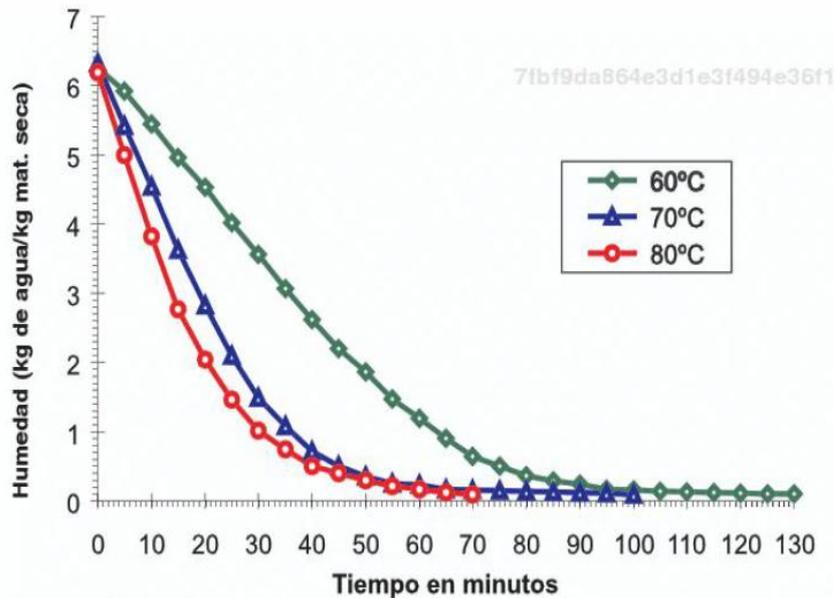


Figura 11 Influencia de la temperatura del aire de secado

Fuente: (Casp Vanaclocha, (2008))

Cuando la superficie externa del producto deja de estar saturada, comienzan uno o varios periodos de velocidad de secado decreciente y la temperatura se incrementa continuamente desde la de bulbo húmedo hasta la del fluido calefactor. (Casp Vanaclocha, (2008)).

Presenta las etapas durante el periodo de secado de un material húmedo como se comenta por Keey (1978).

Durante la etapa 1 el flujo de líquido se puede producir en una gradiente hidráulica. La siguiente etapa consiste en la sustitución de la humedad por el aire. En ese momento la temperatura de la superficie se aproxima a la de la temperatura de bulbo húmedo.

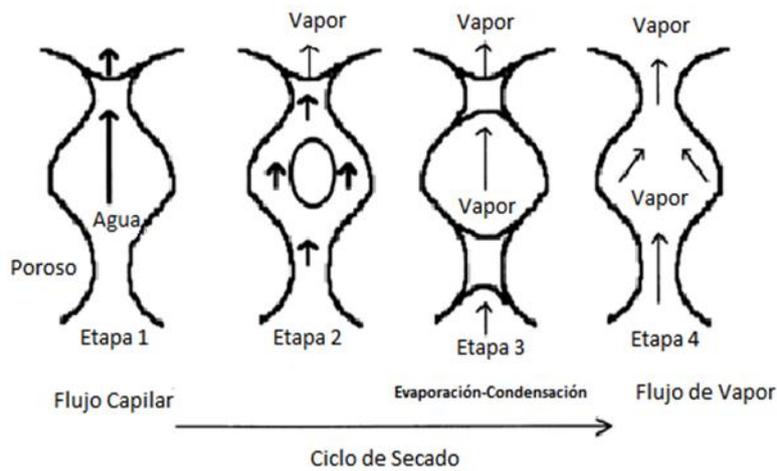


Figura 12 El movimiento del agua durante el secado de un material poroso.

Fuente: (Adaptado de Keey, 1978.)

2.5.3.7 Período de velocidad decreciente

Comienza cuando la superficie del producto entra en contacto con el aire de secado alcanza el umbral de higroscopicidad (para los materiales higroscópicos) desde el punto de vista macroscópico, esto corresponde a alcanzar la humedad crítica.

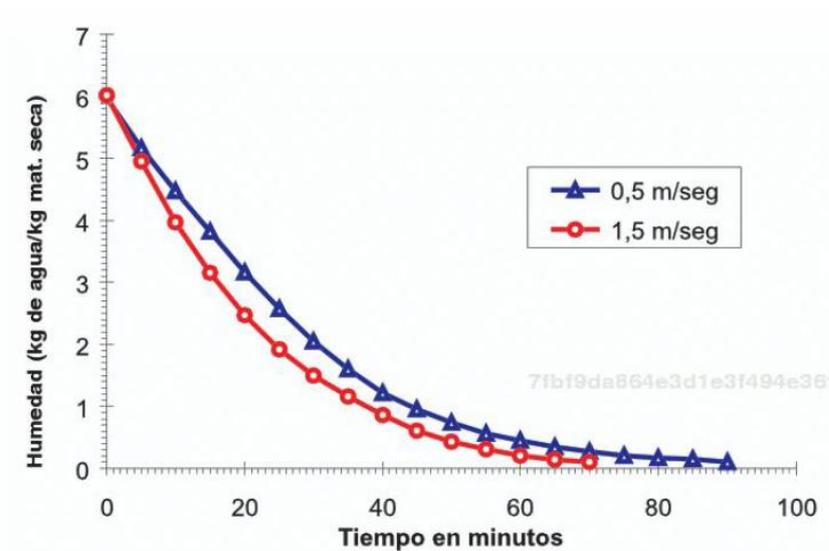


Figura 13 Influencia de la velocidad del aire de secado

Fuente: (Casp Vanaclocha, (2008))

La brusca de reducción de la superficie efectiva de transferencia debida a una alimentación insuficiente de agua libre, es la causa de la disminución de la velocidad de secado la migración del agua es cada vez más difícil y como consecuencia la transferencia de masa se convierte en el factor limitante. Los depósitos de soluto obstruyen los poros, el agua ligada mira bajo forma de vapor y la distancia a recorrer por el frente de vapor es cada vez mayor, todos estos factores frenan rápidamente la transferencia interna de agua.

Un segundo periodo de velocidad decreciente o periodos de velocidad final. Este periodo solo existe para los materiales higroscópicos. El flujo másico se reduce más rápidamente que en el periodo anterior. En este periodo, el producto está en dominio de la higroscopia en el alimento no queda más que agua ligada, que se evacua muy lentamente (difusión, desorción). Esta fase se termina cuando el producto alcanza su humedad de equilibrio, que depende como es lógico de las condiciones de secado, la humedad crítica coincide con el punto de intersección de la recta de velocidad contante con la del primer tramo de velocidad decreciente.

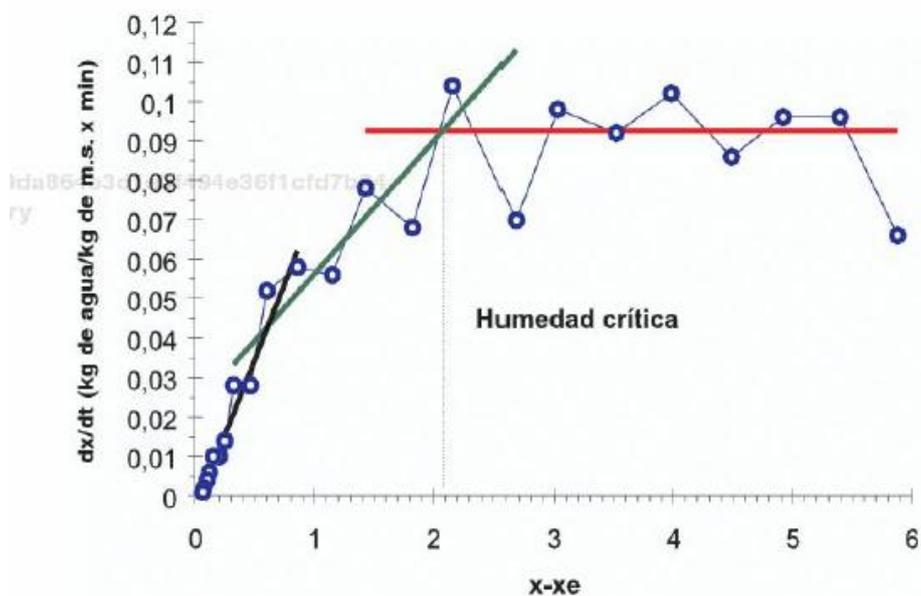


Figura 14 Periodos de velocidad decrecientes

Fuente: (Casp Vanaclocha, (2008)

Cuando más pequeños sean los trozos y estén en capa delgada antes alcanzara el producto la temperatura a partir de la cual es secado es efectivo. En el segundo periodo la evaporación tiene lugar en la superficie del producto y es tanto más rápida cuando la superficie de contacto entre el aire a toda esta superficie y el tercer periodo la eliminación de agua del producto será tanto más fácil cuando menor sea el tamaño de los trozos.

Según (Barbosa & Vega, 1996) el movimiento del agua en el sólido puede explicarse por distintos mecanismos de difusión donde el movimiento del agua a través del alimento depende tanto de su estructura porosa como la interacción del agua con la matriz alimentaria.

Teoría de la difusión

El principal mecanismo en el secado de sólidos es la difusión del agua, en sólidos de estructura fina y en los capilares que son poros y pequeños huecos llenos con vapor.

El vapor difunde hasta que alcanza la superficie donde pasa la corriente global del aire.

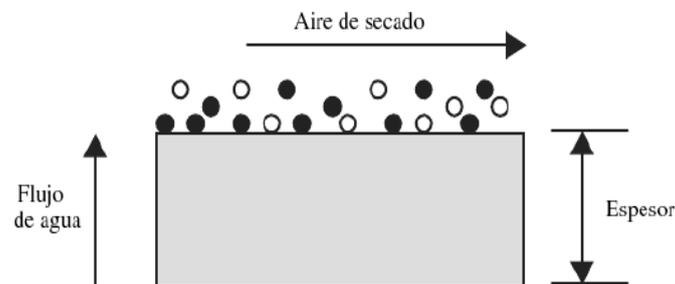


Figura 15 Mecanismos de difusión superficial y transporte de vapor de agua.

Fuente: (Adaptado de Bruin y Luyben, 1980)

El coeficiente de difusión efectivo se determina experimentalmente a partir de datos de secado, al representar gráficamente el término logaritmo natural frente al tiempo, la pendiente del tramo lineal da el valor de **D**. (Okos et al ., 1980)

La relación entre la difusividad y la humedad se presenta en la figura. La región **A-B** representa la adsorción mono molecular en la superficie del sólido que consiste en el movimiento del agua por difusión de la fase vapor. La región **B-C** cubre la desorción multimolecular donde la humedad empieza el movimiento en la fase líquida. En la región **C-D** juega un papel importante el micro capilaridad, donde la humedad emigra fácilmente

en los poros llenos de agua. En la región **D-E** la humedad ejerce su máxima presión de vapor y la migración de humedad es debida primordialmente a la capilaridad. (Ibarz, 2005)

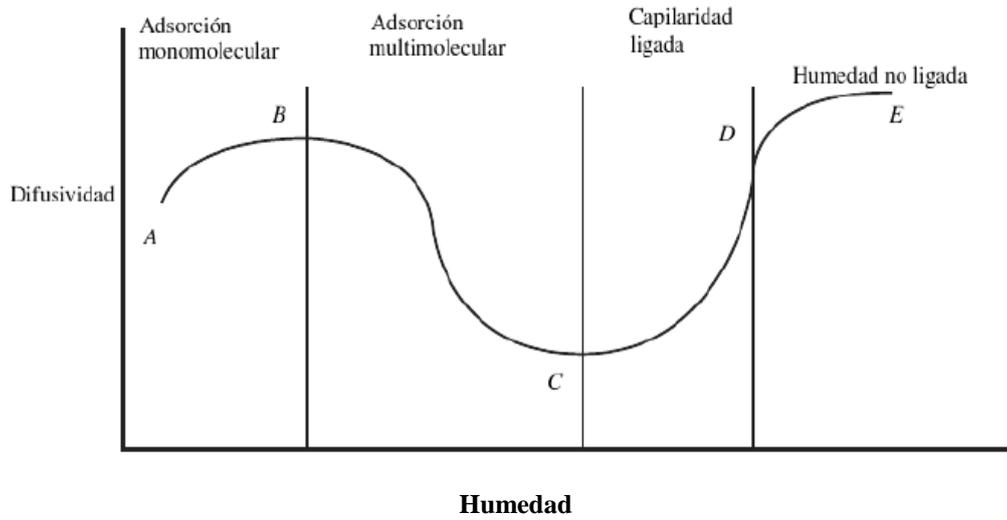


Figura 16 Relación entre el contenido de humedad y difusividad

Fuente: (Barbosa & Vega, 1996)

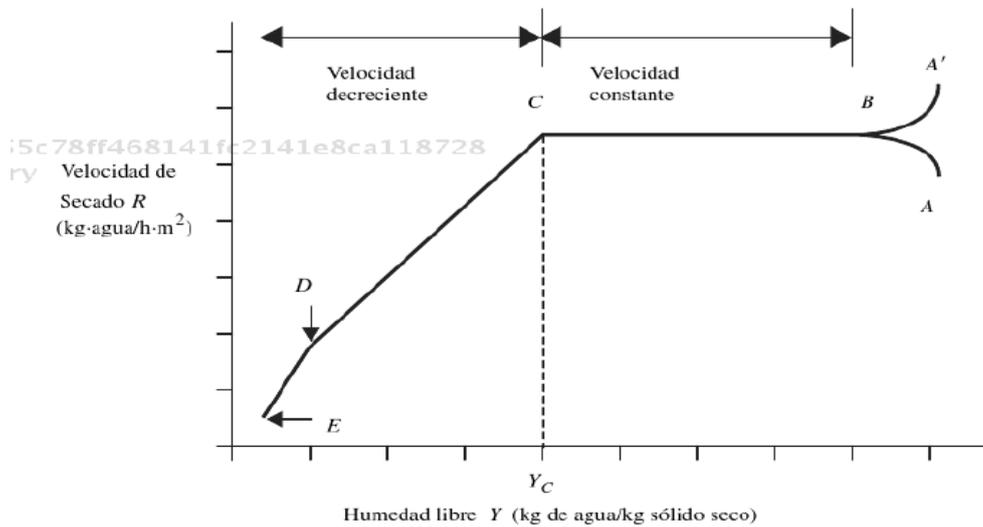


Figura 17 Curva de velocidad de secado

Fuente: (Barbosa & Vega, 1996)

Teoría capilar

El flujo de un líquido a través de los espacios y sobre la superficie de un sólido a causa de atracción molecular entre el líquido y el sólido se conoce como la capilaridad (Okos et al ., .)

1980) Flujo capilar ha sido aceptado como uno de los mecanismos claves de secado (Okos et al., 1980)

Colon y Avilés, 1993). El flujo capilar-líquido puede ser expresado como:

$$\frac{1}{A} \frac{\partial X}{\partial t} = J_L = -K_H \nabla \Psi$$

Donde Ψ es la diferencia de presión entre el agua y el aire en la interface agua-aire presente en un capilar y K_H es la permeabilidad. Eq. Se puede expresar para condiciones isotérmicas como:

$$J_L = K_H \rho_s \nabla X$$

Y la permeabilidad expresada en términos de tamaño de poro distribución en el producto:

$$K_H = (\sigma \cos \theta) / (4 \int_{r_1}^{r_2} r^2 f(r) \eta) \int_{r_1}^{r_2} r^2 f(r) dr$$

σ es la tensión superficial, θ es el ángulo de contacto, $f(r)$ es una curva diferencial para una distribución de tamaños de poro por radio r , la integral es sobre el mínimo y máximo

, Los tamaños de los radios capilar (r_1 a r_2) η es la viscosidad dinámica, ρ_s es la densidad de sólido, y X es el contenido de humedad.

Teoría de la evaporación-condensación

El vapor de agua dentro del producto es condensado cerca de la superficie. Esto supone que la velocidad de condensación es igual a la velocidad de evaporación en la superficie del producto y permite no acumulación de agua en los poros cerca la superficie, tal como se presenta en la figura 17. La teoría toma en cuenta la difusión simultánea de calor y masa, lo que supone que los poros son una red continua de espacios en el sólido (fortes y okos, 1980).

Se describen los fenómenos de transferencia de masa y calor en el siguiente formula:

$$a\tau D_v \nabla^2 X_v = a \frac{\partial X_v}{\partial t} + (1-a) \rho_s \frac{\partial X}{\partial t}$$

Donde D_v es el coeficiente de difusión de vapor, X_v es la concentración de vapor en los poros, a es la fracción de volumen de aire en los poros. τ es el factor que tiene en cuenta la tortuosidad de la trayectoria de difusión, y P_s es el esqueleto sólido densidad.

$$a\rho_s c_s \frac{\partial T}{\partial t} = K_T \nabla^2 T - q_v \frac{\partial X}{\partial t}$$

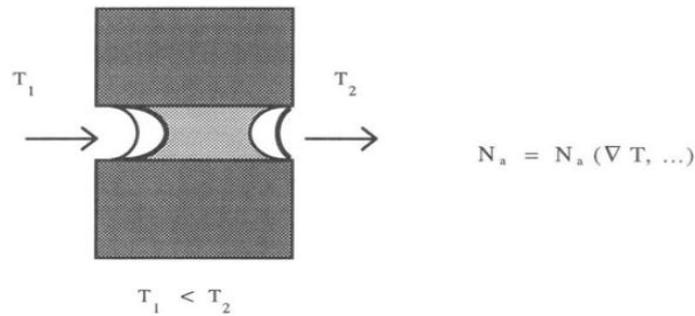


Figura 18 Mecanismos de condensación- evaporación de vapor de agua transporte.

Fuente: (Adaptado de Bruin y Luyben, 1980.)

$$Le_m = \frac{k_T [f + (1-f)\rho_s \beta]}{D(1-f)\rho_s (c_s + c_w M + \lambda_w \gamma)}$$

Donde C_s es el calor específico del sólido, K_T es el coeficiente general de conducción de calor, q_v es el calor que participan en la desorción (o absorción) en la pérdida de agua del sólido, Le_m es el número Lewis modificado, k_T es la conductividad térmica, f es la fracción de huecos del cuerpo, y $\sim 'Y$ son constantes, D es el coeficiente de difusión, C_w es el calor específico del agua, y \check{A}_w es el calor latente de vaporización. La modificado número Lewis debe ser utilizado para determinar si la ecuación de transferencia de calor en problemas de secado debe ser considerado.

(Young, 1969). Para un número de Lewis modificado mayor que 60, la ecuación de transferencia de masa es suficiente para describir el proceso de secado. Por debajo de este número, el calor la transferencia se vuelve crítica (Young, 1969).

La Teoría Luikov

El fenómeno de descubrimiento de difusión térmica de humedad se le atribuye a Luikov en 1934 (Fortes y Okos, 1980).

Las ecuaciones de Luikov se derivan basados en los siguientes supuestos: vapor, aire y agua molecular y transporte simultáneo; encogimiento, contracción, y la deformación no se consideran; una relación directa con isotermas de sorción; e isotropía es ficticio.

Luikov (1975) emplea los principios de irreversible termodinámica en el desarrollo de su teoría. La termodinámica irreversible teoría explica efectos cruzados entre las distintas fuerzas impulsoras. Ley de Fick se basa en la proporcionalidad entre la transferencia de masa y el gradiente de concentración, sin tener en cuenta el gradiente de temperatura. La ley de Fourier se basa en la proporcionalidad entre la transferencia de calor y la temperatura degradada, sin tener en cuenta la concentración

CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Las pruebas preliminares se realizaron en las instalaciones del laboratorio de las Unidades Edu productivas de la carrera de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales.

Los análisis del producto se realizaron en el laboratorio de uso múltiple de la Universidad Técnica del Norte.

Tabla 2. Datos climatológicos de la ciudad de Ibarra

Parámetros	Unidad	Rango
Temperatura promedio anual	°C	17,7
Humedad relativa	%	72
Nubosidad	octavos de cielo	6
Presión	HPa	781,6
Altitud	msnm	2256
Precipitación	mm	52,5
Ubicación geográfica		00°20' norte 78° 08' oeste

Fuente. Granja Experimental “Yuyucocha” – Ibarra. Diciembre (2014)

3.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES DEL AIRE DE SECADO Y DE SECADO DE BANDEJAS.

La medición de temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo nos permite saber las condiciones a la que está expuesta el aire del ambiente. A continuación se detalla los valores medidos durante la fase de secado, temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo en condiciones de temperatura de la ciudad de Ibarra donde se realizó la investigación.

Tabla 3 Temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo Ibarra.

DIAS	TRATAMIENTO	° T BULBO SECO	° T BULBO HUMEDO
1	1	24°C	16°C
2	2	24°C	18°C
3	3	22°C	17°C
4	4	22°C	16°C
5	5	24°C	18°C
6	6	23°C	17°C
7	7	22°C	16°C
8	8	22°C	17°C
		°T PROMEDIO $\sum X=23$ °C	$\sum X=17$ °C

3.1.1.1 Propiedades psicométricas de la mezcla aire – vapor de agua

Tabla 4 Propiedades psicométricas del aire a presión barométrica de Ibarra

CONDICIONES AMBIENTALES TEMPERATURA AMBIENTE	
PROPIEDADES	TEMPERATURA AMBIENTE 23°C
BULBO SECO	23°C
BULBO HUMEDO	17°C
HUMEDAD RELATIVA	59,50%
HUMEDAD ABSOLUTA	15,40g/Kg
PRESIÓN DE VAPOR	2,46kpa
VOLUMEN ESPECÍFICO	0,8599 m³/Kg
ENTALPÍA	61,89KJ/Kg
PUNTO DE ROCÍO	14,95°C

3.1.1.2 Temperaturas de secado a presión barométrica de Ibarra

Tabla 5 Propiedades de la temperatura de entrada secado a 50°C

PROPIEDADES DEL AIRE DE SECADO A 50°C	
PROPIEDADES	TEMPERATURA ENTRADA SECADO 50°C
BULBO SECO	50°C
BULBO HUMEDO	23°C
HUMEDAD RELATIVA	11,56%
HUMEDAD ABSOLUTA	15,40g/Kg
PRESIÓN DE VAPOR	2,45kpa
VOLUMEN ESPECIFICO	0,9369 m³/Kg
ENTALPÍA	88,64KJ/Kg
PUNTO DE ROCÍO	14,86°C

3.1.1.3 Tabla psicrométrica secado a 50°C

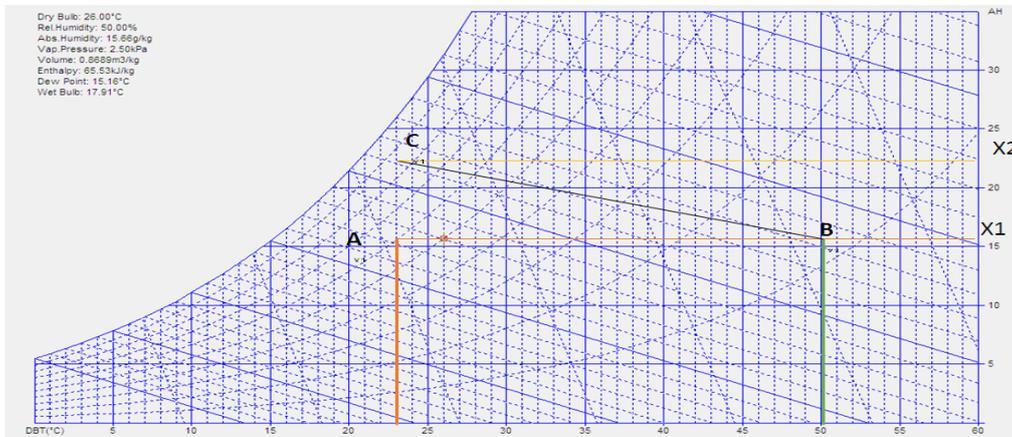


Figura 19 Tabla psicrométrica secado 50°C

Tabla 6 Propiedades del aire de salida a 48°C

PROPIEDADES DEL AIRE DE SALIDA 48°C	
PROPIEDADES	TEMPERATURA DE SALIDA 48°C
BULBO SECO	48°C
BULBO HUMEDO	23°C
HUMEDAD RELATIVA	13,71%
HUMEDAD ABSOLUTA	16,10g/Kg
PRESIÓN DE VAPOR	2,58kpa
VOLUMEN ESPECIFICO	0,9323 m³/Kg
ENTALPÍA	88,66KJ/Kg
PUNTO DE ROCÍO	15,63°C

Tabla 7 Propiedades de la temperatura de entrada secado a 55°C

PROPIEDADES DEL AIRE DE SECADO A 55°C	
PROPIEDADES	TEMPERATURA ENTRADA SECADO 55°C
BULBO SECO	55°C
BULBO HUMEDO	24°C
HUMEDAD RELATIVA	8,58%
HUMEDAD ABSOLUTA	15,40g/Kg
PRESIÓN DE VAPOR	2,46kpa
VOLUMEN ESPECIFICO	0,9514m³/Kg
ENTALPÍA	93,89KJ/Kg
PUNTO DE ROCÍO	14,95°C

3.1.1.4 Tabla psicrométrica secado a 55°C

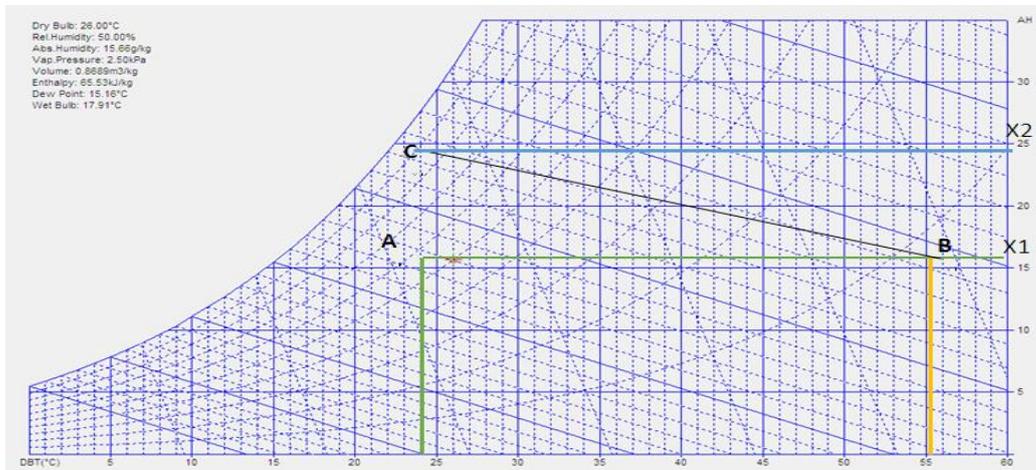


Figura 20 Tabla psicrométrica secado a 55°C

Tabla 8 Propiedades del aire de salida a 50°C

PROPIEDADES DEL AIRE DE SALIDA 50°C	
PROPIEDADES	TEMPERATURA DE SALIDA 50°C
BULBO SECO	50°C
BULBO HUMEDO	24°C
HUMEDAD RELATIVA	13,17%
HUMEDAD ABSOLUTA	17,43g/Kg
PRESIÓN DE VAPOR	2,79kpa
VOLUMEN ESPECIFICO	0,9399 m³/Kg
ENTALPÍA	94,02 KJ/Kg
PUNTO DE ROCÍO	16,84°C

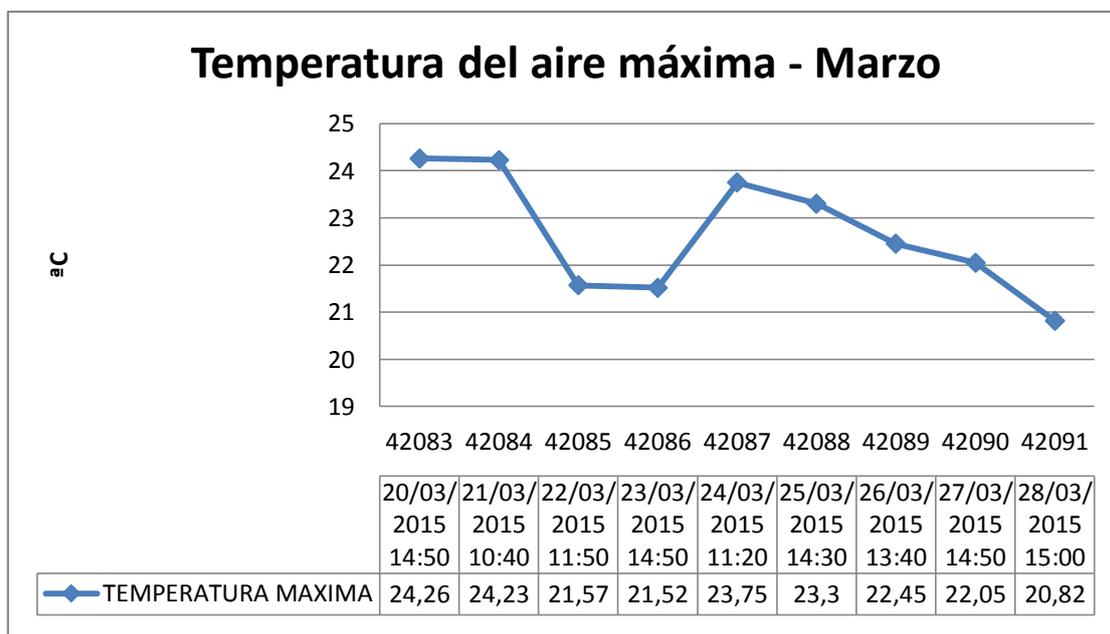
3.1.2 EXPOSICIÓN SOLAR

Datos de la temperatura ambiente de los 6 días de exposición al sol de la jícama *Smallanthus sonchifolius*.

Tabla 9 Temperatura ambiente de días de exposición solar de la jícama

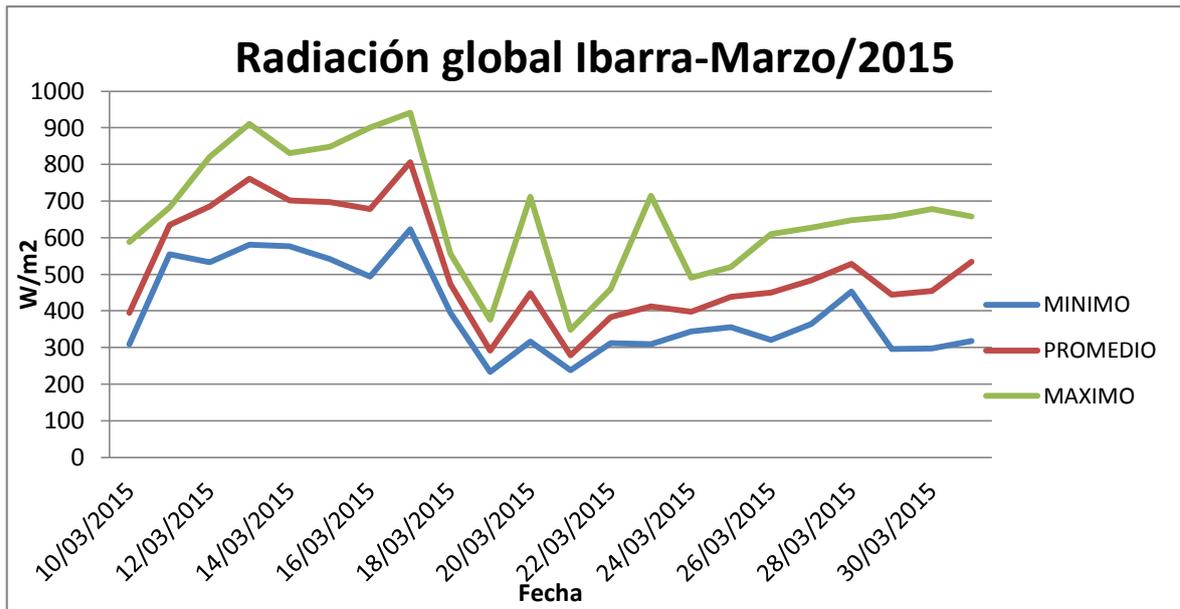
FECHA	TEMPERATURA MAXIMA
20/03/2015 14:50	24,26
21/03/2015 10:40	24,23
22/03/2015 11:50	21,57
23/03/2015 14:50	21,52
24/03/2015 11:20	23,75
25/03/2015 14:30	23,3
26/03/2015 13:40	22,45
27/03/2015 14:50	22,05
28/03/2015 15:00	21,82

Tabla 10 Temperatura de días de exposición al sol de la jícama



Fuente: Estación meteorológica de la UTN

Tabla 11 Radiación solar diaria (w/m2) Marzo 2015



Fuente: Estación meteorológica de la UTN

3.1.2.1 Radiación solar diaria media, h (kWh/m²*día) - Ibarra

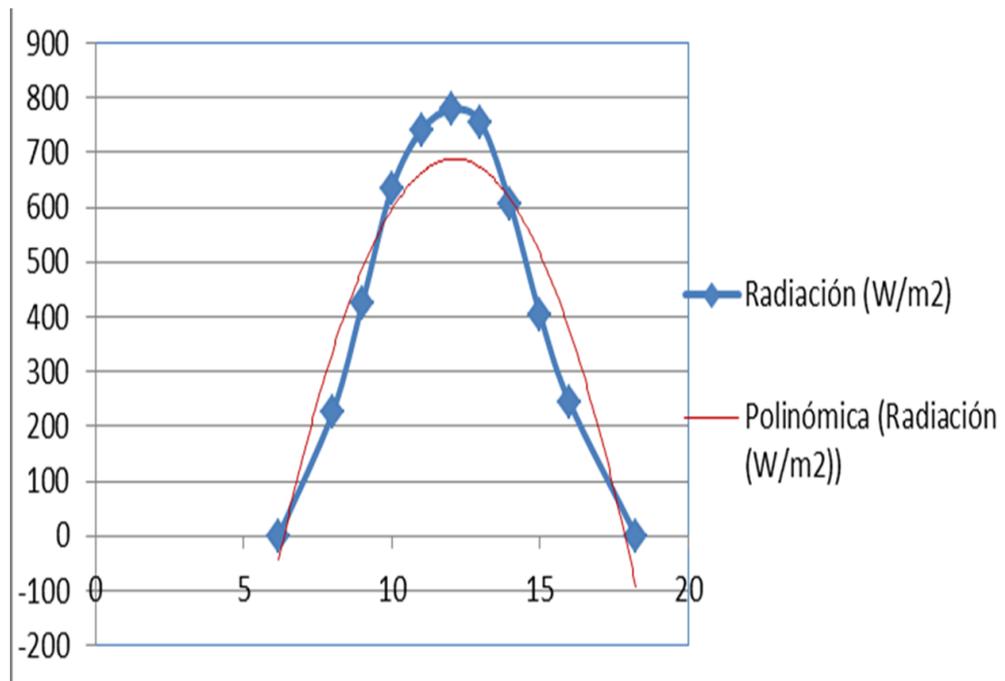
Tabla 12 Radiación solar mensual media de Ibarra

MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
Irradiación (H)	2,741	3,572	4,997	5,026	5,532	5,903	6,124	5,961	5,560	4,322	2,982	2,257	4,587

Fuente: Estación meteorológica de la UTN

3.1.2.2 Curva de radiación solar (wh/m2)

Tabla 13 Curva de radiación solar



Fuente: Estación meteorológica de la UTN

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1 MATERIA PRIMA

3.2.1.1 Materia prima

- Jícama *Smallanthus sonchifolius*

3.2.2 EQUIPOS Y MATERIALES

3.2.2.1 Equipos

- Secador de bandejas por flujo de aire caliente(30 bandejas)
- Anemómetro(0-30m/s)
- Balanza analítica(0-310g)
- Balanza eléctrica(0-3kg)
- Termómetro(0-100°C)
- Cronómetro
- Refractómetro(60-120 °Brix)
- Cámara fotográfica

3.2.2.2 Equipos de protección personal

- Cofia
- Mascarilla
- Mandil tela
- Guantes
- Botas
- Mandil de plástico

3.2.2.3 Materiales

- Bandejas plásticas
- Recipientes
- Bandejas de poli estireno
- Cuchillos

- Cucharas
- Cedazos
- Libreta
- Rebanador

3.3 MÉTODOS

3.3.1 CARACTERIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

3.3.1.1 Materia prima

- Selección de Jícama *Smallanthus sonchifolius* sana y sin deterioro.

3.3.1.2 Acondicionamiento de la jícama *Smallanthus sonchifolius*

- Lavar y desinfectar.
- Escurrir la jícama *Smallanthus sonchifolius* limpia.
- Mondar.
- Escaldar.
- Cortar en rodajas (2mm) de espesor.
- Ubicar las rodajas en las bandejas de acero inoxidable previamente desinfectadas para su deshidratación.

3.3.1.3 Proceso de deshidratación

Secador de bandejas

- Acondicionamiento del secador de bandejas.
- Colocar los trozos de jícama *Smallanthus sonchifolius* ya preparados sobre las bandejas en capas delgadas y regulares.
- Controlar la temperatura, velocidad de aire de secado.
- Se debe seguir un monitoreo y apuntar todos los datos obtenidos.

3.3.2 FACTORES

3.3.2.1 Factores en estudio

Los factores en estudio están constituidos por: temperatura de deshidratación, velocidad del aire de secado y días de exposición al sol.

FACTOR A: TEMPERATURA DE DESHIDRATACIÓN.

NIVELES DEL FACTOR A:

- A1: 50°C
- A2 : 55°C

FACTOR B: VELOCIDAD DEL AIRE DE SECADO.

NIVELES DEL FACTOR B:

- B1: 2m/s
- B2: 4m/s

FACTOR C: DÍAS DE EXPOSICIÓN AL SOL.

NIVELES DEL FACTOR C:

- C1: Jícama fresca (0 días)
- C2: Jícama expuesta al sol (6 días)

3.3.3 TRATAMIENTOS

Se evaluó ocho tratamientos, producto de la combinación de temperatura de deshidratación, velocidad del aire de secado y días de exposición al sol.

Tabla 14. Esquema de los niveles de temperatura de deshidratación (A), velocidad del aire de secado (B) y días de exposición al sol (C).

N°	TEMPERATURA DE DESHIDRATACIÓN	VELOCIDAD DE AIRE DE SECADO	DÍAS DE EXPOSICIÓN AL SOL	COMBINACIONES
T1	A1	B1	C1	A1B1C1
T2	A1	B1	C2	A1B1C2
T3	A1	B2	C1	A1B2C1
T4	A1	B2	C2	A1B2C2
T5	A2	B1	C1	A2B1C1
T6	A2	B1	C2	A2B1C2
T7	A2	B2	C1	A2B2C1
T8	A2	B2	C2	A2B2C2

3.3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utiliza un Diseño factorial 2^3 con ocho tratamientos y tres repeticiones donde temperatura de deshidratación (A), velocidad del aire de secado (B) y días de exposición al sol (C).

3.3.5 CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO

Tratamientos: 8

Repeticiones: 3

Unidades experimentales: 24

3.3.6 CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL

Para cada unidad experimental se utilizó, 500g de jícama *Smallanthus sonchifolius* cortada en hojuelas. En toda la investigación se trabajó con 36 kg.

3.3.7 ESQUEMA DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tabla 15. . ADEVA (análisis de varianza)

Fuente de variación	de Grados de libertad
Total	23
Tratamientos	7
Factor A	1
Factor B	1
Factor C	1
Factor A x B	1
Factor A x C	1
Factor B x C	1
Factor A x B x C	1
Error Experimental	16

3.3.8 ANÁLISIS FUNCIONAL

- Coeficiente de variación. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos.
- DMS al 5% para factores A.
- DMS al 5% para factores B.
- DMS al 5% para factores C.
- FRIEDMAN para evaluar la variable aceptabilidad del producto final.

3.4 VARIABLES

3.4.1 VARIABLES CUANTITATIVAS

3.4.1.1 Análisis físico-químico

- Análisis de la cinética de secado
- Sólidos solubles (°Brix)
- Azúcares Reductores
- Humedad
- Actividad de agua
- pH
- Cenizas
- Fibra

3.4.1.2 Análisis microbiológicos

- Análisis microbiológicos (recuento total de aerobios, recuento de mohos y levaduras)

3.4.2 VARIABLES PARAMÉTRICAS

- **Peso inicial:** Se pesa 500g de jícama *Smallanthus sonchifolius* en fresco, colocando una bandeja sobre la balanza gramera, encerar y pesar hasta llegar al peso deseado, ya que esto es necesario para definir la cantidad de pérdida de agua al momento del secado. Esto se debe realizar siempre a horas de la mañana al inicio del proceso de deshidratado.
- **Contenido de materia seca:** La cantidad de materia seca al final del deshidratado permite ver la cantidad de agua libre en el proceso, colocando una bandeja sobre la balanza gramera encerando para luego pesar y obtener el resultado utilizando la ecuación número uno.

Ecuación 1 Porcentaje de materia seca

$$\text{Materia seca (\% M.S)} = 100\% - \% \text{humedad} \quad \text{N}^\circ 1$$

- **Rendimiento de producto deshidratado:** Se aplicó la ecuación número dos por diferencia del peso inicial y el peso final.

Ecuación 2 Rendimiento del producto

$$\text{Rendimiento (\% R)} = \frac{\text{Peso final (pf)}}{\text{Peso inicial (pi)}} \times 100 \quad \text{N}^\circ 2$$

3.4.3 DESCRIPCIÓN DE VARIABLES CUANTITATIVAS

Las variables cuantitativas se evaluaron a través de instrumentos y cálculos matemáticos.

A continuación se describen cada una de las variables a evaluarse:

Tabla 16. Metodología de Análisis

Análisis	Método
Humedad	Método N° 925,10.de la A.O.A.C. The Scientific Association Dedicated to Analytical Excellence (Asociación Oficial de Químicos Analistas) (1996).
Azúcares reductores	Método N° 932.14C de la A.O.A.C.
Solidos solubles	Refractométrico
Actividad de agua	Aw meter.
pH	Método N° 981,12.de la A.O.A.C
Cenizas	Método N° 923,03.de la A.O.A.C
Fibra	Método N° 932,14.de la A.O.A.C

3.4.3.1 Recuento total de aerobios

El recuento total de aerobios se realizó según la norma AOAC 989.10 donde especifica el método que se debe efectuar para el recuento total de aerobios.

3.4.3.2 Recuento de mohos y levaduras

Se utilizó la norma INEN 1529-10 esta norma describe el método para cuantificar el número de unidades propagadoras de mohos y levaduras en un gramo o centímetro cúbico de muestra con el método AOAC 997 .02.

3.4.3.3 Cinética de secado

Para trazar las curvas de secado:

Curva de secado y velocidad de secado se utilizó la metodología propuesta por (Geankoplis, 1998).

Para determinar experimentalmente la velocidad de secado de un material, se procedió a colocar una muestra en una bandeja. Si se trata de material solido se debe llenar por completo la base de la bandeja, que solo quede expuesta a la corriente de aire de secado la superficie de dicho sólido. La pérdida de peso de humedad durante el secado se determinó cada 20 minutos durante el proceso de deshidratación colocando la bandeja en una balanza para la toma de datos. La muestra no debe ser demasiado pequeña y se debe introducir en una

bandeja. La velocidad, la humedad, la temperatura y la dirección del aire deben ser las mismas y constantes para simular un secado en condiciones constantes.

Las curvas de mayor interés en la cinética de secado son: la humedad libre vs tiempo y velocidad de secado vs humedad libre.

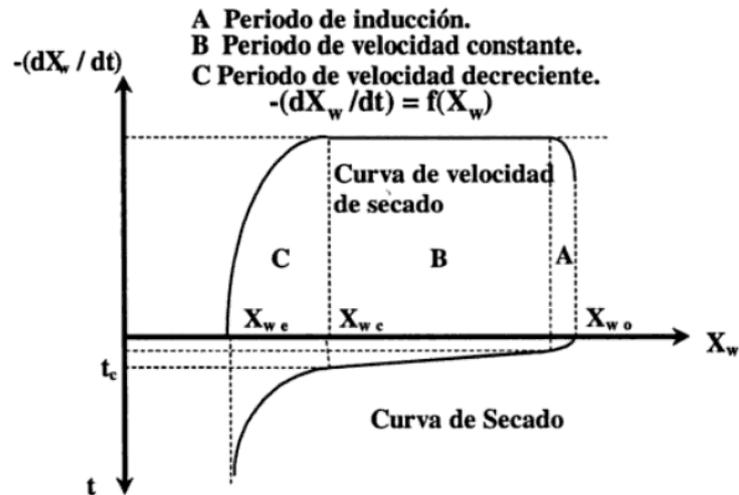


Figura 21 Curva de secado

Fuente Mapuey, P. (2002)

3.4.3.4 Sólidos solubles totales (SST).

Se determinó utilizando un refractómetro manual escala 60- 120 °Brix el cual mide los SST con una muestra de 2 ml de jícama.

3.4.3.5 Azúcares reductores

Se obtuvo en el laboratorio mediante el procedimiento establecido en la norma AOAC932.14C, para determinar la concentración los azúcares reductores, con el objeto de obtener una curva de calibración.

3.4.3.6 Humedad

Se determinó según lo establecido en la norma AOAC925.10. Esta variable se evaluó al inicio y al final del proceso, para asegurar una adecuada conservación del producto final. Esta prueba se determinó a todos los tratamientos en el producto final.

3.4.3.7 Actividad de agua

La actividad de agua (A_w) es comúnmente la relación de variación de las presiones parciales del vapor de agua. Esto, más que una definición es la descripción de la forma cómo se evalúa este parámetro.

Los métodos de medida de la A_w se refieren a la humedad relativa de equilibrio (HRE) que alcanza la atmósfera del sistema de ensayo al exponerse la muestra. Esta determinación se puede lograr de diversas formas: midiendo la presión manométrica de vapor de agua (Benado & Rivzi, s.f.) , la humedad relativa de equilibrio mediante el uso de higrómetros (Labuza, 1971) realizando interpolación entre dos soluciones de A_w conocidas (Landrock & Proctor, s.f.), o en función a la composición química (Lupin, H.M.; Boeri, R.L.; Moschiar, S.M. 1981. Water, s.f.).

3.4.3.8 pH

El pH se evaluó al final del proceso, establecido en la norma AOAC981.12 con la utilización de un potenciómetro digital estandarizado. Esto se realiza con el fin de determinar concentración de iones de hidrogeno y para evitar el desarrollo de microorganismos patógenos.

3.4.3.9 Cenizas totales

Se determinó mediante la norma AOAC923.03. La determinación del contenido de cenizas sirve para conocer la pureza de algunos ingredientes que se usan en la elaboración de alimentos.

Ecuación 3 % de cenizas totales

$$\% \text{ Cenizas totales} = \frac{(m_2 - m_0)}{(m_1 - m_0)} \times 100$$

Dónde:

m_2 : masa en gramos de la cápsula con las cenizas

m_1 : masa en gramos de la cápsula con la muestra

m_0 : masa en gramos de la cápsula vacía

3.4.3.10 Fibra

Fue determinada según lo especificado en la norma AOAC985.29. Para fibra cruda aplicable a los alimentos vegetales, alimentos mixtos. Se realizó a todos los tratamientos.

3.5 DIAGRAMA DE FLUJO PARA ELABORACIÓN DE HOJUELAS DE JÍCAMA *SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS*.

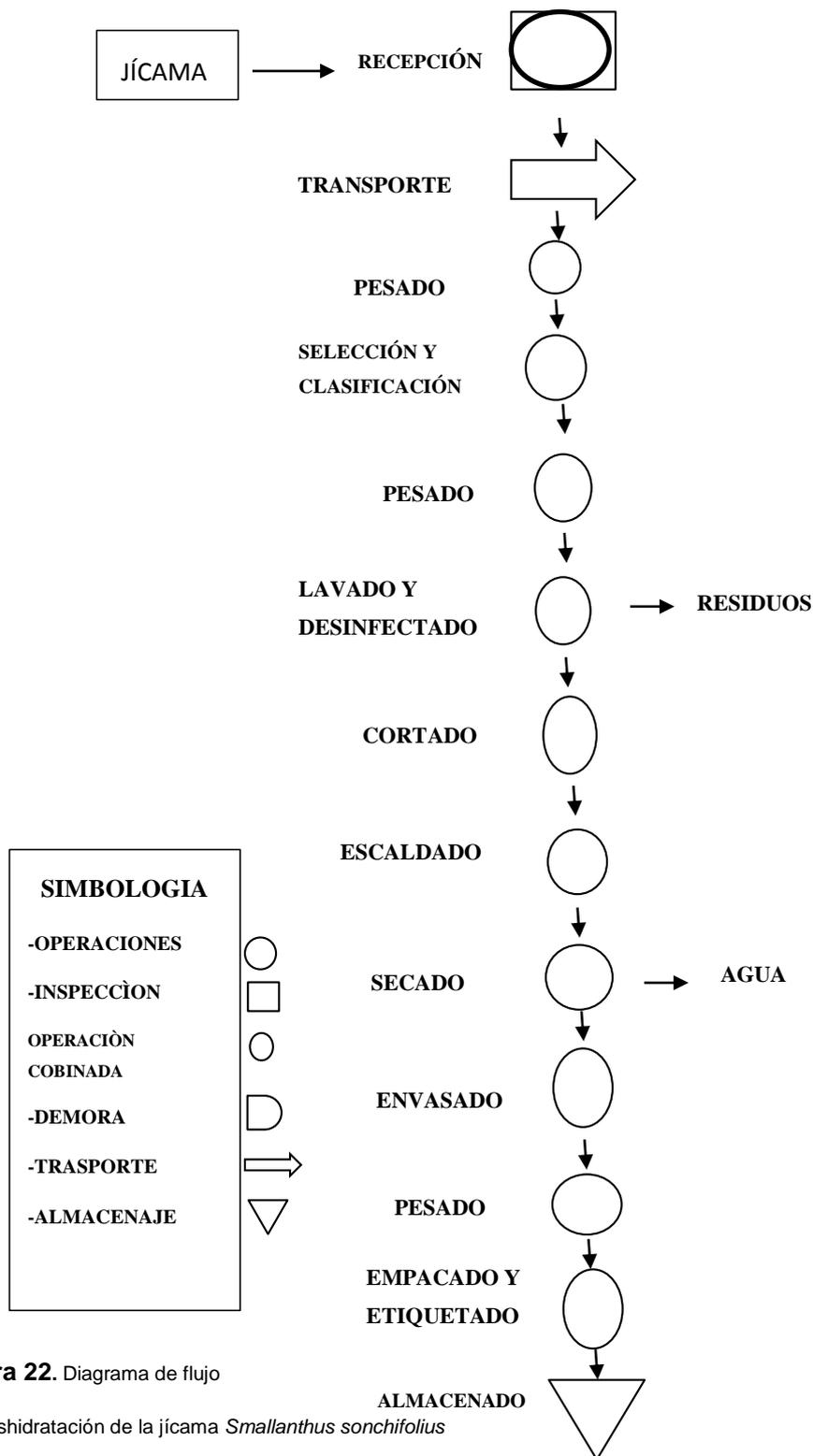


Figura 22. Diagrama de flujo De Deshidratación de la jícama *Smallanthus sonchifolius*

3.5.1 BALANCE DE MATERIALES

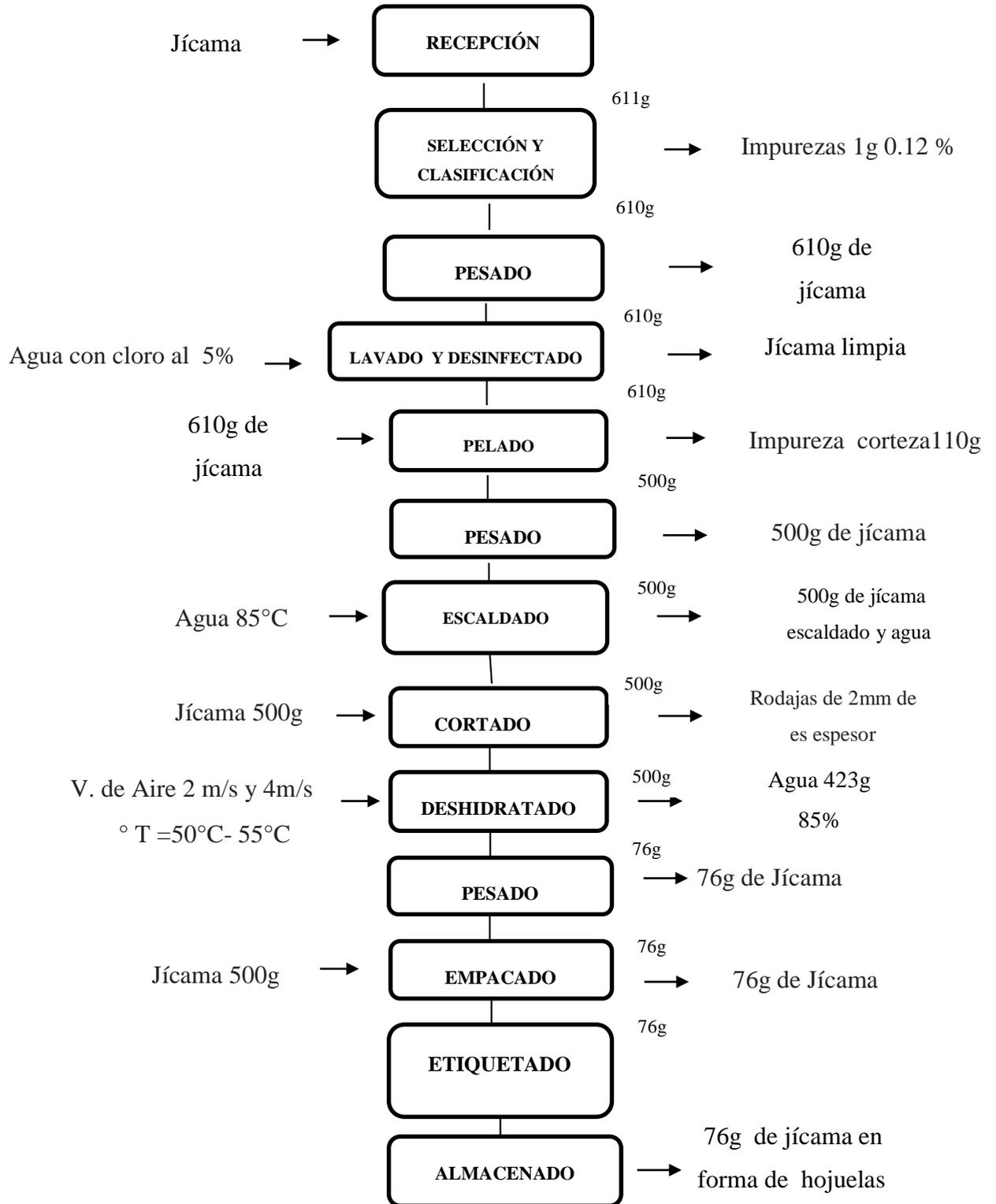


Figura 23. Diagrama de bloques de elaboración De hojuelas de jícama *Smallanthus sonchifolius*

3.5.2 RENDIMIENTO

Formula: $Rendimiento (R) = \frac{Peso\ final\ (pf)}{Peso\ inicial\ (pi)} \times 100$

$$(R) = \frac{77g}{611g} \times 100 \quad R1 = 12.6\%$$

$$(R) = \frac{77g}{500g} \times 100 \quad R2 = 15.4\%$$

3.5.3 VARIABLES CUALITATIVAS

3.5.3.1 VARIABLE ORGANOLÈPTICA

Para la evaluación sensorial se aplicó el método de panel de gustador, mismo que se desarrolló en tres etapas:

Se elaboró el instrumento de recopilación de información que emitió a los panelistas que intervinieron en este análisis.

- Se aplicó el instrumento a los panelistas. Al momento de aplicarlo previamente se procedió a socializar el instrumento donde constan los diferentes atributos de la evaluación sensorial. Además recibieron indicaciones descritas en el instrumento.
- Análisis de la información proporcionada: Se aplicó del método de Friedman.

Instrucciones

El panelista que realiza alguna prueba sensorial, debe estar descansado, dispuesto y con la mente despejada,

El panelista previamente a la evaluación no debe ingerir alimentos, alcohol y fumar.

Le pedimos para la calificación del producto, tomarse el tiempo prudencial necesario analizando detenidamente cada una de las características que se detallan en el siguiente instructivo.

Color: fenómeno que involucra componentes físicos y psicológicos.

Técnica: se entregó el producto elaborado para que sea observado de acuerdo al criterio panelista.

Se procedió a evaluar las características organolépticas:

- Color
- Olor
- Sabor
- Textura

3.5.3.2 Descripción de variable organoléptica

En éstas variables se estudian las características organolépticas del producto final, dentro de éstas tenemos color, aroma, sabor y textura, las mismas que se evaluaron a través de los sentidos sensoriales de los panelistas; de esta manera se conoció la aceptación o rechazo del producto.

Los datos registrados se manejaron a través de las pruebas no paramétricas de FRIEDMAN, basada en la siguiente fórmula:

Ecuación 4. Ecuación de FRIEDMAN

$$X^2 = \frac{12}{b \cdot t(t + 1)} \sum R^2 - 3b(t + 1) \quad \text{N}^\circ 4$$

Dónde:

b= Número de panelistas

t= Tratamientos

R= Rangos

A continuación se define cada una de las variables cualitativas con análisis de degustación con 12 consumidores, los cuales recibirán 25 gr de jícama deshidratada de cada tratamiento.

Color

Es uno de los aspectos más importante que caracterizan a la calidad y es lo que habitualmente se define como calidad. La expresión "la primera impresión entra por los ojos" es muy válida

para los productos. Es muy importante el tamaño, la forma, el brillo, el color y la ausencia de defectos visuales (Mondino & Ferratto, 2006).

Tabla 17. Evaluación sensorial del color

PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	TRATAMIENTOS							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Excelente								
Bueno								
Regular								
Malo								

Los valores que se asignaron a cada uno de los parámetros son los siguientes:

Se le asignó el valor de 4 si es excelente, si es bueno de 3, si es regular de 2 y si es malo de 1.

Olor

El aroma de los productos es un componente muy importante de la calidad y es producido por numerosos compuestos (Mondino & Ferratto, 2006).

Tabla 18. Evaluación sensorial del olor

PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	TRATAMIENTOS							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Excelente								
Bueno								
Regular								
Malo								

Los valores que se asignaron a cada uno de los parámetros son los siguientes:

Se le asignó el valor de 4 si es excelente, si es bueno de 3, si es regular de 2 y si es malo de 1.

Sabor

Son los percibidos por el sentido del gusto, ellos son: dulzura, amargura, acidez y salinidad (Mondino & Ferratto, 2006).

Tabla 19. Evaluación sensorial del sabor

PARÁMETROS	TRATAMIENTOS							
DE EVALUACIÓN	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Excelente								
Bueno								
Regular								
Malo								

Los valores que se asignaron a cada uno de los parámetros son los siguientes:

Se le asignó el valor de 4 si es excelente, si es bueno de 3, si es regular de 2 y si es malo de 1

Aceptabilidad

Las pruebas de aceptabilidad se emplean para determinar el grado de aceptación de un producto por parte de los consumidores. Para determinar la aceptabilidad de un producto se pueden usar escalas categorizadas, pruebas de ordenamiento y pruebas de comparación pareada. La aceptabilidad de un producto generalmente indica el uso real del producto (compra y consumo). (B.M. Watts, 1992)

Tabla 20. Evaluación sensorial de textura

PARÁMETROS	TRATAMIENTOS							
DE EVALUACIÓN	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Excelente								
Bueno								
Regular								
Malo								

Los valores que se asignaron a cada uno de los parámetros son los siguientes:

Se asignó el valor de 4 si le excelente, buena de 3, regular de 2 y no tiene de 1

3.6 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Recolección- se recolectó jícama con un tiempo de madurez de 8 meses en el sector de Tupigachi, comunidad Agualongo, provincia de pichincha del productor Silverio Cuazcota.

Pesado inicial- se realizó con el fin de registrar la cantidad de materia prima que se utiliza en el proceso, se utilizó con una balanza digital. Repartiendo 17kg de jícama para exponer 6 días al sol y 17 kg de jícama fresca almacenada bajo sombra.

Selección y clasificación - se procedió a desechar jícama *Smallanthus sonchifolius* con malas características, tales como perforaciones por insectos o apariencia extraña.

Pesado- se efectuó para registrar la cantidad de jícama que está en buen estado que ingresa en el proceso.

Lavado - se llevó a cabo para eliminar las impurezas que se encontró adheridas a la raíz, con agua potable, luego se procede a enjuagar para eliminar cualquier agente adherido.

Mondado – una vez limpia se procedió a retirar la corteza de la jícama, dejando preparada para su corte en forma de hojuelas. (No se realizó un escaldado previo para mantener sus características naturales).

Escaldado-la realización de este pre tratamiento nos permitió ablandar los productos, fijar los colores, eliminar los gases intercelulares responsables de reacciones de oxidación y destruir las enzimas que pueden provocar alteración se realizó por 30s a 85°C.

Cortado- para cortar se utilizó una rebanadora que nos permitió mantener: uniformidad y limpieza en la jícama *Smallanthus sonchifolius*, cuya apreciación deberá ser de 2mm de espesor.

Preparación de bandeja- colocamos los trozos de jícama *Smallanthus sonchifolius* ya preparados sobre las bandejas de acero inoxidable previamente desinfectadas para su deshidratación., todos en capas delgadas y regulares.

Secado- se utilizó 2 **velocidades del aire de secado de 2 y 4 m/s**, **temperaturas de 50 y 55 °C** y jícama con **0 y 6 días de exposición al sol** con una densidad de carga de 500g/m².

Se siguió el monitoreo para la toma de datos, y se procedió a realizar las curvas de secado.

Envasado.- se realizó en fundas de polietileno de alta densidad y sellados herméticamente, para así conservar sus características.

Almacenamiento.- se realizó a temperatura ambiente 21°C en lugares frescos y bajo sombra.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS Y NUTRICIONALES DE LA JÍCAMA *Smallanthus sonchifolius*.

Tabla 21 Resultados de análisis de jícama fresca

ANÁLISIS DE JÍCAMA FRESCA (100g M.)			
PARÁMETRO ANALIZADO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO DE ENSAYO
Humedad	87,00	%	AOAC 925.10
Sólidos solubles	13,22	°Brix	Refractometría
Azúcares Reductores	3,20	%	AOAC 932.14C
Proteína	2,16	%	AOAC 920.87
Fibra Bruta	3,90	%	AOAC 978.10
Extracto etéreo	0,03	%	AOAC 920.85
Cenizas	3,90	%	AOAC 923.03
pH	6,03	-----	AOAC 981.12
Carbohidratos totales	7,26	%	Cálculo

Fuente: (IANCEM., (2015)

La materia prima utilizada en la elaboración de hojuelas de jícama en estado fresco con madurez comercial, proveniente de la ciudad de Cayambe del biocorredor Pisque-Mojanda-San Pablo sector Tupigachi del productor Silverio Cuascota, se realizó al inicio de la investigación el análisis físico químico en raíz fresca representada en la tabla 21, para poder evaluar al final la diferencia que presenta la hojuela de jícama deshidratada con respecto a la raíz fresca donde se obtuvo las siguientes características físico químicas en su composición en jícama fresca con , 87,00 % de humedad, 13,22 °Brix de concentración de sólidos solubles, azúcares reductores 3,20 % pH. 6,03, proteína 2,16 %, fibra bruta 3,90%, cenizas 3.90 % y carbohidratos 7,26 %.

4.2 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DE LAS HOJUELAS DE JÍCAMA SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS DESHIDRATADA

4.3 SÓLIDOS SOLUBLE ° BRIX

4.3.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE SÓLIDO SOLUBLE ° BRIX

Tabla 22 Valores de grados °Brix

°Brix					
Tratamiento	R1	R2	R3	Σ TOTAL	Media
A1B1C1	85,47	82,00	81.02	248,49	82,83
A1B1C2	63,10	67,36	67,33	197,79	65,93
A1B2C1	83,18	82,49	82,51	248,18	82,72
A1B2C2	62,00	59,00	62,00	183,00	61,00
A2B1C1	80,10	83,38	83,35	246,83	82,28
A2B1C2	79,37	80,29	80,27	239,93	79,98
A2B2C1	67,52	71,25	71,23	210,00	70,00
A2B2C2	81,75	81,54	85,55	248,84	82,96

CV: 2,47%

Tabla 23 Análisis de varianza de sólidos solubles

Resultados para el Análisis de Varianza						
F.V	SC	GL	CM	F. cal	F. Tab 5%	F. Tab 1%
Total	1743,79	23				
Trat.	1700,59	7	242,94	89,97 **	2,66	4,03
FA	146,47	1	146,47	54,24 **	4,49	8,53
FB	106,89	1	106,89	39,58 **	4,49	8,53
FC	358,74	1	358,74	132,87 **	4,49	8,53
IAB	6,84	1	6,84	2,53 ns	4,49	8,53
IAC	925,66	1	925,66	342,83 **	4,49	8,53
IBC	40,74	1	40,74	15,08**	4,49	8,53
IABC	115,23	1	115,23	42,67 **	4,49	8,53
Error	43,19	16	2,70			

** : Alta significancia

* : Significancia

NS: no significancia

Al realizar el análisis de varianza para la variable sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix) en jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada, se observa que existe alta significación estadística para tratamientos, para la temperatura de deshidratación (**factor A**), velocidad de aire de secado (**factor B**) y días de exposición al sol (**factor C**), en la temperatura deshidratación y días de exposición al sol (**interacción A*C**), velocidad de aire de secado y días de exposición al sol (**B*C**) y temperatura de deshidratación, velocidad de aire de secado y días de exposición al sol (**A*B*C**) con un coeficiente de variación de 2.47%, se rechaza H_0 y se acepta H_1 , se procedió a realizar pruebas de significación TUKEY y Diferencia Mínima de Significación.

Tabla 24 Prueba de tukey para tratamientos variable sólidos solubles

Ubicación de Rangos de Tratamientos		
Tratamientos	Medias	Tukey
A2B2C2	83,00	A
A1B1C1	82,83	A B
A1B2C1	82,78	A B
A2B2C2	81,68	A B C
A2B1C2	79,98	B C
A2B2C1	70,00	D
A1B1C2	65,93	E
A1B2C2	61,00	F

Para este tipo de investigación se realizó pruebas de significación TUKEY al 5%, para determinar los mejores tratamientos analizados.

Tenemos el mejor tratamiento: **A2B2C2**. (55°C, 4m/s y 6 días de exposición al sol) con 82.96 °Brix.

Tabla 25 Prueba de Diferencia Mínima de Significación para factores A, B y C variables sólidos solubles

Rangos para el factor F(A)		
Tratamientos	Medias	DMS
A2	78,48	A
A1	73,54	B

Rangos para el factor F(B)		
Tratamientos	Medias	DMS
B1	78,12	A
B2	73,90	B

Rangos para el factor F(C)		
-----------------------------------	--	--

Tratamientos	Medias	DMS
C1	79,88	A
C2	72,15	B

Se realizó pruebas de Diferencia Mínima de Significación al 5%, para determinar el mejor nivel de cada factor en estudio.

Como resultado tenemos:

*El mejor nivel del factor A (temperatura) es A2 (55°C) con la media más alta.

*El mejor nivel del factor B (velocidad de aire de secado) es B1 (2m/s) con la media más alta.

*El mejor nivel del factor C (días de exposición al sol) es C1 (0 días).

4.3.2 INTERACCIÓN AXC Y BXC VARIABLE °BRIX

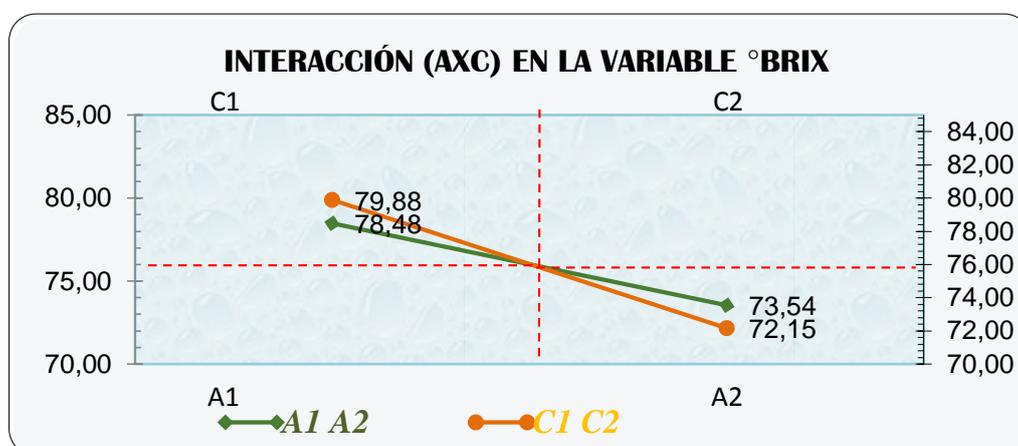


Figura 24 Interacción (AXC) °Brix

En el gráfico anterior, se observa que el punto crítico de la interacción entre los factores A (temperatura de deshidratación) y C (días de exposición al sol) en la variable °Brix del producto terminado es 76,00. Es decir, que este valor es el mejor °Brix, el cual influye directamente en la temperatura de deshidratación y días de exposición al sol.

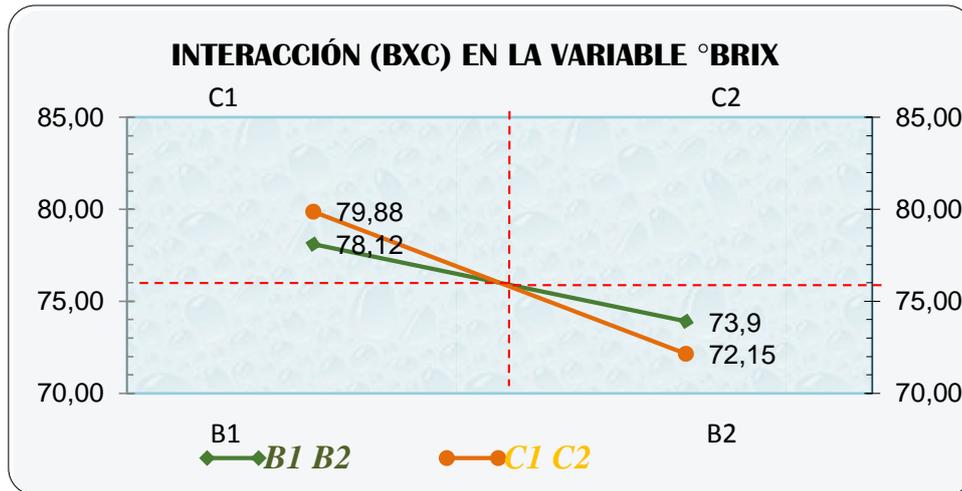


Figura 25 Interacción (BXC) variable °Brix

En el gráfico anterior, se observa que el punto crítico de la interacción entre los factores B (velocidad de secado) y C (días de exposición al sol) en la variable °Brix del producto terminado es 76,00. Es decir, que este valor es el mejor de sólidos solubles °Brix, el cual influye directamente en la Velocidad de secado y días de exposición al sol.

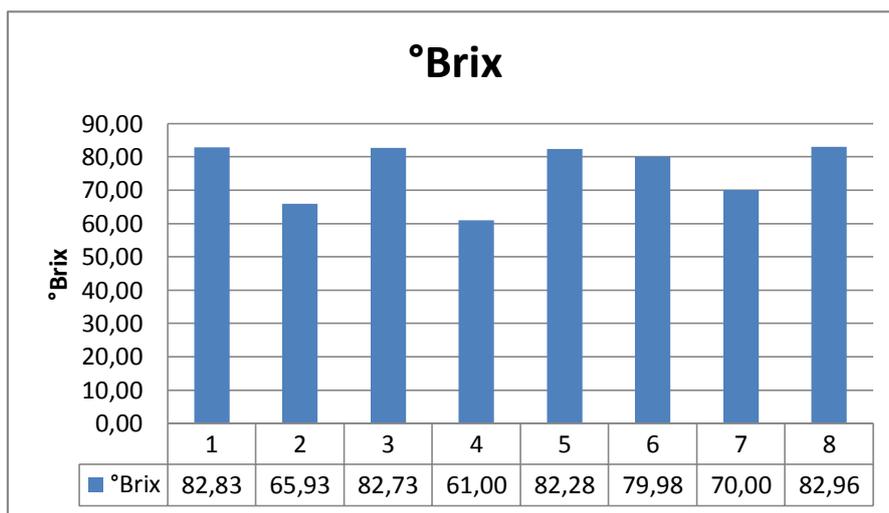


Figura 26 Comportamiento de los tratamientos de la variable °Brix

Una vez obtenido los datos de la investigación en la figura 26, el tratamiento T8 (55°C /4m/s /6días) presenta la mayor concentración de sólidos solubles cuyo nivel es de 82,96 g en muestra de 100g de jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada, al igual que el T1

(50°C /2m/s /0días) con un nivel de 82,83 g en 100g de muestra de jícama *Smallanthus sonchifolius* y T3 (50°C /4m/s /0días) presenta al igual que los anteriores tratamientos una mayor concentración de sólidos solubles cuyo nivel es de 82,73g .

El resultado de solidos solubles para el tratamiento 8 es de 82,96 g en muestra de 100g de jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada, en la comparación de resultados citados a continuación por otras investigación, podemos observar que los sólidos solubles se encuentra en una excelente concentración utilizando en método de secado convencional por lo que se ha realizado una comparación de resultados con otra investigación ya pública sobre la concentración de solidos solubles, en la que aplican diferentes procesos de deshidratación como método de conservación, y diferentes factores de estudio para estandarización de procesos agroindustriales citados a continuación.

En la investigación de (Olmedo, (2008) hace referencia a las características físico químicas de los productos, demostrando el contenido de sólidos solubles mediante el método de secado convencional y método de secado osmótico donde tiene como resultado los valores de la tabla 26.

Tabla 26 Tabla de comparación del contenido de sólidos solubles

CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS EN LOS TRATAMIENTOS APLICADOS		
PARÁMETROS FÍSICO - QUÍMICOS	MELÓN CON SECADO CONVENCIONAL	MELÓN SECO TRATADO OSMÓTICAMENTE
SÓLIDOS SOLUBLES(°BRIX)	71,00	84,00
HUMEDAD %	15,00	10,00
pH	6,18	5,28

Fuente: Emma Coloma O., 2008

Demostrando que el rango comparativo con el valor obtenido en la investigación es de 82,96 por lo que se encuentra dentro de los parámetros de comparación.

(Ordóñez, 2002)Plantearon una alternativa para industrializar manzanas osmo deshidratadas en rodajas con solución de sacarosa de 65 °Brix y vitamina C al 2,50 % p/p, por 4 horas a temperaturas de 20, 30 y 40 °C y presión atmosférica de vacío y vacío pulsante.

La cinética del proceso se estudió por los parámetros de reducción de peso, de agua y ganancia de sólidos. Luego de la deshidratación, se secó el producto con aire caliente a 70 °C.

Se realizaron pruebas fisicoquímicas antes y después del proceso de deshidratación osmótica y secado. Los resultados del método de secado se obtuvieron 80 ° °Brix determinando que el método nos ayuda a la concentración de sólidos.

4.4 AZUCARES REDUCTORES

4.4.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE AZUCARES REDUCTORES.

Tabla 27 Valores de azucares reductores

azucares reductores					
Tratamientos	R1	R2	R3	Σ TOTAL	media
A1B1C1	28,25	27,10	28,22	83,57	27,857
A1B1C2	20,85	22,26	22,24	65,35	21,783
A1B2C1	27,49	27,26	27,25	82,00	27,333
A1B2C2	20,49	19,50	20,45	60,44	20,147
A2B1C1	26,47	27,56	27,55	81,58	27,193
A2B1C2	26,23	26,54	26,22	78,99	26,330
A2B2C1	22,32	23,55	23,51	69,38	23,127
A2B2C2	27,02	26,95	27,00	80,97	26,990

CV: 2,15%

Tabla 28 Análisis de varianza de azúcares reductores

Resultados para el Análisis de Varianza						
F.V	SC	GL	CM	F. cal	F. Tab 5%	F. Tab 1%
Total	189,11	23				
Trat.	184,45	7	26,3501	90,42 **	2,66	4,03
FA	15,94	1	15,94	54,70 **	4,49	8,53
FB	11,62	1	11,62	39,87 **	4,49	8,53
FC	39,47	1	39,47	135,46 **	4,49	8,53
IAB	0,58	1	0,58	2,00 ns	4,49	8,53
IAC	99,14	1	99,14	340,23 **	4,49	8,53
IBC	4,89	1	4,89	16,80 **	4,49	8,53
IABC	12,78	1	12,78	43,88 **	4,49	8,53
Error	4,66	16	0,29			

** : Alta significancia

* : Significancia

NS : no significancia

Al realizar el análisis de varianza para la variable azúcares reductores en jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada, se observa que existe alta significación estadística para tratamientos, para temperatura de deshidratación (**factor A**), velocidad de aire de secado (**factor B**) y días de exposición al sol (**factor C**), en la temperatura deshidratación y días de exposición al sol (**interacción A*C**), velocidad de aire de secado y días de exposición al sol (**B*C**) y temperatura de deshidratación, velocidad de aire de secado y Días de exposición al sol (**A*B*C**) tenemos un coeficiente de variación de 2.15%, se rechaza H_0 y se acepta H_1 , se procedió a realizar pruebas de significación TUKEY y Diferencia Mínima de Significación.

Tabla 29 Prueba de tukey para tratamientos de la variable azucares reductores

Ubicación de Rangos de Tratamientos					
Tratamientos	Medias	DMS	Duncan	SNK	Tukey
A1B1C1	27,86				A
A1B2C1	27,33				A B
A2B1C1	27,19				A B
A2B2C2	26,99				A B C
A2B1C2	26,33				B C
A2B2C1	23,13				D
A1B1C2	21,78				E
A1B2C2	20,15				F

Para este tipo de investigación se realizó pruebas de significación TUKEY al 5%, para determinar los mejores tratamientos analizados.

Tenemos el mejor tratamiento: **A1B1C1**. (50°C, 2m/s y 0 días de exposición al sol).

Tabla 30 Prueba de Diferencia Mínima de Significación para los factores A, B y C de la variable azucares reductores

Rangos para el factor F(A)

Tratamientos	Medias	DMS
A2	25,91	A
A1	24,28	B

Rangos para el factor F(B)

Tratamientos	Medias	DMS
--------------	--------	-----

B1	25,79	A
B2	24,40	B

Rangos para el factor F(C)

Tratamientos	Medias	DMS
C1	26,38	A
C2	23,81	B

Se realizó pruebas de significación Diferencia Mínima de Significación al 5%, para determinar el mejor nivel de cada factor en estudio.

Como resultado tenemos:

*El mejor nivel del factor A (temperatura) es A2 (55°C) con la media más alta.

*El mejor nivel del factor B (velocidad de aire de secado) es B1 (2m/s) con la media más alta.

*El mejor nivel del factor C (días de exposición al sol) es C1 (0 días).

4.4.2 INTERACCIÓN AXC Y BXC VARIABLE AZUCARES REDUCTORES

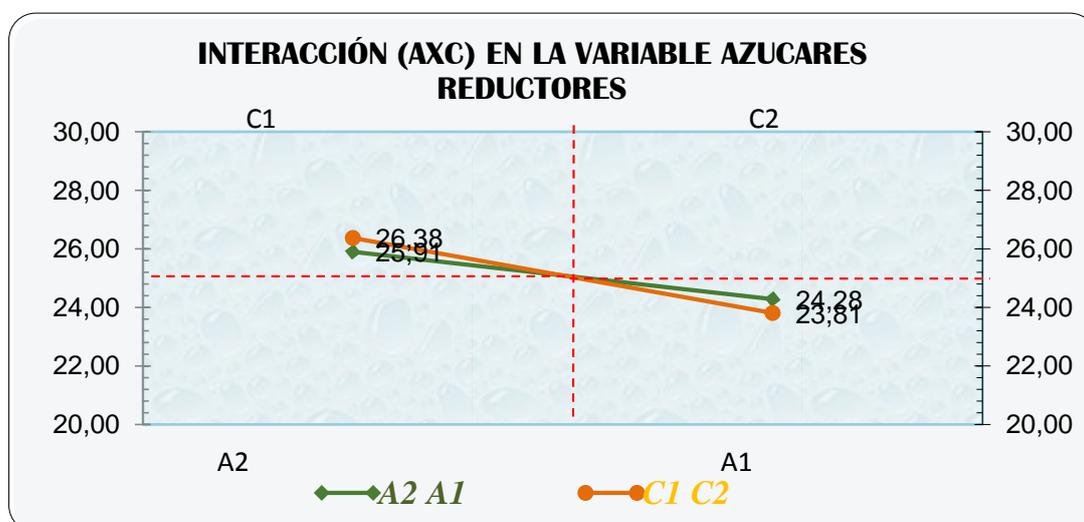


Figura 27 Interacción (AXC) Azúcares reductores

En el gráfico anterior, se observa que el punto crítico de la interacción entre los factores A (temperatura de deshidratación) y C (días de exposición al sol) en la variable °Brix del producto terminado es 25,00. Es decir, que este valor es el mejor azúcar reductor, el cual influye directamente en la temperatura de deshidratación y días de exposición al sol.

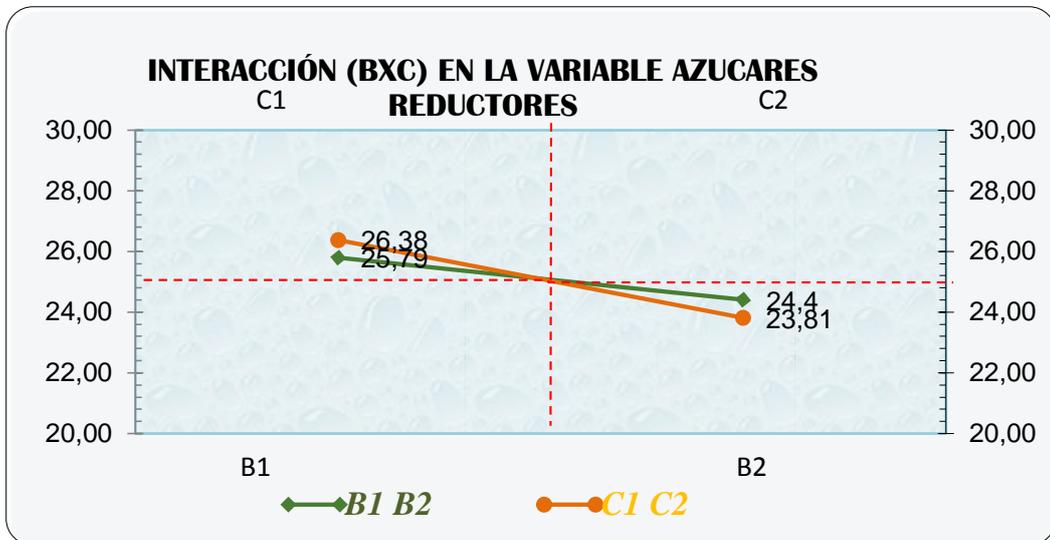


Figura 28 Interacción (BXC) Azúcares reductores

En el gráfico anterior, se observa que el punto crítico de la interacción entre los factores B (velocidad de secado) y C (días de exposición al sol) en la variable °Brix del producto terminado es 25,00. Es decir, que este valor es el mejor azúcar reductor, el cual influye directamente en la Velocidad de secado y días de exposición al sol.

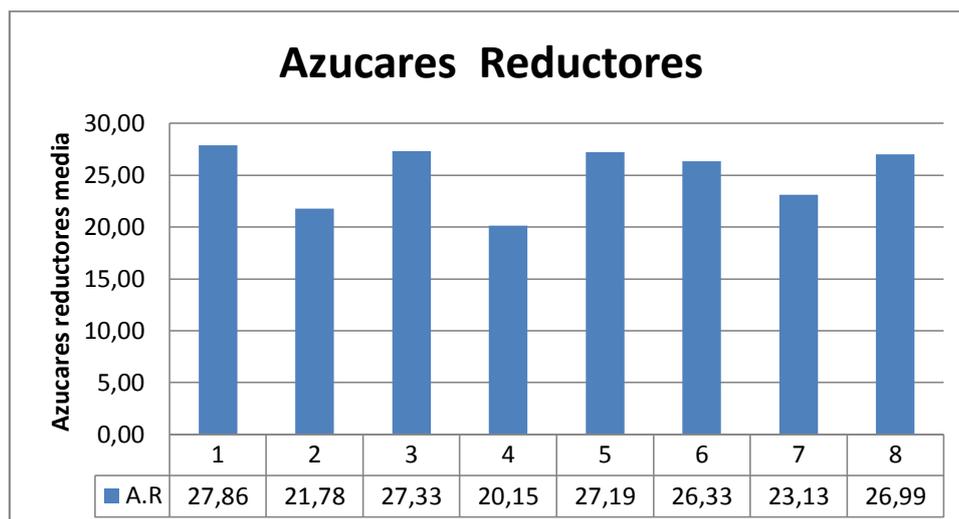


Figura 29 Comportamiento de los tratamientos de la variable azúcares reductores

Como resultado de los ocho tratamientos en la variable azúcares reductores se obtuvo los siguientes resultados descritos en la figura 29, el tratamiento T1 (50°C /2m/s /0 días) presenta la mayor concentración de Azúcares reductores cuyo nivel es de 27,86g en muestra de 100g de jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada, al igual que el T3 (50°C /4m/s /0días) con un nivel de 27,33g en 100g de muestra de jícama *Smallanthus sonchifolius* con mayor nivel de concentración.

Es necesario recalcar que dentro de la investigación la determinación de los azúcares reductores de la jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada se realizó sin un rango comparativo al no existir norma INEN que especifique los rangos de azúcares reductores que deben tener los productos deshidratados. Pero se tomó como referencia el resultado de la investigación científica de Cortez Ortiz donde aplican técnicas de DNS que es un método donde utiliza concentraciones la experimentación la realizo como materia prima para determinar la concentración de azúcares reductores en cascaras de naranja deshidratada y en banano.

Manifiesta (Cortes William G C Ortiz et al., (2013) Al aplicar la técnica DNS, se pudo determinar que la mayor cantidad de azúcares se encuentran en las cáscaras de naranja, pues su valor más alto se reportó en la muestra N3, es decir, esta muestra contenía 59,88 g/L de glucosa. Sin embargo, la cantidad de azúcares que se reportaron en las muestras de banano

son significativamente altas a las reportadas por (Hoyos y Pérez ., (2003) con un valor de 28,77 g/L de azúcares reductores.

La concentración de azúcares reductores que se obtuvieron muestran un valor alto, debido a que el tiempo que permanecieron las muestras sumergidas en Hidróxido de Concentración g/L Cuantificación de azúcares reductores en las cáscaras de naranja y banana Sodio (NaOH) para la eliminación de lignina fue de 24 horas, en cambio en la investigación realizada por Hoyos y Pérez el tiempo que permanecieron sumergidas las muestras fue de 15 min, por lo tanto se infiere que el tiempo es un factor importante en la eliminación del polímero de las cáscaras por el método, realizando que la concentración sea por 15 min para su posterior deshidratación en tiempo de 5h en que se obtuvo como resultado concentraciones de azucares reductores de 28.19 g/l como producto final presentando características organolépticas muy buenas.

4.5 HUMEDAD

4.5.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE HUMEDAD

Tabla 31 Valores de la humedad

humedad					
tratamientos	R1	R2	R3	Σ TOTAL	Media
A1B1C1	10,74	10,48	10,5	31,72	10,57
A1B1C2	12,24	12,56	12,22	37,02	12,34
A1B2C1	14,25	14,95	14,25	43,45	14,48
A1B2C2	14,72	14,66	14,65	44,03	14,68
A2B1C1	11,23	11,86	11,22	34,31	11,44
A2B1C2	12,45	10,06	10,04	32,55	10,85
A2B2C1	13,20	13,32	13,2	39,72	13,24
A2B2C2	11,68	12,38	11,66	35,72	11,91

CV 4,44

Tabla 32 Análisis de la varianza de humedad

F.V	SC	GL	CM	F. cal	F. Tab 5%	F. Tab 1%
Total	56,29	23				
Trat.	51,39	7	7,34	23,97 **	2,66	4,03
FA	8,07	1	8,07	26,36 **	4,49	8,53
FB	31,09	1	31,09	101,56 **	4,49	8,53
FC	0,00	1	0,00	0,00 ns	4,49	8,53
IAB	4,30	1	4,30	14,04 **	4,49	8,53
IAC	5,64	1	5,64	18,43 **	4,49	8,53
IBC	2,01	1	2,01	6,59 ns	4,49	8,53
IABC	0,25	1	0,25	0,83 ns	4,49	8,53
Error	4,89	16	0,30			

** : Alta significancia

* : Significancia

NS: no significancia

Al realizar el análisis de varianza para la variable humedad en jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada, se observa que existe alta significación estadística para tratamientos, para la temperatura de deshidratación (**factor A**), velocidad de aire de secado (**factor B**) y en la temperatura de deshidratación y velocidad de aire de secado (**interacción A*B**), temperatura de deshidratación y días de exposición al sol (**A*C**) tenemos un coeficiente de variación de 4.45%, se rechaza H_0 y se acepta H_1 , se procedió a realizar pruebas de significación TUKEY y Diferencia Mínima de Significación.

Tabla 33 Prueba de tukey para tratamientos de la variable humedad

Test: Tukey Alfa=0,05						
DMS=1,56423						
Error: 0,3062 gl: 16						
TRAT	Medias	n	E.E.			
T1	10,57	3	0,32	A		
T6	10,85	3	0,32	A	B	
T5	11,44	3	0,32	A	B	
T8	11,91	3	0,32	A	B	C
T2	12,34	3	0,32		B	C
T7	13,24	3	0,32			C D
T3	14,48	3	0,32			D
T4	14,68	3	0,32			D

Para este tipo de investigación se realizó pruebas de significación TUKEY al 5%, para determinar los mejores tratamientos analizados.

Tenemos el mejor tratamiento: **A1B1C1**. (50°C, 2m/s y 0 días de exposición al sol) ya que representa la humedad más baja que es 10.57.

Tabla 34 Pruebas de Diferencia Mínima de Significación para los factores A, B y C de la variable humedad

Rangos para el factor F(A)		
Tratamientos	Medias	DMS
A2	10,48	A
A1	11,30	A

Rangos para el factor F(A)		
Tratamientos	Medias	DMS
B1	10,68	A
B2	11,02	B

Rangos para el factor F(A)

Tratamientos	Medias	DMS
C1	12,44	A
C2	10,06	B

Se realizó pruebas de Diferencia Mínima de Significación al 5%, para determinar el mejor nivel de cada factor en estudio.

Como resultado tenemos:

*El mejor nivel del factor A (temperatura) es A2 (55°C) con la media más baja.

*El mejor nivel del factor B (velocidad de aire de secado) es B1 (2m/s) con la media más baja.

*El mejor nivel del factor C (días de exposición al sol) es C2 (6 días).

4.5.2 INTERACCIONES AXB Y AXC DE LA VARIABLE HUMEDAD

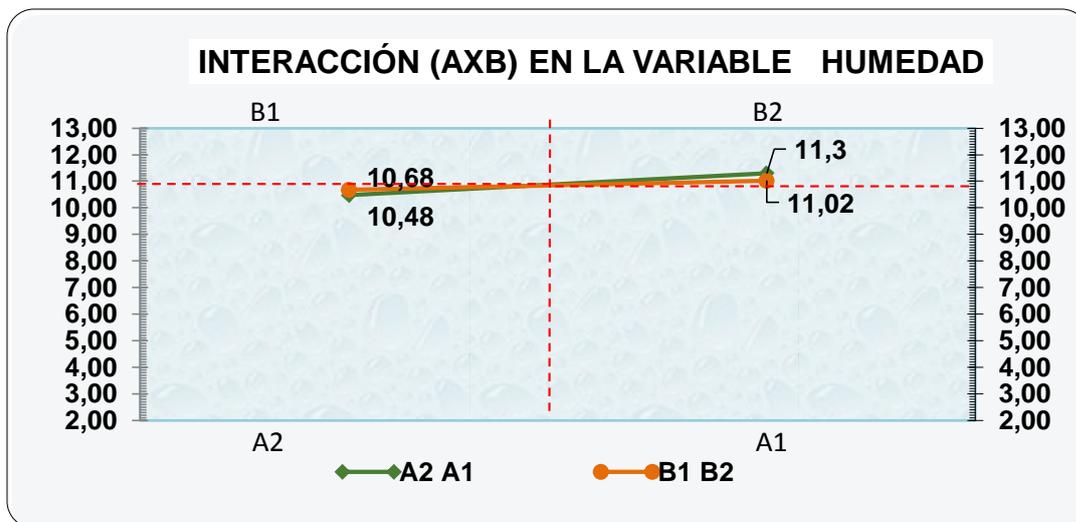


Figura 30 Interacción (AXB) Humedad

En el gráfico anterior, se observa que el punto crítico de la interacción entre los factores A (temperatura deshidratación) y B (velocidad del aire de secado) en la variable humedad del producto terminado es 10,8. Es decir, que este valor es el mejor en humedad, el cual influye directamente en la temperatura de deshidratación y velocidad del aire de secado.

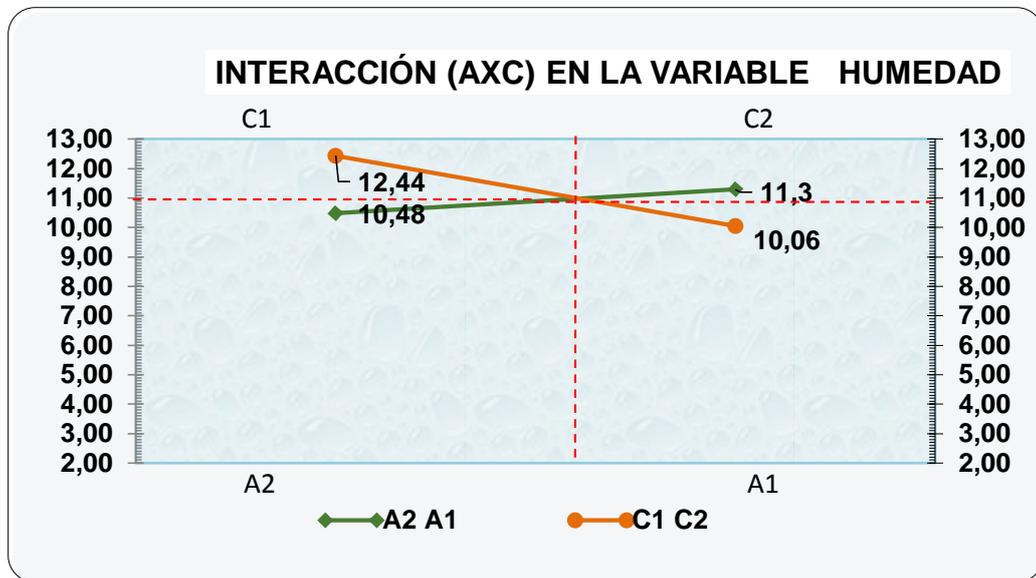


Figura 31 Interacción (AXC) Humedad

En el gráfico anterior, se observa que el punto crítico de la interacción entre los factores A (temperatura deshidratación) y C (días de exposición al sol) en la variable humedad del producto terminado es 10,89. Es decir, que este valor es el mejor en humedad, el cual influye directamente en la temperatura de deshidratación y días de exposición al sol.

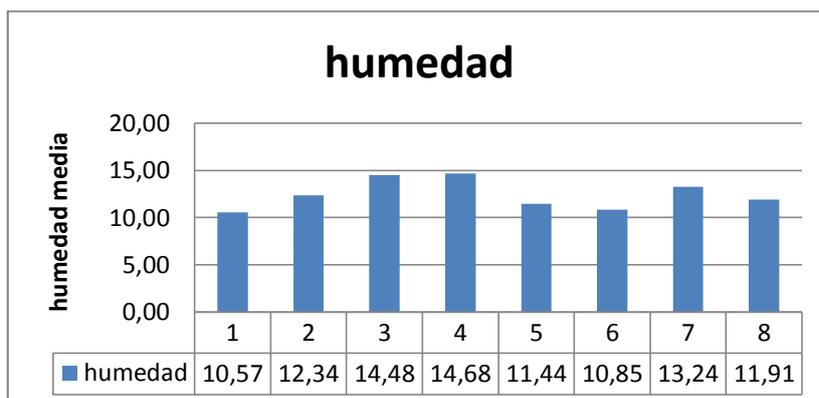


Figura 32 Comportamiento de los tratamientos variable humedad

En la figura 32 el tratamiento T1 (50°C /2m/s /0días) presenta el menor contenido de humedad cuyo nivel es de 10,57 en muestra de 100g de jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada, al igual que el T6 (55°C /2m/s /6días) con un nivel de 10,85 en 100g de muestra de jícama *Smallanthus sonchifolius*.

Para determinar la humedad en la jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada se realizó con la ayuda de una balanza infrarroja, en la que se obtuvo como resultado una humedad de 10.57 en el tratamiento T1 (50°C/ 2m/s / 0 días) que presenta la humedad más baja. Los resultados fueron comparados con la norma INEN 2996 para productos deshidratados, tomando los límites de humedad del zapallo y la uvilla (8-12 % m/m) a temperatura de 55°C como temperatura máxima, por lo cual las humedad obtenida se encuentran dentro de los límites establecidos en dicha norma.

Todos los alimentos. Cualquiera que sea el método de industrialización a la que hayan sido sometidos, contiene agua en mayor o menor proporción. Las cifras de contenido de agua varían entre un 60 y 95 % en los alimentos naturales, en los tejidos vegetales y animales se puede mencionar y decir que existen dos formas generales: agua libre y agua ligada, el agua libre o absorbida, que es la forma predominante, se libera con gran facilidad dependiendo de la composición estructural que presente el alimento a deshidratar. El agua ligada se halla combinada o adsorbida se encuentra en los alimentos como agua de cristalización (en los hidratos) o ligada a la proteínas y a las moléculas de sacáridos y adsorbida sobre la partícula coloidal. Para alimentos deshidratados por su diferenciación en su composición estructural se recomienda tener valores menores al 12% de humedad para no presentar problemas microbiológicos por mal almacenamiento y carencia de un empaque adecuado. (UNAM, 2014)

4.6 ACTIVIDAD DE AGUA (a_w)

4.6.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE ACTIVIDAD DE AGUA (a_w)

Tabla 35 Valores de la actividad de agua a_w

actividad de agua					
tratamiento	RI	R2	R3	Σ TOTAL	Media
A1B1C1	0,42	0,44	0,42	1,28	0,427
A1B1C2	0,44	0,47	0,44	1,35	0,450
A1B2C1	0,42	0,42	0,42	1,26	0,420
A1B2C2	0,47	0,46	0,46	1,39	0,463
A2B1C1	0,48	0,47	0,40	1,42	0,450
A2B1C2	0,42	0,44	0,42	1,28	0,427
A2B2C1	0,43	0,40	0,41	1,24	0,413
A2B2C2	0,42	0,44	0,42	1,28	0,427

$$CV = 2,36$$

Tabla 36 Análisis de varianza de la actividad de agua a_w

F.V	SC	GL	CM	F. cal	F. Tab 5%	F. Tab 1%
Total	0,01	23				
Trat.	0,0099	7	0,0014	11,66 **	2,66	4,03
FA	0,0001	1	0,0001	0,86 ns	4,49	8,53
FB	0,0009	1	0,0009	7,75 *	4,49	8,53
FC	0,0005	1	0,0005	4,17 ns	4,49	8,53
IAB	0,0015	1	0,0015	12,44**	4,49	8,53
IAC	0,0035	1	0,0035	29,00**	4,49	8,53
IBC	0,0026	1	0,0026	21,55**	4,49	8,53
IABC	0,0007	1	0,0007	5,82*	4,49	8,53
Error	0,0019	16	0,0001			

** : Alta significancia

* : Significancia

NS: no significancia

Al realizar el análisis de varianza para la **variable Actividad de agua** (a_w) en jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada, se observa que existe significancia estadística para tratamientos para la velocidad de aire de secado (**factor B**) y temperatura de deshidratación, velocidad de aire de secado y días de exposición al sol (**interacción A*B*C**), alta significación estadística para tratamientos, para la temperatura de deshidratación, velocidad de aire de secado (**interacción A*B**), temperatura de deshidratación y días de exposición al sol (**A*C**) y velocidad de aire de secado y días de exposición al sol (**B*C**) tenemos un coeficiente de variación de 2.5%, se rechaza H_0 y se acepta H_1 , se procedió a realizar pruebas de significación TUKEY y Diferencia Mínima de Significación.

Tabla 37 Prueba de tukey para tratamientos de la variables actividad de agua a_w

Ubicación de Rangos de Tratamientos		
Tratamientos	Medias	Tukey
A1B2C2	0,46	A
A1B1C2	0,45	A
A2B1C1	0,45	A B
A1B1C1	0,43	B C
A2B1C2	0,43	B C
A2B2C2	0,43	B C
A1B2C1	0,42	C
A2B2C1	0,41	C

Para este tipo de investigación se realizó pruebas de significación TUKEY al 5%, para determinar los mejores tratamientos analizados.

Tenemos el mejor tratamiento: **A2B2C1**. (55°C, 4m/s y 0 días de exposición al sol) y **A1B2C1**. (50°C, 4m/s y 0 días de exposición al sol).

Tabla 38 Prueba de Diferencia Mínima de Significación para los factores A, B y C de la variable actividad de agua a_w

Rangos para el factor F(A)

Tratamientos	Medias	DMS
A1	0,44	A
A2	0,44	A

Rangos para el factor F(B)

Tratamientos	Medias	DMS
B1	0,44	A
B2	0,43	B

Rangos para el factor F(C)

Tratamientos	Medias	DMS
C2	0,44	A
C1	0,43	B

Se realizó pruebas de Diferencia Mínima de Significación al 5%, para determinar el mejor nivel de cada factor en estudio.

Como resultado tenemos:

*El mejor nivel del factor A (temperatura) es A1 (50°C) y A2 (55°C) con la media más baja.

*El mejor nivel del factor B (velocidad de aire de secado) es B2 (4m/s) con la media más baja.

*El mejor nivel del factor C (días de exposición al sol) es C1 (0días) con la media más baja.

4.6.2 INTERACCIONES AXB, AXC Y BXC DE LA VARIABLE ACTIVIDAD DE AGUA a_w

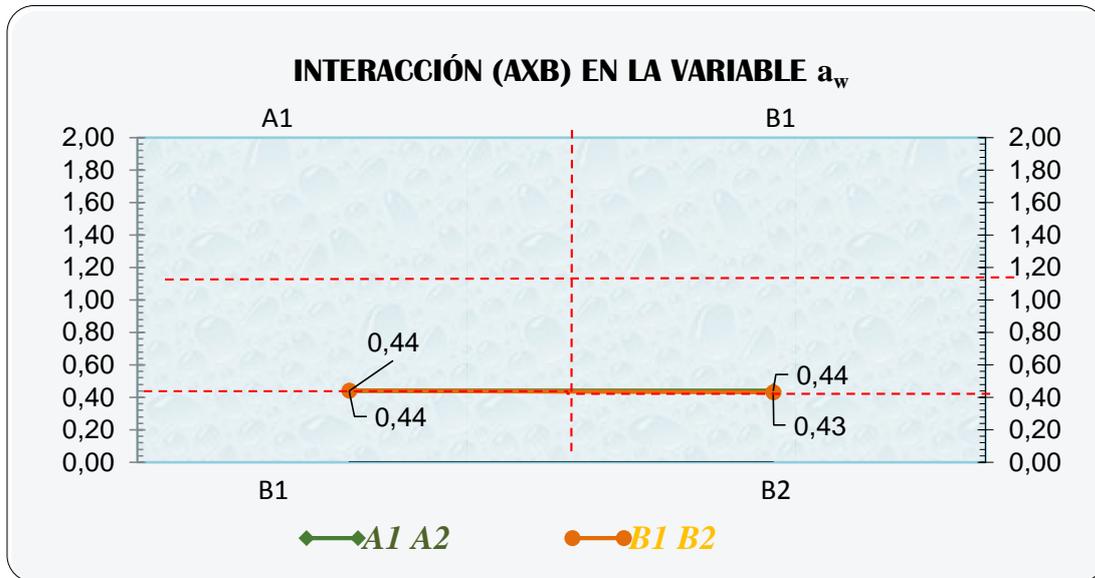


Figura 33 Interacción (AXB) a_w

En el gráfico anterior, se observa que el punto crítico de la interacción entre los factores A (temperatura de deshidratación) y B (velocidad del aire de secado) en la variable actividad de agua del producto terminado es 0,40. Es decir, que este valor es el mejor en actividad de agua, el cual influye directamente en la temperatura de deshidratación y velocidad del aire de secado.

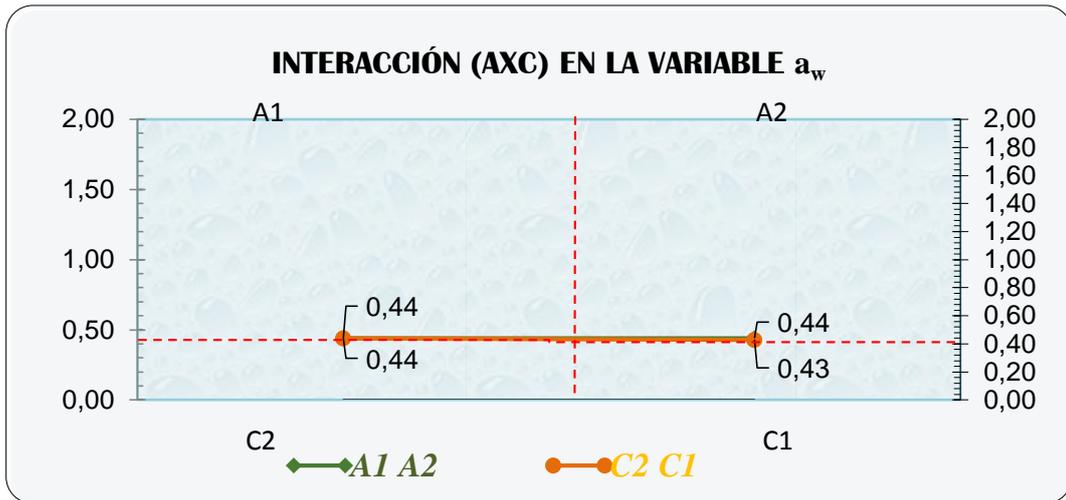


Figura 34 Interacción (AXC) a_w

En el gráfico anterior, se observa que el punto crítico de la interacción entre los factores A (temperatura de deshidratación) y C (días de exposición al sol) en la variable actividad de agua del producto terminado es 0,40. Es decir, que este valor es el mejor en actividad de agua, el cual influye directamente en la temperatura de deshidratación y Días de exposición al sol.

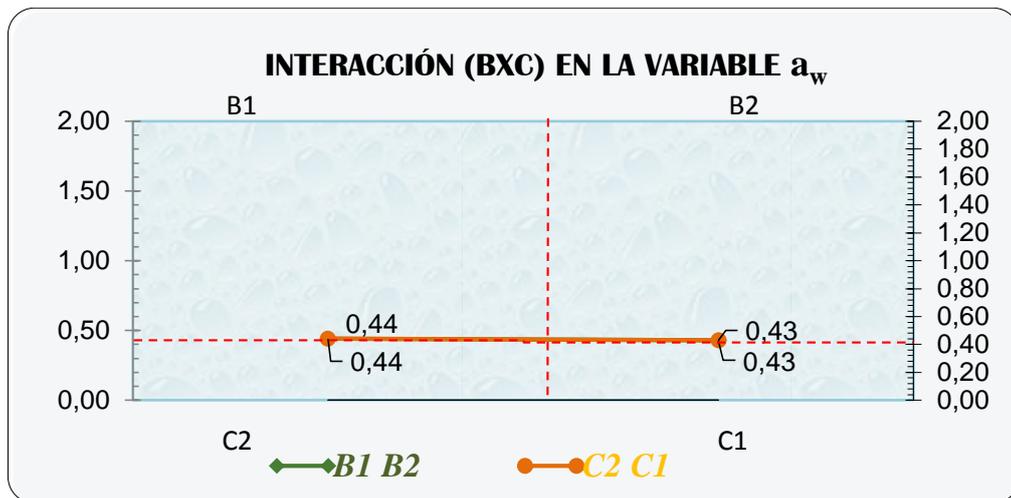


Figura 35 Interacción (BXC) a_w

En el gráfico anterior, se observa que el punto crítico de la interacción entre los factores B (velocidad del aire de secado) y C (días de exposición al sol) en la variable actividad de agua del producto terminado es 0,40. Es decir, que este valor es el mejor en actividad de agua, el cual influye directamente en la velocidad del aire de secado y días de exposición al sol.

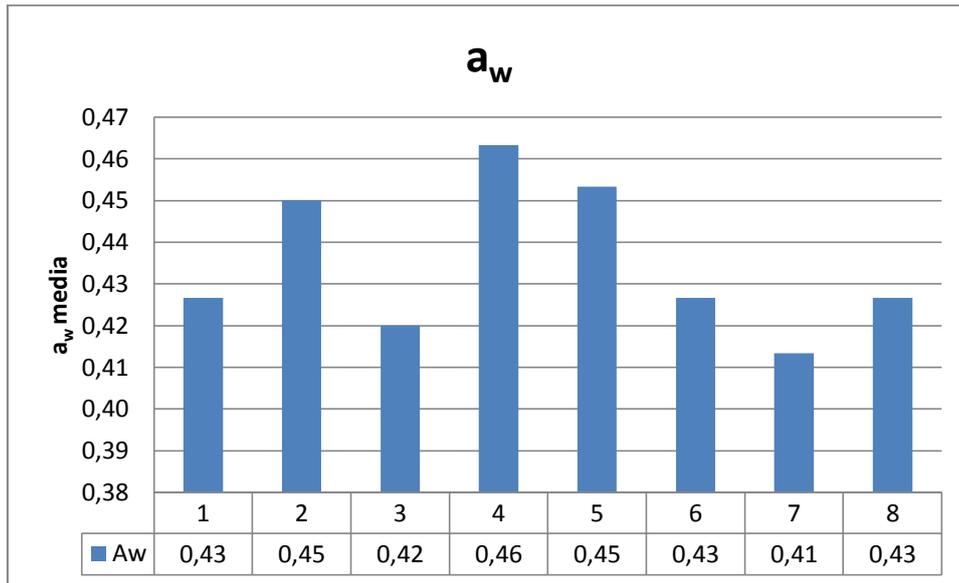


Figura 36 Comportamiento de los tratamientos de la variable actividad de agua a_w

Se determinó en el desarrollo de la investigación como variable para la deshidratación de hojuelas de jícama a la actividad de agua, ya que influye en las cualidades organolépticas y la estabilidad en almacenamiento, para determinar la seguridad de un producto con respecto al crecimiento microbiano, es el mejor indicador de la perecibilidad de un producto. Se puede ver detalladamente los resultados que se obtuvo dentro de la investigación como actúa la actividad de agua para cada tratamiento en la figura 36 se observa que el tratamiento T7 (55°C /4m/s /0días) presenta la menor concentración de actividad de agua con un nivel de 0,41 de A_w en la jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada. Y T3 (50°C /4m/s /0días) presenta al igual que el T7 la menor concentración de actividad de agua cuyo nivel es de 0,42 A_w en la jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada encontrándose en un nivel de actividad de agua recomendable como podemos reflejar en el mapa de estabilidad al igual que en la comparación de los diferentes autores que hacen referencia a la cantidad o nivel que se debe encontrar la actividad de agua para mantener un buen manejo de estabilidad en cuanto a la proliferación de microorganismos, mohos y levaduras y a la actividad que presenta el medio ambiente para que el producto presente una vida útil estable bajo condiciones no favorables para el producto .

Producto de la investigación se puede constatar con lo que menciona (Badui, 2012), el valor de actividad de agua se incrementa cuando se eleva la temperatura, ya que igualmente lo hace la presión de vapor.

Los productos deshidratados van aproximadamente de 0,3 a 0,6 de actividad de agua. El crecimiento de mohos, levaduras y bacterias se dan en actividades de agua de 0,7 a 0,8 esto se debe a que contienen agua libre en el producto.

De acuerdo a la investigación, se puede observar que al incrementar un nivel de 5°C de temperatura del aire de secado, se mantiene el contenido de actividad del agua. Al mismo tiempo se demuestra que la temperatura de secado y el espesor del material son directamente proporcionales con la actividad de agua, es decir, a menor temperatura de secado y menor espesor del material corresponde menor contenido de actividad de agua y viceversa.

(Aqualab, (2010), dice la baja actividad del agua en productos secos permite mantener una apropiada estructura, textura, estabilidad y propiedades de rehidratación.

Según (Casp Vanaclocha, (2008) A temperatura constante y bajo condiciones de equilibrio, existe una única relación entre el contenido de humedad y la actividad de agua o la humedad relativa de equilibrio de un alimento dependiendo de que el equilibrio se alcance por adsorción o por desorción. Esta relación se conoce como isoterma de equilibrio. La actividad de agua disminuye al mismo tiempo que lo hace el contenido de agua (W) la curva $W = f(a_w)$ es generalmente sigmoideal, como resultado de varios mecanismos básicos de interacción del agua ligada.

Intervalo $0,2 < a_w < 0,6$ corresponde a la parte central de la curva. En esta zona intermedia el agua se encuentra bajo forma de capas poli moleculares que recubren parcialmente la superficie del sustrato seco, las moléculas de agua están ligadas más débilmente que las de la capa anterior. La entalpia de vaporización es ligeramente superior a la del agua pura. Este tipo de agua de constitución puede entenderse como un estado de transición continuo entre agua ligada y el agua libre.

Intervalo: $a_w > 0,6$ esta tercera parte corresponde la fracción de agua libre que se en cuenta en estado líquido y que es retenida en la superficie del sustrato seco solo por fuerza de

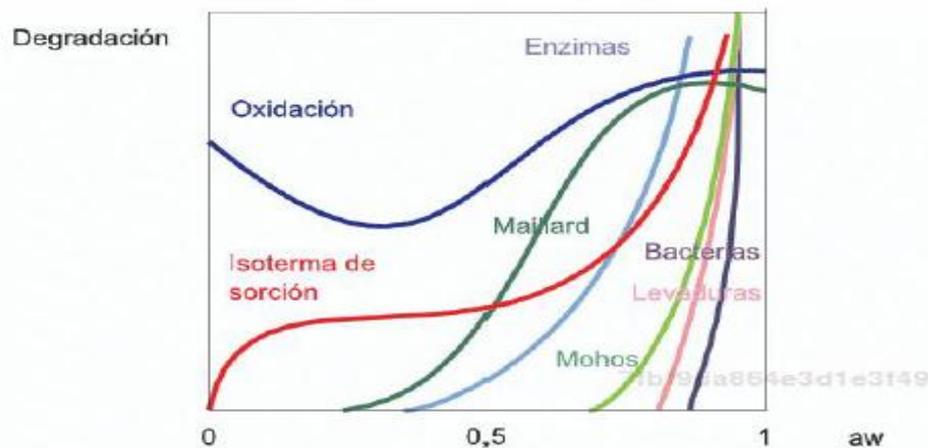
capilaridad. Es esta la única fracción de agua verdaderamente disponible para las reacciones químicas enzimáticas, etc.

En estas condiciones el crecimiento microbiano es la causa más importante de deterioro de los alimentos, por esta razón a veces se le llama agua biológica.

El estado de equilibrio isotermo depende de la forma que se alcanzado:

El proceso de incremento de humedad del alimento (ganancia de agua) se denomina adsorción, y el de reducción de esta humedad (perdida de agua) se denomina desorción. Generalmente la isoterma de desorción presenta menor contenido de humedad para una determinada actividad de agua que la isoterma de adsorción. Este fenómeno se denomina histéresis y es principalmente acusado en la zona intermedia de equilibrio. (Casp Vanaclocha, (2008).

De acuerdo a los resultados obtenidos en la actividad de agua podemos demostrar que el producto deshidratado de hojuelas de jícama se encuentra en el mapa de estabilidad dentro de los rangos donde presenta menor contenido de humedad y menor actividad enzimática por lo que presenta estabilidad.



Fuente (Casp Vanaclocha, (2008)

4.7 pH

4.7.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL VARIABLE PH

Tabla 39 Valores de los tratamientos de variable pH

TRATAMIENTOS	R1	R2	R3	Sumatoria	Media
A1B1C1	5.9	5.97	5.90	17,77	5,92
A1B1C2	5.36	5.40	5.40	16,16	5,39
A1B2C1	5.80	5.88	5.80	17,48	5,83
A1B2C2	5.99	6.01	6,00	18,00	6,00
A2B1C1	6.05	6.08	6.02	18,15	6,05
A2B1C2	5.98	5.98	5.98	17,94	5,98
A2B2C1	5.85	5.87	5.85	17,57	5,86
A2B2C2	5.87	5.87	5.87	17,61	5,87

CV: 0,45 %

Tabla 40 Análisis de varianza de pH

Resultados para el Análisis de Varianza						
F.V	SC	GL	CM	F. cal	F. Tab 5%	F. Tab 1%
Total	0,90	23				
Trat.	0,89	7	0,12	183,28 **	2,66	4,03
FA	0,14	1	0,14	205,85 **	4,49	8,53
FB	0,01	1	0,01	24,28 **	4,49	8,53
FC	0,06	1	0,06	94,42**	4,49	8,53
IAB	0,25	1	0,25	361,85 **	4,49	8,53
IAC	0,03	1	0,03	50,71**	4,49	8,53
IBC	0,23	1	0,23	337,42 **	4,49	8,53
IABC	0,14	1	0,14	208,28 **	4,49	8,53
Error	0,01	16	0,00			

** : Alta significancia

* : Significancia

NS: no significancia

Al realizar el análisis de varianza para la **variable pH** en jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada, se observa que existe alta significación estadística para tratamientos, para la temperatura deshidratación (**factor A**), velocidad de aire de secado (**factor B**) y días de exposición al sol (**factor C**), en la temperatura deshidratación y velocidad de aire de secado (**interacción A*B**), temperatura deshidratación y días de exposición al sol (**A*C**), velocidad de aire de secado y días de exposición al sol (**B*C**) y temperatura deshidratación, velocidad de aire de secado y días de exposición al sol (**A*B*C**) tenemos un coeficiente de variación de 0.45%, se rechaza H_0 y se acepta H_1 , se procedió a realizar pruebas de significación TUKEY y Diferencia Mínima de Significación.

Tabla 41 Prueba de tukey para tratamientos de la variable pH

Ubicación de Rangos de Tratamientos					
Tratamientos	Medias	DMS	Duncan	SNK	Tukey
A2B1C1	6,05				A
A1B2C2	6,00				A B
A2B1C2	5,98				B C
A1B1C1	5,92				C D
A2B2C2	5,87				D E
A2B2C1	5,86				D E
A1B2C1	5,83				E F
A1B1C2	5,39				G

Para este tipo de investigación se realizó pruebas de significación TUKEY al 5%, para determinar los mejores tratamientos analizados.

Tenemos el mejor tratamiento: **A2B1C1**. (55°C, 2m/s y 0 días de exposición al sol).

Tabla 42 Prueba de Diferencia Mínima de Significación para los factores A, B y C de la variable pH

Rangos para el factor F(A)		
Tratamientos	Medias	DMS
A2	5,94	A
A1	5,78	B

Rangos para el factor F(B)		
Tratamientos	Medias	DMS
B2	5,89	A
B1	5,84	B

Rangos para el factor F(C)		
Tratamientos	Medias	DMS
C1	5,91	A
C2	5,81	B

Se realizó pruebas de Diferencia Mínima de Significación al 5%, para determinar el mejor nivel de cada factor en estudio.

Como resultado tenemos:

*El mejor nivel del factor A (temperatura) es A1 (50°C) con la media más baja.

*El mejor nivel del factor B (velocidad de aire de secado) es B1 (2m/s) con la media más baja.

*El mejor nivel del factor C (días de exposición al sol) es C2 (6 días).

4.7.2 INTERACCIONES (AXB), (AXC) Y (BXC) DE LA VARIABLES pH

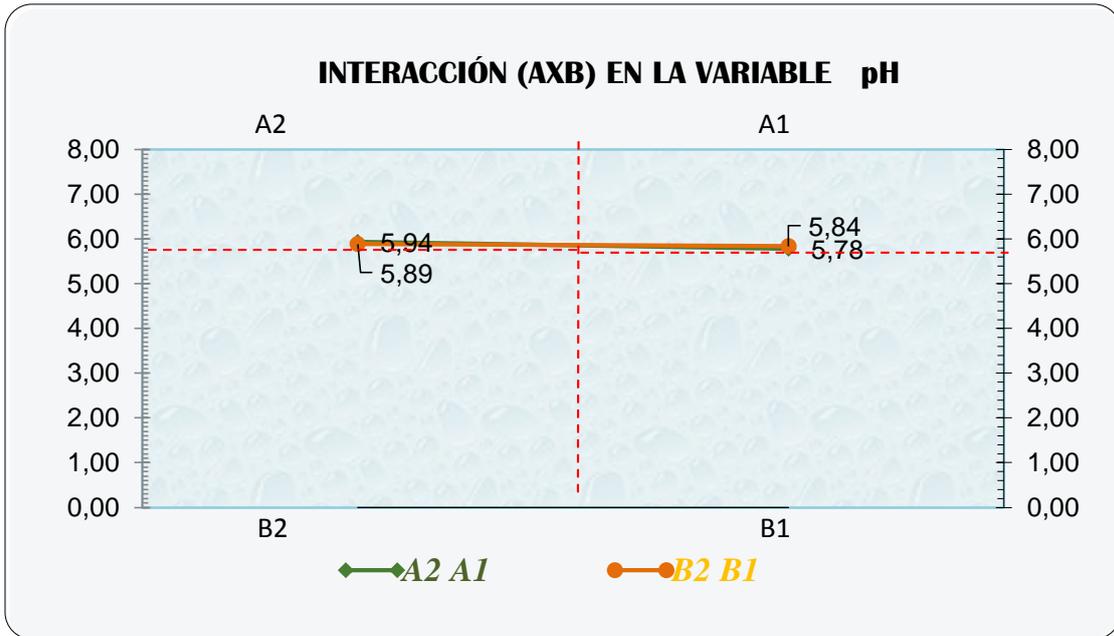


Figura 37 Interacción (AXB) pH

En el gráfico anterior, se observa que el punto crítico de la interacción entre los factores A (temperatura de deshidratación) y B (velocidad del aire de secado) en la variable pH del producto terminado es 5,7. Es decir, que este valor es el mejor pH, el cual influye directamente en la temperatura de deshidratación y velocidad del aire de secado.

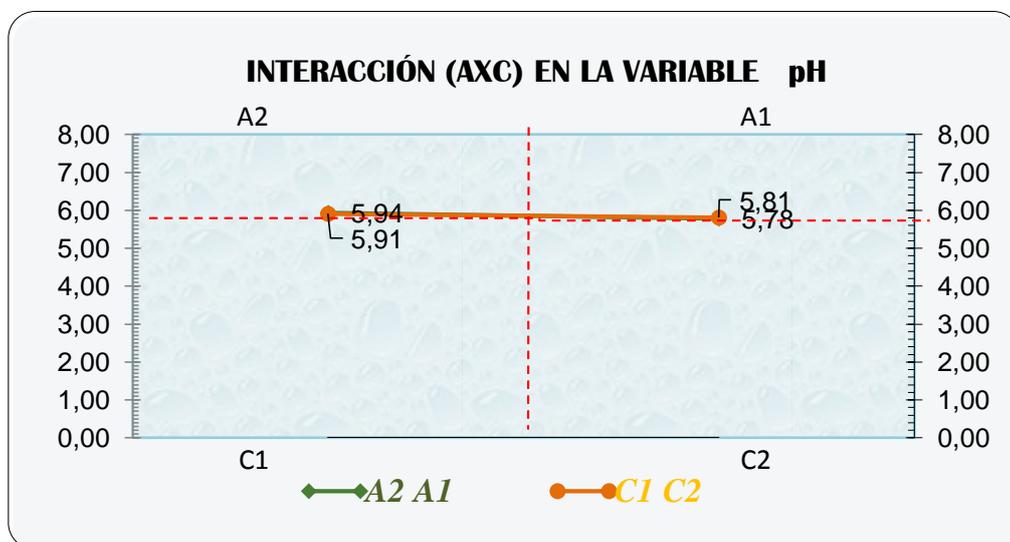


Figura 38 Interacción (AXC) pH

En el gráfico anterior, se observa que el punto crítico de la interacción entre los factores A (temperatura de deshidratación) y C (días de exposición al sol) en la variable pH del producto terminado es 5,7. Es decir, que este valor es el mejor pH, el cual influye directamente en la temperatura de deshidratación y días de exposición al sol.

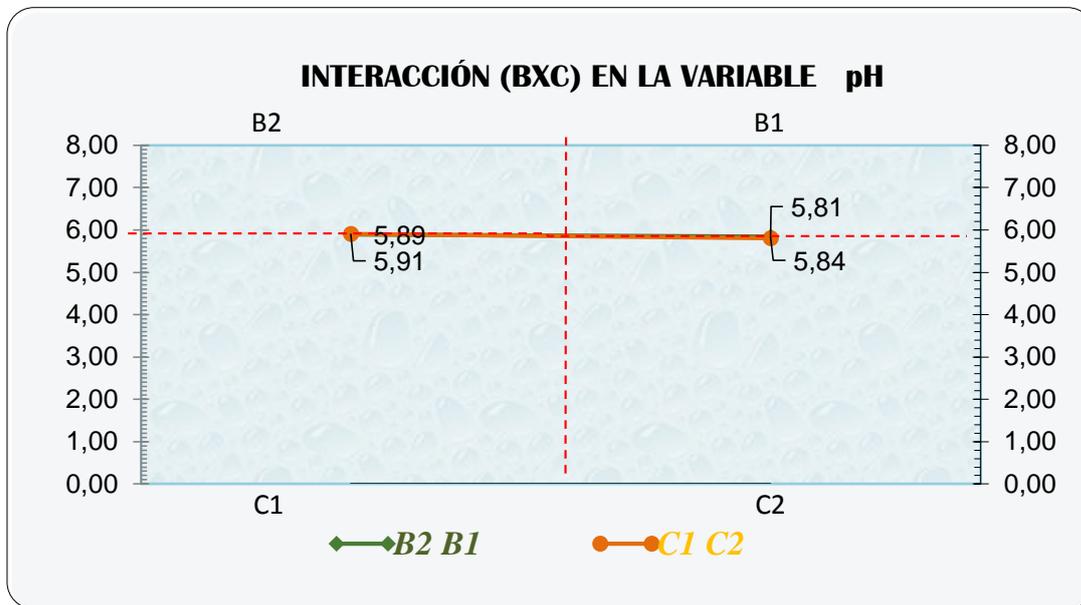


Figura 39 Interacción (BXC) pH

En el gráfico anterior, se observa que el punto crítico de la interacción entre los factores A (velocidad del aire de secado) y C (días de exposición al sol) en la variable pH del producto terminado es 5,7. Es decir, que este valor es el mejor pH, el cual influye directamente en la velocidad del aire de secado y días de exposición al sol.

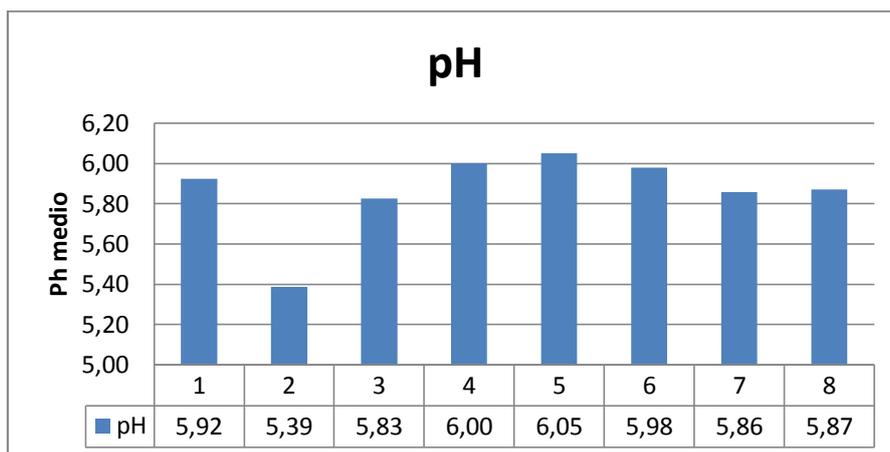


Figura 40 Comportamiento de los tratamientos variable pH

El control del pH es muy importante en la elaboración de los productos alimentarios, tanto como indicador de las condiciones higiénicas que se lleva a cabo en los diferentes procesos, como para el control de los procesos de transformación. El pH, como la temperatura y la humedad, son importantes para la conservación de los alimentos.

En la figura 40 se aprecia que el tratamiento T2 (50°C /2m/s /6días) presenta la menor cantidad de pH cuyo nivel es de 5,39 en la jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada al igual que el tratamiento T7, T8 y T1.

Según (Renato, 2008) Un valor entre 4.5 y 6.4 del producto terminado garantiza una mayor conservación de los alimentos en condiciones higiénicas, la jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada se encuentra dentro de los límites establecidos para una mayor conservación del producto final con un pH de 5.39. En su menor valor hasta un rango de 6.

En la investigación (Universidad Agraria de La Habana., 2015) Cinética de secado de fruta bomba (carica papaya l., cv. maradol roja) mediante los métodos de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente, las frutas se cortaron en cubos (trozos) de 2,5 x 2,5 x 1,0±0,02 cm (ancho, largo y espesor) y se deshidrataron mediante deshidratación osmótica (60 °C durante 10 horas) y deshidratación por aire caliente (60 °C durante 5 horas). Mediante análisis físico químico se determinó que el p H por los dos métodos para DO es 5.82 y para DAC 5.45 permitiendo que las propiedades de calidad de las frutas frescas enteras y en cubos se mantengan en excelente estado para el consumo.

Según (Dr.C. Annia García Pereira et al., 2013) Para el caso de los cubos de piña deshidratadas, en la figura 42 el valor medio de masa y talla fue de 2,75 g y de 0,9 x 4,8 ±0.2 cm para el caso de la DO y de 0,89 g y 0,8x4,3±0.2 cm por lo que el 64,32% de la masa inicial de la piña troceada fue perdida durante la obtención del producto deshidratado osmóticamente y un 88% para el producto por DAC, coincidiendo dichos resultados con los obtenidos por (Aponte y Ayala, (2006).

Tabla 43 Valores de los cubos de piña antes y después del deshidratado

Estado de la fruta	Masa Total (g)	Masa (g)	Talla de los cubos (cm)	Firmeza (kgf/cm ²)	pH	SSC (%)	Pérdida de peso (%)
Antes D.O	550	7,67	2x5x1±0.02	1,47	4,6	4	-
Después DO	350	2,75	1,9x4,8x0,9±0.02	1,82	-	-	64,32
Antes D.A.C	550	7,67	2x5x1±0.02	1,47	4,6	4	-
Después de DAC	300	0,89	1,8x4,3x0,8±0.02	2,20	-	-	88,34

FUENTE: (Dr.C. Annia García Pereira et al., 2013)

4.8 CENIZAS

4.8.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE CENIZAS

Tabla 44 Valores de la variable cenizas

TRATAMIENTOS	R1	R2	R3	Sumatoria	Media
A1B1C1	3.30	3.57	3.30	10,17	3,39
A1B1C2	3.82	3.45	3.50	10,77	3,59
A1B2C1	3.55	3.56	3.56	10,67	3,56
A1B2C2	3.63	3.38	3.40	10,41	3,47
A2B1C1	3.32	3.25	3.30	9,87	3,29
A2B1C2	3.70	3.43	3.42	10,55	3,52
A2B2C1	3.35	4.06	4.02	11,43	3,81
A2B2C2	3.16	3.32	3.30	9,78	3,26

CV: 5,33 %

Tabla 45 Análisis de varianza de la variable cenizas

Resultados para el Análisis de Varianza						
F.V	SC	GL	CM	F. cal	F. Tab 5%	F. Tab 1%
Total	1,21	23				
Trat.	0,66	7	0,09	2,73 *	2,66	4,03
FA	0,00	1	0,00	0,18 ns	4,49	8,53
FB	0,03	1	0,03	1,04 ns	4,49	8,53
FC	0,01	1	0,01	0,47 ns	4,49	8,53
IAB	0,02	1	0,02	0,57 ns	4,49	8,53
IAC	0,07	1	0,07	2,06 ns	4,49	8,53
IBC	0,42	1	0,42	12,24 **	4,49	8,53
IABC	0,08	1	0,08	2,55 ns	4,49	8,53
Error	0,55	16	0,03			

** : Alta significancia

* : Significancia

NS: no significancia

Al realizar el análisis de varianza para la **variable Cenizas** en jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada, se observa que existe significación estadística para tratamientos y alta significación para la velocidad de aire de secado y días de exposición al sol (**interacción B*C**) tenemos un coeficiente de variación de 5.33%, se rechaza H_0 y se acepta H_1 , se procedió a realizar pruebas de significación TUKEY y Diferencia Mínima de Significación.

Tabla 46 Prueba de tukey para tratamientos de la variable cenizas

Ubicación de Rangos de Tratamientos					
Tratamientos	Medias	DMS	Duncan	SNK	Tukey
A2B2C1	3,81				A
A1B1C2	3,59				A B
A1B2C1	3,56				A B
A2B1C2	3,52				A B
A1B2C2	3,47				A B
A1B1C1	3,39				A B
A2B1C1	3,29				B
A2B2C2	3,26				B

Para este tipo de investigación se realizó pruebas de significación TUKEY al 5%, para determinar los mejores tratamientos analizados.

Tenemos el mejor tratamiento: **A2B2C1**. (55°C, 4m/s y 0 días de exposición al sol).

Tabla 47 Prueba de Diferencia Mínima de Significación para los factores A, B y C de la variable

Rangos para el factor F(A)

Tratamientos	Medias	DMS
A1	3,50	A
A2	3,47	A

Rangos para el factor F(B)

Tratamientos	Medias	DMS
B2	3,52	A
B1	3,45	A

Rangos para el factor F(C)

Tratamientos	Medias	DMS
C1	3,51	A
C2	3,46	A

Se realizó pruebas de Diferencia Mínima de Significación al 5%, para determinar el mejor nivel de cada factor en estudio.

Como resultado tenemos:

*El mejor nivel del factor A (temperatura) es A1 (50°C) con la media más alta.

*El mejor nivel del factor B (velocidad de aire de secado) es B2 (4m/s) con la media más alta.

*El mejor nivel del factor C (días de exposición al sol) es C1 (0 días).

4.8.2 INTERACCIÓN (BXC) DE LA VARIABLES CENIZAS

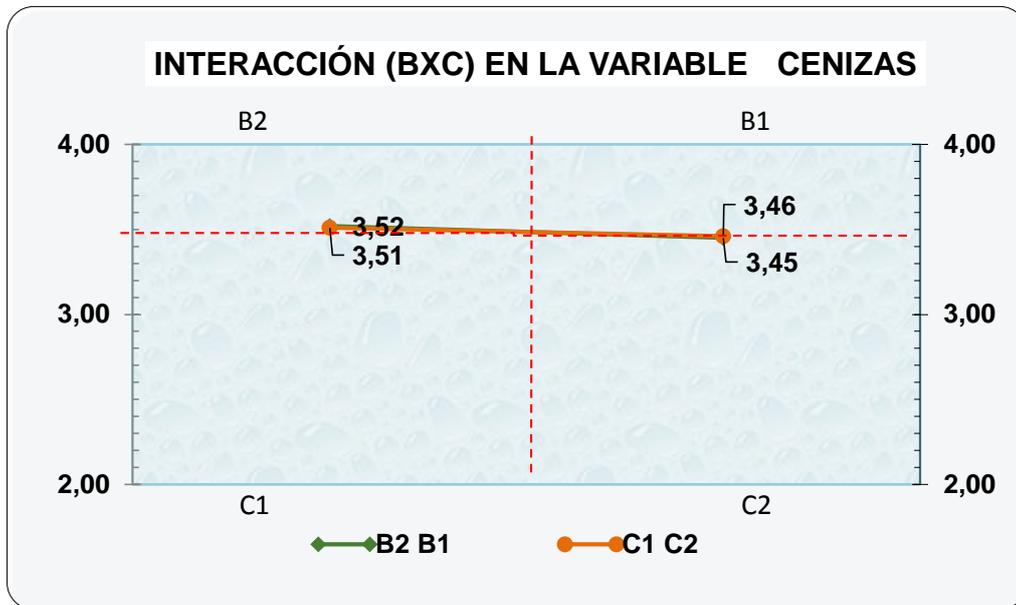


Figura 41 Interacción (BXC) Cenizas

En el gráfico anterior, se observa que el punto crítico de la interacción entre los factores B (velocidad del aire de secado) y factor C (días de exposición al sol) en la variable cenizas del producto terminado es 3,48. Es decir, que este valor es el mejor en contenido de cenizas, el cual influye directamente en la velocidad del aire de secado y días de exposición al sol.

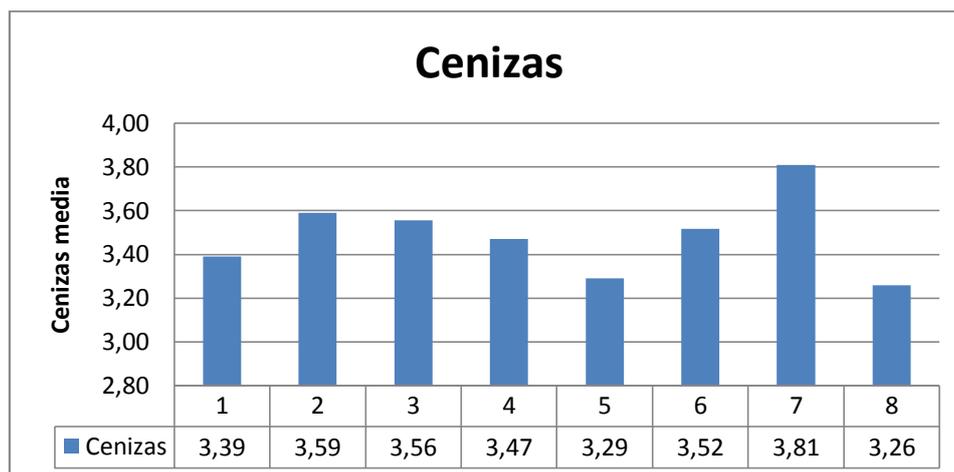


Figura 42 Comportamiento de los tratamientos en la variable cenizas

Podemos apreciar en la figura 42 que el tratamiento T7 (55°C /4m/s /0días) presenta la mayor concentración de cenizas cuyo nivel es de 3,81g en muestra de 100g de jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada.

La determinación de cenizas de la jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada se realizó sin un rango comparativo al no existir norma INEN que especifique los rangos de ceniza que deben tener los productos deshidratados.

(Agriculture, (2013) Los científicos de alimentos U.S. Department of Agriculture hacen "cenizas" de alimentos para poder examinar el material sobrante y determinar mejor el contenido de un alimento. Las cenizas pueden incluir tanto compuestos con minerales esenciales como el calcio y el potasio, como materiales tóxicos como el mercurio. En general, cualquier alimento natural tendrá menos de 5 por ciento de cenizas en el contenido, mientras que algunos alimentos procesados pueden tener un contenido de cenizas de más del 10 por ciento.

Menciona (Susana Espin et al., (2001) el acta científica ecuatoriana elaborada por el INIAP en el proyecto de conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos realizaron el desarrollo de la composición química, valor nutricional y uso potencial de siete especies de raíces y tubérculos donde determinaron específicamente para la jícama la concentración de cenizas en base seca es de 3.73g en cantidad de cenizas la variedad de jícama morada utilizada en la investigación para la obtención de hojuelas fue 3.81g lo que

demuestra que la concentración de cenizas se ha mantenido después del proceso de deshidratación.

4.9 FIBRA

4.9.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE FIBRA

Tabla 48 Análisis de varianza de la variable fibra

fibra					
tratamiento	R1	R2	R3	Σ TOTAL	Media
A1B1C1	0,70	0,76	0,76	2,22	0,740
A1B1C2	0,81	0,74	0,75	2,30	0,767
A1B2C1	0,76	0,76	0,76	2,28	0,760
A1B2C2	0,77	0,72	0,77	2,26	0,753
A2B1C1	0,71	0,69	0,70	2,10	0,700
A2B1C2	0,79	0,73	0,75	2,27	0,757
A2B2C1	0,71	0,87	0,71	2,29	0,763
A2B2C2	0,67	0,71	0,71	2,09	0,697

CV: 5,55 %

Tabla 49 Análisis de varianza de la variable fibra

F.V	SC	GL	CM	F. cal	F. Tab 5%	F. Tab 1%
Total	0,04	23				
Trat.	0,01	7	0,00	1,40 ns	2,66	4,03
FA	0,00	1	0,00	2,36 ns	4,49	8,53
FB	0,00	1	0,00	0,02 ns	4,49	8,53
FC	0,00	1	0,00	0,02 ns	4,49	8,53
IAB	0,00	1	0,00	0,00 ns	4,49	8,53
IAC	0,00	1	0,00	0,19 ns	4,49	8,53
IBC	0,00	1	0,00	5,42 *	4,49	8,53
IABC	0,00	1	0,00	1,79 ns	4,49	8,53
Error	0,02	16	0,00			

** : Alta significancia

* : Significancia

ns: no significancia

Al realizar el análisis de varianza para la **variable Fibra** en jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada, se observa que existe significación estadística para tratamientos, para la velocidad de aire de secado y días de exposición al sol (**interacción B*C**) tenemos un coeficiente de variación de 5.55%, se rechaza H_0 y se acepta H_1 , se procedió a realizar pruebas de significación TUKEY y Diferencia Mínima de Significación.

Tabla 50 Prueba de tukey para tratamientos de la variable fibra

Ubicación de Rangos de Tratamientos					
Tratamientos	Medias	DMS	Duncan	SNK	Tukey
A1B1C2	0,77				A
A1B2C1	0,76				A
A2B1C2	0,76				A
A2B2C1	0,76				A
A1B2C2	0,75				A
A1B1C1	0,74				A
A2B1C1	0,70				A
A2B2C2	0,70				A

Para este tipo de investigación se realizó pruebas de significación TUKEY al 5%, para determinar los mejores tratamientos analizados.

Tenemos 8 mejores tratamientos: **A1B1C2** (50°C, 2m/s y 6 días de exposición al sol) **A1B2C1** (50°C, 4m/s y 0 días de exposición al sol), **A2B1C2** (55°C, 2m/s y 6 días de exposición al sol) **A2B2C1** (55°C, 4m/s y 0 días de exposición al sol) **A1B2C2** (50°C, 4m/s y 6 días de exposición al sol) **A1B1C1** (50°C, 2m/s y 0 días de exposición al sol) **A2B1C1** (55°C, 2m/s y 0 días de exposición al sol) y **A2B2C2** (55°C, 4m/s y 6 días de exposición al sol).

Tabla 51 Prueba de Diferencia Mínima de Significación para los factores A, B y C de la variable fibra

Rangos para el factor F(A)		
Tratamientos	Medias	DMS
A1	0,76	A
A2	0,73	A

Rangos para el factor F(B)		
Tratamientos	Medias	DMS
B1	0,74	A
B2	0,74	A

Rangos para el factor F(C)		
Tratamientos	Medias	DMS
C1	0,74	A
C2	0,74	A

Se realizó pruebas de Diferencia Mínima de Significación al 5%, para determinar el mejor nivel de cada factor en estudio.

Como resultado tenemos:

*El mejor nivel del factor A (temperatura) es A1 (50°C) con la media más alta.

*El mejor nivel del factor B (velocidad de aire de secado) es B1 (2m/s) con la media más alta.

*El mejor nivel del factor C (días de exposición al sol) es C1 (0 días).

4.9.2 INTERACCIÓN (BXC) DE LA VARIABLE FIBRA

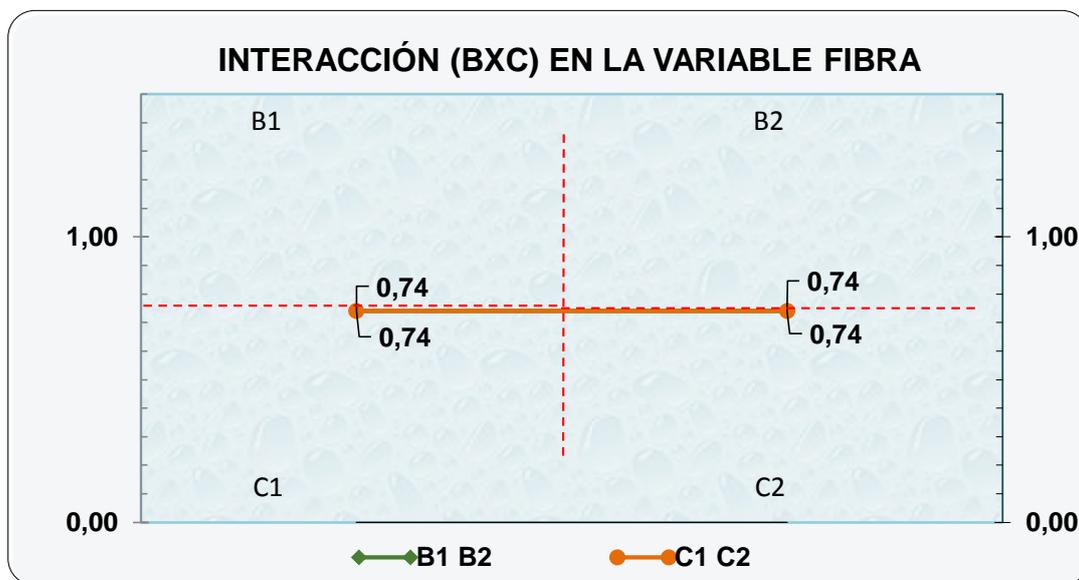


Figura 43 Interacción (BXC) Fibra

En el gráfico anterior, se observa que el punto crítico de la interacción entre los factores B (velocidad del aire de secado) y factor C (días de exposición al sol) en la variable cenizas del producto terminado es 0,74. Es decir, que este valor es el mejor en contenido de Fibra, el cual influye directamente en la velocidad del aire de secado y días de exposición al sol.

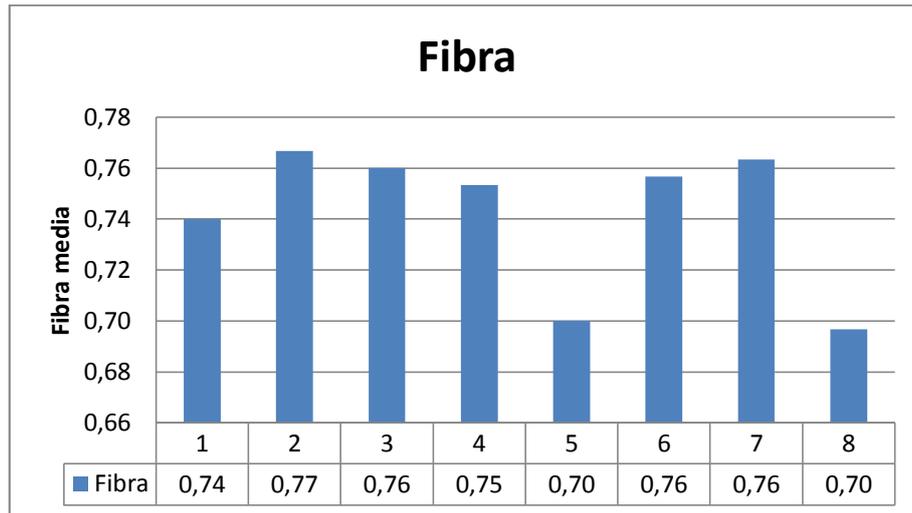


Figura 44 Comportamiento de los tratamientos en la variable fibra

En la figura 44 el tratamiento T2 (50°C /2m/s /6días) presenta como resultado la mayor concentración de fibra cuyo nivel es de 0,77g en muestra de 100g de jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada, al igual que el T7 (55°C /4m/s /0días) con un nivel de 0,76g en 100g de muestra de jícama *Smallanthus sonchifolius*.

Es necesario recalcar que dentro de la investigación, la determinación de fibra de la jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada se realizó sin un rango comparativo, al no existir norma INEN que especifique los rangos de fibra que deben tener los productos deshidratados. Y de acuerdo a una investigación para hojuelas de maíz y arroz específico los siguientes resultados tomando en cuenta que su composición es diferente.

Según (Judith Prieto M et al., (2005) Los contenidos en fibras totales Se observa que los porcentajes en fibras corresponden de las hojuelas de trigo, que los valores reales encontrados resultaron ligeramente más bajos. De manera análoga los contenidos de fibra totales se comportan similar a lo señalado por los fabricantes para las hojuelas de arroz y de maíz muestra 1 maíz 1.33 muestra 2 maíz 1.43 por ciento y para arroz en hojuelas de cereal muestra1 arroz 2.70 y muestra 2 arroz 2.68; en las hojuelas de trigo se aprecia un contenido mayor en 1,2 veces mayor que lo indicado en las especificaciones de calidad.

4.10 CINÉTICA DE SECADO

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE EXPOSICIÓN AL SOL, TEMPERATURA Y VELOCIDAD DE AIRE DE SECADO EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN.

4.10.1 TABLA DE VALORES DE HUMEDAD Y VELOCIDAD DE SECADO T1

Tabla 52 Comportamiento de humedad y velocidad de secado Tratamiento T1

TIEMPO	PESO	PESO BASE SECA	HUMEDAD (X)	HUMEDAD MEDIA	VELOCIDAD (W)
Horas(20min)	Kg	Kg SS	KgH ₂ O/KgSS	media \bar{X}	KgH ₂ O/hm
0,00	0,50	0,065	6,69		
0,30	0,43	0,065	5,75	6,22	0,44
0,70	0,36	0,065	4,55	5,15	0,54
1,00	0,29	0,065	3,56	4,06	0,46
1,30	0,23	0,065	2,67	3,12	0,41
1,70	0,17	0,065	1,70	2,19	0,44
2,00	0,11	0,065	0,76	1,23	0,44
2,30	0,10	0,065	0,64	0,70	0,05
2,70	0,09	0,065	0,43	0,53	0,09
3,00	0,08	0,065	0,33	0,38	0,04
3,30	0,08	0,065	0,23	0,28	0,05
3,70	0,07	0,065	0,20	0,21	0,01
4,00	0,07	0,065	0,15	0,17	0,02
4,26	0,07	0,065	0,15	0,15	0,00

4.10.2 CURVAS DE DESHIDRATACIÓN DEL TRATAMIENTO T1 AIBIC1 (50°C /2M/S /0 DIAS) HUMEDAD VS TIEMPO Y VELOCIDAD VS HUMEDAD.

4.10.2.1 Humedad vs tiempo

Tabla 53 humedad vs tiempo T1

TIEMPO (h)	HUMEDAD (^X)
0,00	6,69
0,30	6,22
0,70	5,15
1,00	4,06
1,30	3,12
1,70	2,19
2,00	1,23
2,30	0,70
2,70	0,53
3,00	0,38
3,30	0,28
3,70	0,21
4,00	0,17
4,26	0,15

CURVA DE SECADO T 1 (50°C /2M/S /0 DIAS)

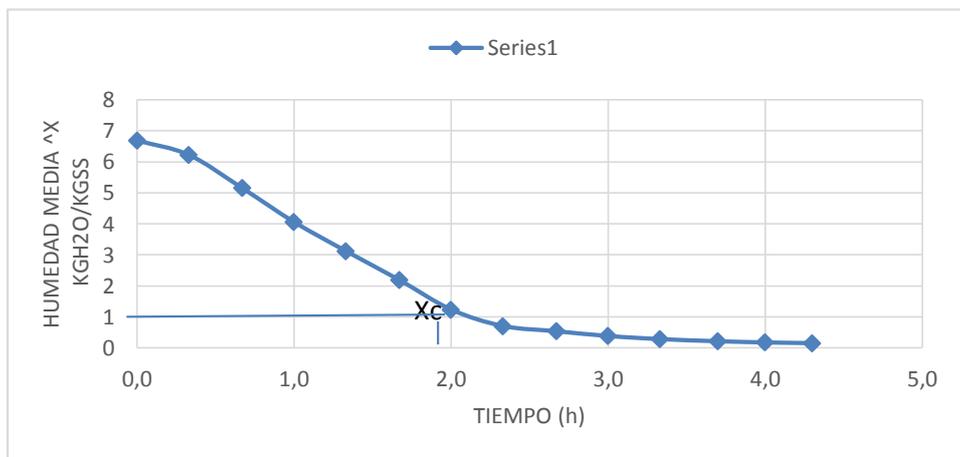


Figura 45 Curva de secado humedad vs tiempo T1

Para el tratamiento 1 el tiempo para obtener las hojuelas de jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada es de 4.26 horas, en la pendiente de la figura 45 podemos observar que la curva de

secado tiene un comportamiento lineal debido a la cantidad de agua en estado libre que se encuentra en la hojuela de jícama, facilitando la salida del agua hasta alcanzar la humedad crítica, seguido de un comportamiento no lineal por un periodo decreciente hasta llegar a la humedad final de la hojuela de jícama deshidratada.

4.10.2.2 Velocidad vs humedad

Para obtener la humedad en (KgH₂O/KgSS) y la velocidad del secado en KgH₂O/hm²), se realizan los cálculos que se describen en el anexo 2.

Tabla 54 velocidad vs humedad T1

HUMEDAD (^X)	VELOCIDAD (W)
6,22	0,44
5,15	0,54
4,06	0,46
3,12	0,41
2,19	0,44
1,23	0,44
0,70	0,05
0,53	0,09
0,38	0,04
0,28	0,05
0,21	0,01
0,17	0,02
0,15	0,00

CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO T1 (50°C /2M/S /0 DIAS)

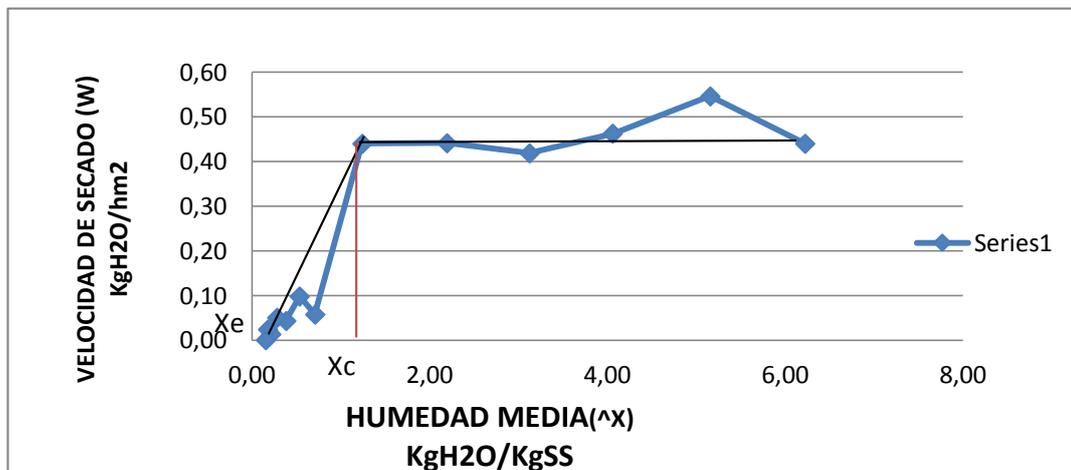


Figura 46 curva de velocidad de secado T1

Como resultado de la investigación en la deshidratación de la jícama, debido a los resultados obtenidos y complementarios con la información de diferentes investigaciones en productos deshidratados, se pudo determinar cómo reacciona la velocidad de secado en gráfica 46, en el cual se distingue un periodo constante y un periodo decreciente.

En el primer periodo constante, el principal mecanismo de transporte de masa es el flujo capilar de agua líquida, en el que 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 esta 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, este periodo continúa mientras que la superficie del producto está alimentada por agua en estado libre desde el interior, fundamentalmente por capilaridad y finaliza cuando el producto alcanza el valor de la humedad crítica.

Según (Barbosa & Vega, 1996) no siendo esta una propiedad del alimento, sino dependiente del tamaño de la partícula y de las condiciones del aire de secado para determinar la humedad crítica, lo mismo ocurre con la velocidad del aire de secado, cuando mayor es esta mayor velocidad del secado.

Menciona (Casp Vanaclocha, (2008) “Cuando más pequeños sean los trozos y estén en capa delgada antes alcanzara el producto la temperatura a partir de la cual el secado es efectivo. En el segundo periodo la evaporación tiene lugar en la superficie del producto y es tanto más rápida cuando la superficie de contacto entre el aire a toda esta superficie, y para el tercer periodo la eliminación de agua del producto, será tanto más fácil cuando menor sea el tamaño de los trozos”.

A diferencia del Periodo de velocidad decreciente que comienza cuando la superficie del producto entra en contacto con el aire de secado, donde alcanza el umbral de higroscopicidad (para los materiales higroscópicos) desde el punto de vista macroscópico, la brusca reducción de la superficie efectiva de transferencia debida a una alimentación insuficiente de agua libre, es la causa de la disminución de la velocidad de secado. La migración del agua es cada vez más difícil y como consecuencia la transferencia de masa se convierte en el factor limitante. Los depósitos de soluto obstruyen los poros, el agua ligada

migra bajo forma de vapor y la distancia a recorrer por el frente de vapor es cada vez mayor, todos estos factores frenan rápidamente la transferencia interna de agua.

El producto está en dominio de la higroscopia, en el alimento no queda más que agua ligada que se evacua muy lentamente (difusión desorción). Esta fase se termina cuando el producto alcanza su humedad de equilibrio, que depende como es lógico, de las condiciones de secado.

En la curva de velocidad de secado de la investigación, la jícama en forma de hojuelas existe matriz celular; por tanto existe vías de difusión del vapor de agua desde el interior de la hojuela hacia la superficie, la disminución del peso por evaporación del agua es rápida, claramente cómo se puede observar en la pendiente de la figura 46. Este comportamiento del incremento de velocidad de secado es debido a que la raíz de la jícama *Smallanthus sonchifolius* posee una estructura celular rígida facilitando la deshidratación con un tiempo de 4,26 h.

4.10.3 GRAFICAS DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO (Xe) Y HUMEDAD CRÍTICA (Xc) T1

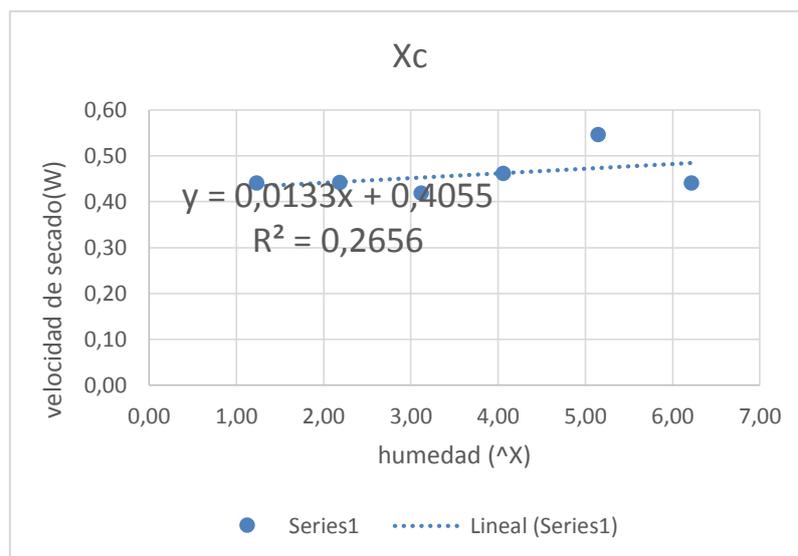


Figura 47 Velocidad de secado vs Humedad T1 Xc

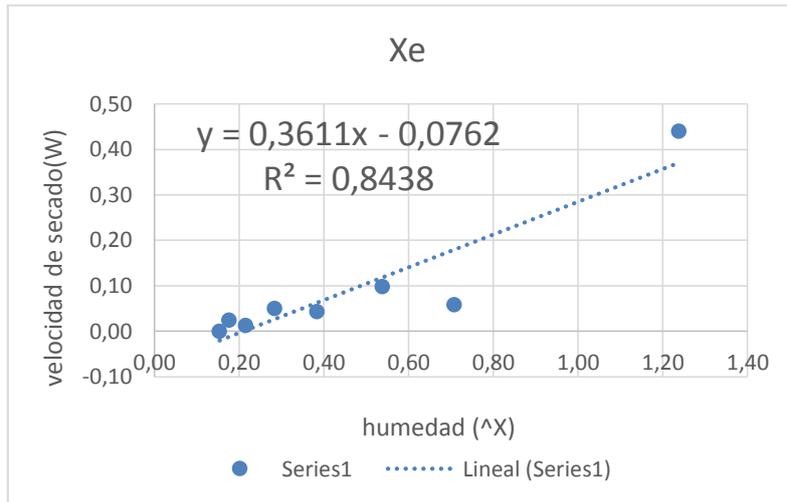


Figura 48 Velocidad de secado vs Humedad Xe T1

En la figura 47 y 48 se puede ver la representación de dos ecuaciones las cuales indican la tendencia de la curva de secado $Y = ax$ y $Y = ax + b$ el cual empieza con una humedad inicial $X_0 = 6,69 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$ y concluye en la humedad crítica $X_c = 0,91 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$, con una velocidad de secado $W_i = 0,44 \text{ kgH}_2\text{O/hm}^2$. El tiempo pos crítico, empieza a partir de la humedad crítica y termina en la humedad final $X_f = 0,15 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$ con una velocidad de secado $W_f = 0,10 \text{ kgH}_2\text{O/hm}^2$ y una humedad de equilibrio $X_e = 0,21 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$.

4.10.4 TIEMPO TOTAL DE DESHIDRATACIÓN

$$T t = t_c + t_d$$

$$T t = 1.70 + 2.55$$

$$T t = 4.26$$

4.10.5 TABLA DE VALORES DE HUMEDAD Y VELOCIDAD DE SECADO T2

Tabla 55 Valores de humedad y velocidad de secado Tratamiento T2

TIEMPO	PESO	PESO BASE SECA	HUMEDAD (X)	HUMEDAD MEDIA	VELOCIDAD (W)
Horas (20min.)	Kg	Kg SS	KgH ₂ O/KgSS	media ^X	KgH ₂ O/hm
0,00	0,50	0,065	6,69		
0,30	0,44	0,065	5,84	6,26	0,39
0,70	0,37	0,065	4,75	5,30	0,49
1,00	0,31	0,065	3,78	4,26	0,45
1,30	0,24	0,065	2,73	3,26	0,49
1,70	0,18	0,065	1,84	2,29	0,40
2,00	0,13	0,065	1,03	1,43	0,38
2,30	0,12	0,065	0,86	0,94	0,07
2,70	0,09	0,065	0,49	0,67	0,16
3,00	0,08	0,065	0,26	0,37	0,10
3,30	0,08	0,065	0,23	0,24	0,01
3,70	0,07	0,065	0,20	0,21	0,01
4,15	0,07	0,065	0,20	0,20	0,00

4.10.6 CURVAS DE DESHIDRATACIÓN DEL TRATAMIENTO T2 AIBIC12 (50°C /2m/S /6 DIAS) HUMEDAD VS TIEMPO Y VELOCIDAD VS HUMEDAD.

4.10.6.1 Humedad vs tiempo

Tabla 56 Humedad vs Tiempo T2

TIEMPO (h)	HUMEDAD (^X)
0,30	6,26
0,70	5,30
1,00	4,26
1,30	3,26
1,70	2,29
2,00	1,43
2,30	0,94
2,70	0,67
3,00	0,37
3,30	0,24
3,70	0,21
4,15	0,20

CURVA DE SECADO T2 (50°C /2m/S /6 DÍAS)

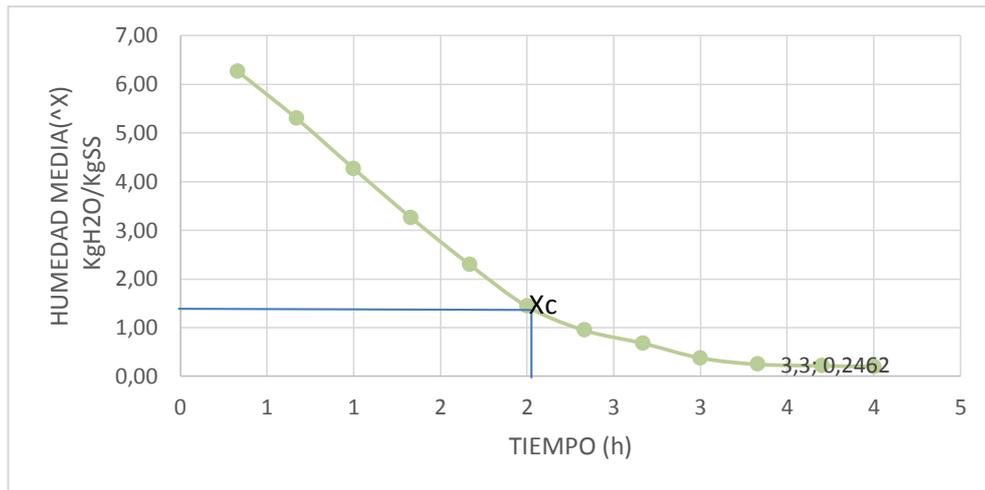


Figura 49 Curva de humedad vs tiempoT2

Sin embargo observamos en la pendiente de la figura 49 que la pérdida de agua en estado libre es constante, disminuyendo así el tiempo de deshidratación de la jícama *Smallanthus sonchifolius* debido a que en el tratamiento número 2 es combinado con un nivel de 6 días de exposición al sol, concentrando los sólidos solubles de la jícama *Smallanthus sonchifolius* y facilitando su deshidratación por medio de vías de difusión de vapor al presentar en su composición estructural matriz celular.

Es decir para el tratamiento 2 se obtuvo un tiempo 4.15 horas, para obtener las hojuelas de jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada.

4.10.6.2 Humedad vs velocidad

Para obtener la humedad en (KgH2O/KgSS) y la velocidad del secado en KgH2O/hm²), se realizan los cálculos que se describen en el anexo2.

Tabla 57 Velocidad vs humedad T2

HUMEDAD (^X)	VELOCIDAD (W)
6,26	0,39
5,30	0,49
4,26	0,45
3,26	0,49
2,29	0,40
1,43	0,38
0,94	0,07
0,67	0,16
0,37	0,10
0,24	0,01
0,21	0,01
0,20	0,00

VELOCIDAD DE SECADO T2 (50°C /2m/S /6 DIAS)

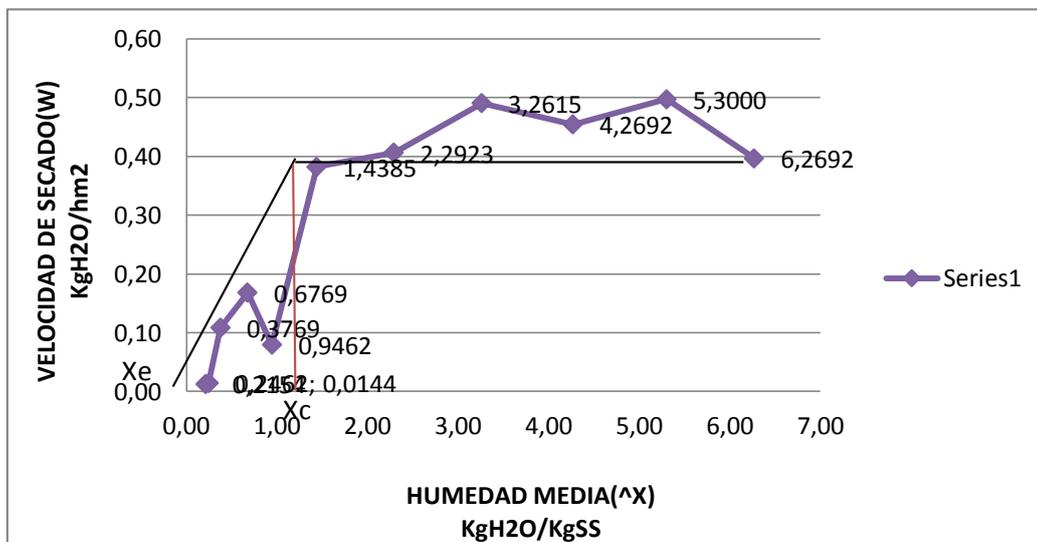


Figura 50 Curva de deshidratación T2

Por otra parte en la curva de velocidad de secado de la gráfica 50 se distingue dos periodos de secado el periodo constante y el periodo decreciente. El periodo constante es el principal mecanismo de transporte de masa en el flujo capilar de agua líquida, en el que se produce una reducción importante del contenido de agua, la evaporación se efectúa en la superficie del producto a temperatura constante, este periodo continua mientras que la superficie del producto este alimentada por agua en estado libre desde el interior, fundamentalmente por capilaridad y finaliza cuando el producto alcanza el valor de la humedad critica.

Cuando la superficie externa del producto deja de estar saturada, comienzan uno o varios periodos de velocidad de secado decreciente que comienza cuando la superficie del producto entra en contacto con el aire de secado alcanzan el umbral de higroscopicidad, en este periodo en el alimento no queda más que agua ligada se evapora muy lentamente por lo que el producto alcanza la humedad de equilibrio dependiendo de las condiciones de secado. (Casp Vanaclocha, (2008))

En el proceso de deshidratación de la jícama en forma de hojuelas existe matriz celular; por tanto existe vías de difusión del vapor de agua desde el interior de la hoja hacia la superficie, la disminución del peso por evaporación del agua es rápida, como se puede observar en la pendiente de la figura 50. Este comportamiento del incremento de velocidad de secado es debido a que la raíz de la jícama *Smallanthus sonchifolius* posee una estructura celular rígida facilitando la deshidratación con un tiempo de 4,15 h.

4.10.7 GRAFICAS DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO (Xe) Y HUMEDAD CRÍTICA (Xc) T2

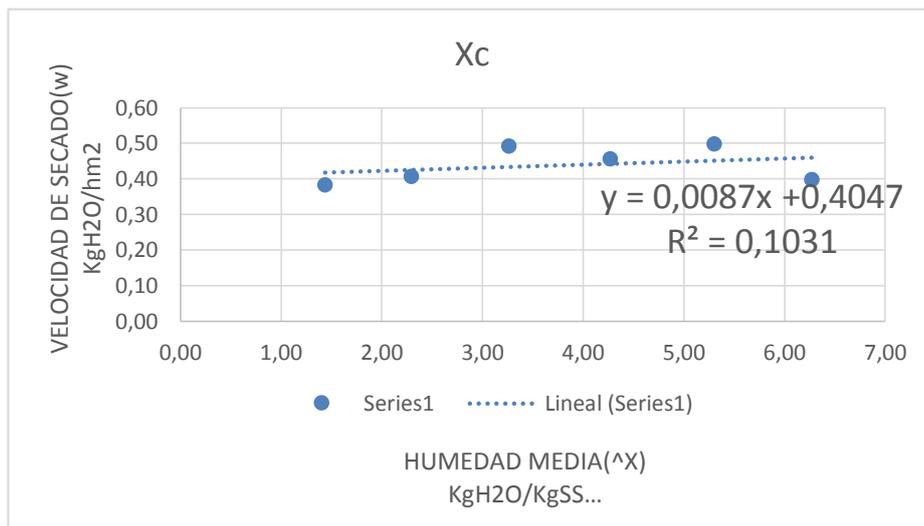


Figura 51 Humedad vs velocidad Xc T2

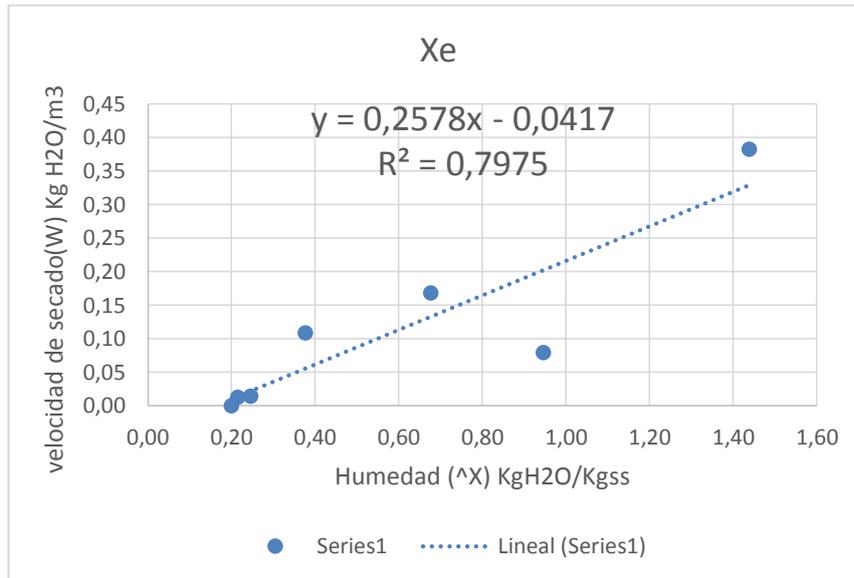


Figura 52 Humedad vs velocidad Xe T2

Adicionalmente en la figura 51 y 52 se puede ver la representación de dos ecuaciones las cuales indican la tendencia de la curva de secado $Y = ax$ y $Y = ax + b$ el cual empieza con una humedad inicial $X_0 = 6,69$ kgH2O/kgss y concluye en la humedad crítica $X_c = 1,41$ kgH2O/kgss, con una velocidad de secado $W_i = 0,39$ kgH2O/hm2. El tiempo pos crítico, empieza a partir de la humedad crítica y termina en la humedad final $X_f = 0,20$ kgH2O/kgss con una velocidad de secado $W_f = 0,03$ kgH2O/hm2 y una humedad de equilibrio $X_e = 0,16$ kgH2O/kgss.

4.10.8 TIEMPO TOTAL DE DESHIDRATACIÓN

$$T t = t_c + t_d$$

$$T t = 1.68 + 2.45$$

$$T t = 4.15$$

4.10.9 TABLA DE VALORES DE HUMEDAD Y VELOCIDAD DE SECADO T3

Tabla 58 Valores de humedad y velocidad del secado tratamiento T3

TIEMPO	PESO	PESO BASE SECA	HUMEDAD (X)	HUMEDAD MEDIA	VELOCIDAD (W)
Horas (20min.)	Kg	Kg SS	KgH2O/KgSS	media ^X	KgH2O/hm
0,00	0,50	0,065	6,69		
0,30	0,44	0,065	5,87	6,28	0,38
0,70	0,38	0,065	4,89	5,38	0,44
1,00	0,31	0,065	3,90	4,40	0,46
1,30	0,26	0,065	3,00	3,45	0,42
1,70	0,20	0,065	2,16	2,58	0,37
2,00	0,14	0,065	1,26	1,71	0,42
2,30	0,11	0,065	0,73	1,00	0,24
2,70	0,09	0,065	0,43	0,58	0,14
3,00	0,07	0,065	0,16	0,30	0,12
3,30	0,07	0,065	0,10	0,13	0,02
3,70	0,06	0,065	0,04	0,07	0,02
4,30	0,06	0,065	0,04	0,04	0,00

4.10.10 CURVAS DE DESHIDRATACIÓN DEL TRATAMIENTO T3 (A1B2C1) (50°C/4m/s /0 Días) HUMEDAD VS TIEMPO Y VELOCIDAD VS HUMEDAD.

4.10.10.1 Humedad vs tiempo

Tabla 59 Humedad vs tiempo T3

TIEMPO (h)	HUMEDAD (^X)
0,30	6,28
0,70	5,38
1,00	4,40
1,30	3,45
1,70	2,58
2,00	1,71
2,30	1,00
2,70	0,58
3,00	0,30
3,30	0,13
3,70	0,07
4,30	0,04

CURVA DE SECADO T3 (50°C/4m/s /0 Días)

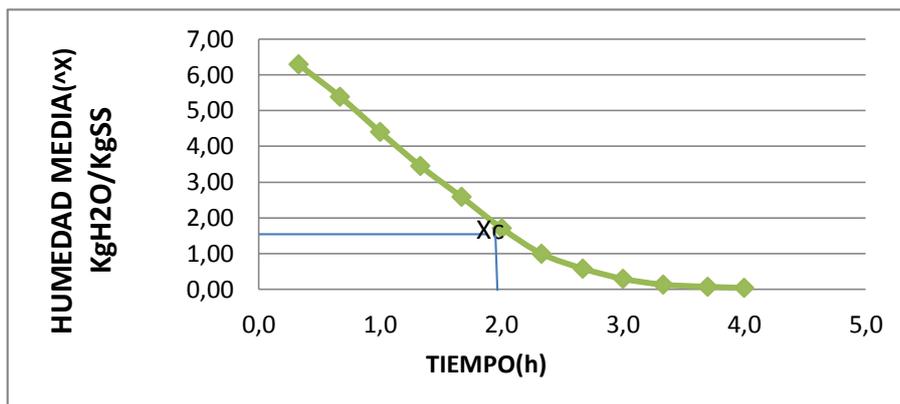


Figura 53 Curva de secado humedad vs tiempo T3

También podemos observar en la pendiente de la figura 53 que la pérdida de humedad, en la curva de secado tiene un comportamiento lineal donde se distingue el periodo constante, esto debido a la cantidad de agua en estado libre que se encuentra en la hojuela de jícama, facilitando la salida hasta alcanzar la humedad crítica, seguido de un comportamiento no lineal por un periodo decreciente hasta llegar a la humedad final de la hojuela de jícama deshidratada, con un tiempo de deshidratación de 4.30 horas.

4.10.10.2 Humedad vs Tiempo

Para obtener la humedad en (KgH2O/KgSS) y la velocidad del secado en KgH2O/hm²), se realizan los cálculos que se describen en el anexo 2.

Tabla 60 Humedad vs Velocidad T3

HUMEDAD (^X)	VELOCIDAD (W)
6,28	0,38
5,38	0,44
4,40	0,46
3,45	0,42
2,58	0,37
1,71	0,42
1,00	0,24
0,58	0,14
0,30	0,12
0,13	0,02
0,07	0,02
0,04	0,00

CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO T3 (50°C/4m/s /0 Días)

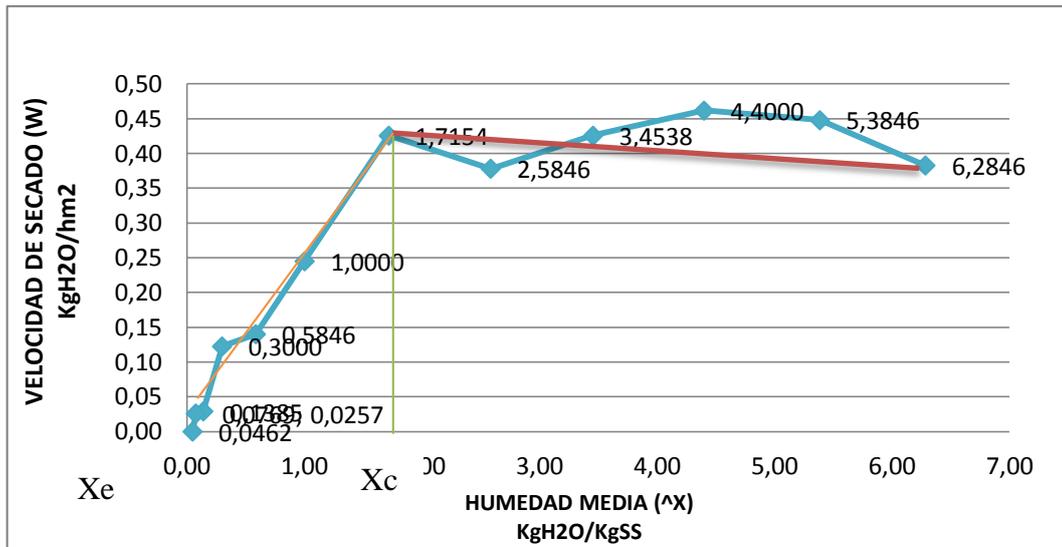


Figura 54 Curva de velocidad de secado T3

Claramente en la curva de velocidad de secado de la gráfica 54 se distingue los periodos de secado, un periodo antecritico o constante y un periodo proscritico o decreciente.

El desarrollo del periodo constante es el principal mecanismo de transporte de masa en el flujo capilar de agua líquida, en el que se produce una reducción importante del contenido de agua, la evaporación se efectúa en la superficie del producto a temperatura constante, este periodo continua mientras que la superficie del producto este alimentada por agua en estado libre desde el interior, fundamentalmente por capilaridad y finaliza cuando el producto alcanza el valor de la humedad critica, graficado en la curva de velocidad de secado que coincide con el punto de intersección de la recta de velocidad contante con la del primer tramo de velocidad decreciente, como se mira en la figura que se obtuvo en la investigación de la deshidratación de jícama.

Menciona (Casp Vanaclocha, (2008) todo esto sometido a diferentes condiciones de temperatura y velocidad de secado donde alcanzan el umbral de higroscopicidad, en este periodo en el alimento no queda más que agua ligada se evapora muy lentamente por lo que el producto alcanza la humedad de equilibrio donde ya no se puede secar mas ya que puede haber reacciones de cambios organolépticos y nutricionales de la jícama dependiendo de las condiciones de secado.

Por la forma estructural y composición de la jícama en forma de hojuelas existe matriz celular; por tanto existe vías de difusión del vapor de agua desde el interior de la hojuela hacia la superficie, la disminución del peso por evaporación del agua es rápida, como se puede observar en la pendiente de la figura 54. Este comportamiento del incremento de velocidad de secado es debido a que la raíz de la jícama *Smallanthus sonchifolius* posee una estructura celular rígida facilitando la deshidratación con un tiempo de 4.30 h.

4.10.11 GRAFICAS DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO (Xe) Y HUMEDAD CRÍTICA (Xc) T3

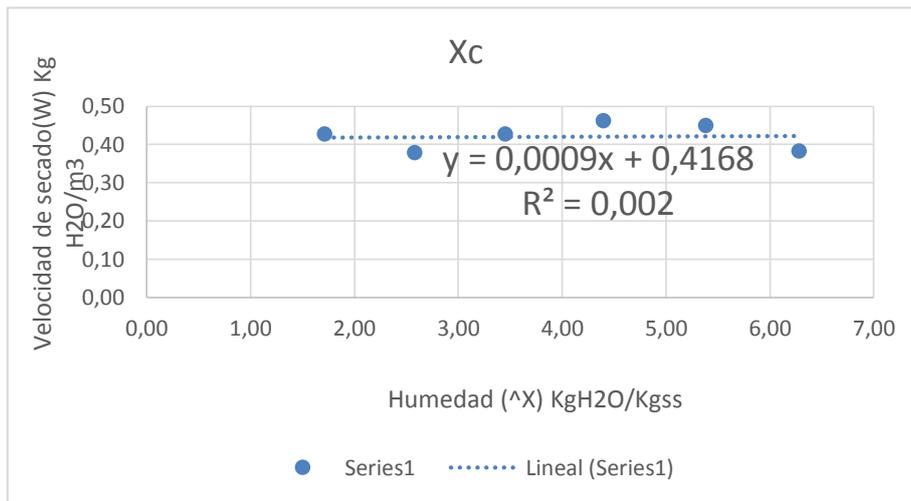


Figura 55 Velocidad vs humedad XcT3

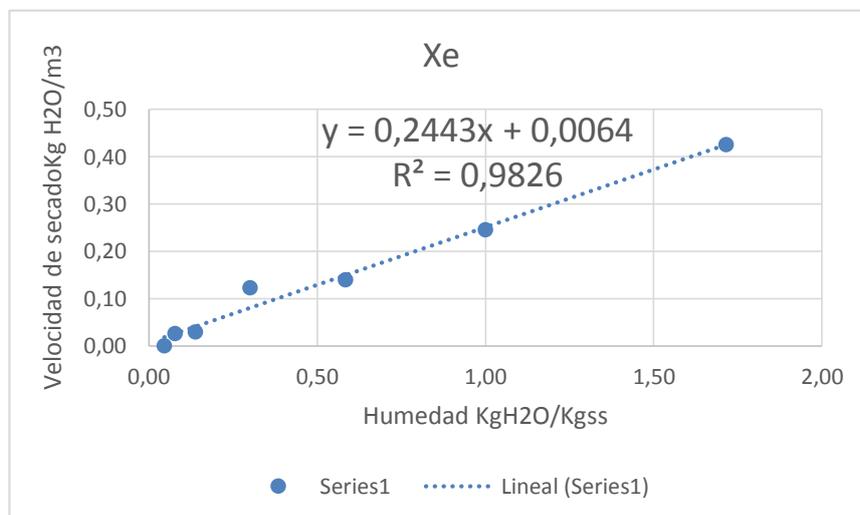


Figura 56 Velocidad vs humedad Xe T3

Por consiguiente en la figura 55 y 56 se puede ver la representación de dos ecuaciones las cuales indican la tendencia de la curva de secado $Y = ax$ y $Y = ax + b$ el cual empieza con una humedad inicial $X_0 = 6,69 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$ y concluye en la humedad crítica $X_c = 1,73 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$, con una velocidad de secado $W_i = 0,38 \text{ kgH}_2\text{O/hm}^2$. El tiempo pos crítico, empieza a partir de la humedad crítica y termina en la humedad final $X_f = 0,04 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$ con una velocidad de secado $W_f = 0,02 \text{ kgH}_2\text{O/hm}^2$ y una humedad de equilibrio $X_e = 0,02 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$.

4.10.12 TIEMPO TOTAL DE DESHIDRATACIÓN

$$T_t = t_c + t_d$$

$$T_t = 1,68 + 2,62$$

$$T_t = 4,30$$

4.10.13 TABLA DE VALORES DE HUMEDAD Y VELOCIDAD DE SECADO T4

Tabla 61 Valores de velocidad del secado y humedad del tratamiento T4

TIEMPO	PESO	PESO BASE SECA	HUMEDAD (X)	HUMEDAD MEDIA	VELOCIDAD (W)
Horas (20min.)	Kg	Kg SS	KgH ₂ O/KgSS	media \bar{X}	KgH ₂ O/hm
0,00	0,50	0,065	6,69		
0,30	0,44	0,065	5,83	6,26	0,40
0,70	0,38	0,065	4,96	5,40	0,39
1,00	0,33	0,065	4,13	4,55	0,38
1,30	0,27	0,065	3,23	3,68	0,42
1,70	0,21	0,065	2,23	2,73	0,45
2,00	0,15	0,065	1,40	1,81	0,38
2,30	0,13	0,065	1,03	1,21	0,17
2,70	0,11	0,065	0,69	0,86	0,15
3,00	0,10	0,065	0,53	0,61	0,07
3,30	0,09	0,065	0,44	0,49	0,04
3,93	0,09	0,065	0,44	0,44	0,00

4.10.14 CURVAS DE DESHIDRATACIÓN DEL TRATAMIENTO t4 (A1B2C2) (50°C /4m/s /6 DÍAS) HUEMDAD VS TIEMPO Y VELOCIDAD VS HUMEDAD.

4.10.14.1 Humedad vs tiempo

Tabla 62 Humedad vs tiempo T4

TIEMPO (h)	HUMEDAD (X)
0,30	6,26
0,70	5,40
1,00	4,55
1,30	3,68
1,70	2,73
2,00	1,81
2,30	1,21
2,70	0,86
3,00	0,61
3,30	0,49
3,93	0,44

CURVA DE SECADO T4 (50°C /4m/s /6 DÍAS)

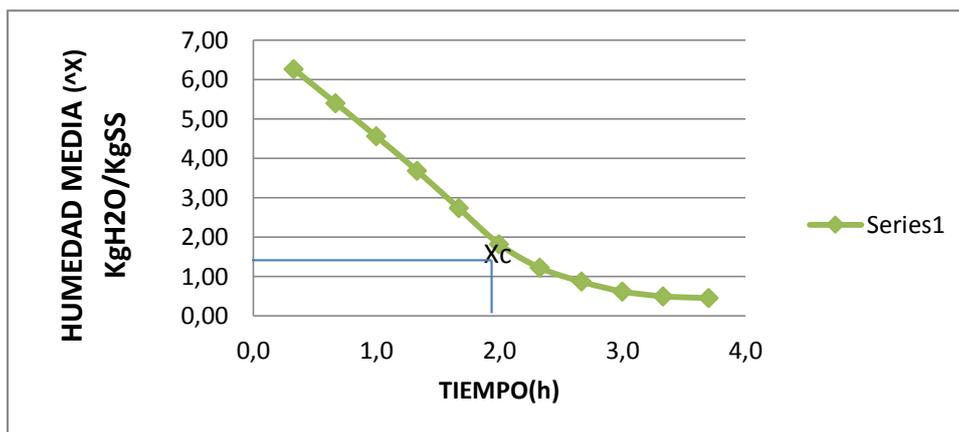


Figura 57 Curva de secado humedad vs tiempo T4

En efecto para el tratamiento 4 el tiempo para obtener las hojuelas de jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada es de 3.93 horas.

Claramente podemos observar en la pendiente de la figura 57 que la perdida de humedad en la curva de secado tiene un comportamiento lineal donde se distingue el periodo

constante, esto debido a la cantidad de agua en estado libre que se encuentra en la hojuela de jícama *Smallanthus sonchifolius.*, facilitando la salida de agua en estado libre hasta alcanzar la humedad crítica, seguido de un comportamiento no lineal por un periodo decreciente hasta llegar a la humedad final de la hojuela de jícama deshidratada.

4.10.14.2 Velocidad vs humedad

Para obtener la humedad en (KgH₂O/KgSS) y la velocidad del secado en KgH₂O/hm²), se realizan los cálculos que se describen en el anexo 2.

Tabla 63 Humedad vs Velocidad T4

HUMEDAD ([^] X)	VELOCIDAD (W)
6,26	0,40
5,40	0,39
4,55	0,38
3,68	0,42
2,73	0,45
1,81	0,38
1,21	0,17
0,86	0,15
0,61	0,07
0,49	0,04
0,44	0,00

CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO T4 (50°C /4m/s /6 DÍAS)

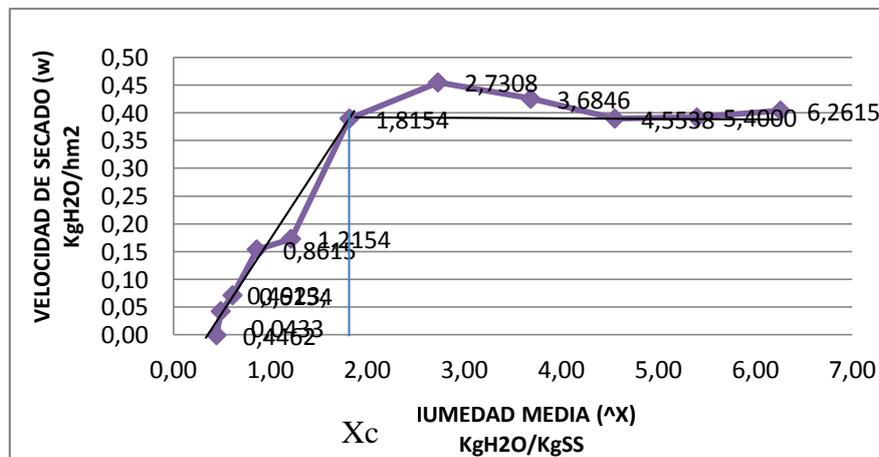


Figura 58 Curva de Velocidad de secado T4

Por consiguiente en la curva de velocidad de secado de la gráfica 58 como se distingue los periodos de secado en un periodo constante y un periodo decreciente.

La jícama en forma de hojuelas tiende a perder agua rápidamente ya que existe matriz celular; por tanto existe vías de difusión del vapor de agua desde el interior de la hojuela hacia la superficie, la disminución del peso por evaporación del agua es rápida, como se observa en la pendiente de la figura 55. Este comportamiento del incremento de velocidad de secado es debido a que la raíz de la jícama *Smallanthus sonchifolius* posee una estructura celular rígida facilitando la deshidratación con un tiempo de 3.93 h.

El periodo constante termina en el punto de la humedad crítica donde coincide con el punto de intersección de la recta de velocidad constante con la del primer tramo de velocidad decreciente como se mira en la figura que se obtuvo en la investigación de la deshidratación de jícama.

Conforme (Casp A., 2011) un segundo periodo de velocidad decreciente o también conocido periodos de velocidad final. Este periodo solo existe para los materiales higroscópicos. En este periodo. El producto está en dominio de la higroscopia en el alimento no queda más que agua ligada que se evacua muy lentamente (difusión desorción). Esta fase se termina cuando el producto alcanza su humedad de equilibrio, que depende como es lógico, de las condiciones de secado donde el producto a deshidratar la pérdida de agua mantiene una constante.

4.10.15 GRAFICAS DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO (Xe) Y HUMEDAD CRÍTICA (Xc) T4

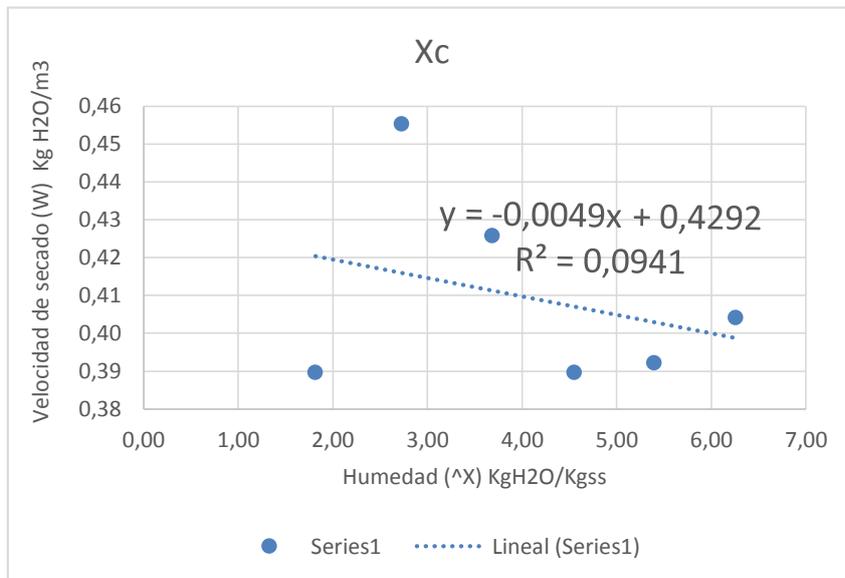


Figura 59 Velocidad vs humedad Xc T4

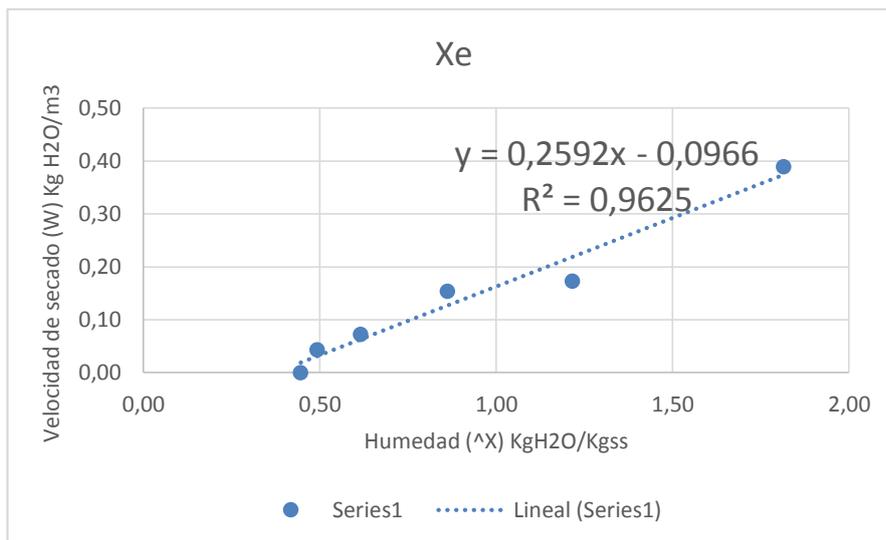


Figura 60 Velocidad vs humedad Xe T4

De hecho la figura 59 y 60 se puede ver la representación de dos ecuaciones las cuales indican la tendencia de la curva de secado $Y = ax$ y $Y = ax + b$ el cual empieza con una humedad

inicial $X_o = 6.69 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$ y concluye en la humedad crítica $X_c = 1.28 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$, con una velocidad de secado $W_i = 0,40 \text{ kgH}_2\text{O/hm}^2$. El tiempo pos crítico, empieza a partir de la humedad crítica y termina en la humedad final $X_f = 0,44 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$ con una velocidad de secado $W_f = 0,04 \text{ kgH}_2\text{O/hm}^2$ y una humedad de equilibrio $X_e = 0,37 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$.

4.10.16 TIEMPO TOTAL DE DESHIDRATACIÓN

$$T t = t_c + t_d$$

$$T t = 1.68 + 2.24$$

$$T t = 3.93$$

4.10.17 TABLA DE VALORES DE HUMEDAD Y VELOCIDAD DE SECADO T5

Tabla 64 Valores de velocidad de secado y humedad del tratamiento T5

TIEMPO	PESO	PESO BASE SECA	HUMEDAD (X)	HUMEDAD MEDIA	VELOCIDAD (W)
Horas (20 min.)	Kg	Kg SS	KgH ₂ O/KgSS	media \bar{X}	KgH ₂ O/hm
0,00	0,50	0,065	6,69		
0,30	0,42	0,065	5,47	6,08	0,57
0,70	0,34	0,065	4,29	4,88	0,53
1,00	0,27	0,065	3,23	3,76	0,49
1,30	0,19	0,065	1,96	2,60	0,59
1,70	0,14	0,065	1,24	1,60	0,32
2,00	0,11	0,065	0,73	0,99	0,23
2,30	0,09	0,065	0,40	0,56	0,15
2,70	0,08	0,065	0,24	0,32	0,07
3,00	0,07	0,065	0,16	0,20	0,03
3,30	0,07	0,065	0,13	0,15	0,01
3,70	0,07	0,065	0,13	0,13	0,00

**4.10.18 CURVAS DE DESHIDRATACIÓN DEL TRATAMIENTO T5 (A2B1C1)
(55°C /2m/s /0 DIAS) HUEMDAD VS TIEMPO Y VELOCIDAD VS
HUMEDAD**

4.10.18.1 Humedad vs tiempo

Tabla 65 Humedad vs tiempo T5

TIEMPO (h)	HUMEDAD (X)
0,30	6,08
0,70	4,88
1,00	3,76
1,30	2,60
1,70	1,60
2,00	0,99
2,30	0,56
2,70	0,32
3,00	0,20
3,30	0,15
3,70	0,13

CURVA DE SECADO T5 (55°C /2m/s /0 DIAS)

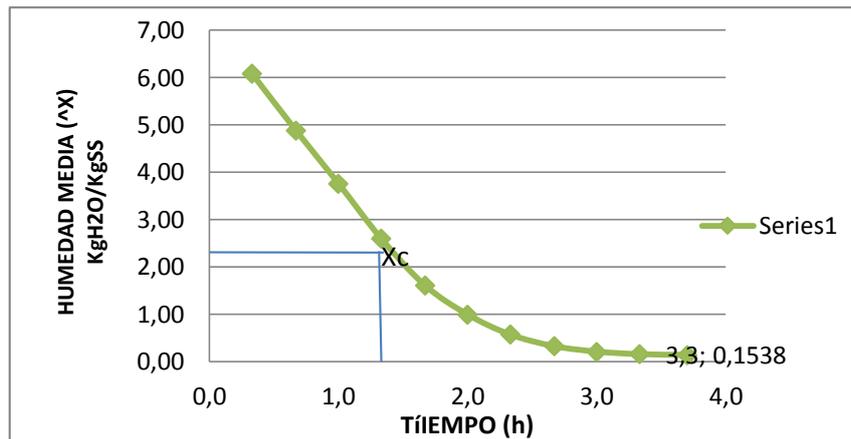


Figura 61 Curva de secado Humedad vs tiempo T5

Podemos observar en la pendiente de la figura 61 que la pérdida de humedad en el periodo constante, la cantidad de agua en estado libre que se encuentra en la hojuela de jicama, permitiendo la salida del agua por medio de vías de difusión de vapor al presentar matriz

celular en su estructura, hasta alcanzar la humedad crítica, disminuyendo así el tiempo de deshidratación de la jícama *Smallanthus sonchifolius*.

4.10.18.2 Velocidad vs humedad

Para obtener la humedad en (KgH₂O/KgSS) y la velocidad del secado en KgH₂O/hm²), se realizan los cálculos y sus resultados que se describen en el anexo 2.

Tabla 66 Humedad vs Velocidad T5

HUMEDAD (^X)	VELOCIDAD (w)
6,08	0,57
4,88	0,53
3,76	0,49
2,60	0,59
1,60	0,32
0,99	0,23
0,56	0,15
0,32	0,07
0,20	0,03
0,15	0,01
0,13	0,00

CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO T5 (55°C /2m/s /0 DIAS)

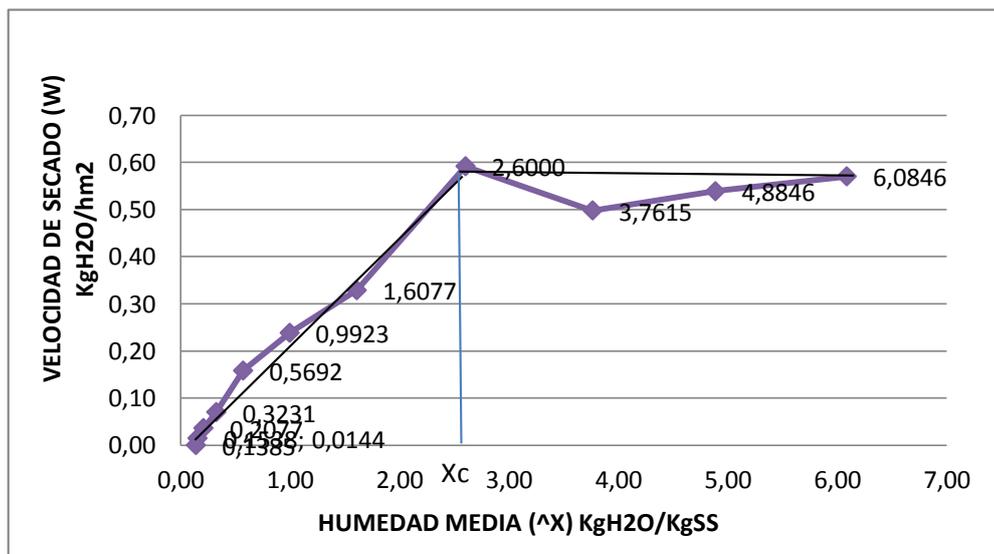


Figura 62 Curva de velocidad de secado T5

Indudablemente el proceso de deshidratación de la jícama en forma de hojuelas en la curva de velocidad de secado de la gráfica 62, el periodo constante termina en la humedad crítica donde la evaporación del agua libre presente en el producto su salida es prolongada esto se debe a la composición estructural donde existe matriz celular conformando vías de difusión del vapor de agua desde el interior de la hojuela hacia la superficie, la disminución del peso por evaporación del agua es rápida, como se puede observar en la pendiente de la figura 59. Este comportamiento del incremento de velocidad de secado es debido a que la raíz de la jícama *Smallanthus sonchifolius* posee una estructura celular rígida facilitando la deshidratación con un tiempo de 3,7 h para el tratamiento número 5.

Según (Casp Vanaclocha, (2008) Cuando más pequeños sean los trozos y estén en capa delgada antes alcanzara el producto la temperatura a partir de la cual es secado es efectivo. En el segundo periodo la evaporación tiene lugar en la superficie del producto y es tanto más rápida cuando la superficie de contacto entre el aire a toda esta superficie y el tercer periodo la eliminación de agua del producto será tanto más fácil cuando menor sea el tamaño de los trozos.

A diferencia del Periodo de **velocidad decreciente** que comienza cuando la superficie del producto entra en contacto con el aire de secado alcanza el umbral de higroscopicidad, esto corresponde a alcanzar la humedad crítica.

La brusca de reducción de la superficie efectiva de transferencia debida a una alimentación insuficiente de agua en estado libre, es la causa de la disminución de la velocidad de secado. La migración del agua es cada vez más difícil y como consecuencia la transferencia de masa se convierte en el factor limitante. Los depósitos de soluto obstruyen los poros, el agua ligada mira bajo forma de vapor y la distancia a recorrer por el frente de vapor es cada vez mayor, todos estos factores frenan rápidamente la transferencia interna de agua.

Esta fase se termina cuando el producto alcanza su humedad de equilibrio, que depende como es lógico, de las condiciones de secado.

4.10.19 GRAFICAS DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO (Xe) Y HUMEDAD CRÍTICA (Xc) T5

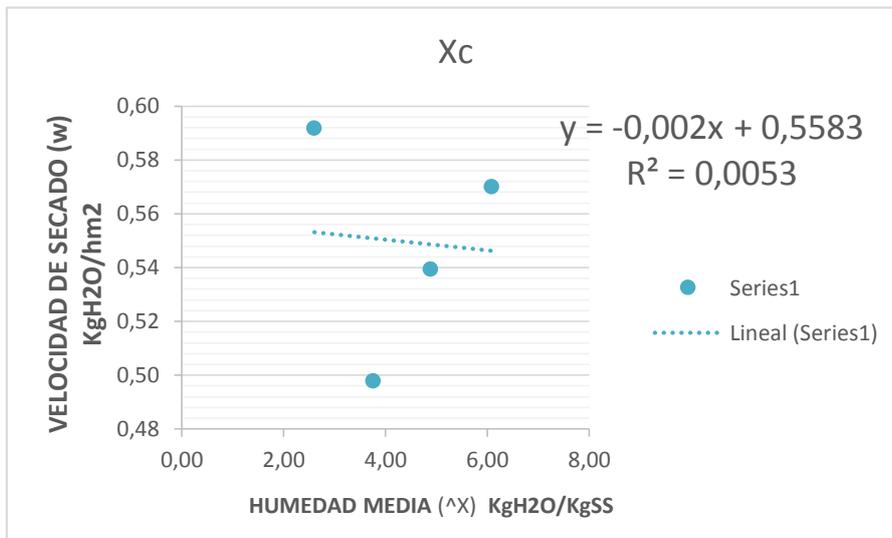


Figura 63 Velocidad de secado vs humedad Xc T5

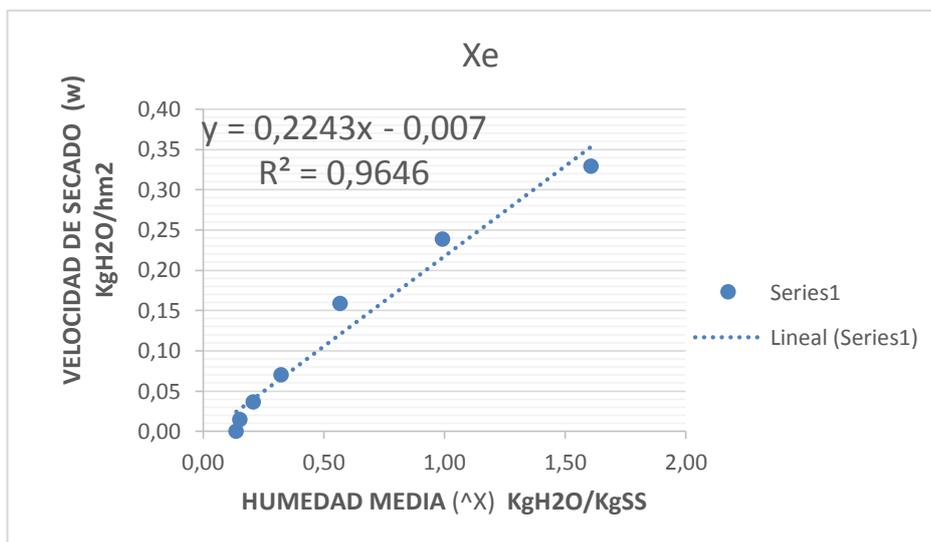


Figura 64 Velocidad de secado vs humedad Xe T5

Así en la figura 63 y 64 se puede ver la representación de dos ecuaciones las cuales indican la tendencia de la curva de secado $Y = ax$ y $Y = ax + b$ el cual empieza con una humedad inicial $X_o = 6,69 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$ y concluye en la humedad crítica $X_c = 2.45 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$, con una velocidad de secado $W_i = 0,57 \text{ kgH}_2\text{O/hm}^2$. El tiempo pos crítico, empieza a partir de la

humedad crítica y termina en la humedad final $X_f = 0,13 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$ con una velocidad de secado $W_f = 0,01 \text{ kgH}_2\text{O/hm}^2$ y una humedad de equilibrio $X_e = 0,03 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$.

4.10.20 TIEMPO TOTAL DE DESHIDRATACIÓN

$$T t = t_c + t_d$$

$$T t = 1.28. + 2.42$$

$$T t = 3.70$$

4.10.21 TABLA DE VALORES DE HUMEDAD Y VELOCIDAD DE SECADO T6

Tabla 67 Valores de velocidad de secado y humedad del tratamiento T6

TIEMPO	PESO	PESO BASE SECA	HUMEDAD (X)	HUMEDAD MEDIA	VELOCIDAD (W)
Horas (20min.)	Kg	Kg SS	KgH ₂ O/KgSS	media ^X	KgH ₂ O/hm
0,00	0,50	0,065	6,69		
0,30	0,44	0,065	5,84	6,26	0,39
0,70	0,37	0,065	4,75	5,30	0,49
1,00	0,31	0,065	3,78	4,26	0,45
1,30	0,24	0,065	2,73	3,26	0,49
1,70	0,18	0,065	1,84	2,29	0,40
2,00	0,13	0,065	1,03	1,43	0,38
2,30	0,09	0,065	0,49	0,76	0,25
2,70	0,08	0,065	0,26	0,37	0,10
3,00	0,07	0,065	0,15	0,20	0,05
3,30	0,07	0,065	0,10	0,13	0,02
4,00	0,07	0,065	0,10	0,10	0,00

**4.10.22 CURVAS DE DESHIDRATACIÓN DEL T6 (A2B1C2) (55°C / 2m/s / 6
Días) HUEMDAD VS TIEMPO Y VELOCIDAD VS HUMEDAD.**

4.10.22.1 Humedad vs tiempo

Tabla 68 Humedad vs tiempo T6

TIEMPO (h)	HUMEDAD (^X)
0,30	6,26
0,70	5,30
1,00	4,26
1,30	3,26
1,70	2,29
2,00	1,43
2,30	0,76
2,70	0,37
3,00	0,20
3,30	0,13
4.00	0,10

CURVA DE SECADO T6 (55°C / 2m/s / 6)

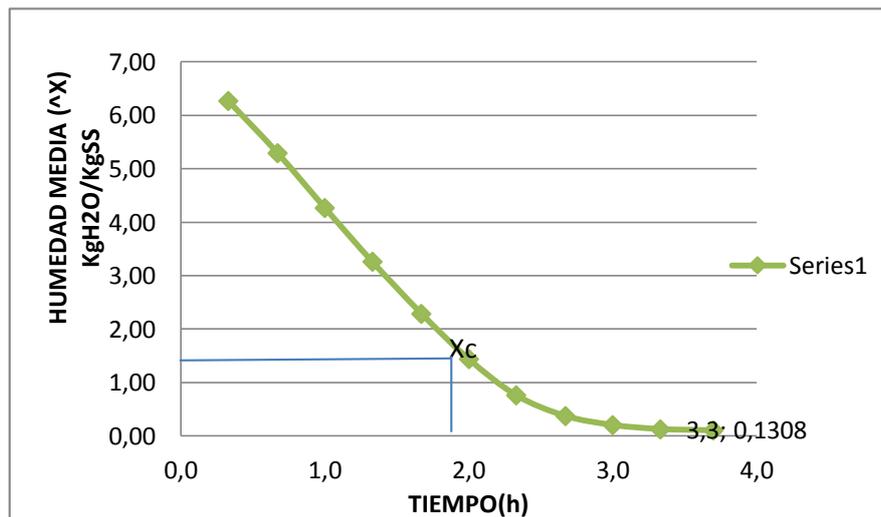


Figura 65 Curva de secado Humedad vs tiempo T6

Para el tratamiento 6 el tiempo para obtener las hojuelas de jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada es de 4 horas, en la pendiente de la figura 65 podemos observar que la pérdida de humedad en la curva de secado tiene un comportamiento lineal donde se distingue el

periodo constante, esto debido a la cantidad de agua en estado libre que se encuentra en la hojuela de jícama, facilitando la salida hasta alcanzar la humedad crítica, seguido de un comportamiento no lineal por un periodo decreciente hasta llegar a la humedad final de la hojuela de jícama deshidratada.

Tabla 69 Humedad vs velocidad T6

HUMEDAD (^X)	VELOCIDAD (w)
6,26	0,39
5,30	0,49
4,26	0,45
3,26	0,49
2,29	0,40
1,43	0,38
0,76	0,25
0,37	0,10
0,20	0,05
0,13	0,02
0,10	0,00

4.10.22.2 Velocidad vs humedad

Para obtener la humedad en (KgH₂O/KgSS) y la velocidad del secado en KgH₂O/hm²), se realizan los cálculos y sus resultados que se describen en el anexo 2.

CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO T6 (55°C / 2m/s / 6)

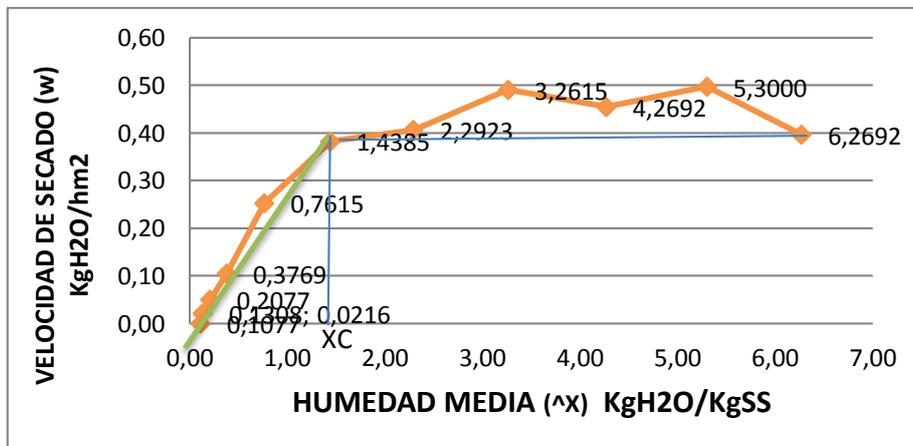


Figura 66 Curva de velocidad de secado T6

Adicionalmente el análisis que presenta la curva de secado mediante la humedad, se distingue los dos periodos de secado. Un periodo constante o también llamado periodo antecritico y periodo decreciente o periodo proscritico., donde la humedad crítica coincide con el punto de intersección de la recta de velocidad constante con la del primer tramo de velocidad decreciente como se mira en la figura que se obtuvo en la investigación de la deshidratación de jícama, la humedad crítica no es una propiedad del alimento, sino depende del tamaño de la partícula y de las condiciones del aire de secado. Lo mismo ocurre con la velocidad del aire de secado, cuando mayor es esta mayor velocidad del secado. (Casp Vanaclocha, (2008)

Podemos observar en la curva de velocidad de secado de la gráfica 66, cómo actúa la curva en condiciones específicas de temperatura de secado y velocidad de aire, donde el proceso de deshidratación de la jícama en forma de hojuelas se aprecia que la composición estructural con respecto a la matriz celular propia de la raíz, mediante vías de difusión de vapor de agua desde el interior de la hojuela hacia la superficie, permite la disminución del peso por evaporación del agua donde se acelera sustancialmente. Este comportamiento del incremento de velocidad de secado es debido a que la raíz de la jícama *Smallanthus sonchifolius* posee una estructura celular rígida lo que facilita la deshidratación.

A diferencia del Periodo de velocidad decreciente que comienza cuando la superficie del producto entra en contacto con el aire de secado alcanza el umbral de higroscopicidad es la causa de la disminución de la velocidad de secado .la migración del agua es cada vez más difícil y como consecuencia la transferencia de masa se convierte en el factor limitante. Y la distancia a recorrer por el frente de vapor es cada vez mayor, todos estos factores frenan rápidamente la transferencia interna de agua y el producto alcanza su humedad de equilibrio, que depende de las condiciones de secado.

4.10.23 GRAFICAS DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO (Xe) Y HUMEDAD CRÍTICA (Xc) T6

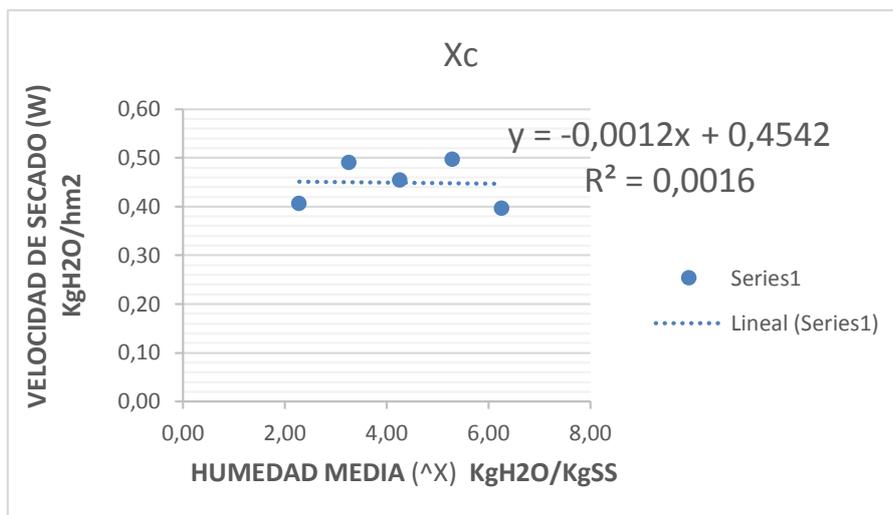


Figura 67 Velocidad de secado vs humedad Xc T6

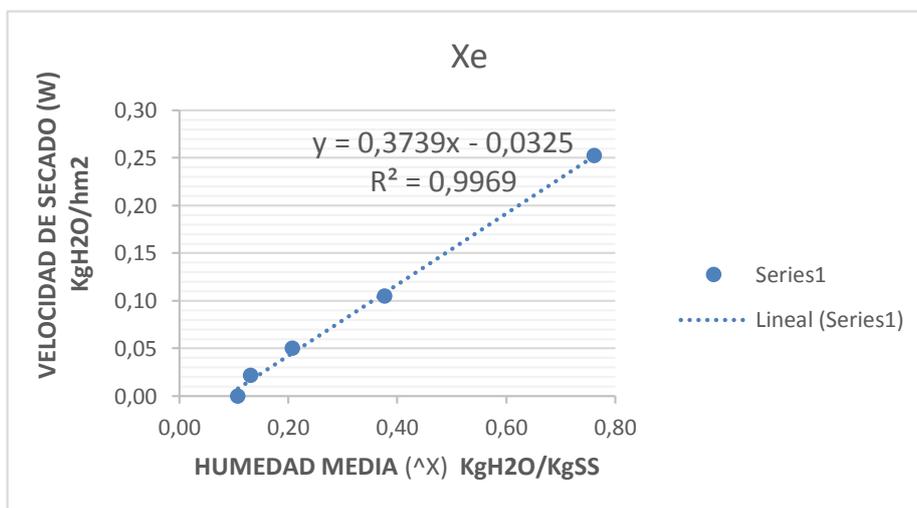


Figura 68 Velocidad de secado vs humedad Xe T6

Tanto como en la figura 67 y 68 se puede ver la representación de dos ecuaciones las cuales indican la tendencia de la curva de secado $Y = ax$ y $Y = ax + b$ el cual empieza con una humedad inicial $X_0 = 6.69 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$ y concluye en la humedad crítica $X_c = 1,13 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$, con una velocidad de secado $W_i = 0,39 \text{ kgH}_2\text{O/hm}^2$. El tiempo pos crítico, empieza a partir de la humedad crítica y termina en la humedad final $X_f = 0,1077$

kgH₂O/kgss con una velocidad de secado $W_f = 0,02 \text{ kgH}_2\text{O/hm}^2$ y una humedad de equilibrio $X_e = 0,08 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$.

4.10.24 TIEMPO TOTAL DE DESHIDRATACIÓN

$$T t = t_c + t_d$$

$$T t = 1.70 + 2.63$$

$$T t = 4.34$$

4.10.25 TABLA DE VALORES DE HUMEDAD Y VELOCIDAD DE SECADO T7

Tabla 70 Valores de velocidad del secado y humedad del tratamiento T7

TIEMPO	PESO	PESO BASE SECA	HUMEDAD (X)	HUMEDAD MEDIA	VELOCIDAD (W)
Horas (20min.)	Kg	Kg SS	KgH ₂ O/KgSS	media ^X	KgH ₂ O/hm
0,00	0,50	0,065	6,69		
0,30	0,42	0,065	5,46	6,07	0,57
0,70	0,32	0,065	3,96	4,71	0,67
1,00	0,24	0,065	2,80	3,38	0,54
1,30	0,16	0,065	1,60	2,20	0,56
1,70	0,12	0,065	0,95	1,27	0,29
2,00	0,10	0,065	0,64	0,80	0,14
2,30	0,09	0,065	0,41	0,53	0,10
2,70	0,08	0,065	0,24	0,33	0,07
3,30	0,07	0,065	0,10	0,17	0,06
4.00	0,07	0,065	0,10	0,10	0,00

4.10.26 CURVAS DE DESHIDRATACIÓN DEL TRATAMIENTO T7 A2B2C1 (55°C /4M/S /0 DIAS) HUEMDAD VS TIEMPO Y VELOCIDAD VS HUMEDAD

4.10.26.1 Humedad vs tiempo

Tabla 71 Humedad vs tiempo T7

TIEMPO (h)	HUMEDAD ($\wedge X$)
0,3	6,07
0,7	4,71
1,0	3,38
1,3	2,20
1,7	1,27
2,0	0,80
2,3	0,53
2,7	0,33
3,3	0,17
4.0	0,10

CURVA DE SECADO T7 (55°C /4M/S /0 DIAS)

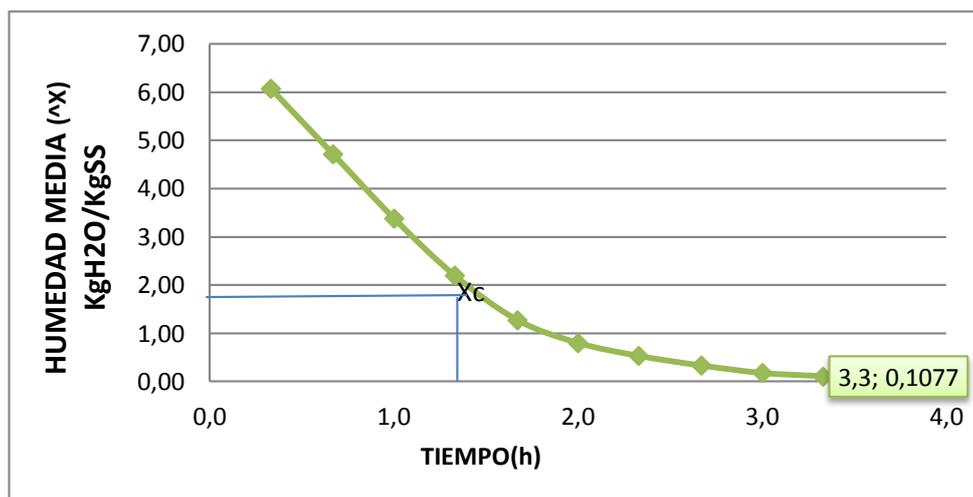


Figura 69 curva de secado Humedad vs tiempo T7

Claramente en la pendiente de la figura 69 la pérdida de humedad en la curva de secado tiene un comportamiento lineal donde se distingue el periodo constante, esto debido a la cantidad de agua en estado libre que se encuentra en la hojuela de jícama, facilitando la salida hasta alcanzar la humedad crítica, seguido de un comportamiento no lineal por un periodo decreciente hasta llegar a la humedad final de la hojuela de jícama deshidratada,

Para el tratamiento 7 el tiempo para obtener las hojuelas de jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada es de 4 horas.

4.10.26.2 Velocidad vs humedad

Para obtener la humedad en (KgH₂O/KgSS) y la velocidad del secado en KgH₂O/hm²), se realizan los cálculos que se describen en el anexo 2.

Tabla 72 Humedad de velocidad T7

HUMEDAD (^X)	VELOCIDAD (W)
6,07	0,57
4,71	0,67
3,38	0,54
2,20	0,56
1,27	0,29
0,80	0,14
0,53	0,10
0,33	0,07
0,17	0,06
0,10	0,00

CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO T7 (55°C /4M/S /0 DIAS)

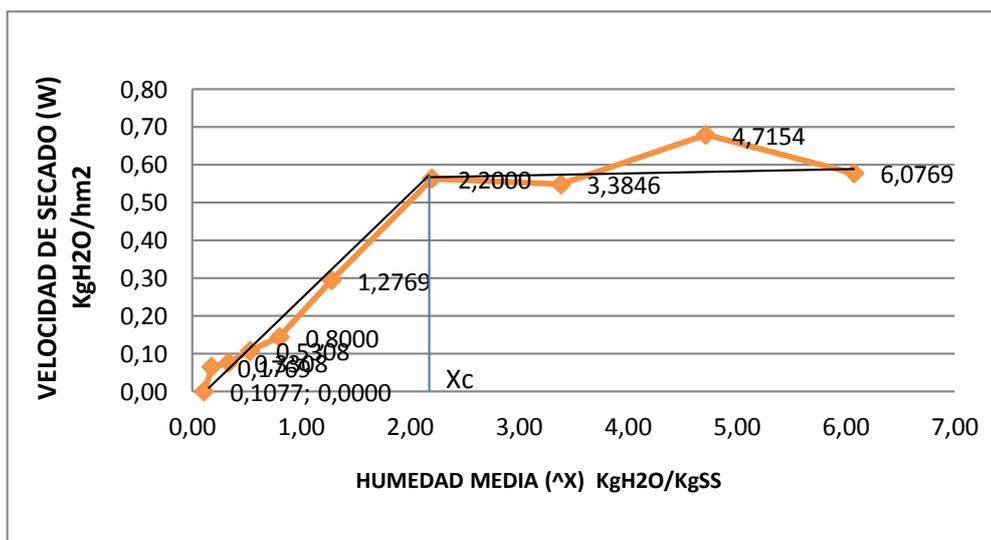


Figura 70 Curva de velocidad de secado T7

Por lo tanto en el proceso de deshidratación de la jícama en forma de hojuelas, en la curva de secado se mira el comportamiento como actúa bajo condiciones de velocidad de aire de secado y condiciones de temperatura, la matriz celular propia de la raíz por su composición permite que exista vías de difusión del vapor de agua desde el interior de la hojuela hacia la superficie, la disminución del peso por evaporación del agua es rápida, como se puede observar en la pendiente de la figura 70. Este comportamiento del incremento de velocidad de secado es debido a que la raíz de la jícama *Smallanthus sonchifolius* posee una estructura celular rígida facilitando la deshidratación con un tiempo de 4h.

Menciona (Casp A., 2011) un segundo periodo de velocidad decreciente o también conocido periodos de velocidad final. Este periodo solo existe para los materiales higroscópicos. El flujo másico se reduce más rápidamente que en el periodo anterior. En este periodo. El producto está en dominio de la higroscopia en el alimento no queda más que agua ligada que se evacua muy lentamente (difusión desorción). Esta fase se termina cuando el producto alcanza su humedad de equilibrio. La humedad crítica coincide con el punto de intersección de la recta de velocidad constante con la del primer tramo de velocidad decreciente como se mira en la figura 70 que se obtuvo en la investigación de la deshidratación de jícama.

4.10.27 GRAFICAS DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO (Xe) Y HUMEDAD CRÍTICA (Xc) T7

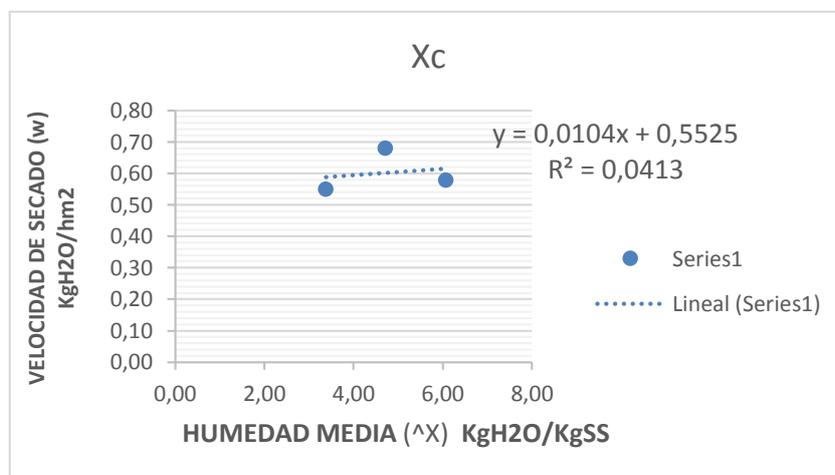


Figura 71 Velocidad de secado vs humedad XcT7

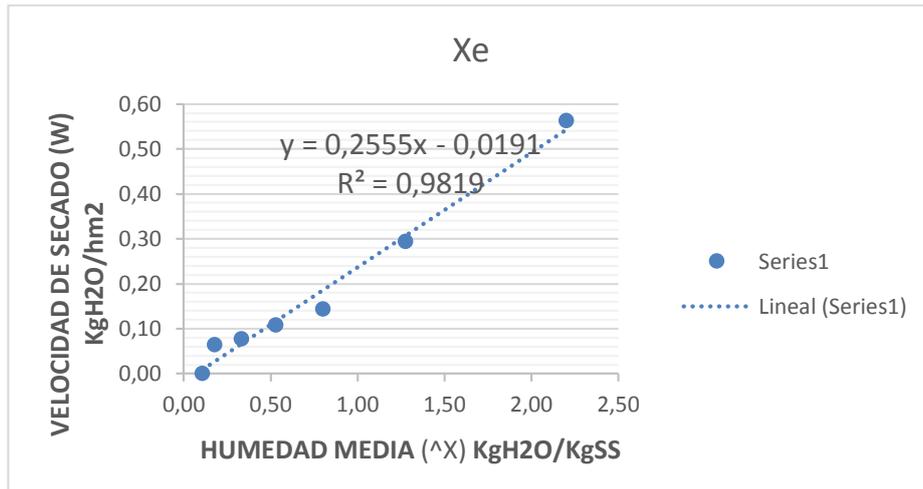


Figura 72 Velocidad de secado vs humedad Xe T7

Además en la figura 71 y 72 se puede ver la representación de dos ecuaciones las cuales indican la tendencia de la curva de secado $Y = ax$ y $Y = ax + b$ el cual empieza con una humedad inicial $X_0 = 6,69 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$ y concluye en la humedad crítica $X_c = 1.97 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$, con una velocidad de secado $W_i = 0,57 \text{ kgH}_2\text{O/hm}^2$. El tiempo pos crítico, empieza a partir de la humedad crítica y termina en la humedad final $X_f = 0,10 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$ con una velocidad de secado $W_f = 0,06 \text{ kgH}_2\text{O/hm}^2$ y una humedad de equilibrio $X_e = 0,07 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$.

4.10.28 TIEMPO TOTAL DE DESHIDRATACIÓN

$$T t = t_c + t_d$$

$$T t = 1.01 + 3.09$$

$$T t = 4.10$$

4.10.29 TABLA DE VALORES DE HUMEDAD Y VELOCIDAD DE SECADO T8

Tabla 73 Valores de velocidad de secado y humedad del tratamiento T8

TIEMPO	PESO	PESO BASE SECA	HUMEDAD (X)	HUMEDAD MEDIA	VELOCIDAD (W)
Horas (20min.)	Kg	Kg SS	KgH ₂ O/KgSS	media ^X	KgH ₂ O/hm
0,00	0,50	0,065	6,69		
0,30	0,42	0,065	5,53	6,11	0,54
0,70	0,37	0,065	4,81	5,17	0,32
1,00	0,32	0,065	4,04	4,43	0,36
1,30	0,26	0,065	3,09	3,56	0,44
1,70	0,20	0,065	2,15	2,62	0,42
2,00	0,15	0,065	1,32	1,73	0,38
2,30	0,10	0,065	0,60	0,96	0,33
2,70	0,08	0,065	0,30	0,45	0,13
3,00	0,08	0,065	0,24	0,27	0,02
3,30	0,08	0,065	0,24	0,24	0,00

4.10.30 CURVAS DE DESHIDRATACIÓN DEL TRATAMIENTO T8 A2B2C2 (55°C /4M/S / 6 DIAS) HUMEDAD VS TIEMPO Y VELOCIDAD VS HUMEDAD.

4.10.30.1 Humedad vs tiempo

Tabla 74 Humedad vs tiempo T8

TIEMPO (h)	HUMEDAD (^X)
0,30	6,11
0,70	5,17
1,00	4,43
1,30	3,56
1,70	2,62
2,00	1,73
2,30	0,96
2,70	0,45
3,00	0,27
3,30	0,24

CURVA DE SECADO T8 (55°C /4M/S / 6 DIAS)

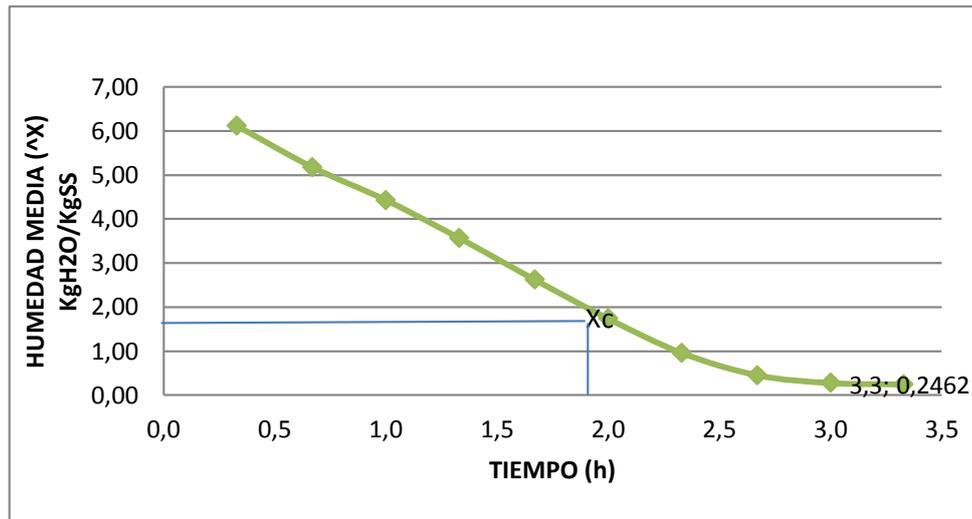


Figura 73 Curva de secado Humedad vs tiempo T8

Indudablemente podemos observar en la pendiente de la figura 73 que la pérdida de humedad en la curva de secado tiene un comportamiento lineal donde se distingue el periodo constante, esto debido a la cantidad de agua en estado libre que se encuentra en la hojuela de jícama, facilitando la salida hasta alcanzar la humedad crítica, seguido de un comportamiento no lineal por un periodo decreciente hasta llegar a la humedad final de la hojuela de jícama deshidratada.

De hecho para tratamiento 8 el tiempo para obtener las hojuelas de jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada es de 3.3 horas.

4.10.30.2 Velocidad vs humedad

Para obtener la humedad en (KgH2O/KgSS) y la velocidad del secado en (KgH2O/hm²), se realizan los cálculos se describen en el anexo 2.

Tabla 75 Humedad vs velocidad T8

HUMEDAD (^X)	VELOCIDAD (W)
6,11	0,54
5,17	0,32
4,43	0,36
3,56	0,44
2,62	0,42
1,73	0,38
0,96	0,33
0,45	0,13
0,27	0,02
0,24	0,00

CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO T8 (55°C /4M/S / 6 DIAS)

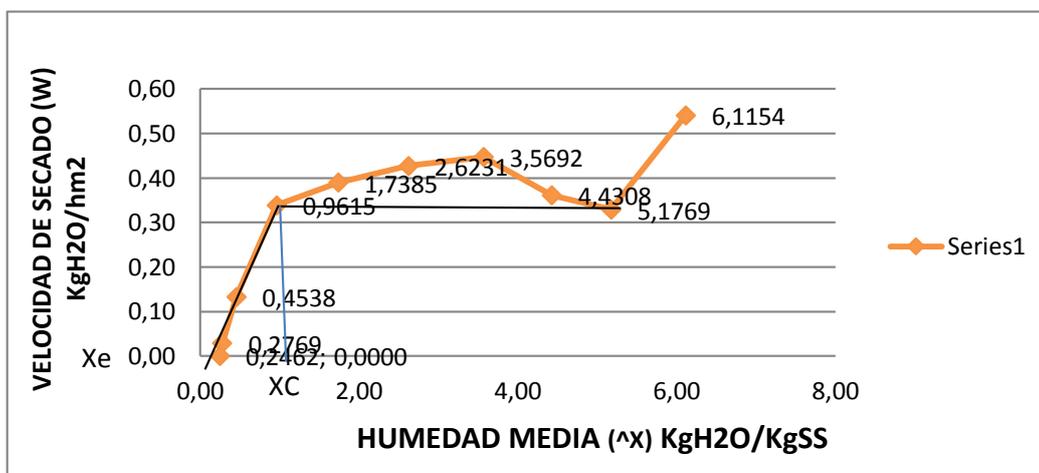


Figura 74 Curva de velocidad de secado T8

Es necesario tomar en cuenta como se genera el desarrollo la curva de velocidad de secado de la gráfica 74, como se distinguen los periodos de secado el primer periodo constante donde se produce una reducción del contenido del agua muy importante gracias a la existencia de matriz celular de la raíz mediante vías de difusión del vapor de agua desde el interior, el agua de imbibición se elimina con un flujo másico constante, la evaporación se efectúa en la superficie del producto a temperatura constante, siendo esta 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, este periodo continua mientras que la superficie del producto este alimentada por agua en estado libre desde el interior que contenga la jícama, fundamentalmente por capilaridad y finaliza cuando el producto alcanza el valor de

la humedad crítica y un periodo decreciente al presentar en la superficie externa una instauración y la temperatura se incrementa continuamente desde la de bulbo húmedo hasta la del fluido calefactor.

Según (Casp Vanaclocha, (2008) los depósitos de soluto obstruyen los poros, el agua ligada mira bajo forma de vapor y la distancia a recorrer por el frente de vapor es cada vez mayor, todos estos factores frenan rápidamente la transferencia interna de agua. Esta fase se termina cuando el producto alcanza su humedad de equilibrio dejando de eliminar cantidad de agua al mantener un equilibrio y conservar características nutricionales y organolépticas del producto final.

4.10.31 GRAFICAS DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO (Xe) Y HUMEDAD CRÍTICA (Xc) T8

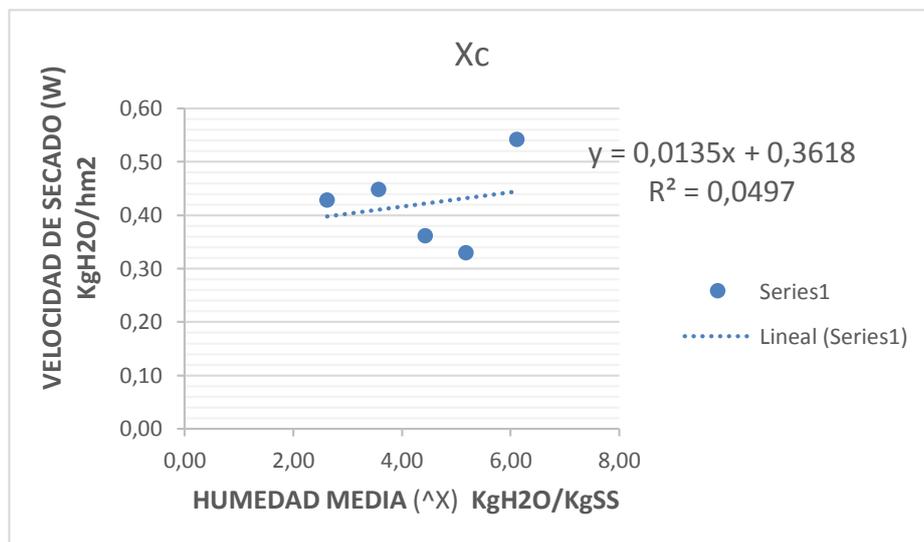


Figura 75 Velocidad de secado vs humedad Xc T8

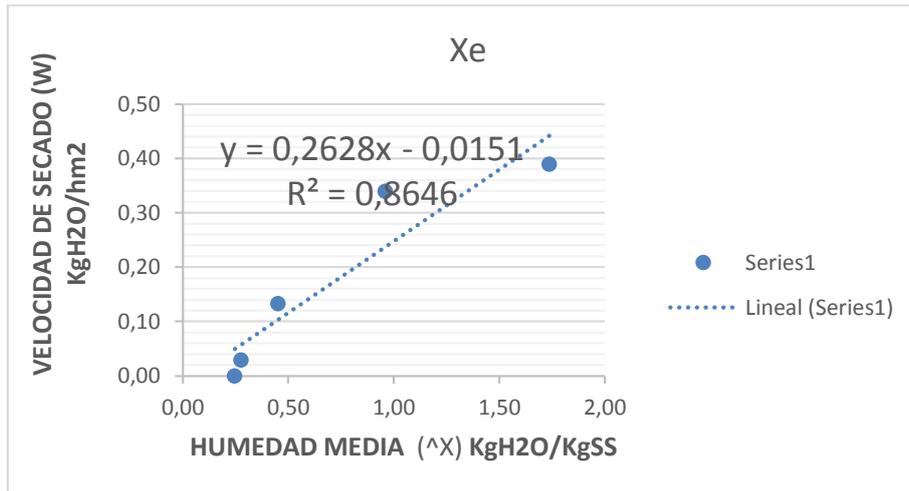


Figura 76 Velocidad de secado vs humedad Xe T8

Claramente en la figura 75 y 76 se puede ver la representación de dos ecuaciones las cuales indican la tendencia de la curva de secado $Y = ax$ y $Y = ax + b$ el cual empieza con una humedad inicial $X_0 = 6,69 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$ y concluye en la humedad crítica $X_c = 1.32 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$, con una velocidad de secado $W_i = 0,54 \text{ kgH}_2\text{O/hm}^2$. El tiempo pos crítico, empieza a partir de la humedad crítica y termina en la humedad final $X_f = 0,24 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$ con una velocidad de secado $W_f = 0,0289 \text{ kgH}_2\text{O/hm}^2$ y una humedad de equilibrio $X_e = 0,05 \text{ kgH}_2\text{O/kgss}$.

4.10.32 TIEMPO TOTAL DE DESHIDRATACIÓN

$$T t = t_c + t_d$$

$$T t = 1.63 + 1.56$$

$$T t = 3.19$$

4.10.33 TABLA DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO Y HUMEDAD CRÍTICA

Tabla 76 Valores de humedad de equilibrio y humedad crítica de todos los tratamientos

TABLA DE SECADO				
Tratamientos	Velocidad	Humedad de Critica	Humedad Equilibrio	temperatura °C
T#	V=m/s	Xc	Xe	°T °C
1	2m/s	0,91	0,21	50
2	2m/s	1,41	0,16	50
3	4m/s	1,73	0,02	50
4	4m/s	1,28	0,37	50
5	2m/s	2,45	0,03	55
6	2m/s	1,13	0,08	55
7	4m/s	1,97	0,07	55
8	4m/s	1,32	0,05	55

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA, MICROBIOLÓGICA Y SENSORIAL DE LAS HOJUELAS DE JÍCAMA *Smallanthus sonchifolius* DESHIDRATADA.

4.11 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DE LAS HOJUELAS DE JÍCAMA *SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS* DESHIDRATADA

Tabla 77 Variables independientes vs variables Dependientes (resultado de análisis físico químico hojuelas de jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada).

TRATAMIENTOS	Variables Independientes			Variables Dependientes						
	A	B	C	°Brix	a _w	Azúcares reductores	Humedad	p H	Cenizas	Fibra
	°T de deshidratación	Velocidad del aire de secado	Días de exposición al sol							
T1	50 °C	2 m/s	0	82,83	0,43	27,86	10,57	5,92	3,39	0,74
T2		2m/s	6	65,93	0,45	21,78	12,34	5,39	3,59	0,77
T3		4 m/s	0	82,95	0,42	27,33	14,48	5,83	3,56	0,76
T4		4 m/s	6	61,00	0,46	20,15	14,68	6,00	3,47	0,75
T5		2 m/s	0	82,28	0,45	27,19	11,44	6,05	3,29	0,70
T6	55 °C	2 m/s	6	79,98	0,43	26,33	10,85	5,98	3,52	0,76
T7		4 m/s	0	70,00	0,41	23,13	13,24	5,86	3,81	0,76
T8		4 m/s	6	83,00	0,43	26,99	11,91	5,87	3,26	0,70

T1, T5, T8 son los tratamientos que presenta mejor resultado en las diferentes variables que se procedió evaluar.

4.12 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO.

A continuación se detalla los resultados obtenidos en el análisis microbiológico de la jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada en: recuento total de aerobios, recuento de mohos y levaduras que se realizó en el Laboratorio de Uso Múltiple de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales.

Los rangos establecidos por la norma NTE INEN 2996 que permite la aceptabilidad de productos deshidratados.

Tabla 78 Requisitos microbiológicos para productos deshidratados

Requisitos	Unidad	n	m	M	c	Método de ensayo
Recuento de Mohos y Levaduras	UFC/g	5	1,0x10 ²	1,0x10 ³	2	NTE INEN 1529-10

En donde:

n= número de muestras.

m= índice mínimo permisible para identificar nivel de buena calidad.

M= índice máximo permisible para identificar nivel aceptable de calidad.

c= número de muestras permitidas con resultado entre m y M.

Los resultados obtenidos del tratamiento **T1** con 2m/s de velocidad del aire de secado, 0 días de exposición al sol y sometido a temperatura de 50 °C, **T5** con 2m/s de velocidad del aire de secado, 0 días de exposición al sol y sometido a temperatura de 55 °C) y **T8** con 4m/s de velocidad del aire de secado, 6 días de exposición al sol y sometido a temperatura de 55 °C) se encuentran dentro de los rangos establecidos por la norma NTE INEN 1529 que permite la aceptabilidad de productos deshidratados para parámetro analizado de recuento total de aerobios como se observa en la tabla 77, al igual que recuento de mohos y recuento de levaduras en un nivel **M** aceptable de calidad establecidos por la norma NTE INEN 1529 tabla 76.

Tabla 79 resultado de análisis microbiológico de la jícama deshidratada

PARÁMETROS ANALIZADOS	UNIDAD	TRATAMIENTOS			METODO DE ENSAYO
		T1	T5	T8	
RECuento TOTAL DE AEROBIOS	UFC/g	180	220	480	AOAC . 989 .10
	UFC/g	1,8x10 ²	2,2x10 ²	4,8x10 ²	AOAC . 989 .10
RECuento DE MOHOS	UFC/g	1200	700	2400	AOAC .997 .02
	UFC/g	1,0x10 ³	1,0x10 ²	2,4x10 ³	AOAC .997 .02
RECuentos DE LAEVADURAS	UFC/g	2400	750	200	AOAC .997 .02
	UFC/g	2,4x10 ³	1,0x10 ²	1,0x10 ²	AOAC .997 .02

4.13 ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO

Este tipo de análisis se refiere a todas las descripciones de las características físicas que tiene la materia en general, según las pueden percibir los sentidos. En la investigación las características evaluadas fueron: Color, Olor, sabor y textura. Para realizar el análisis organoléptico se utilizó la prueba de rangos de Friedman, que es la herramienta no paramétrica que más se ajusta a lo requerido.

El panel de degustadores estuvo formado por 12 personas que analizaron las características de la jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada.

4.13.1 COLOR:

Es una percepción visual que se genera en el cerebro permitiendo determinar que el producto tiene una presentación agradable a la vista del consumidor, con el color natural de la jícama *Smallanthus sonchifolius*.

Tabla 80 Rangos del color

COLOR	TRATAMIENTOS								Σ
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	
ΣR	75,00	33,50	65,00	23,00	72,00	38,00	48,00	77,50	432,00
\bar{X}	6,25	2,79	5,417	1,91	6,00	3,16	4,00	6,45	36,00
ΣR^2	5625,00	1122,00	4225,00	529,00	5184	1444	2304	6006	26439,50

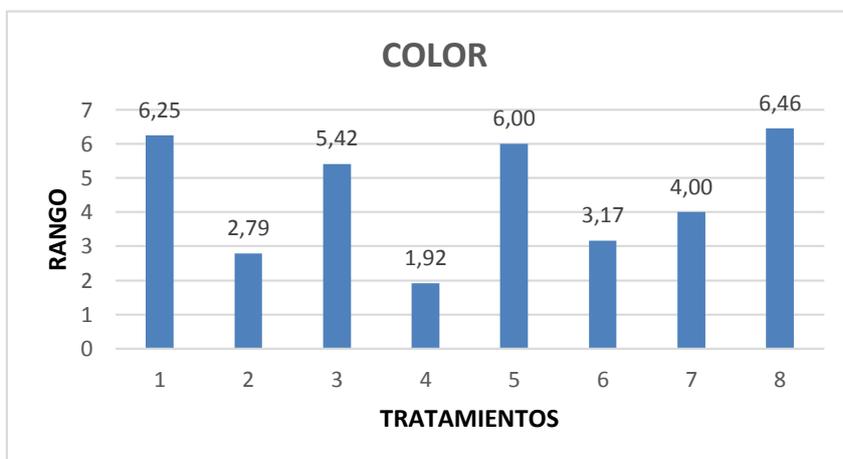


Figura 77 Promedio de color por tratamiento

Mejores tratamientos:

Al analizar los valores de color, el tratamiento que tuvo mayor aceptación fue T8 (55 °C/4m/s /6 días) con 6,45, seguido por T1 (50 °C/ 2m/s/ 0 días) con 6,25 y T5 (55 °C /2 m/s / 0 días) con 6,00.

Son varias las causas por las cuales la deshidratación induce cambios o pérdidas del color.

La deshidratación cambia las características de la superficie del alimento y por tanto su color y reflectancia. Los cambios químicos experimentados por los pigmentos como, el caroteno y la clorofila, están producidos por el calor y la oxidación que tiene lugar durante la deshidratación, por lo general, cuanto más largo es el proceso de deshidratación y más elevada es la temperatura, mayores son las pérdidas en estos pigmentos. Por otra parte, la oxidación y la actividad enzimática residual de polifenoloxidasas favorecen al desarrollo del pardeamiento durante su almacenamiento. Ello puede evitarse mejorando los sistemas de escaldado y tratando la fruta con ácido ascórbico o anhídrido sulfuroso. Sin embargo en algunos países se encuentra restringido ya que están asociados a algunos problemas de salud. La velocidad a que esta reacción se produce aumenta notablemente a temperaturas de deshidratación elevadas. (Fellows, 2009)

4.13.1.1 Prueba de Friedman para color

Ecuación 5 Ec. Friedman

$$X^2 = \frac{12}{rK(K+1)} \cdot \sum R^2 - 3r(K+1) \quad \text{N}^\circ 5$$

K= tratamientos

r= degustadores

R= rangos

$$X^2 = \frac{12}{12(8)(8+1)} \cdot (26439,5) - 3(12)(9)$$

$$X^2 = 43,22$$

VALOR TABULADO DE FRIEDMAN

$$GL = (T-1)$$

$$GL = 8-1$$

$$GL = 7$$

$$1\% = 18.5 \quad 5\% = 14.01$$

VALOR CALCULADO 43,22**

Para el análisis de color, se observa una alta significación estadística al 5% y 1%, lo que indica la diferencia que existe entre los tratamientos.

4.13.2 OLOR

Característica muy importante del producto. La jícama *Smallanthus sonchifolius* debe de presentar un olor agradable.

Tabla 81 Rangos de olor

OLOR	TRATAMIENTOS								Σ
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	
ΣR	56,00	39,00	57,00	46,00	60,50	54,50	46,50	72,50	432,00
\bar{X}	4,66	3,25	4,75	3,83	5,04	4,54	3,87	6,04	36,00
ΣR^2	3136,00	1521,00	3249,00	2116,00	3660,00	2970,00	2162,00	5256,00	24071,00

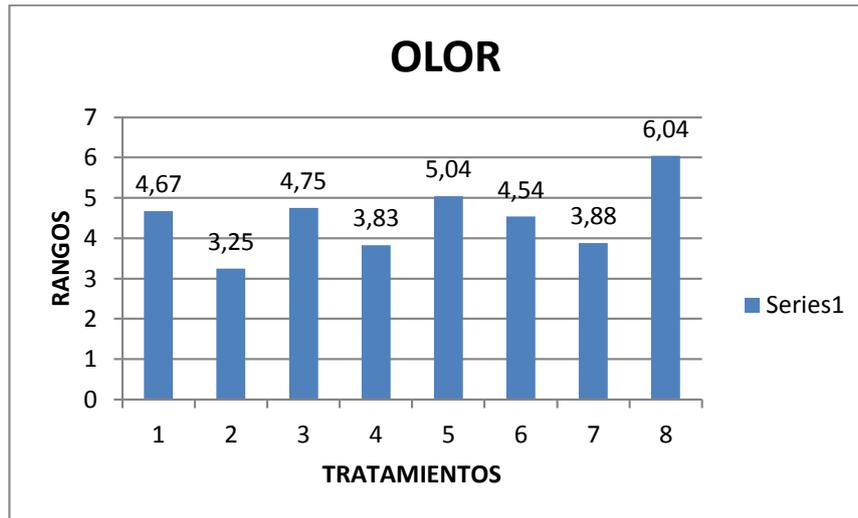


Figura 78 Promedio de olor por tratamiento

Mejores tratamientos:

Se observó que el tratamiento que tuvo mayor aceptación fue T8 (55 °C/4m/s /6 días) con 6,04, seguido por T5 (55 °C /2 m/s / 0 días) con 5,04.

Es necesario tomara en cuenta que el calor no solo provoca el paso del agua a vapor durante la deshidratación, sino también la pérdida de algunos componentes volátiles del alimento, aquellas sustancias volátiles de difusividad y volatilidad relativamente elevada son las que antes se pierden y son pocos los componentes volátiles en fases posteriores. Un adecuado control de las condiciones de deshidratación en las primeras fases del proceso, permite reducir al mínimo estas pérdidas. Una segunda causa importante de las pérdidas de aroma debidas a la deshidratación la constituye la oxidación de los pigmentos, vitaminas y lípidos durante el almacenamiento, estas se producen durante la presencia de oxígeno, como consecuencia de la estructura porosa que se desarrolla durante la deshidratación por lo que se debe usar un empaque adecuado que permita conservar sus características. (Fellows, 2009)

4.13.2.1 Prueba de Friedman para olor

Ecuación 6 Ec. Friedman

$$X^2 = \frac{12}{r \cdot K(K+1)} \cdot \sum R^2 - 3r(K+1) \quad N^{\circ} 6$$

K= tratamientos

r= degustadores

R= rangos

$$X^2 = \frac{12}{12(8)(8+1)} \cdot (24071) - 3(12)(9)$$

$$X^2 = 10,03$$

VALOR TABULADO DE FRIEDMAN

$$GL = (T-1)$$

$$GL = 8-1$$

$$GL = 7$$

$$1\% = 18.5 \quad 5\% = 14.01$$

VALOR CALCULADO 10,03 NS

Con respecto al análisis obtenido para olor, existe no significación estadística al 5% y 1%, lo que indica que los tratamientos mantienen un olor uniforme entre los tratamientos.

4.13.3 SABOR

Es la sensación más importante que se perciben por el paladar, por la impresión que causa un alimento mediante sensaciones químicas detectadas por la lengua, basamos en conocer si la jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada tiene aceptabilidad por su sabor, tolerando características como dulzor, insipidez, sabor amargo, etc.

Tabla 82 Rangos de sabor

TRATAMIENTOS									
SABOR	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Σ
ΣR	60,50	37,50	55,50	44,50	57,00	50,50	55,00	71,50	432,00
X	5,04	3,12	4,62	3,70	4,75	4,20	4,58	5,95	36,00
ΣR ²	3660,00	1406,00	3080,00	1980,00	3249,00	2550,00	3025,00	5112,00	24063,50

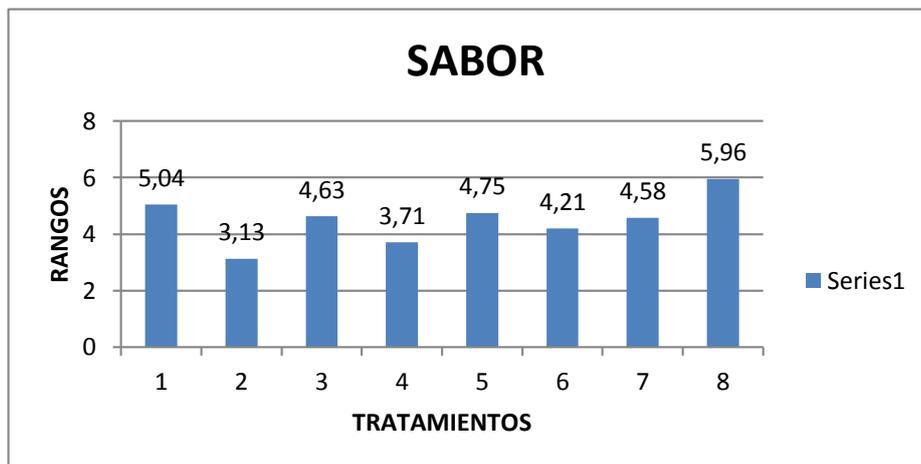


Figura 79 Promedio de sabor por tratamiento

Mejores tratamientos:

Para los valores de puntaje en sabor, el tratamiento con mayor aceptación fue T8 (55 °C/4m/s /6 días) con 5,96, seguido por T1 (50 °C/ 2m/s/ 0 días) con 5,04 T5 (55 °C /2 m/s / 0 días) con 4,75.

Los atributos del sabor son el dulzor, el amargor y la acidez, y algunos de estos atributos pueden detectarse con concentraciones umbral muy bajas. Estos atributos se hallan esencialmente determinados por la composición de alimentos y no suele afectarles el proceso de elaboración. Constituye una excepción los cambios provocados por la respiración metabólica de los alimentos frescos contienen mezclas complejas de componentes volátiles que imparten sabores y aromas característicos, alguno de ellos detectables a concentraciones extremadamente bajas, el sabor percibido depende de la velocidad a la que se liberan los compuestos que otorgan el sabor durante la masticación, por lo que está asociado con la textura del alimento y con la ruptura de la estructura del mismo. (Fellows, 2009)

4.13.3.1 Prueba de Friedman para sabor

Ecuación 7 Ec. Friedman

$$X^2 = \frac{12}{r \cdot K(K+1)} \cdot \sum R^2 - 3r(K+1) \quad N^{\circ} 7$$

K= tratamientos

r= degustadores

R= rangos

$$X^2 = \frac{12}{12(8)(8+1)} \cdot (24063) - 3(12)(9)$$

$$X^2 = 10,02$$

VALOR TABULADO DE FRIEDMAN

$$GL = (T-1)$$

$$GL = 8-1$$

$$GL = 7$$

$$1\% = 18.5 \quad 5\% = 14.01$$

VALOR CALCULADO 10,02 NS

Mediante los análisis obtenidos con respecto a sabor, existe no significación estadística al 5% y 1%, lo que indica que los tratamientos mantienen un sabor similar entre los tratamientos.

4.13.4 TEXTURA

Esta es una característica muy importante que permite determinar ciertas propiedades la jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada, capaces de ser percibidas por los ojos, el tacto, los músculos de la boca incluyendo sensaciones como aspereza y suavidad.

Tabla 83 Rangos de textura

TRATAMIENTOS									
TEXTURA	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Σ
ΣR	56,50	45,00	54,50	50,00	60,50	53,50	54,00	58,00	432,00
X	4,70	3,75	4,54	4,16	5,04	4,45	4,50	4,83	36,00
ΣR ²	3192,00	2025,00	2970,00	2500,00	3660,00	2862,00	2916,00	3364,00	23490,00

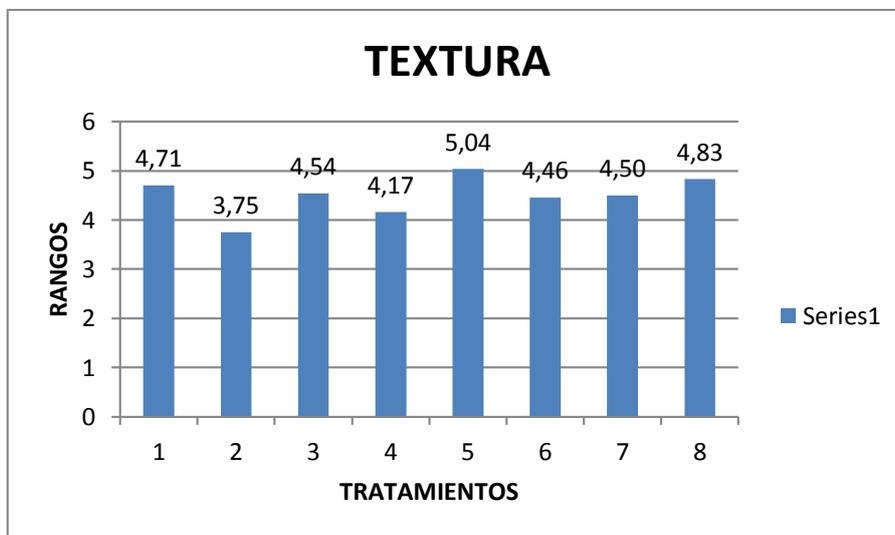


Figura 80 Promedio de textura por tratamientos

Mejores tratamientos:

Al analizar la textura final de las hojuelas de jícama, el tratamiento que tuvo mayor aceptación por parte del panel degustador fue T5 (55 °C /2 m/s / 0 días) con 5,04. T8 (55 °C/4m/s /6 días) con 4,83, seguido por T1 (50 °C/ 2m/s/ 0 días) con 4,71.

La principal causa de alteraciones de la calidad de los alimentos deshidratados reside en las modificaciones que estos provocan en su textura en el tipo de empardeamiento y la intensidad con que se aplica durante el proceso y las distintas operaciones como el escaldado donde las pérdidas de textura están provocadas por la gelatinización del almidón, la cristalización de la celulosa y por tensiones internas provocadas por variaciones localizadas en el contenido en agua durante la deshidratación. Esta tensión da lugar a roturas y compresiones que provocan distorsiones permanentes en las células, relativamente rígidas, confiriendo al alimento un aspecto arrugado. La temperatura y la velocidad de deshidratación ejercen un efecto determinante sobre la textura de los alimentos. Por lo general las velocidades de deshidratación rápidas y las temperaturas más elevadas provocan mayores cambios que las velocidades de deshidratación más lentas y temperaturas más bajas. Las temperaturas más elevadas durante la deshidratación provocan complejos cambios físicos y químicos en la superficie del alimento que conduce a la formación de una capa superficial dura e impenetrable este fenómeno se denomina acortezamiento provocando la reducción de velocidad de deshidratado y da lugar a un alimento que es seco en su superficie y húmedo en su interior, este efecto puede minimizarse controlando los parámetros de deshidratación para evitar que se produzca un gradiente excesivamente elevado entre el contenido de agua de la superficie y el interior. (Fellows, 2009)

4.13.4.1 Prueba de Friedman para textura

Ecuación 8 Ec. Friedman

$$X^2 = \frac{12}{r \cdot K(K+1)} \cdot \sum R^2 - 3r(K+1) \quad N^{\circ} 8$$

K= tratamientos

r= degustadores

R= rangos

$$X^2 = \frac{12}{12(8)(8+1)} \cdot (23490) - 3(12)(9)$$

$$X^2 = 2,25$$

VALOR TABULADO DE FRIEDMAN

$$GL = (T-1)$$

$$GL = 8-1$$

$$GL = 7$$

$$1\% = 18.5 \quad 5\% = 14.01$$

VALOR CALCULADO 2,25 NS

En la relación con los análisis obtenidos con respecto a la textura, existe no significación estadística al 5% y 1%, lo que indica que los tratamientos mantienen una textura similar entre los tratamientos.

4.14 RESULTADOS DE ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO DE LAS HOJUELAS DE JÍCAMA *Smallanthus sonchifolius*.

Tabla 84 Comparación estadística de las variables en la fase de degustación

Variable	X ² Calculado	X ² Tabular		Sig.
		5%	1%	
Color	43,22	14,01	18,50	**
olor	10,03	14,01	18,50	ns
Sabor	10,02	14,01	18,50	ns
textura	2,25	14,01	18,50	ns

** : Altamente significativo.

ns : No significativo.

La tabla indica que existe alta significación estadística para variable color lo que indica la diferencia que existe entre los tratamientos.

Para las variables analizada de olor, sabor y textura lo que indica que los tratamientos mantienen un r olor, sabor y textura uniforme entre los tratamientos

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Una vez que se ha culminado con todas las etapas y fases de la presente investigación experimental, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Los análisis físico químicos realizados a la jícama en estado fresco permiten determinar que de los componentes orgánicos más sobresaliente está representado por los carbohidratos totales en proporción equivalente a 7,26%, debido a que en este grupo se encuentran los fructooligosacáridos, además en su composición tenemos el 87,00% de humedad y 13,00% de sólidos solubles.
- La disminución del peso por evaporación en el periodo pos crítico se realiza a mayor velocidad en la deshidratación de hojuelas de jícama, debido a las características de la raíz, ya que posee estructura celular rígida, facilitando la deshidratación por vías de difusión de vapor desde el interior de la raíz.
- Las mejores características físico-químicas y sensoriales de las hojuelas deshidratadas de jícama a 55 °C en el secador de bandejas alcanzan el 82,96% de la concentración de sólidos solubles y actividad de agua de 0,43. Esto se debe a la incidencia de la exposición al sol previa al secado.

- Los parámetros microbiológicos realizados a las hojuelas de jícama, para los tratamientos T1, T5, T8 que presentan los mejores valores cuantitativos y cualitativos demuestran que la calidad sanitaria e inocuidad se manejaron con estrictas normas de Buenas Prácticas de Manufactura.
- En el proceso de deshidratación de las hojuelas de jícama; la temperatura, velocidad de aire de secado y días de exposición al sol, influyen en la deshidratación de la jícama por lo que se acepta la hipótesis alternativa.

5.2 RECOMENDACIONES

Una vez que se ha definido las conclusiones de las fases de la investigación experimental, se ha llegado al establecimiento de las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda usar abundante agua para lavar la jícama *Smallanthus sonchifolius* sin ningún agente químico, para que no sufra cambios en las propiedades organolépticas.
- Se recomienda procesar inmediatamente la jícama *Smallanthus sonchifolius* para ser deshidratada, con el fin de inhibir el crecimiento microbiano que puede ocasionar deterioro y oxidación del producto ya que provoca cambios de color.
- Se recomienda realizar investigaciones con otras variedades de jícama *Smallanthus sonchifolius* que se encuentren en el mercado o en las comunidades para realizar una comparación con esta investigación y determinar la mejor variedad a nivel de todas las existentes.
- Se recomienda usar como temperatura máxima 60°C ya que al realizar ensayos preliminares a mayores temperaturas se pierden el aroma, olor y sabor característicos de la jícama *Smallanthus sonchifolius*.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Agriculture, U. D. (2013). Recuperado el 07 de 12 de 2015, de http://www.ceniza-alimentos-info_8853/
- Aguilar Calizaya, A. (2008). Bebida nutraceutica. Recuperado el 10 de Septiembre de 2014, de http://www.concytec.gob.pe/portalsinacyt/images/stories/corcytecs/tacna/tesis_evaluacion_de_la_elaboracion_de_un_nectar_nutraceutico_a_base_de_mashua_y_mara_cuya.pdfB
- Alvarez, G., & Merino, J. (2009). Informe final del ensayo de mashua en la comunidad de LLangahua. INIAP, Dirección de Transferencia: Unidad de Transferencia Tungurahua . Ambato.
- Ammar M, S., Hegazy A, E., & Bedeir S, H. (2009). Using Taro Flour as Partial Substitute of Wheat Flour in Bread Making. World Journal of Diary & Food Sciences. En Journal of Diary & Food Sciences. (págs. 94-99).
- Aponte y Ayala, y. C. (2006). Deshidracion de piña.
- Aqualab. (25 de junio de (2010). Recuperado el 12 de octubre de 2015, de [medidor de agua: http://www.aqualab.es](http://www.aqualab.es)
- Artica. (1993). Origen de la jicama.
- Autor. (18 de diciembre de 2015). la jicama. Planta Jicama Tesis jicama Ricardo Arias. Ibarra, Imbabura, Ecuador.
- Ayala, C. (2001). Centro de documentacion soluciones practicas. Lima, Peru.
- B.M. Watts, W. (1992). Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos. Ontario: International Development Research Centre.
- Badui, S. (2012). La ciencia de los Alimentos en la Práctica. Mexico: pearson educación.
- Barbosa, C., & Vega, M. (1996). En Deshidratación de Alimentos. Zaragoza, España: Acribia, S.A.
- Benado, A., & Rivzi, S. 1. (s.f.).
- Cañadas, L. (2001). Agroecosistemas Andino en el Ecuador..cip. Lima, PERU.

- Capcha, P. (2008). Buena Salud 1er Curso Latinoamericano. Lima: Santa Herminia.
- Casp A., (. P.-E. (2011). Proceso de Conservacion de alimentos. Madrid -Espana.
- Casp Vanaclocha, A. a. (2008). Procesos de Conservación de Alimentos (2a. ed.). España: Mundi- Prensa ProQuest ebrary. web 16 de octubre.
- Cesar Osorio. (2013). Psicrometrico. Obtenido de Psicrometrico: <http://psicrometria-imi131.blogspot.com/2013/11/volumen-especifico.html>
- Colina, M. (2010). Deshidratación de alimentos. Mexico: Trillas.
- Colina., D. d.-M. (2010). Deshidratación de Alimentos. D.F Mexico: trillas.
- Cortes William G C Ortiz et al.,. (2013). V Cuantificación de azúcares reductores en las cáscaras de naranja y banano. En R. d. Technology, V Cuantificación de azúcares reductores en las cáscaras de naranja y banano (págs. Págs. 72-76 -76 volumen 12). bogota.
- Council, n. r. (1989).
- Cuya Ayala, R. A. (2009). Efecto de secado en bandeja y atomización sobre la actividad antioxidante de la mashua (*Tropaeolum tuberosum* R&P). Magíster Scientiae, Universidad Nacional Agraria la Molina , Lima.
- Doymaz, I., & Pala, M. (2003). The thin-corn, layer drying characteristics of. Journal of Food Engineering.
- Dr.C. Annia García Pereira et al. (Marzo de 2013). Deshidracion de piña POR EL METODO do Y metodo DAC. Análisis comparativo de la cinética de deshidratación Osmótica y por Flujo de Aire Caliente de la Piña (*Ananas Comosus*, variedad Cayena lisa).
- El Productor. (31 de 01 de 2012). El Productor. Recuperado el 2014, de La mashua y la oca, dos tubérculos a la percha: elproductor.com/2012/01/31/ecuador-la-mashua-y-la-oca-dos-tuberculos-a-la-percha/
- Espín, S., Brito, B., Villacrés, E., Rubio, A., Nieto, C., & Grijalva, J. (2001). Composición Química, Valor Nutricional y Usos Potenciales De Siete Especies De Raices y Tuberculos Andinos. Recuperado el Lunes de Noviembre de 2014, de repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1045/1/T-Senescyt-0230.pdf

- Espinosa, P., Vaca, R., Abad, J., & Crissman, C. (1996). Raíces y Tubérculos Andinos, Cultivos Marginados en el Ecuador. Situación Actual y Limitaciones para la Producción. Quito: Abya-Yala.
- FAO. (2008). Descripción botánica de la mashua.
- Fellows. (2009). Tecnología del procesado de los alimentos. En F. P., Tecnología del procesado de los alimentos (pág. 409). New York: Acribia, S.A.
- Fobomade. (07 de Octubre de 2014). Foro boliviano sobre medio ambiente y desarrollo. Recuperado el Lunes de Noviembre de 2014, de Aportes en el Año Internacional de la Agricultura Familiar: Bolivia: centro de origen y diversidad de innumerables cultivos: <http://fobomade.blogspot.com/2014/10/v-behaviorurldefaultvmlo.html>
- Geankoplis, C. J. (1998). Procesos de transporte y operaciones unitarias (Tercera ed.). Mexico: Continental, S.A. DE C.V.
- Gil, A. (2010). Tratado de Nutrición - tomo II Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos (2 ed.). Madrid, España: Editorial Médica Panamericana.
- Grau, A., Ortega, R., Nieto, C., & Hermann, M. (2003). Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.). Lima, Perú: Roma Italia International Potato Center, International Plant Genetic Resources Institute.
- Hoyos y Pérez . (2003).
- IANCEM., R. A. (06 de mayo de (2015). Analisis de jicama fresca. Ingenio azucarero del norte- Analisis de jicama fresca.
- Ibarz, A. (2005). Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. mundi prensa.
- Improveyourwork. (01 de 11 de 2012). acondicionamiento-termico. Recuperado el 18 de 07 de 2016, de acondicionamiento-termico: http://improveyourwork.blogspot.com/2012/11/acondicionamiento-termico-en-la_7286.html#.V40FVtLhC1v
- In seminario, J. V. (2003). El yacon Fundamento para el Aprovechamiento de un Recurso Promisio. en n. 1991. Lima, Peru.

- INIA. (2006). Instituto Nacional de Innovación Agraria. Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavon). . Obtenido de Recuperado el 20 de Junio de 2013, del sitio Web de INIA: <http://www.inia.gob.pe/boletin/BCIT/boletin0002/>
- INIAP Susana.E, Brito B.Villacrés E,Rubio A,Nieto Crijalva J. (2001).
- J.M.Pinazo. (1995). Transformaciones psicrométricas. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. . Manual de Climatización. Tomo I, Isbn 84-7721-341-0.
- Judith Prieto M et al. (01 de ABRIL de (2005). Centro de Investigaciones Químicas. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo, km 4,5. Ciudad Universitaria, Pachuca, Hidalgo, México. Obtenido de estudio comparativo de características físicoquímicas de cereales KELLOGG'S.: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182005000100006
- Jurado, C. (2008). Conservación de babaco, mango UTN. UTN.
- knee y Hattfield. (1989). índices de madurez.
- Labuza, T. 1. (1971).
- Landrock, A., & Proctor, B. 1. (s.f.).
- López Camelo, A. F. (2003). Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Roma.
- López Torres, D. L. (2007). Valorización de la raíz de yacón: obtención de un jarabe rico en fructooligosacáridos. Recuperado el Lunes de Noviembre de 2014, de <http://www.upb.edu/sites/default/files/7LopezN7.pdf>
- Ludeña, A. A. (Marzo de 2014). ESTUDIO DE LA UTILIZACIÓN DE LA HARINA DE MASHUA. Ingeniería en Alimentos, Universidad Tecnológica Equinoccial, Repositorio UTE. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Lupin, H.M.; Boeri, R.L.; Moschiar, S.M. 1981. Water. (s.f.).
- Mañas J, M. (2006). Glucosinolatos (tioglicósidos). Obtenido de Recuperado el 22 de agosto de 2011 de <http://ehu.es/biomoleculas/hc/sugar33c6.htm#top>.
- Maupoey et al. (2011). Introducción al secado de alimentos por aire caliente. (E. U. Politéc., Ed.) Valencia.

- Maupoey, P. (2001).
- Meyer, R. (2007). Elaboracion de frutas y hortalizas . mexico : trillas.
- Mikuy, A. M. (2010). En Gastronomía tradicional Altoandina (pág. 264). D - FAO.
- Mondino, M. C., & Ferratto, J. (2006). Revista agromensajes. Recuperado el lunes de septiembre de 2014, de <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/18/7AM18.htm>
- Moreno M, G. (s.f.). Manual de construcción y operación de una secadora solar. Recuperado el lunes de septiembre de 2014, de http://cbi.izt.uam.mx/iph/archivos_profesores/50/archivos/4f197.pdf
- Morrillo. (1998). analisis de poliformotipos de jicama germoplasma (INIAP).
- Navas, G., Vega, R., & Soria, S. (2000). En "La Mashua (*tropaeolum tuberosum*, Ruiz y Pavón) fuente potencial de carbohidratos", Universidad Técnica de Ambato (págs. 1-5). Ambato.
- Nieto. (1991). El Yacon Fundamento. Lima, Peru.
- Okos et al . (1980). Teoria Difusion y Capilaridad .
- Olmedo, E. i. (2008). Estudio del Efecto de la Deshidratcion Osmotica en la Vida Util de los Productos Secos. Guayaquil, Guayas, Costa.
- Ordóñez, L. O. (2002). Deshidratcion Osmotica de la Manzana .
- Piccha, D. (1994).
- R., M. (2007). Elaboracion de Frutas y Hortalizas. MEXICO.
- Renato, O. (10 de 12 de 2008). industrias alimentarias .ec. Obtenido de <http://www.industrias alimentarias .com>
- Riera, G. N. (2010). Elaboración y Valorización nutricional de tres productos alternativos a base de Mashua para escolares del proyecto Runa kawsaY. Bioquímica y Farmacia, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Repositorio ESPOCH. Riobamba, Ecuador.
- Singh, P. H. (2013). Introduction to food engineering. China.

- Susana Espin et al . (2001). Proyecto de Conservación y uso de la Biodiversidad de Raíces y Tuberculos Andinos. Acta Científica Ecuatoriana INIAP Composición Nutricional Tuberculos y Raices Andinas, 7.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). Fisiología Vegetal (Vol. I). España Universitat Jaume I.
- Tapia , C., & Morillo, E. (2009). En diversida agricola andina. Terraecuador, 42/42.
- Tapia, M. B. (Febrero de 2012). Obtención de rodajas fritas “Chips” de Mashua. Ingeniería en Alimentos, Universidad Tecnológica Equinoccial, Repositorio UTE. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Tapia, y Fries. (2007). Guia de Campo de los Cultivos Andinos. (f. y. ampe, ed.) lima y Roma, Peru y Italia .
- Tapia. (1990). Obtencion de Rodajas Fritas Chips de Mashua. (ute, ed.) Quito., Pichincha, Ecuador.
- Unam. (2014). Analisis de Determinacion de Humedad . en h. c. Miguel, Analisis de Alimentos Fundamentos y Tecnicas . Huànuco, Peru : Ing. Agroindustrial .
- Universidad Agraria de La Habana. (2015). Cinetica de secado de fruta bomba medinate método de deshidratacion .
- Vega, A., Andrés, A., & Fito, P. (2005). modelado de la cinética de secado del pimiento rojo (*Capsicum annum l. cv lamuyo*). En I. t.-v. 16.
- Verkerk, R., & Dekker, M. (2008). Glucosinolates. In J. Gilbert & H. Z. Senyuva (Eds.). En Bioactive Compounds in Food (págs. 31-47). Nueva Delhi: India Blackwell publishing.
- Vian, A., & Ocon, J. (2008). Elementos de Ingeniería Química. Operaciones Básicas (1° ed.). Madrid, España: Aguilar.
- Wills et al. (1997). Madurez Comercial.

7 ANEXOS

ANEXO 1: HOJA DE ENCUESTA PARA LA EVALUACIÓN SENSORIAL DE HOJUELAS DE JÍCAMA *Smallanthus sonchifolius* DESHIDRATADA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD INGENIERIA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN No. 001-073-CEAACES-2013-13

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

DESHIDRATACIÓN DE JÍCAMA *Smallanthus sonchifolius* PARA OBTENCIÓN DE HOJUELAS

EVALUACIÓN SENSORIAL

El presente instructivo está orientado a evaluar las características organolépticas de las hojuelas de jícama *Smallanthus sonchifolius* deshidratada.

INSTRUCCIONES PARA EL DEGUSTADOR

Es importante que para la degustación del producto se tome el tiempo que usted estime conveniente y analice detenidamente cada una de las características que se detallan en esta guía. Es necesario neutralizar su paladar antes de la siguiente degustación para tener una mejor apreciación de la característica que está evaluando.

Señale con una X en las categorías que usted crea que está correcto según la siguiente información valor **4 excelente, 3 bueno, 2 regular y 1 malo**.

CARACTERÍSTICAS A EVALUARSE

Color.- El color debe ser característico de la jícama *Smallanthus sonchifolius*, amarillo semi oscuro y no debe tener ningún tipo de mancha que presenten hongos.

Olor.- El olor debe ser característico propio de la jícama *Smallanthus sonchifolius*, no debe presentar olor desagradable.

Sabor.- El sabor debe ser característico a la raíz jícama *Smallanthus sonchifolius* mínimamente dulce.

Textura.- las rodajas deshidratadas su masticabilidad será dura considerando su contenido de fibra.

		MUESTRAS							
CATEGORÍAS		1	2	3	4	5	6	7	8
COLOR	Excelente								
	Buena								
	Regular								
	Mala								

OLOR	Excelente								
	Buena								
	Regular								
	Mala								

SABOR	Excelente								
	Buena								
	Regular								
	Mala								

TEXTURA	Excelente								
	Buena								
	Regular								
	Mala								

Observaciones:

.....
.....
.....
.....

ANEXO 2: CÁLCULOS PARA LAS HOJUELAS DESHIDRATADAS DE JÍCAMA.

CÁLCULO DE HUMEDAD EN BASE SECA DE HOJUELAS DE JÍCAMA

Se tomó la muestra de 500 g o 0,50 Kg de jícama fresca con una humedad de 87,06%

$$GH_{2O} = G_i * (\%X)$$

GH_{2O} = Peso del agua

$$GH_{2O} = 0,5 \text{ Kg} * 0,87$$

G_i = Peso de la pulpa inicial

$$GH_{2O} = 0,435 \text{ Kg}$$

%X = Porcentaje de humedad

S = Peso del sólido seco

X_{bs} = Humedad en base seca

$$S = G_i - GH_{2O}$$

$$S = 0,5 \text{ Kg} - 0,435 \text{ Kg}$$

$$S = 0,065 \text{ Kg SS}$$

$$X_{bs} = (G_i - S) / S$$

$$X_{bs} = (0,5 \text{ Kg} - 0,065 \text{ Kg SS}) / 0,065 \text{ Kg SS}$$

$$X_{bs} = 6,923 \text{ KgH}_2\text{O} / \text{Kgss.}$$

CÁLCULO ÀREA

$$A_s = 0,65 \times 0,43 = 0,2795 \times 1,5 = 0,42$$

$$A_s = 0,42$$

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SECADO

Para realizar los cálculos de velocidad se tomó un intervalo de tiempo de 20 minutos para la toma de medidas en los tratamientos.

$$W = (S / A_s) * (X_o - X_1 / T_1 - T_o)$$

W = Velocidad

$$W = (0,065 / 0,42) * (6,6923 - 5,7538 / 0,3 - 0)$$

S = Peso sólido seco

$$W = 0,4401$$

A_s = área sólido seco

X = humedad en base seca

T = tiempo

ANEXO: 3 CÁLCULO DEL TIEMPO TOTAL DE DESHIDRATACIÓN

TIEMPO TOTAL DE DESHIDRATACIÓN

$$T \ t = t_c + t_d$$

TIEMPO CONSTANTE

$$t_c = \frac{S}{A \cdot w_c} \cdot (X_i - X_c)$$

$$t_c = \frac{0.065}{0.42 \cdot 0.4379} \cdot (6.2692 - 1.4385)$$

$$t_c = \frac{0.065}{0.1839} \cdot (4.8307)$$

$$t_c = 1.7074$$

TIEMPO DECRECIENTE

$$t_d = \frac{S}{A} \cdot \frac{(X_i - X^*)}{W_c} \ln \frac{(X_i - X^*)}{(X_f - X^*)}$$

$$t_d = \frac{0.065}{0.42} \frac{(0.6769 - 0.16)}{0.0614} \ln \frac{(0.6769 - 0.16)}{(0.2000 - 0.16)}$$

$$t_d = 0.1547 (8.4185) \ln 12.9225$$

$$t_d = 2.5589$$

$$T t = t_c + t_d$$

$$T t = 1.7074 + 2.5589$$

$$T t = 4.26$$

Nota: W_c (interpolación de resultados de velocidad de secado en periodo t_c y t_d en fórmula para obtener velocidad crítica).

ANEXO 4: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y ESTRUCTURA DEL DESHIDRATADOR

ANCHO	118cm
FONDO	71cm
ALTURA	210cm
TIPO DE ENRGIA	Eléctrica
MEDIO DE PROCESO	Aire caliente controlado
SISTEMA DE CONTROL	Micro computer /control temperatura-tiempo-sistema de seguridad
TEMPERATURA MAXIMA	80°C
INTERCAMBIO DE AIRE	30% con regulación
CONSUMO ELECTRICO	3000W
VOLTAJE	220 VAC conexión a tierra

ANEXO 5: RANGOS TABULADOS PARA LA VARIABLE COLOR

		Ranqueo								
Degustador	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	suma	
1	7,5	2	5	2	2	5	5	7,5	36	
2	5,5	2,5	5,5	1	8	2,5	5,5	5,5	36	
3	5,5	2	5,5	2	8	2	5,5	5,5	36	
4	6,5	3	6,5	1	3	6,5	3	6,5	36	
5	3	7	7	3	7	3	3	3	36	
6	7,5	1,5	5,5	3,5	5,5	3,5	1,5	7,5	36	
7	6	1,5	6	3	6	1,5	6	6	36	
8	7	2	4	1	7	4	4	7	36	
9	4,5	2	4,5	1	7,5	4,5	4,5	7,5	36	
10	7,5	2,5	5,5	2,5	5,5	2,5	2,5	7,5	36	
11	6,5	4	4	1,5	6,5	1,5	4	8	36	
12	8	3,5	6	1,5	6	1,5	3,5	6	36	
		TRATAMIENTOS								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Σ	
ΣR	75	33,5	65	23	72	38	48	77,5	432	
X	6,25	2,792	5,417	1,917	6	3,167	4	6,458	36	
ΣR ²	5625	1122	4225	529	5184	1444	2304	6006	26439,5	

ANEXO 6: RANGOS TABULADOS PARA LA VARIABLE OLOR

		Ranqueo								
Degustador	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	suma	
1	4	4	4	4	4	4	4	8	36	
2	6	2,5	2,5	6	6	2,5	2,5	8	36	
3	4,5	4,5	4,5	1	4,5	4,5	4,5	8	36	
4	2,5	2,5	6,5	2,5	6,5	6,5	2,5	6,5	36	
5	7	3	7	3	3	7	3	3	36	
6	2,5	2,5	2,5	6,5	2,5	6,5	6,5	6,5	36	
7	2	2	5,5	2	5,5	5,5	8	5,5	36	
8	8	4	4	4	4	4	4	4	36	
9	4	4	4	4	8	4	4	4	36	
10	7,5	2	5	5	5	2	2	7,5	36	
11	3,5	3,5	7	3,5	7	3,5	1	7	36	
12	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	36	
		TRATAMIENTOS								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Σ	
ΣR	56	39	57	46	60,5	54,5	46,5	72,5	432	
X	4,667	3,25	4,75	3,833	5,042	4,542	3,875	6,042	36	
ΣR ²	3136	1521	3249	2116	3660	2970	2162	5256	24071	

ANEXO 7: RANGOS TABULADOS PARA LA VARIABLE SABOR

Degustador	Ranqueo								suma
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	
1	7	3	7	3	3	3	3	7	36
2	2,5	2,5	6	2,5	6	8	2,5	6	36
3	3,5	3,5	3,5	7,5	3,5	3,5	7,5	3,5	36
4	6	2,5	6	2,5	8	2,5	2,5	6	36
5	3	3	3	3	3	7	7	7	36
6	5	5	5	5	1	8	5	2	36
7	4,5	1,5	4,5	4,5	1,5	4,5	7,5	7,5	36
8	7,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	7,5	36
9	3,5	3,5	3,5	3,5	7	1	7	7	36
10	7,5	3	3	3	6	3	3	7,5	36
11	6,5	2,5	6,5	2,5	6,5	2,5	2,5	6,5	36
12	4	4	4	4	8	4	4	4	36
TRATAMIENTOS									
SABOR	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Σ
ΣR	60,5	37,5	55,5	44,5	57	50,5	55	71,5	432
X	5,042	3,125	4,625	3,708	4,75	4,208	4,583	5,958	36
ΣR^2	3660	1406	3080	1980	3249	2550	3025	5112	24063,5

ANEXO 8: RANGOS TABULADOS PARA LA VARIABLE TEXTURA

Degustador	Ranqueo								suma
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	
1	4	4	8	4	4	4	4	4	36
2	4	1	4	7	4	8	4	4	36
3	2	2	5	5	7,5	7,5	5	2	36
4	3	6,5	6,5	3	1	6,5	3	6,5	36
5	4	4	1	4	7,5	7,5	4	4	36
6	7,5	5	2	7,5	2	2	5	5	36
7	4	1	4	4	7,5	4	7,5	4	36
8	6	6	2	6	2	2	6	6	36
9	5	5	5	1,5	8	1,5	5	5	36
10	4	4	4	4	4	4	4	8	36
11	6	2,5	6	2,5	6	2,5	2,5	8	36
12	7	4	7	1,5	7	4	4	1,5	36
TRATAMIENTOS									
TEXTURA	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Σ
ΣR	56,5	45	54,5	50	60,5	53,5	54	58	432
X	4,708	3,75	4,542	4,167	5,042	4,458	4,5	4,833	36
ΣR^2	3192	2025	2970	2500	3660	2862	2916	3364	23490

ANEXO 9: SIMBOLOGÍA

Xo = Humedad inicial

Xc = Humedad crítica

Xe = Humedad de equilibrio

Xf = Humedad final

Wi = Velocidad inicial

Wc = Velocidad crítica

Wf = Velocidad final

S = Peso de sólido seco

W = Velocidad de secado

Wc= Velocidad de secado crítico

As = Área sólido seco

X = Humedad en base seca

t = Tiempo

\bar{X} = Humedad media

pi = Peso inicial

pf = Peso final

T = Tratamiento

° Bx = Grados Brix

pH = Potencial de hidrógeno

As = Área del sólido

Gi = Peso del sólido húmedo

Da = Densidad aparente

Es = Espesor del sólido

G_{H2O} = Peso del agua

Gi = Peso de la jícama forma hojuelas inicial

%X = Porcentaje de humedad

G_{H2O} X_{bs} = Humedad en base seca

a_w Actividad de agua

m = Metros

cm = Centímetros

g= Gramos

% =Porcentaje

Ppm = Partes por millón

R = Rendimiento

OF = Oligofruktosa

FOS = Fructooligosacáridos

Ha = Entalpia

°C = Grados centígrados

Kg = Kilogramos

Tm = Tonelada métrica

ha= Hectárea

H ab.= Humedad absoluta

HR = Humedad relativa

H = Humedad

h = Hora

tc = Tiempo constante

td = Tiempo decreciente

ln = Logaritmo natural

A = Área

m/s = metros /segundo

Wbh = Humedad en base humedad

W = Humedad en base seca

P = Presión parcial del agua

Po = Presión de vapor agua pura

Ψ =Es la diferencia de presión entre el agua y el aire en la interface agua-aire presente en un capilar

K_H = La permeabilidad

σ = Es la tensión superficial

θ = Es el ángulo de contacto

f (r) = Es una curva diferencial

η = Es la viscosidad dinámica

r= radio

Ps = Densidad del sólido

D_v = Es el coeficiente de difusión de vapor

X_v= Es la concentración de vapor en los poros

Cs = Calor específico del sólido,

K_T = Coeficiente general de conducción de calor

Q_v = Calor que participan en la desorción

Msnm = Altitud

HPa = Presión pascales

KJ= Kilojulio

Wh/m² = Watt hora sobre metro cuadrado

W = Vatio o Watt

W/m² = Watt sobre metro cuadrado

ANEXO 10: DATOS DE ANALISIS FISICO QUIMICO



ANÁLISIS SOLICITADO POR: Sr. Arias Pabón Ricardo Alexander

FECHA: 06/05/2015

MUESTRA	CANTIDAD
Jicama fresca	100g muestra

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE JÍCAMA FRESCA (100g M.)			
PARÁMETRO ANALIZADO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO DE ENSAYO
Humedad	87	%	AOAC 925.10
Sólidos solubles	13.22	°Brix	Refractometría
Azúcares Reductores	3.2	%	AOAC 932.14C
Proteína	2.16	%	AOAC 920.87
Fibra Bruta	3.9	%	AOAC 978.10
Extracto etéreo	0.03	%	AOAC 920.85
Cenizas	3.9	%	AOAC 923.03
pH	6.03	-----	AOAC 981.12
Carbohidratos totales	7.26	%	Cálculo


Ing. Rubén Guzmán
JEFE DE LABORATORIO

www.tabucos.com
Panamericana Norte Km. 27 Via Tuluá
Cuenca: 061 264806/209
Teléfono: 041 2648304
info@tabucos.com
Ibarrá - Ecuador





UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN 002 - CONEA - 2010 - 129 - DC.
Resolución No. 001 - 073 - CEAMCES - 2013 - 13

FICAYA

Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos

Informe N°:	108 - 2015
Análisis solicitado por:	Sr. Ricardo Añas
Empresa:	No aplica
Muestreado:	Propietario
Fecha de recepción:	12 de octubre de 2015
Fecha de entrega informe:	19 de octubre de 2015
Ciudad:	Ibama
Provincia:	Imbabura

#	Muestra	Lote#
1	Hojas de jicma	No aplica

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado								Método de ensayo
		T1/1	T1/2	T2/1	T2/2	T3/1	T3/2	T4/1	T4/2	
Humedad	g/100 g	10,74	10,48	12,24	12,36	14,26	14,95	14,72	14,65	AOAC 925.10
Cenizas	g/100 g	3,30	3,57	3,82	3,45	3,55	3,56	3,83	3,38	AOAC 923.03
Fibra bruta	g/100 g	0,70	0,76	0,81	0,74	0,76	0,76	0,77	0,72	AOAC 932.14C
pH	---	5,50	5,97	5,36	5,40	5,00	5,88	5,99	6,01	AOAC 981.12
Sólidos Solubles ("Brix)	g/100 g	85,47	82,00	83,10	87,36	83,18	82,49	82,00	89,00	Refractometría
Azúcares Red. Libres	g/100 g	28,25	27,10	20,85	22,26	27,49	27,26	20,49	19,50	AOAC 932.14C
Actividad de agua	---	0,42	0,44	0,44	0,47	0,42	0,42	0,47	0,45	Aw _{25°C}

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado								Método de ensayo
		T5/1	T5/2	T6/1	T6/2	T7/1	T7/2	T8/1	T8/2	
Humedad	g/100 g	11,23	11,06	12,45	10,06	13,20	13,32	11,88	12,38	AOAC 925.10
Cenizas	g/100 g	3,32	3,23	3,70	3,43	3,35	4,06	3,16	3,32	AOAC 923.03
Fibra bruta	g/100 g	0,71	0,69	0,79	0,73	0,71	0,87	0,67	0,71	AOAC 932.14C
pH	---	6,05	6,06	5,98	5,98	5,89	5,85	5,87	5,87	AOAC 981.12
Sólidos Solubles ("Brix)	g/100 g	80,10	83,38	79,37	80,20	87,52	71,25	81,75	81,54	Refractometría
Azúcares Red. Libres	g/100 g	26,47	27,30	25,23	26,54	22,32	23,55	27,02	25,85	AOAC 932.14C
Actividad de agua	---	0,48	0,47	0,42	0,44	0,43	0,40	0,42	0,44	Aw _{25°C}

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:

Bjg. José Luis Moreno
Técnico de Laboratorio



Ar. 17 de Julio S-21 y José María

Parametro Analizado	Unidad	Resultado								Metodo de ensayo
		T10	T20	T30	T40	T50	T60	T70	T80	
Humedad	g/100 g	10,5	12,22	14,25	14,85	11,22	10,04	13,2	11,66	ADAC 925.10
Cenizas	g/100 g	3,3	3,5	3,58	3,4	3,3	3,42	4,02	3,3	ADAC 923.03
Fibra bruta	g/100 g	0,78	0,75	0,78	0,77	0,7	0,75	0,71	0,71	ADAC 932.14C
pH	5,9	5,4	5,8	6	6,02	5,98	5,85	5,87	ADAC 981.12
Sólidos Solubles (°Brix)	g/100 g	65,45	67,33	65,17	62	63,25	62,27	71,25	61,74	Refractometría
Azúcares Red. Libres	g/100 g	26,22	22,24	27,25	20,45	27,55	26,22	23,51	27	ADAC 932.14C
Actividad de agua	0,42	0,44	0,42	0,46	0,47	0,42	0,41	0,43	Air water

Visión Institucional

La Universidad Técnica del Norte en el año 2020, será una referencia en ciencia, tecnología e innovación en el país, con estándares de excelencia institucionales.

Av. 17 de julio S-21 y José María
Córdova, Barrio El Olivo,
Teléfono: (06) 2997600
Fax: Ext: 7711
Email: utn@utn.edu.ec
www.utn.edu.ec
Ibarra-Ecuador

ANEXO 11: DATOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICOS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN 002 – CONEA – 2010 – 129 – DC.
Resolución No. 001 – 073 – CEAACES – 2013 – 13

FICAYA

Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos

Informe N°:	012 - 2018
Análisis solicitado por:	Sr. Ricardo Arias
Empresa:	No aplica
Muestreado:	Sr. Ricardo Arias
Fecha de recepción:	22 de enero de 2018
Fecha de entrega informe:	29 de enero de 2018
Ciudad:	Ibama
Provincia:	Imbabura

#	Muestra	# de Lote
---	Hojuelas de Jicama	no aplica

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado			Método de ensayo
		T1	T5	T8	
Recuento Estándar en placa	UFC/g	180	220	460	AOAC 989.10
Recuento de Mohos	UFC/g	1200	700	2400	AOAC 997.02
Recuento de Levaduras	UFC/g	2400	750	200	

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:


Bióq. José Luis Moreno
Técnico de Laboratorio



Visión Institucional

La Universidad Técnica del Norte en el año 2020, será un referente en ciencia, tecnología e innovación en el país, con estándares de excelencia institucionales.

Az. 17 de Julio 5-21 y José María
Córdova Barro El Olivo
Teléfono 096 0963800
Fax Ext. 7711
Email: utn@utn.edu.ec
www.utn.edu.ec
Ibama - Ecuador