

Universidad del Valle de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería en Ciencias de Alimentos



Evaluación de tecnologías alternativas de bajo costo para la reducción de  
pérdidas post-cosecha de chile jalapeño (*Capsicum annuum*) y  
tomate (*Solanum lycopersicum*) en el Campus Central de la Universidad del  
Valle de Guatemala

Trabajo de graduación presentado por:  
Sofía Garzaro García  
Alma Lucía Real Figueroa  
Elena Gabriela Araujo Soto  
Linda Isabel Paz García; y  
Herlem Michelle Morataya Reyes

para optar al grado académico de Licenciadas en Ingeniería en Ciencias de Alimentos y  
Licenciada en Bioquímica y Microbiología

Guatemala  
2015



Evaluación de tecnologías alternativas de bajo costo para la reducción de pérdidas post-cosecha de chile jalapeño (*Capsicum annuum*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) en el Campus Central de la Universidad del Valle de Guatemala

Universidad del Valle de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería en Ciencias de Alimentos



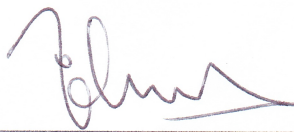
Evaluación de tecnologías alternativas de bajo costo para la reducción de pérdidas post-cosecha de chile jalapeño (*Capsicum annuum*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) en el Campus Central de la Universidad del Valle de Guatemala

Trabajo de graduación presentado por:  
Sofía Garzaro García  
Alma Lucía Real Figueroa  
Elena Gabriela Araujo Soto  
Linda Isabel Paz García; y  
Herlem Michelle Morataya Reyes

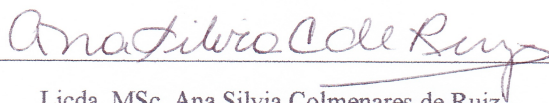
para optar al grado académico de Licenciadas en Ingeniería en Ciencias de Alimentos y  
Licenciada en Bioquímica y Microbiología

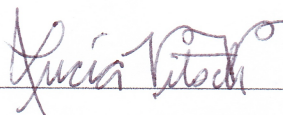
Guatemala  
2015

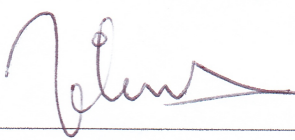
Asesora:


(f)   
MSc. Vilma Elizabeth Porres Gonzales

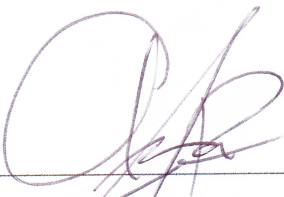
Vo. Bo. :

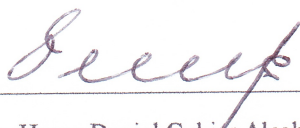
(f)   
Licda. MSc. Ana Silvia Colmenares de Ruiz  
**Directora Departamento de Ingeniería en Ciencias de alimentos**

(f)   
Licda. Lucía Nitsch  
**Directora Departamento de Bioquímica y Microbiología**

(f)   
MSc. Vilma Elizabeth Porres Gonzales  
**Coordinadora de Megaproyecto**

(f)   
Dalia Mey Ling Lau Bonilla, Ph.D.  
**Asesora**

(f)   
MSc. Ana Alicia Paz Pierri  
**Asesora**

(f)   
Ing. Henry Daniel Cukier Alcahe  
**Asesor**

Fecha de aprobación: Guatemala, 11 de Noviembre 2015.

# CONTENIDO

	Página
LISTA DE CUADROS .....	xiv
LISTA DE FIGURAS .....	xvi
RESUMEN.....	xx
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES .....	2
A. Deshidratadores solares.....	2
B. ZECC.....	5
III. JUSTIFICACIÓN.....	7
IV. OBJETIVOS.....	10
A. Objetivos generales .....	10
B. Objetivos específicos.....	10
V. MARCO TEÓRICO .....	11
A. Chile .....	11
1. Chile en Guatemala .....	11
2. Chile Jalapeño .....	11
a. Generalidades .....	11
b. Temperatura óptima de almacenamiento .....	12
c. Desórdenes en el chile .....	13
1) Fisiopatías y desórdenes.....	13
a) Pudrición apical .....	13

b)	Daño por frío.....	13
c)	Enfermedades.....	13
d)	Defectos comunes postcosecha.....	13
B.	Tomate .....	14
1.	Tomate en Guatemala.....	14
2.	Tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) .....	14
a.	Generalidades .....	14
b.	Temperatura óptima de almacenamiento .....	14
c.	Humedad relativa óptima de almacenamiento .....	15
d.	Índice de calidad .....	15
1)	Forma .....	15
2)	Color .....	15
3)	Apariencia .....	16
4)	Firmeza.....	16
e.	Clasificación del tomate por su apariencia física .....	16
1)	Primera categoría.....	16
2)	Segunda categoría.....	16
f.	Desórdenes físicos en el tomate .....	16
1)	Defectos graves en el tomate.....	16
a)	Podredumbre.....	16
b)	Daño profundo .....	16
c)	Quemado.....	16
d)	Daño por helada .....	16
e)	Sobremaduro.....	16
2)	Defectos leves.....	16
a)	Daño superficial .....	16
b)	Manchas.....	16

c)	Fruto hueco .....	16
d)	Deformado .....	16
e)	Inmaduro.....	16
g.	Microorganismos que afectan el tomate .....	17
1)	Enfermedades bacterianas .....	17
a)	Pseudomonas .....	18
b)	Manchas bacterianas .....	18
c)	Cancro bacteriano .....	18
d)	Podredumbre blanda.....	19
2)	Enfermedades fúngicas del tomate .....	19
a)	Tizón temprano del tomate .....	20
b)	Moho gris.....	21
c)	Antracnosis .....	21
d)	Moho blanco .....	22
e)	Mal del talluelo .....	22
f)	Rizoctonia.....	22
g)	Podredumbre por <i>Rhizopus</i> .....	23
h)	Tizón tardío del tomate.....	23
C.	Tecnología post cosecha .....	23
1.	Tratamientos post cosecha .....	23
a.	Tratamiento con cloruro de calcio .....	23
b.	Encerado.....	24
c.	Maduración controlada .....	24
d.	Tratamientos.....	24
2.	Almacenamiento .....	24
a.	Zero Energy Cool Chamber (ZECC) .....	25
b.	Principios de función del sistema ZECC .....	25

1)	Humedad relativa .....	25
2)	Temperatura.....	26
3)	Temperatura bulbo seco .....	26
4)	Temperatura bulbo húmedo .....	26
5)	Enfriamiento por evaporación .....	26
c.	Factores que afectan el funcionamiento del sistema ZECC .....	26
1)	Temperatura del aire .....	26
2)	Movimiento del aire (velocidad) .....	27
3)	Área superficial .....	27
4)	Humedad relativa del aire .....	27
3.	Deshidratación .....	27
a.	Conceptos fundamentales.....	28
1)	Aire atmosférico .....	28
2)	Humedad absoluta y humedad relativa .....	28
3)	Aire saturado .....	29
4)	Temperatura de rocío .....	29
5)	Presión de vapor .....	29
6)	Humedad del alimento .....	29
7)	Humedad libre .....	29
8)	Humedad ligada.....	29
9)	Humedad de equilibrio.....	29
10)	Actividad de agua .....	29
b.	Clasificación de deshidratación según el mecanismo de transferencia del calor .....	30
1)	Secador conductivo.....	30
2)	Secador convectivo .....	30
c.	Curva de secado.....	31

1)	Primera curva de secado .....	31
2)	Segunda curva de secado .....	32
d.	Deshidratación y deshidratadores en la industria de alimentos.....	33
1)	Deshidratador de gabinete.....	34
2)	Deshidratador solar .....	35
e.	Factores que afectan el proceso de secado.....	36
1)	Temperatura del aire .....	36
2)	Humedad del aire.....	37
3)	Velocidad del aire .....	37
4)	Área de superficie .....	37
5)	Tiempo .....	37
6)	Propiedades de los alimentos .....	37
f.	Efectos del secado en la calidad del producto.....	37
D.	Zonas climáticas de Guatemala .....	38
1.	Planicie del Norte.....	38
2.	Franja transversal del Norte.....	38
3.	Meseta y altiplanos.....	38
4.	Bocacosta.....	38
5.	Planicie costera del pacifico.....	39
6.	Zona oriental .....	39
VI.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
A.	Deshidratadores solares .....	40
1.	Localización y fecha del estudio .....	40
2.	Diseño de los equipos .....	40
a.	Deshidratador de gabinete.....	40
b.	Deshidratador UCD .....	41
3.	Método para pruebas experimentales .....	42

4.	Determinación de curvas de secado.....	44
5.	Análisis de datos de calidad visual y color .....	44
6.	Análisis de datos para la curva de secado.....	44
B.	ZECC (Zero Energy Cooling Chamber) .....	45
1.	Material a evaluar .....	45
2.	Colocación y ubicación del producto en la experimentación.....	50
3.	Pretratamiento con cloruro de calcio .....	50
4.	Comportamiento microbiológico .....	51
	a. Medio de cultivo DRBC (Dicloran Rose Bengal Chloramphenicol) .....	51
	b. Medio de cultivo PCA (Plaqué Counting Agar) .....	51
	c. Agua Peptonada amortiguada.....	51
5.	Muestreo .....	52
6.	Variables evaluadas .....	53
	a. Pérdida de peso .....	53
	b. Calidad visual .....	53
	c. Madurez.....	53
	d. pH.....	54
	e. Acide titulable.....	54
	f. Sólidos solubles .....	54
	g. Firmeza.....	55
	h. Temperatura y humedad.....	55
7.	Diseño experimental .....	55
8.	Análisis estadístico.....	55
VII.	RESULTADOS .....	57
A.	Deshidratadores.....	57
1.	Evaluación de las condiciones ambientales externas y sensores en los equipos .....	57
	a. Temperatura .....	58

	b. Humedad relativa.....	59
	2. Correlación entre condiciones ambientales y condiciones en los deshidratadores .....	61
	a. Ensayo 1 .....	61
	b. Ensayo 2 .....	61
	c. Ensayo 3 .....	62
	3. Curvas de secado.....	62
	a. Deshidratador UCD y de gabinete.....	62
	b. Diferencia en el proceso de secado entre los dos deshidratadores .....	66
	4. Tiempo de secado.....	67
	5. Calidad del fruto.....	67
	B. ZECC.....	74
	1. Evaluación de las condiciones ambientales externas .....	74
	a. Temperatura .....	74
	b. Humedad relativa.....	75
	c. Velocidad del viento.....	77
	2. Pérdida de peso, calidad y madurez .....	78
	3. Parámetro fisicoquímicos .....	81
	4. Comportamiento microbiológico .....	84
VIII.	DISCUSIÓN.....	88
	A. Deshidratadores.....	88
	B. ZECC.....	91
IX.	CONCLUSIONES.....	97
X.	RECOMENDACIONES.....	99
XI.	BIBIOGRAFÍA .....	101
XII.	ANEXOS.....	107
	A. Deshidratadores .....	107
	B. ZECC .....	110

## LISTA DE CUADROS

Cuadro No. 1: Degradación de la calidad ocurrida durante el proceso de deshidratación que debe ser evitado (Ratti, 2008).....	38
Cuadro No. 2: Escala de calidad de daño físico evaluación del Chile Jalapeño ( <i>Capsicum annuum</i> var. <i>Annuum</i> ).....	42
Cuadro No. 3: Escala de calidad visual para evaluación del Chile Jalapeño deshidratado ( <i>Capsicum annuum</i> ).....	44
Cuadro No. 4: Parámetros de aceptación y rechazo de tomate para la experimentación .....	46
Cuadro No. 5: Mapa de distribución de canastas y localización de data logger para cada tratamiento (dentro y fuera del ZECC). .....	50
Cuadro No. 6: Distribución de canastas con Cloruro de calcio aplicada.....	51
Cuadro No. 7: Rango de la calidad visual de los tomates en la experimentación (Kader, 2005). .....	54
Cuadro No. 8: Grado de madurez visual en tomate (Kader, 2005) .....	54
Cuadro No. 9: Datos máximos y mínimos de temperatura (°C) y % Humedad relativa en el deshidratador de UCD y el deshidratador de gabinete. ....	57
Cuadro No. 10: Datos máximos y mínimos de radiación solar, temperatura y % humedad relativa obtenidos por medio de la estación metereológica. ....	57
Cuadro No. 11: Correlación entre datos de sensores los sensores de temperatura y humedad de los deshidratadores en la corrida 1 .....	61
Cuadro No. 12: Correlación entre datos de sensores los sensores de temperatura y humedad de los deshidratadores en la corrida 2.....	61
Cuadro No. 13: Correlación entre datos de sensores los sensores de temperatura y humedad de los deshidratadores en la corrida 3.....	62
Cuadro No. 14: Resultados de correlación de las curvas de secado con un modelo exponencial .....	64
Cuadro No. 15: Valor de medianas y valor P para prueba de Kruskal-Wallis ensayo 1. ....	66
Cuadro No. 16: Valor de medianas y valor P para prueba de Kruskal-Wallis ensayo 2. ....	67
Cuadro No. 17: Valor de medianas y valor P para prueba de Kruskal-Wallis ensayo 3. ....	67
Cuadro No. 18: Tiempo total de secado para cada ensayo .....	67
Cuadro No. 19: Temperaturas presentadas durante los días de evaluación .....	75
Cuadro No. 20: Humedad relativa presentadas durante los días de evaluación.....	76
Cuadro No. 21: Pérdida de peso porcentual.....	78
Cuadro No. 22: Promedios de parámetros fisicoquímicos de tomate en ambas corridas .....	81

Cuadro No. 23: Comparación de crecimiento bacteriano en tomates almacenados dentro de la cámara ZECC sin CaCl <sub>2</sub> (1) y con CaCl <sub>2</sub> (2). .....	85
Cuadro No. 24: Comparación de crecimiento fúngico en tomates almacenados dentro de la cámara ZECC sin CaCl <sub>2</sub> (1) y con CaCl <sub>2</sub> (2). .....	85
Cuadro No. 25: Comparación de crecimiento bacteriano en tomates almacenados a temperatura ambiente sin CaCl <sub>2</sub> (3) y con CaCl <sub>2</sub> (4). .....	86
Cuadro No. 26: Comparación de crecimiento fúngico en tomates almacenados a temperatura ambiente sin CaCl <sub>2</sub> (3) y con CaCl <sub>2</sub> (4). .....	87
Cuadro No. 27: Calidad Visual inicial para ambas corridas .....	110
Cuadro No. 28: Calidad Visual final para ambas corridas en tomate.....	111
Cuadro No. 29: Madurez Visual inicial para corrida ambas corridas .....	111
Cuadro No. 30: Madurez Visual inicial para ambas corridas .....	112
Cuadro No. 31: Promedios de Acidez Titulable en ambas corridas .....	112
Cuadro No. 32: Promedios de pH en ambas corridas .....	113
Cuadro No. 33: Promedios de sólidos solubles (°Brix) en corrida ambas corridas .....	114
Cuadro No. 34: Promedios de Textura Transversal en ambas corridas .....	115
Cuadro No. 35: Promedios de Textura Lateral en ambas corridas .....	116
Cuadro No. 36: Valores p obtenidos en Anova de dos parámetros .....	116
Cuadro No. 37: Unidades formadoras de colonias (UFC) en medio PCA, por cada 100mL de agua peptona utilizada para lavar la superficie de tomates almacenados dentro de la cámara ZECC. ....	117
Cuadro No. 38: Mohos y levaduras en medio DRBC, por cada 100mL de agua peptona utilizada para lavar la superficie de tomates almacenados dentro de la cámara ZECC. ....	118
Cuadro No. 39: Unidades formadoras de colonias (UFC) en medio PCA, por cada 100mL de agua peptona utilizada para lavar la superficie de tomates almacenados a temperatura ambiente. ....	119
Cuadro No. 40: Mohos y levaduras en medio DRBC por cada 100mL de agua peptona utilizada para lavar la superficie de tomates almacenados a temperatura ambiente. ....	120

## LISTA DE FIGURAS

Figura No. 1: Anatomía del chile jalapeño .....	12
Figura No. 2: Cambios internos durante la maduración del chile con estadio verde de maduración .....	12
Figura No. 3: Daño en chile Jalapeño causado por <i>Botrytis</i> .....	13
Figura No. 4: Daño en chile Jalapeño causado por bacterias.....	13
Figura No. 5: Clasificación del tomate con base en su color externo .....	15
Figura No. 6: Fruto de tomate infectado por <i>Pseudomonas syringae</i> .....	18
Figura No. 7: Lesiones en fruto de tomate causadas por mancha bacteriana .....	18
Figura No. 8: Manchas necróticas causadas por infección de <i>Clavibacter michiganensis</i> .....	19
Figura No. 9: Aspecto de bolsa de agua causado en fruto de tomate infectado con <i>Pectobacterium carotocorum</i> .....	19
Figura No. 10: Lesiones causadas por tizón temprano causado por <i>A. solani</i> , en tomate .....	20
Figura No. 11: Lesiones causadas por tizón temprano causado por <i>A. dauci</i> , en tomate.....	21
Figura No. 12: Síntomas de moho gris, infección causada por <i>Botrytis cinérea</i> , en tomate .....	21
Figura No. 13: Síntomas en fruto del tomate de podredumbre causada por <i>Colletotrichum spp.</i> .....	22
Figura No. 14: Lesiones causadas por <i>Sclerotinia esclerotiorum</i> en fruto de tomate.....	22
Figura No. 15: Infección causada por <i>Phytophthora infestans</i> en fruto de tomate.....	23
Figura No. 16: Diseño del ZECC .....	25
Figura No. 17: Diagrama de la estabilidad del alimento .....	30
Figura No. 18: Primera curva de secado.....	32
Figura No. 19: Segunda curva de secado.....	33
Figura No. 20: Clasificación de los deshidratadores solares .....	36
Figura No. 21: Humedad relativa y temperatura promedio en Guatemala .....	39
Figura No. 22: Diseño tradicional de deshidratador de gabinete. ....	40
Figura No. 23: Diagrama del deshidratador solar UCD .....	41
Figura No. 24: Ubicación de las bandejas en el deshidratador. ....	41
Figura No. 25: Posición de las canastas en cada una de las bandejas del deshidratador UC Davis.....	43
Figura No. 26: Posición de las canastas en una de las bandejas del deshidratador tradicional de gabinete. ....	43
Figura No. 27: Cartilla de coloración de tomate de los distintos grados de madurez .....	46
Figura No. 28: Tomate con cicatrices.....	46
Figura No. 29: Tomate sin cosechar con cicatriz .....	46
Figura No. 30: Tomate con manchas .....	47
Figura No. 31: Tomate con huecos internos .....	47
Figura No. 32: Tomate deformado .....	48
Figura No. 33: Tomate inmaduro (Número 1 en la cartilla de color de la UCDAVIS) .....	48

Figura No. 34: Tomate podrido.....	48
Figura No. 35: Tomate con daños profundos.....	49
Figura No. 36: Demostración de tomate con daños por frío.....	49
Figura No. 37: Tomate con dermis dañada por frío.....	49
Figura No. 38: Tomate sobremaduro.....	49
Figura No. 39: Distribución de canastas adentro del ZECC.....	50
Figura No. 40: Temperatura a lo largo del proceso dentro del deshidratador ensayo 1.....	58
Figura No. 41: Temperatura a lo largo del proceso dentro del deshidratador ensayo 2.....	58
Figura No. 42: Temperatura a lo largo del proceso dentro del deshidratador ensayo 3.....	59
Figura No. 43: Humedad relativa a lo largo del proceso dentro del deshidratador ensayo 1.....	59
Figura No. 44: Humedad relativa a lo largo del proceso dentro del deshidratador ensayo 2.....	60
Figura No. 45: Humedad relativa a lo largo del proceso dentro del deshidratador ensayo 3.....	60
Figura No. 46: Comparación curvas de secado promedio del ensayo 1- deshidratador UCD y deshidratador de gabinete.....	63
Figura No. 47: Comparación curvas de secado promedio del ensayo 2 - deshidratador UCD y deshidratador de gabinete.....	63
Figura No. 48: Comparación curvas de secado promedio del ensayo 3-deshidratador UCD y deshidratador de gabinete.....	64
Figura No. 49: Curva de velocidad de secado del ensayo 1 - comparación entre los dos deshidratadores..	65
Figura No. 50 Curva de velocidad de secado del ensayo 2 - comparación entre los dos deshidratadores ...	65
Figura No. 51. Curva de velocidad de secado del ensayo 3 - comparación entre los dos deshidratadores..	66
Figura No. 52. Calidad visual inicial del producto a deshidratar entre el deshidratador UCD (izq.) y gabinete (der.).....	68
Figura No. 53. Calidad del producto en el segundo día del proceso de deshidratación UCD (izq.) y gabinete (der.).....	68
Figura No. 54:. Calidad final del producto con un 17% del peso inicial UCD (izq.) y gabinete (der.) .....	69
Figura No. 55. Calidad del producto final de las muestras por bandeja del deshidratador UCD Ensayo 1.	69
Figura No. 56. Calidad del producto final de las muestras por bandeja del deshidratador de gabinete ensayo 1.....	69
Figura No. 57 Comparación de calidad visual inicial del producto a deshidratar entre el deshidratador UCD (izq.) y gabinete (der.) .....	70
Figura No. 58. Comparación de calidad del producto en el segundo día del proceso de deshidratación UCD (izq.) y gabinete (der.) .....	70
Figura No. 59: Calidad final del producto con un 17% del peso inicial UCD (izq.) y gabinete (der.) .....	71
Figura No. 60: Calidad del producto final de las muestras por bandeja del deshidratador UCD Ensayo 2.	71

Figura No. 61:- Calidad del producto final de las muestras por bandeja del deshidratador de gabinete ensayo 2. ....	71
Figura No. 62: Calidad visual inicial del producto a deshidratar entre el deshidratador UCD (izq.) y Gabinete (der.).....	72
Figura No. 63: Calidad del producto en el segundo día del proceso de deshidratación UCD (izq.) y Gabinete (der.).....	72
Figura No. 64: Calidad final del producto con un 17% del peso inicial UCD (izq.) y Gabinete (der.) .....	73
Figura No. 65: Calidad del producto final de las muestras por bandeja del deshidratador UCD Ensayo 3.	73
Figura No. 66 Calidad del producto final de las muestras por bandeja del deshidratador de gabinete Ensayo 3.....	74
Figura No. 67: Variación de temperatura durante los días de almacenamiento.....	75
Figura No. 68: Variación de humedad relativa presentada durante los días de almacenamiento .....	76
Figura No. 69: Gráfica temperatura y humedad relativa del entorno y de las dos formas de almacenamiento ZECC y ambiente .....	77
Figura No. 70: Velocidad del viento y ráfaga durante el almacenamiento.....	77
Figura No. 71: Pérdida del peso de tomate almacenado .....	78
Figura No. 72: Calidad visual inicial para ambas corridas .....	79
Figura No. 73: Calidad visual final para ambas corridas.....	79
Figura No. 74: Madurez visual inicial para ambas corridas .....	80
Figura No. 75: Madurez visual final para ambas corridas .....	80
Figura No. 76: Calidad del tomate inicial y final dentro del ZECC .....	81
Figura No. 77. Diagrama de caja y bigotes de acidez titulable (%) .....	82
Figura No. 78. Diagrama de Caja y Bigotes de pH.....	82
Figura No. 79. Diagrama de caja y bigotes de sólidos solubles (°Brix) .....	83
Figura No. 80. Diagrama de caja y bigotes de textura transversal (gf) .....	83
Figura No. 81: Diagrama de caja y bigotes de textura lateral (gf) .....	84
Figura No. 82: Gráfica de caja para crecimiento bacteriano en tomates almacenados dentro de la cámara ZECC sin CaCl <sub>2</sub> (1) y con CaCl <sub>2</sub> (2). .....	85
Figura No. 83: Gráfica de caja para crecimiento fúngico en tomates almacenados dentro de la cámara ZECC sin CaCl <sub>2</sub> (1) y con CaCl <sub>2</sub> (2). .....	86
Figura No. 84: Gráfica de caja para crecimiento bacteriano en tomates almacenados a temperatura ambiente sin CaCl <sub>2</sub> (3) y con CaCl <sub>2</sub> (4). .....	87
Figura No. 85: Gráfica de caja para crecimiento fúngico en tomates almacenados a temperatura ambiente sin CaCl <sub>2</sub> (3) y con CaCl <sub>2</sub> (4). .....	87
Figura No. 86: Escala visual de daño físico.....	107
Figura No. 87: Bandejas en deshidratador UCD.....	108

Figura No. 88. Deshidratador de gabinete .....	108
Figura No. 89. Prueba de normalidad para en ensayo 1. ....	109
Figura No. 90. Prueba de normalidad para en ensayo 2. ....	109
Figura No. 91. Prueba de normalidad para en ensayo 3. ....	110
Figura No. 92. Presencia de microorganismos en tomates dentro de ZECC .....	121
Figura No. 93Figura No. 93. Crecimiento microbiano en tomates dentro de ZECC .....	121
Figura No. 94: Construcción de ZECC.....	121
Figura No. 95: Selección de grado de madurez de tomate .....	121
Figura No. 96: Clasificación de tomates .....	122
Figura No. 97. Selección de tomates dependiendo de la calidad visual donde se encuentran tomates en calidad visual 7, 5, 3 y 1 .....	122
Figura No. 98: Muestreo realizado en tomates para análisis fisicoquímicos .....	122
Figura No. 99: Medición de la textura transversal de tomate .....	122
Figura No. 100: Medición del pH en tomate .....	122
Figura No. 101: Medición de acidez titulable .....	122
Figura No. 102: Instructivo de uso del ZECC.....	123
Figura No. 103. Construcción del ZECC en el cual se construye con dos paredes de ladrillos y entre cada pared una cavidad que contiene arena .....	124
Figura No. 104. Diseño terminado de ZECC.....	124

## RESUMEN

La pérdida de alimentos como consecuencia del manejo post-cosecha inadecuado es un problema en Guatemala y el resto del mundo, por lo que se han desarrollado tecnologías que permitan eliminar limitaciones como las técnicas de almacenamiento, infraestructura, empaquetamiento o marketing del proceso de cosecha. Como parte de las soluciones que pretenden extender la vida de anaquel de los alimentos y reducir pérdidas se desarrolló el Zero Energy Cooling Chamber (ZECC), que utiliza el principio de enfriamiento por evaporación; y se han planteado diferentes diseños de deshidratadores que se plantean como alternativas para el uso de productos agrícolas y mantenimiento de la calidad del producto. Ya que Guatemala es un país en el que aproximadamente un tercio de su población se dedica a la agricultura, la implementación de este tipos de tecnologías podría mejorar el manejo post-cosecha en regiones del territorio donde los recursos son limitados y juegan un papel importante en la vida de anaquel de los productos.

Como primer objetivo de este megaproyecto estaba la evaluación del funcionamiento del ZECC al utilizarlo en la post-cosecha de tomate, *Lycopersicon esculentum*, en términos de su efecto en parámetros fisicoquímicos y crecimiento de microorganismos, en comparación con tomate almacenado a temperatura ambiente. De esta forma, se planeaba conocer si es una tecnología adecuada para su uso en el país, al mismo tiempo que se evaluaba su uso en combinación con un tratamiento de cloruro de calcio para mantener las propiedades de la fruta. La hipótesis que evaluada era que tanto el almacenamiento del tomate dentro del ZECC como el tratamiento de cloruro de calcio disminuirían el crecimiento de microorganismos y mejorarían las características fisicoquímicas en las muestras de tomate.

Se determinó que no había diferencia significativa entre el crecimiento de microorganismos en el tomate almacenado dentro y fuera de la cámara ZECC tanto al utilizar el tratamiento de  $\text{CaCl}_2$  como al no usarlo, no se aumentó la vida útil del fruto al almacenarse dentro de la cámara y no tuvo efecto en la madurez visual del mismo. Por esta razón, se concluyó que la implementación de la cámara ZECC como alternativa para disminuir la actividad microbiana o aumentar la vida de anaquel del tomate no presenta ventajas para su uso en las condiciones de temperatura y humedad relativa evaluadas.

Como segundo objetivo se deseaba comparar el diseño de dos deshidratadores solares: Gabinete y UC Davis mediante la deshidratación de Chile Jalapeño, a partir de curvas de secado realizadas en base a humedad relativa y temperatura y su efecto en la pérdida de peso, calidad visual y color del producto. De esta forma se esperaba identificar el mejor diseño de deshidratador que permitiera tener un producto de calidad y cuyo funcionamiento pudiera aplicarse a las distintas regiones de Guatemala.

A partir de la experimentación se determinó que sí había diferencia en la calidad del producto procesado en cada deshidratador, lo que indicaba que el diseño del deshidratador sí tenía un efecto en este factor. Además, se concluyó que el deshidratador UC Davis presentó ventajas frente al deshidratador de gabinete, ya que permite que los productos se sequen de manera más rápida y tiene aproximadamente el doble de la capacidad del deshidratador de gabinete, lo que influye en el tiempo total de procesamiento.

# I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen aproximadamente 900 millones de personas con hambre alrededor del mundo. A pesar de ello se estima que anualmente se pierden o desperdicia, un tercio de todos los alimentos que se producen en el mundo, lo cual representa un monto de USD 750 billones (FAO, 2009). En los países en desarrollo, una de las razones importantes que causan el desperdicio de los productos de agricultura son las escasas instalaciones de almacenamiento y la falta de infraestructura durante la poscosecha. Los productos frescos como frutas, verduras y hortalizas directos de la explotación o tras la captura pueden arruinarse por las condiciones climáticas. La pérdida de alimentos representa un alto impacto económico y ambiental por lo que se han propuesto alternativas de manejo que se enfocan en disminuir estas pérdidas por medio de equipos de bajo costo como los deshidratadores solares y el Zero Energy Cooling Chamber (ZECC) (Lipinski *et al*, 2013).

La cámara ZECC ha demostrado ser útil para los agricultores en países como India, Bangladesh y Ghana a partir de estudios como los de Islam y colegas (2013) y Kitinoja y AlHassan (2009). En estos estudios se determinó que el enfriamiento por evaporación aumentaba la vida de anaquel de productos como el mango, tomate, berenjena y banano de forma fácil y utilizando materiales al alcance de los agricultores. Basados en estos antecedentes, se decidió evaluar el funcionamiento del equipo en Guatemala en cuanto a la disminución de la temperatura de almacenamiento del tomate, *Lycopersicum esculentum*, y su efecto en la duración de la vida de anaquel de este fruto, tomando en cuenta parámetros fisicoquímicos, su funcionamiento con otros tratamientos post cosecha y su efecto en el crecimiento de microorganismos.

En búsqueda de proporcionar a los agricultores guatemaltecos opciones para la reducción de las pérdidas poscosecha, se evaluó también, el funcionamiento de dos diseños de deshidratador solar y si estos podrían representar una opción para el deshidratado de Chile Jalapeño (*Capsicum annuum*). Para ellos, se evaluaron los parámetros de temperatura, tiempo de secado y humedad dentro del deshidratador, las características de pérdida de peso, color y calidad durante el proceso de deshidratación del Chile Jalapeño (*Capsicum annuum*).

## II. ANTECEDENTES

### A. Deshidratadores solares

Para reducir la pérdida poscosecha de productos perecederos existen otras alternativas, una de ellas es la deshidratación solar, es un proceso que consiste tanto en la transferencia de masa como de calor, de manera simultánea. El componente principal que es transferido es el agua contenida en el producto, esto mediante la evaporación por convección forzada. Este proceso trae muchos beneficios como prolongar la vida útil del producto y ayuda a facilitar su transporte debido a que se da una reducción en el peso y, por ende, de espacio de almacenamiento. Asimismo, se han realizado diversos estudios con respecto al proceso de secado incluyendo distintos tipos de producto, distintos diseños de deshidratadores y mecanismos de secado, lo que indica la importancia que la deshidratación ha tenido en la historia y la efectividad que este proceso puede tener para obtener características específicas en un producto que puedan aumentar su vida útil y en representar una alternativa para la reducción de las pérdidas poscosecha (Torregroza-Espinosa, A. *et al.*, 2014).

Un aspecto importante a tomar en cuenta es el diseño de los deshidratadores. En sus inicios la tecnología que se aplicaba eran sistemas abiertos al Sol directamente, posteriormente se reemplazaron por equipos mecanizados con calderas y ventiladores que forzaban el paso del aire caliente a través del producto que se deseaba secar, sin embargo el uso de los mismos representaba un costo elevado al utilizar grandes cantidades de combustibles. En la actualidad existen diferentes opciones para llevar a cabo el proceso, entre los cuales se encuentra el secador solar, presentando una mayor eficiencia que el secado al sol directo y otros equipos mecanizados, que no sólo representan un alto costo sino que también contaminaciones altas para el medio ambiente en muchos de los casos (García, *et. al.*, 2012).

Sanjuán, N. *et al* (2003) determinaron la cinética del proceso de deshidratación de chile rojo (*Capsicum annum* L var Jaranda). En el estudio se buscaba la determinación de un modelo matemático de la cinética de secado para obtener resultados reproducibles y controlados en el producto, utilizando dos diferentes cortes en las muestras. Con base en la pérdida de peso y humedad de la muestra se determinaron las curvas de secado. Se determinó que el tiempo para secar los chiles enteros fue de aproximadamente 10 veces más que los chiles cortados longitudinalmente. El chile entero presentó un proceso de pérdida de peso constante y un periodo de decaimiento mientras que para el chile partido longitudinalmente sólo se encontró el periodo de decaimiento. Estudios realizados por autores como Montoya, J., Jimenez, A. 2006 y Pineda Castro, *et al*, han determinado que el modo exponencial es el más adecuado para modelar la cinética de deshidratación.

Asimismo, Hernández, *et al* (2010) realizaron un estudio el proceso de secado del chile habanero empleando un secador solar y en un secador convectivo para conocer la cinética del proceso de este producto. El análisis determinó que se requiere una temperatura de al menos 50°C, con espesores de muestra entre 0.3 y 1 cm para lograr un buen secado del producto entre un secado convectivo y un secador solar.

Existen distintos factores que influyen en el proceso de secado, entre estos está la temperatura del aire de secado, velocidad del aire, variaciones en la radiación, aplicación de tratamientos previo al proceso, entre otros. Tunde-Akintunde, T. (2008), evaluaron los efectos de distintos pretratamientos sobre el tiempo de secado y la calidad del chile pimienta. Se sometió el producto a diferentes tipos de blanqueo y a soluciones con diferente concentración de azúcar (60 y 70° brix), luego de esto se llevó a cabo el proceso de secado. Se encontró que los chiles que habían sido sometidos a pretratamientos se secaron más rápido que los chiles sin pretratamientos.

En otro estudio realizado por Tunde-Akintunde, T., Afolabi, T. (2008), se volvió a evaluar chile pimienta con y sin tratamiento previo de blanqueo. Se generaron las curvas de secado del proceso y se encontró que el chile que había sido sometido al proceso de blanqueo presentó un secado más rápido que el chile que no sufrió ningún pretratamiento. Esto se da debido a que el proceso de blanqueo disminuye la resistencia a la pérdida de agua en la superficie del producto. Esto proporciona información respecto a la efectividad del proceso de blanqueo previo a la deshidratación en chile. Otro factor que influye en el proceso es el tamaño del producto a secar como se ha presentado anteriormente en el estudio de Sanjuán, N., *et al* (2003). Autores como Krokida, M, *et al.* (2002) evaluaron la cinética de secado de diversos productos, entre ellos chile. Los autores encontraron que para poder modelar el proceso de secado las condiciones del aire y el tamaño de la muestra eran los principales factores a considerar en el proceso.

También se ha evaluado el proceso de deshidratación en otros productos como el estudio realizado por Torregroza-Espinosa, *et al.*, (2014) en el cual se deshidrataron distintas variedades de yuca industrial utilizando un secador tipo túnel eléctrico; durante la experimentación determinaron por medio de curvas de secado que la humedad en base seca decrece de manera lineal y luego de la primera hora de secado (70°C y velocidad de aire de 4m/s), la velocidad disminuye con mayor rapidez hasta llegar a una humedad de equilibrio. Esta etapa está caracterizada porque es cuando ocurre la mayor parte del secado debido a que la humedad se difunde con menor velocidad a través del sólido. El comportamiento de secado en todos los productos siguen la misma tendencia, pero la velocidad del secado depende de la temperatura del aire de secado y la velocidad de aire que se le aplique a los productos. En un estudio conducido por Cequera-Peña, Parra-Coronado y Camacho-Tamayo (2012) se deseó determinar las variables de secado adecuadas para la deshidratación de pulpa de maracuyá a una humedad final del 11%. Mediante las curvas de secado obtuvieron que al aumentar la temperatura y velocidad de flujo de aire, disminuye el punto de inflexión en

dichas curvas, es decir, que se tiene un tiempo menor de secado, siendo 65°C y 234.1m/min los menores tiempos.

En cuanto a estudios sobre deshidratación realizados en Guatemala, se tienen ejemplos como la investigación realizada por Villatoro en 2005, en donde se evaluó la rentabilidad de la deshidratación de manzanas para pequeños agricultores de una comunidad en el país. Se buscó reducir la merma del producto y se determinó que el proceso era viable tanto a nivel económico como ambiental, y a su vez que el utilizar este tipo de tecnología se obtenían mayores ingresos si los productores deshidrataban los excedentes de cosecha de manzana.

También se realizó otro estudio que se llevó en el país, se deseaba mejorar la inocuidad y calidad del café pergamino seco, así como reducir el tiempo de secado del café en comparación con el secado de patio, por lo que Cruz (2009) evaluó la posibilidad de utilizar de una manera más eficiente la radiación solar para esta etapa del procesamiento del café. Para lo cual se diseñó y construyó un secador solar tipo domo, que como resultado de su uso brindó café con una muy buena apariencia física, sin contaminantes tales como polvo, basura y otros, así como su protección de la lluvia, que es un factor que afectaría a la calidad del producto, esto utilizando un 40% menos del tiempo de secado. También mencionan que por medio de este tipo de secadores se logra la disminución del 50% del trabajo físico requerido, lo que beneficia a mujeres y niños. Otro aspecto importante es que evita el desarrollo de hongos, y en cuanto al impacto ambiental es sumamente bajo ya que reduce la contaminación provocada por secadoras que funcionan a base de leña, gas u otro combustible.

En un estudio sobre la comparación de dos tipos de deshidratadores solares se ha realizado en diversas partes del mundo durante el año 2014-2015. Según ECHO Asia Impact Center (2014), en Tailandia, se llevó a cabo del estudio durante julio de 2014 comparando el proceso de deshidratación de chile usando el modelo tradicional de la FAO que es un deshidratador indirecto y el modelo propuesto de UC Davis que consiste en un deshidratador mixto (deshidratación solar directa e indirecta). Se utilizó 15 kg de chile y se indicó que se iban a repetir las pruebas tanto para el invierno como para el verano. El mismo experimento se está llevando a cabo en Tanzania, Ghana, Honduras y Guatemala, los resultados de los experimentos aún no han sido publicados de forma oficial.

Según lo expuesto anteriormente puede observar que dichas tecnologías, tanto el ZECC como la deshidratación solar utilizado diferentes diseños de deshidratador, han sido ampliamente estudiadas y podrían ser una alternativa para evitar las pérdidas postcosecha en el país de Guatemala.

## B. ZECC

ZECC (Zero Energy Cool Chamber) es una tecnología desarrollada en el Instituto de Investigación Agrícola de la India (IARI) que consiste en una cámara de enfriamiento que no utiliza energía y tiene como objetivo reducir pérdidas poscosecha. Entre los estudios en los que se ha evaluado su funcionamiento están el de Pérez en 2014, donde determinó que la pérdida fisiológica de peso y el cambio en madurez fueron más rápidos para papaya, chile morrón y tomate almacenados en ambiente natural en comparación con el almacenamiento dentro de la cámara ZECC. Además, en este mismo estudio se recomendaba el uso de cubierta encima de la estructura del ZECC para evitar que los rayos de sol peguen directo a la cámara y proteger a los productos de la lluvia.

En cuanto la selección del producto y las condiciones de almacenamiento de tomate en el ZECC, Islam *et al.* (2012), establecieron que para evitar pérdidas de peso del 2.8% respecto al control, es importante considerar el estadio de madurez, que se coseche manualmente, forma y tamaño homogéneo y que la planta esté libre de infecciones de hongos. Sumado a estos criterios, Ganesan *et al.* (2004) mostraron que dentro de la evaluación del producto a almacenar se debe considerar el tiempo después del corte, la hora de cosecha y la selección del producto para descartar producto con magullones o daños causados durante el transporte.

La selección del producto, no es el único parámetro a tomar en cuenta para ingresar el producto en un sistema de almacenamiento. En el almacenamiento de tomate, berenjena, mango, banano y espinaca utilizados Rayaguru *et al.* (2009), coincide con Ganesan *et al.* (2004) que el producto debe ser cosechado manualmente y la selección se deben efectuar en base a un tamaño uniforme y ausencia de daños. Sin embargo, determina que el producto para ser almacenado debe ser sometido a un proceso de lavado previo para eliminar suciedad y luego una desinfección en una solución de agua y cloro con concentración de 100 µg/mL por 20 minutos. Esto concuerda con Tefera *et al.* (2008), quien concluye que el tratamiento previo de limpieza y desinfección, junto a un almacenamiento adecuado, son factores importantes en prolongar la vida útil y las características sensoriales en el producto.

Adicional a la selección y tratamientos de limpieza y desinfección, Dasmohapatra *et al.* (2011) mostraron el efecto de la retención del pedicelo y el uso del ZECC en el almacenamiento de naranja. Los resultados mostraron un efecto significativo en la reducción de pérdida de peso y aumento en la firmeza del producto cuando se retiene el pedicelo y se hace uso del almacenamiento en ZECC. Bajo estas condiciones se redujo las pérdidas del producto alrededor del 50%.

Ya que el agua juega un rol fundamental en el funcionamiento del sistema ZECC al regular la temperatura y la humedad relativa dentro del sistema, Ganesan *et al.* (2004) evaluaron la dosis necesaria

para conservar berenjena almacenada en el mismo. Con base en la pérdida de peso, se determinó que el contenido óptimo de agua de riego era de 100 litros por día para aumentar a 9 días el tiempo de vida de la berenjena. Además, ya que la dosis de agua se encuentra condicionada al ambiente y la época del año en que se almacena el producto, Rayaguru *et al.* (2009) realizaron una evaluación del nivel de agua requerido en verano e invierno para lograr un almacenamiento adecuado del producto y demostraron que el óptimo de agua necesario en el sistema cambia según el entorno de 75 a 90 L/día en los meses de verano e invierno respectivamente.

En el año 2004, Ramírez *et al.* realizaron un estudio para evaluar los efectos de la temperatura de almacenamiento en la extensión de la vida en anaquel del tomate y observaron que a temperaturas de 7 y 9°C disminuye la pérdida de peso, firmeza, grados Brix y contenido de etileno en comparación con el almacenamiento a 27°C, causando que la vida de anaquel se duplique. Además, Gatinetet *et al.* (2011) y Workneh (2010) establecieron que un sistema de enfriamiento por evaporación logra simular las condiciones de almacenamiento bajo sistemas de refrigeración utilizadas para el tomate maduro y manteniendo condiciones similares de almacenamiento durante todo el día y evitando la pérdida de peso del producto. Específicamente en evaluación de la cámara ZECC, Vigyan *et al.* (2014) realizaron un estudio en India en el que determinaron que su uso reduce la temperatura y humedad relativa hasta en 10°C y 19%, respectivamente, al almacenar diversos vegetales. Además, demostraron que la pérdida de peso en el tomate fue significativamente menor en el ZECC respecto al almacenado a temperatura ambiente, causando que el 100% de los tomates se pudieran comercializar mientras que en condiciones ambiente se logra únicamente el 85%.

Los tratamientos poscosecha se aplican a vegetales para aumentar la vida de anaquel de las frutas y vegetales, y funcionan reduciendo la maduración o senescencia de los mismos. Existen distintos tipos de tratamientos que se aplican en la industria entre los cuales se encuentra el cloruro de calcio, un compuesto que disminuye la permeabilidad de membranas celulares y aumenta la firmeza sin aportar cambios en el sabor y color de los vegetales (Rueda, 2007). Contreras-Angulo *et al.* (2011), Leyva *et al.* (2011), Ramírez *et al.* (2005), Castellano, *et al.* (2004); y Zambrano y Manzano (1994) han realizado evaluaciones del efecto del cloruro de calcio en la calidad y vida de anaquel de diferentes frutos, determinando que la aplicación de cloruro de la sal aumentó la firmeza del fruto y la vida de anaquel, sin afectar las características fisicoquímicas en comparación con frutos sin aplicación de la sal.

En combinación con el almacenamiento dentro del ZECC, Singh y colegas publicaron dos estudios en el año 2010 en los que probaron el uso del CaCl<sub>2</sub> al 1.5% y 1% como tratamiento post-cosecha en combinación con el equipo. A partir de los estudios, determinaron que la pérdida fisiológica de peso, la pérdida por descomposición y la respiración disminuyeron en los frutos almacenados dentro de la cámara y con el tratamiento de CaCl<sub>2</sub> al 1.5%. Además, determinaron que la vida de anaquel aumentó en comparación con los frutos almacenados fuera de la cámara.

### III. JUSTIFICACIÓN

Según datos publicados por la FAO, en el 2014 existen aproximadamente 805 millones de personas con hambre alrededor del mundo (FAO, 2014). A pesar de ello, se estima que anualmente se pierden o desperdician alrededor del mundo un tercio de todos los alimentos, que se producen lo cual representa un monto alrededor de USD 750 billones (FAO, 2009). En cuanto a la producción agrícola total la pérdida es de aproximadamente 6 gigatoneladas.

La pérdida de alimentos no solo representa un detrimento económico sino también la disminución en la posibilidad de alimentar a la población emergente. Esto además conlleva a generar impacto negativo en el medioambiente; generando una huella de carbono, debido a los gases emitidos de alrededor de 3.3 gigatoneladas de CO<sub>2</sub>. Las causas de las pérdidas de alimentos se deben a muchos factores, en el caso de los productos agrícolas se encuentra en el mal manejo poscosecha que se le da al producto, así como las condiciones inadecuadas del producto. Estas condiciones están determinadas en países subdesarrollados como Guatemala por la economía de los agricultores que limita los recursos disponibles ya que no tienen acceso a equipos o infraestructura que permitan conservar los alimentos. En vista de la problemática anteriormente expuesta, se evaluaron dos alternativas de bajo costo sin necesidad de energía eléctrica, para la reducción de pérdidas poscosecha de chile jalapeño (*Capsicum annuum*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) en el Campus Central de la Universidad del Valle de Guatemala. Esto se realizó con el fin de poder ofrecer a los pequeños productores una forma accesible de almacenamiento a sus productos para reducir pérdidas y ayudarlos económicamente.

En Guatemala alrededor de 32.3% de la población se dedica al sector agrícola. El tomate y el chile son considerados productos importantes para la agricultura del país. Mientras que el tomate tradicionalmente se consume en fresco, los chiles pueden ser deshidratados para ser usados como especias. En el año 2013, el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Guatemala estimó que se cosecharon más de 12,800 manzanas de tomate en más de 8 departamentos del país, equivalentes a 7,061,033 quintales, que representa un ingreso de US\$ 14,640,103 en la exportación del mismo. (MAGA, 2013). De acuerdo a la FAOSTAT (2013), en Guatemala se produjo aproximadamente 52,500 toneladas de chile en 2012.

El chile constituye una de las especies hortícolas con más arraigo de la cultura guatemalteca y aunque para muchos es considerada como condimento, ha llegado a constituir el único elemento agregado a la tortilla en la ingesta de algunos campesinos principalmente en épocas de carestía. El chile también es

determinado como un factor determinante en la subsistencia de algunos sectores de la población guatemalteca. La comercialización de los chiles en el ámbito nacional se diferencia en dos tipos: los chiles frescos y los chiles secos. El chile jalapeño se encuentra disponible en los países de estudio. Además presenta características como un secado rápido, fácil manipulación y es un producto que se comercializa y consume en Guatemala y tiene potencialidad de exportarse.

Lo cual ambos cultivos son representados una gran importancia para la producción y venta a nivel nacional. La utilización de tecnologías de manejo poscosecha de bajo costo como lo es el ZECC y deshidratadores solares pueden contribuir con la economía de pequeños productores para disminuir las pérdidas económicas. Debido al potencial que han mostrado en diversos estudios donde se evidencia un prolongamiento en la vida útil y comercial de diversos productos.

Por su posible impacto en el sector agro-alimentario de Guatemala, es necesario evaluar el funcionamiento del ZECC y los deshidratadores solares en Guatemala debido a que el funcionamiento del equipo depende del clima de cada localidad; así poder determinar si existe un aumento de la vida poscosecha del producto y reducción de pérdidas. Estos beneficios se han observado en ZECC en estudios realizados por Lipinski y colegas (2013); Kitinoja y AlHassan (2012); Islam, Morimoto y Hatou (2013); Rayaguru, Khan y Sahoo (2010); y Ganesan, Balasubramanian y Bhavani (2004). Por esta razón, en esta investigación se determinó el efecto del uso de la cámara ZECC en el comportamiento de parámetros fisicoquímicos del tomate como calidad visual, madurez visual, pérdida de peso, pH, acidez titulable, grados °Brix y firmeza. Adicional, se realizó tratando poscosecha de Cloruro de calcio para determinar si tanto el cloruro de calcio como el ZECC tienen efecto en la vida del tomate para la reducción de las pérdidas. Se hizo también un análisis microbiológico del tomate para determinar la tasa de crecimiento de bacterias, mohos y levaduras y la presencia de diferentes géneros de mohos en el tomate almacenado dentro y fuera del ZECC. La importancia del estudio es que permitirá determinar si el equipo y las prácticas tienen el potencial de reducir las pérdidas y conservar la calidad del tomate bajo las condiciones climáticas del país.

Por otro lado, el uso de deshidratadores solares constituye otra alternativa eficaz de bajo costo y bajo impacto ambiental para reducir pérdidas poscosecha pues se hace uso de recursos renovables como la radiación solar y se evita el uso de combustibles fósiles. El uso de este tipo de tecnología de bajo costo puede contribuir a la reducción de pérdidas post cosecha de productos hortícolas en Guatemala generando opciones de comercialización de su producto a los agricultores guatemaltecos. Además de ser una opción para producir alimentos para los consumidores. Mediante el uso de deshidratadores solares se puede conservar los alimentos de una manera más limpia debido a no utilizan energía eléctrica y a la vez que se le brinda al productor una manera más económica para dicha actividad. Cabe mencionar que el uso de deshidratadores solares se encuentra asociado con un límite de producción, sin embargo con el uso de equipos mejorados tal como el diseño propuesto propuesto por UC Davis, no sólo se busca aumentar la

eficiencia por medio de un menor tiempo de secado, sino que también aumentar la cantidad de producto a secar.

Se espera que los resultados del presente estudio contribuyan a determinar la efectividad del ZECC y los deshidratadores solares, para reducir pérdidas poscosecha de productos perecederos. El potencial de estos equipos depende de factores ambientales por lo que se desea evaluarlos en Guatemala con el fin de contribuir al rendimiento de producción de pequeños agricultores utilizando equipos totalmente ecológicos (sin la necesidad de energía eléctrica) ofreciendo nuevas alternativas de almacenamiento.

## IV. OBJETIVOS

### A. Objetivos generales

- Evaluar tecnologías alternativas de bajo costo para la reducción de pérdidas post-cosecha de jalapeño (*Capsicum annuum*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) en el Campus Central de la Universidad del Valle de Guatemala.

### B. Objetivos específicos

- Comparar el diseño de dos deshidratadores solares Gabinete y UC Davis mediante la deshidratación de Chile Jalapeño (*Capsicum annuum* var. *Annuum*).
- Evaluar el desempeño del ZECC en su capacidad de generar un ambiente óptimo para el almacenamiento de tomate (*Solanum lycopersicum*) en la Ciudad de Guatemala, durante ocho días de almacenamiento.
- Determinar los efectos del tratamiento de cloruro de calcio en tomate (*Lycopersicum esculentum*), almacenado en ZECC (Zero Energy Cool Chamber) como una alternativa para disminuir las pérdidas poscosecha aumentando la vida útil del producto.
- Evaluar y comparar el comportamiento microbiológico en tomate, *Lycopersicum esculentum*, con diferentes combinaciones de tratamientos post-cosecha que incluyen el almacenamiento en la cámara “Zero Energy Cool Chamber” (ZECC).

## V. MARCO TEÓRICO

### A. Chile

El chile (*Capsicum* spp.) es originario de América y ha sido usado desde hace más de 20 siglos, por distintas culturas prehispánicas. El uso del chile en dichas culturas se relacionaba desde lo culinario hasta la medicina tradicional (Chileplanet, 2010).

1. **Chile en Guatemala.** Actualmente la producción de Chile en Guatemala se relaciona con variedades mejoradas importadas principalmente desde México, variedades como: Chile Jalapeño (*Capsicum annuum*), el Chile Dulce (*Capsicum annuum*) y el Chile Serrano (*Capsicum annuum*). La producción de materiales nativos como el Chile Blanco (*Capsicum annuum* var. *annuum*), el Chile Chocolate (*Capsicum annuum* var. *annuum*), o el Chile Cobán (*Capsicum annuum* var. *annuum*), se llevan a cabo en una menor proporción (Ayala, 2005).

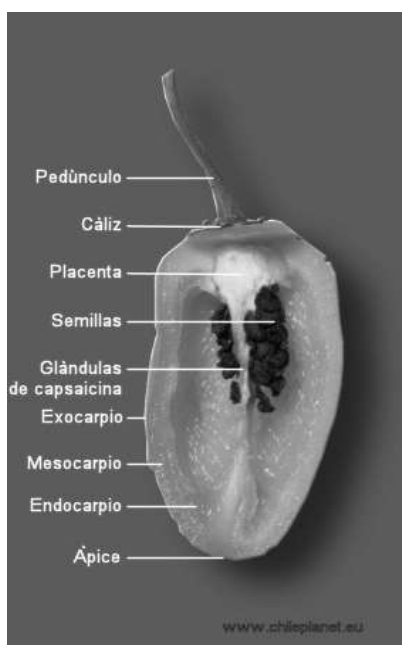
#### 2. Chile Jalapeño.

a. **Generalidades.** El fruto de este tipo de chile es característico por su forma cilíndrica, su ápice es obtuso, epidermis liso y un grosor de pericarpio y que oscila entre 0.3 a 0.6 cm, 6 a 8 cm de largo y entre 2 a 3 cm de diámetro, en algunos casos se obtienen laceraciones longitudinales naturales que no desmerecen la calidad. Su consumo es en fresco y en estado inmaduro o levemente maduro. Su producción es amplia en México y también en Guatemala. (Ayala, Fecha desconocida).

Cuando llega a su estado de maduración se torna color rojo intenso y ahumado se convierte en el chile Chipotle que en sus versiones secas es de los chiles más importantes. Existen diversas variedades de chile jalapeño con leves diferencias de forma y grado de picor. (Universidad de las Américas Puebla, Fecha desconocida).

En la Figura No. 1 que se muestra a continuación se puede observar la anatomía del chile jalapeño y en la Figura No. 2 se observan los cambios internos durante la maduración:

Figura No. 1: Anatomía del chile jalapeño



(Fiedler, sin año)

Figura No. 2: Cambios internos durante la maduración del chile con estadio verde de maduración



(UC Davis, 2013)

b. **Temperatura óptima de almacenamiento del chile.** Los chiles deben enfriarse lo más rápido posible reduciendo así la pérdida de agua. Los chiles no son tan sensibles al daño por frío. Con temperaturas de conservación superiores a  $7.5^{\circ}\text{C}$  se aumenta la pérdida de agua, arrugamiento, cambio de color y pudrición. Es decir, que  $7.5^{\circ}\text{C}$  es considerada la temperatura óptima de almacenamiento para el aumento de la vida postcosecha. La conservación a  $5^{\circ}\text{C}$  es posible durante 2 semanas sin observarse daño por frío. La conservación a esta temperatura reduce la pérdida de agua y deshidratación pero puede darse un daño por frío como un pardeamiento de las semillas después de 2 a 3 semanas (UC Davis, 2013).

c. Desórdenes en el chile.

1) Fisiopatías y desórdenes.

a) Pudrición apical. Se da como una leve coloración atípica o como una herida grave, oscura y hundida, en la punta apical del fruto. Esto se da por insuficiencias transitorias de calcio por el estrés de agua y puede darse a temperaturas altas cuando los chiles crecen rápidamente (UC Davis, 2013).

b) Daño por frío. Entre los síntomas están las depresiones en la superficie del chile (picado), zonas acuosas, pudrición y pardeamiento de las semillas y cavidad interna (UC Davis, 2013).

c) Enfermedades. Los microorganismos más comunes que causan putrefacción son *Botrytis* (como se muestra en la Figura 3), *Alternaria*, y pudriciones de mohos y bacteria (como se muestra en la Figura 4). (UC Davis, 2013)

Figura No. 3: Daño en chile Jalapeño causado por *Botrytis*



(UC Davis, 2013)

Figura No. 4: Daño en chile Jalapeño causado por bacterias



(UC Davis, 2013)

d) Defectos comunes postcosecha. El daño mecánico es común tal como el aplastamiento, perforaciones causadas por astillas, raspaduras y demás. El daño físico afecta la calidad

visual y conlleva a mayor pérdida de peso y pudriciones. En la Figura 5 se muestran diversos defectos en el chile (UC Davis, 2013).

## B. Tomate.

El tomate es un fruto de la familia Solánaceas, clasificado botánicamente como una baya coloreada al momento de madurar, con tonos naranja al rojo. Es originario de la región de América del Sur, en áreas de Perú y Ecuador (Zambrano, *et al.*,1995).

1. **Tomate en Guatemala.** La producción de tomate se realiza en su mayoría en los departamentos de Jutiapa, Baja Verapaz, Chiquimula, Guatemala, Zacapa, El Progreso, Alta Verapaz, Jalapa (DIPLAN-MAGA, 2013). Según la Dirección de Planeamiento del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala, en el 2011, el cultivo de tomate generó 2,693,628 jornales como empleo directo, equivalente a 9,620 empleos permanentes. Además, generó \$.19, 528,581.00 por exportaciones, siendo El Salvador el principal destino de exportación (DIPLAN-MAGA, 2013).

### 2. Tomate (*Solanum lycopersicum*)

a. **Generalidades.** El tomate es un fruto del tipo climatérico, y como tal puede madurar en la planta o bien continuar su madurez fisiológica fuera de la planta y durante el tránsito de cadena alimentaria. Su tamaño comprende entre 1 y 2 cm para variedades silvestres y mucho más grandes para aquellas que son cultivadas (Zambrano, *et al.*,1995). La planta de tomate tiene un fruto de tipo baya, formada de una pared carnosa llamada pericarpo y la pulpa que rellena el tejido placentario que rodea sus semillas. El número de carpelos es variable según la variedad del fruto y su tamaño también varía llegando a pesar entre unos pocos gramos y cientos de ellos (Atherthon y Rudich, 1986).

b. **Temperatura óptima de almacenamiento.** Para mantener la calidad de tomate, es de suma importancia el control adecuado de las temperaturas requeridas por el tomate en el mercado y durante la manipulación del mismo. A continuación se presenta el rango de temperatura de maduración de tomate (Genta, Bernal y Guarioni, 1992).

- Verde maduro: 12.5-15°C
- Rojo claro (Estado 5 de color USDA): 10-12.5°C
- Maduro firme (Estado 6 de color USDA): 7-10°C

Los tomates luego de alcanzar el estado maduro firme, tienen una vida de anaquel de 8 a 10 días, en el intervalo de temperatura recomendado (Suslow y Cantewell, 2013). Por su parte la temperatura de maduración normal del tomate es de 18-21°C con humedad relativa del 90-95%. Para una maduración lenta la temperatura debe ser de 14-16°C (Suslow y Cantewell, 2013).

c. **Humedad relativa óptima de almacenamiento.** La humedad óptima en el almacenamiento es del 90-95%. La humedad relativa debe ser alta para maximizar la calidad post-cosecha y prevenir la pérdida de agua. Los períodos prolongados a humedad pueden incrementar la pudrición en la cicatriz del pedúnculo y de la superficie del tomate (Suslow y Cantewell, 2013).

d. **Índice de calidad.** La calidad en el tomate se encuentra en la uniformidad de forma y en la ausencia de defectos de crecimiento y manejo. A pesar que el tamaño no es un factor definitivo en la calidad, puede influir de manera significativa en su valor comercial (Suslow y Cantewell, 2013).

1) **Forma.** Bien formado, dependiendo el tipo puede ser: redondo, forma globosa, globosa aplanada u ovalada (Suslow y Cantewell, 2013).

2) **Color.** El cambio de color es uno de los signos externos más evidentes en la maduración, el cual se debe a la degradación de la clorofila y la síntesis de pigmentos específicos. Para la determinación de la madurez en base al color (Figura No. 5), se emplean escalas visuales que ilustran el desarrollo o porcentaje de cubrimiento de la superficie de la superficie del fruto con el color deseado, o mediante la medición usando colorímetros (López, 2003). El grado de madurez del tomate se puede determinar a partir del color externo del fruto. En la Figura No. 5 se muestra una clasificación del tomate en base a su color externo.

Figura No. 5: Clasificación del tomate con base en su color externo



(UC DAVIS, 2014)

3) Apariencia. Lisa y con marcas propias de la punta floral y pedúnculo pequeñas. Ausencia de grietas, cara de gato, sutura, quemaduras de sol, daños por insectos, daño mecánico o magulladura (Suslow y Cantewell, 2013).

4) Firmeza. Firme al tacto, no debe estar suave ni deformable (Suslow y Cantewell, 2013).

e. Clasificación del tomate por su apariencia física.

1) Primera categoría. Estos poseen una forma, color y brillo adecuado sin contener deformaciones severas. Con una textura firme y sin excesiva maduración (Ayala, 2010).

2) Segunda categoría. Estos tienen un color adecuado y además pueden presentar pequeñas deformaciones y rajaduras que estén secas o cicatrizadas (Ayala, 2010).

f. Desórdenes físicos en el tomate.

1) Defectos graves en el tomate.

a) Podredumbre. Descomposición, fermentación o desintegración de los tejidos del tomate (Ayala, 2010).

b) Daño profundo. Lesión que rompa la piel o tejido del tomate exponiendo a pulpa del mismo (Ayala, 2010).

c) Quemado. Alteraciones en la piel que se caracteriza por una coloración café que es provocada por el sol (Ayala, 2010).

d) Daño por helada. Tejido muerto causando pérdidas en la firmeza y consistencia del tomate (Ayala, 2010).

e) Sobremaduro. Un estado avanzado de senescencia por exceso de maduración provocando pérdida de firmeza (Ayala, 2010).

2) Defectos leves.

a) Daño superficial. Lesiones en la epidermis que puede ser por causar fisiológicas, enfermedades, plagas o lesión mecánica (Ayala, 2010).

b) Manchas. Alteraciones de coloración en el fruto (Ayala, 2010).

c) Fruto hueco. Tomates que contienen espacios vacíos (Ayala, 2010).

d) Deformados. Alteraciones o desvíos provocados durante el crecimiento del producto (Ayala, 2010).

e) Inmaduro. Fruto cosechado antes que se desarrollen completamente las semillas (Ayala, 2010).

g. **Microorganismos que afectan el tomate.** La enfermedad de la planta es un estado de anormalidad en la que su productividad se reduce como consecuencia del deterioro de su estructura o funcionamiento (Escalona *et al.*, 2009). La manifestación de la enfermedad depende de tres factores: la presencia de patógenos en el medio, la condición del hospedero respecto a la resistencia o tolerancia ante los patógenos y un medioambiente favorable para la enfermedad (Escalona *et al.*, 2009; Flores *et al.*, 2012).

Para un manejo adecuado es necesario identificar los microorganismos que afectan el tomate con el objetivo de aplicar medidas de control indicadas (FAO, 2013). En general, los microorganismos que afectan el fruto se pueden dividir en bacterias y hongos (FAO, 2013) y entre los factores que favorecen su crecimiento están:

- La temperatura: Juega un papel importante en el deterioro de los alimentos en general, siendo un parámetro del que depende la tasa de crecimiento específica y el tiempo de latencia de los microorganismos (Cayre *et al.*, 2003).
- El pH, valor de la acidez, basicidad o neutralidad de un alimento: Controla la actividad enzimática y el transporte de nutrientes en los microorganismos que se encuentran en los alimentos (Jay, 2002). En términos generales, se considera que el pH óptimo para el crecimiento de bacterias es entre 6.0 y 8.0; de levaduras entre 4.5 y 6.0; y de hongos filamentosos entre 3.5 y 4.0 (Andorrá *et al.*, 2010).
- El potencial redox: Es utilizado para determinar el ambiente en que los microorganismos pueden generar energía e incrementar su crecimiento (Cayre *et al.*, 2003). En el caso de microorganismos aerobios, los valores redox positivos incrementan el crecimiento; mientras que en los anaerobios, el crecimiento incrementa cuando el valor redox es negativo (Cayre *et al.*, 2003).
- La composición del alimento: Esto se debe a que los microorganismos lo utilizan como fuente de nutrientes y energía para su crecimiento (Durán, 2006).

1) Enfermedades bacterianas. Las bacterias son organismos procariotas unicelulares sin núcleo con tamaño entre 2 y 10  $\mu\text{m}$  (Prats, 2008). Tienen ácido desoxirribonucleico (ADN) conglomerado y ribosomas en el citoplasma que está dentro de una membrana citoplasmática rodeada de una pared celular de peptidoglicano (Prats, 2008). De acuerdo a su morfología, las bacterias se pueden dividir en cocos si son redondeados, y bacilos si son alargados; y según la estructura de su pared celular se dividen en Gram-positivo cuando solo tienen una pared gruesa de peptidoglicano, y Gram-negativo si poseen una pared de peptidoglicano más delgada y sobre ella una membrana de lipopolisacáridos (Prats, 2008).

Estos microorganismos parasitan plantas con el objetivo de obtener agua y nutrientes y producen muerte del tejido, obstrucción del sistema de transporte y color amarillo en la planta por la liberación de toxinas (Flores *et al.*, 2012). Entre las enfermedades en el fruto del tomate que causan bacterias se encuentran:

a) *Pseudomonas*. Es causada por la entrada de *Pseudomonas syringae* por los estomas o contaminación por roce y que ocurre durante el almacenamiento con humedad relativa alta, temperaturas entre 15 y 20°C y agua sobre el tejido (Escalona *et al.*, 2009). Se manifiesta en el fruto como pequeñas manchas en forma de puntos, color verde o café con bordes elevados, tal como se observa en la Figura No. 6, que no suelen ser más profundas que el espesor de la piel del fruto del tomate (FAO, 2013).

Figura No. 6: Fruto de tomate infectado por *Pseudomonas syringae*



(FAO, 2013)

b) Mancha bacteriana. Es una enfermedad causada por *Xanthomonas axonopodis* y *Xanthomonas vesicatoria* que se puede manifestar en tallo, hojas, pedúnculos florales y frutos (FAO, 2013). Las infecciones son mayores en condiciones de invernadero, con temperatura de entre 20 y 30°C y una humedad relativa alta, además de condensación de agua que facilita la transmisión entre plantas infectadas (FAO, 2013). Los frutos infectados presentan manchas en la superficie con apariencia costrosa con halos verde oscuro en frutos inmaduros (Figura No. 7) y sin halo en frutos maduros (FAO, 2013; Flores *et al.*, 2012).

Figura No. 7: Lesiones en fruto de tomate causadas por mancha bacteriana



(Flores *et al.*, 2012)

c) Cancro bacteriano. Es una de las enfermedades más importantes en el cultivo de tomate, especialmente en invernadero, causada por *Clavibacter michiganensis* que se considera altamente contagiosa y de rápida expansión (FAO, 2013). La mayoría de infecciones ocurren desde el cultivo del

tomate y se predisponen cuando la temperatura es entre 18 y 24°C, hay una humedad relativa de más del 80% y un exceso de nitrógeno por fertilización (FAO, 2013). La incidencia de infecciones incrementa cuando el corte del fruto ocurre en condiciones de alta humedad (Flores *et al.*, 2012).

Cuando la infección se da en frutos inmaduros puede ocurrir desprendimiento de la planta y en frutos cosechados pueden observarse manchas de necrosis blanquecinas, redondas y rodeadas de halos blancos como los observados en la Figura No. 8 (FAO, 2013).

Figura No. 8: Manchas necróticas causadas por infección de *Clavibacter michiganensis*



(Flores *et al.*, 2012)

d) Podredumbre blanda. Es una infección de tallos, hojas y frutos causada por *Pectobacterium carotocorum*, una bacteria que penetra a través de heridas con temperatura óptima de infección de 22°C, humedad elevada del suelo y se favorece de niveles de nitrógeno altos como consecuencia de la fertilización (FAO, 2013; Flores *et al.*, 2012). Las infecciones en los frutos se observan como manchas hundidas, oscuras y acuosas cerca del pedúnculo que pueden llevar a la desintegración interna del fruto hasta tomar el aspecto de una bolsa de agua que se presenta en la Figura No. 9 (FAO, 2013; Flores *et al.*, 2012).

Figura No. 9: Aspecto de bolsa de agua causado en fruto de tomate infectado con *Pectobacterium carotocorum*



(FAO, 2013)

2) Enfermedades fúngicas del tomate. Los hongos son organismos eucariotas unicelulares o pluricelulares con metabolismo quimioheterótrofo, por lo que obtienen energía y carbono de materia orgánica que descomponen por medio de enzimas que secretan al exterior (Prats, 2008). Tienen orgánulos y ribosomas en el citoplasma rodeado por la membrana celular con altos niveles de ergosterol, la cual a su vez está cubierta por una pared celular de quitina, mananos y glucanos que protegen a la célula de la lisis osmótica y regula el transporte de nutrientes y desechos (Prats, 2008).

Los hongos unicelulares se refieren a las levaduras, células aisladas de forma redonda u ovalada con diámetro de entre 3 a 30  $\mu\text{m}$  que se reproducen de forma asexual por medio de gemación (Prats, 2008). En el caso de los hongos pluricelulares, las células se caracterizan por tener una forma alargada y crecer por extensión de sus extremos, hasta formar filamentos largos denominados hifas (Prats, 2008). En el fruto del tomate hay enfermedades causadas por hongos como:

a) Tizón temprano del tomate. Es causada por *Alternaria solani* y *Alternaria dauci* que pueden infectar el tallo, hoja o fruto del tomate y causar pérdidas por disminución de masa foliar y descarte de frutos (Flores *et al.*, 2012). Su desarrollo óptimo ocurre a temperaturas entre 24 y 30°C, con una alta humedad relativa ambiental y la predisposición a la enfermedad es mayor si existe deficiencia de nitrógeno u otras enfermedades por nemátodos (FAO, 2013; Flores *et al.*, 2012).

En los frutos se manifiesta con lesiones necróticas oscuras, cóncavas con depresiones en los pedúnculos, grietas de crecimiento o heridas causadas durante el ciclo de cultivo o post-cosecha del fruto (FAO, 2013; Flores *et al.*, 2012). El hongo fructifica con una coloración negra y la infección puede ocurrir cuando el fruto está en un estado inmaduro o maduro, como se observa en las Figuras No. 10 y 11 (FAO, 2013; Flores *et al.*, 2012).

Figura No. 10: Lesiones causadas por tizón temprano causado por *A. solani*, en tomate



(Flores *et al.*, 2012)

Figura No. 11: Lesiones causadas por tizón temprano causado por *A.dauci*, en tomate



(FAO, 2013)

b) Moho gris. Es una infección causada por *Botrytis cinerea* que ataca flores y frutos del tomate que representa un peligro importante de identificar, sobre todo cuando ataca a las flores, ya que por cada flor infectada hay un tomate menos que se desarrolla (FAO, 2013). Las condiciones óptimas para el desarrollo del hongo son una temperatura de entre 18 y 24°C, descensos bruscos de temperatura y presencia de agua sobre el fruto (FAO, 2013).

Entre los síntomas de la enfermedad se encuentran una podredumbre acuosa de color gris-verdosa que evoluciona y fructifica rápidamente, deformación del fruto, manchas o anillos de color blanco rodeadas de pequeñas manchas, como las de la Figura No. 12 (FAO, 2013).

Figura No. 12: Síntomas de moho gris, infección causada por *Botrytis cinérea*, en tomate



(FAO, 2013)

c) Antracnosis. Es una infección causada por *Colletotrichum spp.* que puede afectar al tallo, hojas y frutos del tomate y ocurre en temperaturas de entre 25 y 30°C cuando hay períodos largos de humedad (Flores *et al.*, 2012). Se manifiesta como manchas pequeñas y oscuras en los frutos de diferente estado de madurez, como las de la Figura No. 13, que aumentan su tamaño y causan lesiones con masa gelatinosa de color rosado cuando el tomate ha llegado a su madurez comercial (FAO, 2013; Flores *et al.*, 2012).

Figura No. 13: Síntomas en fruto del tomate de podredumbre causada por *Colletotrichum spp.*



(FAO, 2013; Flores *et al.*, 2012)

d) Moho blanco. Es una enfermedad causada por *Sclerotinia sclerotiorum* que se produce durante un solo ciclo de cultivo e inicia a temperaturas de entre 15 y 21°C cuando los niveles de humedad cercanos al suelo son elevados y hay alta humedad ambiental (Flores *et al.*, 2012). La infección se manifiesta con lesiones de tonalidad blanquecina, como las de la Figura No. 14, dentro de las cuales hay esclerocios de color negro y tamaño irregular (Flores *et al.*, 2012).

Figura No. 14: Lesiones causadas por *Sclerotinia esclerotiorum* en fruto de tomate



(Flores *et al.*, 2012)

e) Mal del talluelo. Es una enfermedad causada por *Fusarium spp.* que causa podredumbre de raíces, tallo y fruto del tomate (Pérez *et al.*, 2002). Se disemina fácilmente por medio de semillas o plantas infectadas, suelo y agua contaminada y penetra directamente por medio de las raíces de la planta y pedúnculo del fruto (Pérez *et al.*, 2002; Escalona *et al.*, 2009). Al infectar los frutos produce amarillamiento y puede colonizar rápidamente el mismo (Escalona *et al.*, 2009).

f) Rizoctonia. Causada por *Rhizoctonia solani*, esta enfermedad es común en ambientes con humedad relativa alta como consecuencia de lluvias y neblinas y temperaturas de entre 15 y 25°C (Escalona *et al.*, 2009). Penetra la planta a través de hojas y heridas en el follaje y las lesiones en el

fruto se manifiestan como manchas blanquecinas en las que puede ocurrir fructificación (Escalona *et al.*, 2009).

g) Podredumbre por *Rhizopus*. Es una enfermedad causada por los mohos *Rhizopus stolonifer* y *Rhizopus nigricans* en la que se desprenden jugos del tomate como consecuencia de la ruptura de láminas de pectina que sostienen los tejidos internos (Durán, 2006). Esta enfermedad se caracteriza además por lesiones negras en las que se encuentran los esporangios de los mohos (Durán, 2006).

h) Tizón tardío del tomate. Es una enfermedad causada por el hongo *Phytophthora infestans* que ataca las hojas, tallo y frutos del tomate (FAO, 2013). El tomate se predispone a infecciones por este hongo cuando las temperaturas son cercanas a 20°C y se encuentra a una humedad relativa mayor del 75%; el desarrollo es mejor cuando hay noches frías y días cálidos y la formación de esporangios requiere más de 90% de humedad relativa y una temperatura de entre 22 y 26°C (FAO, 2013).

La infección del fruto se manifiesta como manchas pardas cóncavas con centro oscuro y periferia más clara, como las de la Figura. 15 (FAO, 2013). Si hay un fuerte ataque del hongo, el fruto puede cubrirse de micelio blanco (FAO, 2013).

Figura No. 15: Infección causada por *Phytophthora infestans* en fruto de tomate



(FAO, 2013)

## C. Tecnología post cosecha

### 1. Tratamientos post cosecha.

a. Tratamientos con cloruro de calcio. El calcio tiene la capacidad de disminuir la permeabilidad de membranas celulares por lo que provoca una reducción en la absorción de agua. Por otro lado aumenta la firmeza de la pulpa actuando en las paredes celulares como un puente de distintas moléculas uniendo moléculas de pectina con otros polisacáridos y proteínas. Esto provoca la formación de

estructuras tipo “pecticoelulósico” que se caracterizan por fortalecer y dar rigidez a los tejidos vegetales. Por otro lado, al unirse el complejo de proteínas y las pectinas forman pectatos cálcicos que protegen a las células de desintegración y reblandecimiento de paredes celulares (Rueda, 2007).

b. **Encerado.** Se utiliza la aplicación de ceras para disminuir la deshidratación y mejorar la vida post cosecha, estas reemplazan ceras naturales que pudieron ser removidas durante el lavado o también para sellar pequeñas heridas que se pudieron haber producido durante el manipuleo. También se puede utilizar como soporte para la aplicación de algunos fungicidas o para mejorar la apariencia incrementando el brillo (López, 2013).

c. **Maduración controlada.** Muchas frutas, especialmente las frutas climatéricas (Son frutas que tienen alta tasa de respiración durante la maduración de la fruta y durante este proceso hay una alta producción de etileno; estas están caracterizadas por seguir madurando luego de haberse cosechado (FAO, 2013).) como el tomate, deben cosecharse ligeramente inmaduras para poder reducir daños o pérdidas durante el transporte. Sin embargo, antes de su distribución para la venta al consumidor a veces se puede acelerar y uniformar la maduración para que llegue a los consumidores en el grado de madurez deseado. La maduración controlada se realiza con cámaras diseñadas para este tipo de operaciones en las que se le agrega distintas concentraciones de etileno (para el tomate se aplica concentración de 100-150ppm a una temperatura de 20 a 25°C de 24 a 48hrs.). Además se debe permitir el control de la temperatura, la humedad relativa además de la ventilación para eliminar la atmósfera de etileno una vez que el tratamiento se haya finalizado (López, 2013).

d. **Tratamientos.** Los tratamientos térmicos se pueden realizar de distintas formas, en las que se incluye la inmersión en agua caliente o exposición al vapor o aire forzado. Esto se realiza para inactivar algunas enzimas que inducen la senescencia de los productos además de controlar algunos insectos o microorganismos. La temperatura aplicada depende del producto y debe ser preciso para no provocar daños, en general se puede aplicar una temperatura entre 43-46.7°C por un tiempo que varía de 35 a 90 minutos dependiendo del producto (López, 2013).

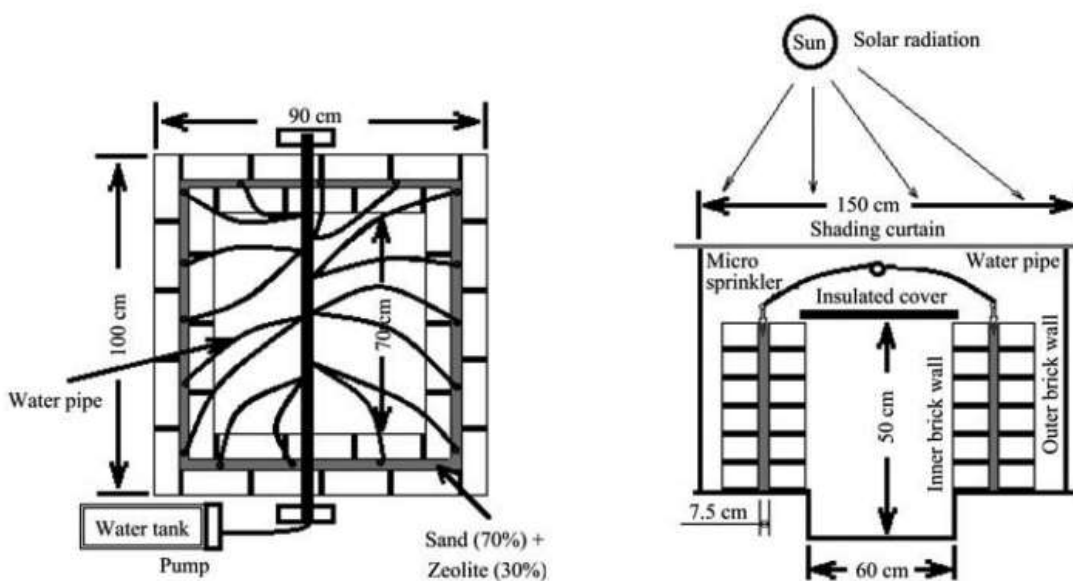
**2. Almacenamiento.** La producción de frutas es estacional para clima templado, a diferencia del clima tropical y subtropical, en donde la cosecha se distribuye en el tiempo. La demanda, sin embargo, es continua a lo largo del año, por lo que se requiere de almacenamiento para provisionar al mercado todo el tiempo. Además, se requiere almacenar cuando el producto se desabastece (López, 2013).

Dependiendo de las características intrínsecas y extrínsecas del alimento, varía el tiempo que puede almacenarse el fruto. La mayor parte de las frutas tropicales no soportan menos de 10°C. Siempre es conveniente almacenar una sola especie de fruto en un ambiente, para evitar problemas de incompatibilidad

de temperaturas, humedad relativa, sensibilidad al frío y al etileno, absorción o emisión de olores contaminantes, entre otros (López, 2013).

a. **Zero Energy Cool Chamber (ZECC).** El ZECC es un sistema de almacenamiento de ventilación natural, amigable con el ambiente que no requiere energía eléctrica. El diseño de la cámara de enfriamiento se compone a base de ladrillos y arena, los cuales son colocados conformando dos paredes: una interna y otra externa, con una separación de 7.5 cm la cual contiene arena. La disminución de temperatura y alta humedad relativa del ZECC se basan en el principio de evaporación de agua añadida al sistema. Esto se debe a que las moléculas de agua presentes se convierten en gas bajo la influencia del aire exterior. Dicho fenómeno produce que la cámara ZECC mantenga temperaturas bajas y uniformes en comparación a las condiciones ambientales. En la Figura No. 16 se muestran las dimensiones de un ejemplo de construcción del ZECC (Islam, 2012).

Figura No. 16: Diseño del ZECC



(Islam, 2012)

## b. Principios de función del sistema ZECC

1) **Humedad relativa.** La humedad relativa es la relación entre el contenido de vapor de agua del aire y la cantidad de agua que el aire puede retener a esa temperatura. La humedad relativa puede cambiar como resultado de variaciones en la cantidad absoluta de vapor de agua o de fluctuaciones en la temperatura. Si la cantidad de vapor de agua en el aire es alta, pequeñas variaciones en la temperatura pueden influir en la humedad relativa (Gliessman, 2002).

2) Temperatura. Es una propiedad del cuerpo que indica la intensidad de energía térmica que posee un sistema en su totalidad (Glissman, 2002).

3) Temperatura de bulbo seco. Es la temperatura de una mezcla vapor-gas determinada en forma ordinaria por inmersión de un termómetro en la mezcla (Treybal, 1988).

4) Temperatura de bulbo húmedo. Es la temperatura en estado estacionario alcanzada por una pequeña cantidad de líquido que se evapora en una gran cantidad de mezcla vapor-gas no saturada (Treybal, 1988).

5) Enfriamiento por evaporación. El enfriamiento por evaporación es un fenómeno físico en el que la evaporación de un líquido, típicamente en el aire circundante, enfrían un objeto o agua que se encuentre en contacto con él. La evaporación del agua produce un efecto considerable de enfriamiento y una mayor rapidez en el enfriamiento. Cuando las temperaturas son iguales no hay una evaporación neta del agua en el aire por lo tanto no hay efecto de enfriamiento. La evaporación proporciona aire fresco al forzar al aire caliente seco sobre el humedecido (Basediya, 2011).

La eficiencia del enfriador depende de la humedad del aire circundante. El aire muy seco puede absorber una gran cantidad de humedad por lo que se produce un mayor efecto en la temperatura. Este tipo de sistemas de evaporación funcionan bajo el principio de enfriamiento adiabático causado por la evaporación de agua, hecho al gotear el agua a través de los ladrillos; generalmente este sistemas de enfriado poseen un material poroso que se alimenta con agua. El aire seco circula sobre el material, el agua se evapora elevando así la humedad reduciendo al mismo la temperatura del aire en el medio (Basediya, 2011). La refrigeración es proporcionada por el intercambio de calor por evaporación que toma ventajas en los principios del calor latente de evaporación, donde se intercambia calor cuando el agua se evapora. Las condiciones para el funcionamiento de un sistema de enfriamiento por evaporación son: temperaturas altas, baja humedad y circulación de aire (Basediya, 2011).

### c. Factores que afectan el funcionamiento del sistema ZECC

1) Temperatura del aire. La evaporación ocurre cuando el agua absorbe suficiente energía para pasar de estado líquido a gas. El aire con elevada temperatura es capaz de estimular la evaporación y captar vapor de agua. A mayor temperatura va a existir una mayor tasa de evaporación y un mayor enfriamiento. Mientras la temperatura sea menor, menor vapor de agua puede ser retenido (Libery *et al.*, 2013).

2) **Movimiento del aire (velocidad).** El movimiento del aire ya sea de forma natural o artificial es un factor que influye en la ruta de evaporación. Si el aire húmedo permanece estacionario, la tasa de evaporación comienza a disminuir a medida que se eleva la humedad. Por otro lado si el aire húmedo se encuentra cerca de la superficie del agua se desplaza constantemente y es reemplazado con aire más seco, la tasa de evaporación aumentara o permanecerá constante (Libery *et al.*, 2013).

3) **Área superficial.** El área de evaporación es otro factor importante en la ruta de evaporación. A mayor área de superficie donde se realiza la evaporación, mayor resultado de evaporación se va a obtener (Libery *et al.*, 2013).

4) **Humedad relativa del aire.** Es una medida de la cantidad de vapor de agua en el aire, expresado como la cantidad máxima que el aire puede capturar a una temperatura específica. Cuando la humedad del aire es relativamente baja significa que solo una parte de la cantidad total de agua que se encuentra en el aire es posible capturar. Bajo estas condiciones el aire es capaz de capturar humedad, lo cual favorece a la eficiencia del sistema (Libery *et al.*, 2013).

**3. Deshidratación.** El secado de alimentos es una práctica usada antiguamente por nuestros antepasados quienes debían conservar alimentos para las estaciones del año de menos abundancia. En todos los países del mundo la deshidratación de algún tipo de fruta, verdura, carne o pescado forma parte de su propia tradición. (Aguado. & Serrano, 2002)

La deshidratación también puede ser definida como una operación unitaria de alimentos, utilizada para aumentar la vida de anaquel de un producto alimenticio, es decir, para su preservación, por medio de la reducción de la actividad de agua ( $a_w$ ). Este proceso involucra la transferencia de calor, entre la superficie del producto alimenticio y la corriente de aire a la cual es generalmente expuesto, dicha transferencia de calor provee el calor latente de vaporización para así evaporar la humedad de la superficie del producto haciendo que el agua se difunda a través de la capa de aire que se forma en esta superficie y es seguidamente removida por el aire que circula. La fuerza que impulsa el proceso de secado es un gradiente de presión de vapor, en la superficie del alimento se forma una región de presión de vapor baja, estableciendo de esta manera un gradiente de presión de vapor entre la capa húmeda interior y la capa externa de aire seco (Cortez y Ho, 2008).

Los fenómenos de transporte que ocurren durante el proceso de secado son principalmente los siguientes:

- Transferencia de calor del aire al producto debido a un gradiente de temperatura, por medio de convección (Ratti, 2008).

- Transferencia de calor dentro del producto, hacia la superficie que posee una mayor temperatura, por medio de conducción (Ratti, 2008).
- Transferencia de masa (agua) desde el producto húmedo hacia el aire seco, esto se encuentra asociado a la transferencia de calor, relacionando el calor latente que es necesario para llevar a cabo el cambio de estado del agua, de líquido a vapor (Ratti, 2008).
- Transferencia de masa desde el interior del producto hasta la superficie del mismo. Este proceso se lleva a cabo mediante distintos mecanismos, como lo son el transporte capilar, esto ocurre mientras exista un alto contenido de humedad en el producto y difusión, ocurrirá cuando el contenido de humedad sea bajo (Ratti, 2008).

Los principales objetivos tecnológicos de la deshidratación son:

- Preservación como resultado de la disminución de la actividad de agua.
- Reducción en peso y volumen.
- Transformación de un alimento a una forma más conveniente de almacenar, empaquetar, transportar y usar.
- Impartir al producto una característica deseable como un sabor distinto, crujencia, masticabilidad, etc. (Berk, 2013)

A pesar de la importancia del secado en la industria, los principios físicos del proceso son complejos en el proceso de deshidratación y rehidratación y aún no se entienden de forma completa. El modelar matemáticamente el secado es difícil en el caso de los alimentos. Aún no existe un modelo matemático completamente satisfactorio aplicable, sin embargo existen aproximaciones que se han ido desarrollando. La ingeniería del secado de alimentos aún se apoya en su mayor parte en la experiencia y experimentación. (Berk, 2013)

#### a. Conceptos fundamentales.

1) Aire atmosférico. El aire ambiente es una mezcla de aire seco y vapor de agua, es necesario estudiar las relaciones que guardan estos dos componentes (Mosalve, 2007).

2) Humedad absoluta y humedad relativa. El cociente entre la masa del vapor de agua contenido en el aire entre la masa de aire seco se conoce como humedad absoluta; el aire atmosférico puede contener solo una máxima cantidad de vapor de agua, la humedad relativa es el cociente entre la masa de vapor de agua contenida entre la máxima que puede contener. El valor de humedad relativa en el aire es un parámetro de la deshidratación, y va a depender de la temperatura del aire, mientras mayor sea la temperatura menor será la humedad relativa, es decir el aire puede absorber más humedad (Mosalve, 2007).

3) Aire saturado. Cuando el aire está en la condición de 100% de humedad relativa, se conoce como aire saturado y no puede absorber más humedad a una determinada temperatura (Mosalve, 2007).

4) Temperatura de rocío. Si disminuye la temperatura del aire atmosférico aumenta su humedad relativa, cuando la temperatura disminuye hasta alcanzar el 100% de humedad relativa, cualquier decremento en la temperatura ocasionara una condensación de vapor de agua para mantener la condición de aire saturado a esa temperatura; esta última se conoce como temperatura de rocío. Esta es igual a la temperatura de saturación correspondiente a la presión de vapor (Mosalve, 2007).

5) Presión de vapor. La presión de vapor es importante para entender el proceso de deshidratación; cuando aire atmosférico a una determinada humedad relativa está en contacto con una superficie húmeda, existe una tendencia a el equilibrio entre la superficie húmeda y el aire, es decir parte del agua en la superficie se evapora para igualar la presión de vapor que ejerce el aire con las que ejerce la superficie húmeda (Mosalve, 2007).

6) Humedad del alimento. La cantidad de agua en el alimento depende del tipo, la forma, y es muy propia de cada especie; puede ser expresada en base húmeda, o en base seca. En el alimento se puede clasificar de dos formas, como humedad libre o humedad ligada (Vega, 1996).

7) Humedad libre. Esta es la cantidad de agua que es posible extraer del alimento se conoce como agua libre, esta se evapora al ejercer una presión sobre la atmosfera de aire de secado de menor presión de vapor (Vega, 1996).

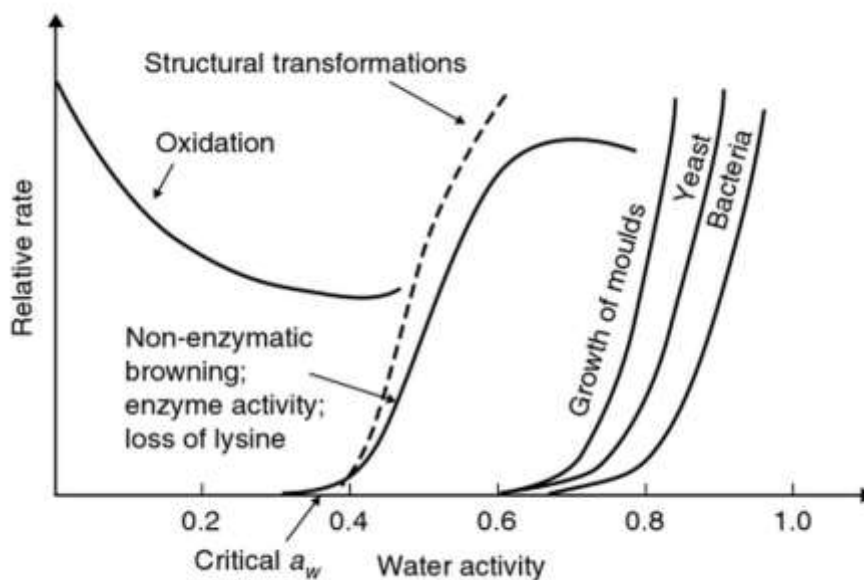
8) Humedad ligada. La cantidad de agua en el alimento que se encuentra como adherida fuertemente al alimento, y su presión es menor que la presión de vapor del aire por lo tanto es muy difícil extraerla (Vega, 1996).

9) Humedad de equilibrio. Cuando el alimento alcanza este valor de humedad, ha dejado de ceder agua al aire secante, y se encuentra en equilibrio con él, este valor es particular de cada alimento pero también depende de la temperatura del aire se secado y de su humedad relativa (Vega, 1996).

10) Actividad de agua. Es la humedad relativa de equilibrio de una atmosfera de aire que está en contacto con el alimento. La actividad de agua es una buena mediada para definir las condiciones finales de deshidratación (Vega, 1996).

En la Figura 18 se representa de una manera semi-cualitativa el efecto que tiene la actividad de agua sobre los microorganismos a una temperatura de 25°C. Asimismo se muestran las reacciones que se pueden dar a cierta actividad de agua (Dong y Mujumdar, 2009).

Figura No. 17: Diagrama de la estabilidad del alimento



(Dong y Mujumdar, 2009)

b. Clasificación de deshidratación según el mecanismo de transferencia del calor.

1) Secado conductivo. La humedad del alimento se pone en contacto con una superficie caliente. El agua en el alimento “hierve” y se elimina de esta forma. El secado al vacío, secado de tambor y secado con vapor sobrecalentado son ejemplos de este proceso (Berk, 2013).

2) Secado convectivo. En este proceso gas seco y caliente que es usualmente aire, se usa para proporcionar el calor necesario para la evaporación y remoción del vapor de agua de la superficie del alimento. Se da un intercambio de masa y calor entre el gas y las partículas que es esencialmente convectivo. A pesar de esto, en algunas ocasiones también está involucrado el proceso de conducción y radiación en algún grado. Un ejemplo típico del secado convectivo es el deshidratador de bandejas. El alimento con humedad se coloca sobre una bandeja, aire caliente y seco pasa sobre este y se induce a la evaporación por el gradiente de temperatura. El vapor de agua pasa del alimento húmedo al aire seco por la presión del gradiente de vapor (Berk, 2013).

c. **Curva de secado.** La tasa de secado tiene particular importancia del punto de vista ingenieril y económico ya que determina la capacidad de producción del deshidratador. Esta se define como la masa de agua removida por unidad de tiempo por unidad de masa de materia seca (denotado por  $\Phi$ ) o como la masa de agua removida por unidad de tiempo por unidad de área (flux de agua, denotado por  $N$ ). Existen diversos factores que pueden afectar la tasa de secado y se dividen en las siguientes categorías:

- Condiciones internas. Variables del material que se está secando como la forma, tamaño, estructura como la porosidad, contenido de humedad, presión de vapor como función de la composición y temperatura.
- Condiciones externas. Temperatura, humedad y velocidad del aire. (Berk, 2013)

En una curva de secado, se grafica la tasa de secado  $\Phi$  o  $N$  versus el contenido de agua  $X$ . Este último se expresa como kg de agua por kg de materia seca. (Berk, 2013)

Ecuación 1. Tasa de secado

$$\Phi = -\frac{dW}{Mdt} = -\frac{dX}{dt}$$

Ecuación 2. Contenido de agua

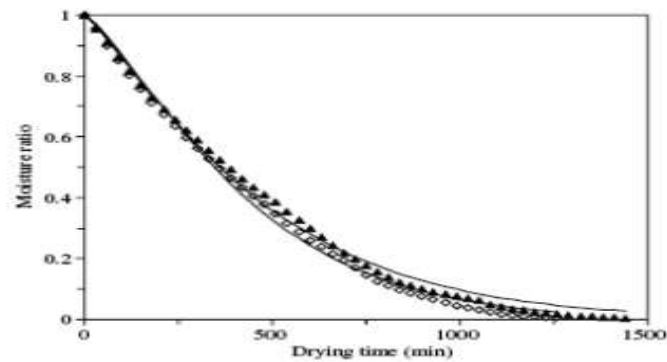
$$X = \frac{W}{M}$$

Donde  $w = \text{masa de agua en el alimento}$

$M = \text{masa de materia seca en el alimento}$

1) **Primera curva de secado.** Esta curva es desarrollada frecuentemente experimentalmente midiendo el cambio de humedad en el alimento dentro del tiempo de deshidratación. En esta curva se pueden observar ya las dos etapas de deshidratación, una marcada por una casi recta y otra una parábola tal como se observa en la Figura No. 18 (Nonhebel, 1999).

Figura No. 18: Primera Curva de secado



(Nohbebel, 1999)

2) Segunda curva de secado. Al derivar la curva anterior con respecto al tiempo se obtiene la velocidad de secado, los valores de estas velocidades cuando se grafican contra el contenido de humedad en el alimento originan la segunda curva de secado, en la cual es más fácil apreciar el proceso de deshidratación (Nonhebel, 1999).

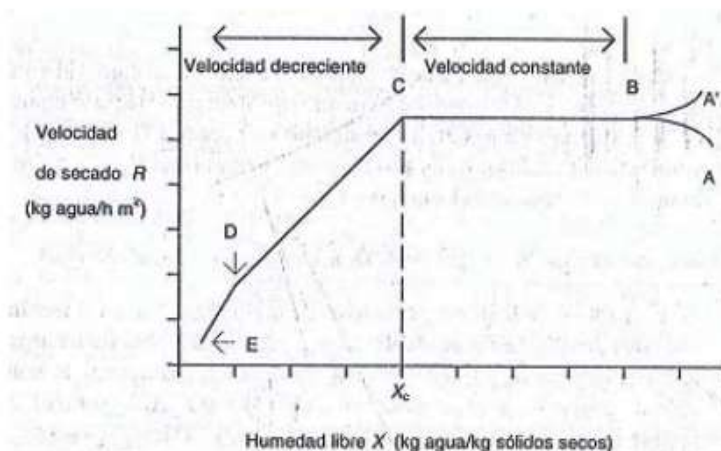
La curva de secado tiene tres fases importantes, las cuales se observan en la Figura No. 19:

Región I: fase creciente. En esta fase la tasa de secado es creciente pues se remueve agua. Este comportamiento se debe al acondicionamiento de la muestra (apertura de poros, calentamiento, etc.). Esta fase es usualmente corta y no siempre se observa en el experimento. Usualmente se omite en el cálculo del tiempo de secado. (Berk, 2013)

Región II: fase constante. La tasa de secado permanece casi constante a medida que se remueve el agua. (Berk, 2013)

Región III: Fase decreciente. Debajo de cierto contenido de humedad llamada humedad crítica,  $X_c$ , la tasa de secado cae a medida que se remueve el agua. (Berk, 2013)

Figura No. 19: Segunda curva de secado



(Nonhebel, 1999)

Como se observa en la Figura No. 19, En A-B: ocurre el calentamiento del alimento, es decir el alimento frío va a comenzar a elevar su temperatura hasta alcanzar la temperatura de saturación (Nonhebel, 1999).

En B-C: comienza el proceso de deshidratación a velocidad constante, donde el agua es evaporada, el calor que suministra el aire caliente es el necesario para evaporar la superficie mojada del alimento. Este periodo se va a mantener mientras el agua del interior del alimento fluya por capilaridad a la superficie de tal forma que siempre se tenga una superficie húmeda en el alimento (Nonhebel, 1999).

En C-D: comienza el primer periodo de velocidad decreciente, donde el mecanismo dominante de deshidratación es la transferencia de masa de agua del interior del alimento. La superficie de evaporación se traslada a capas inferiores en el alimento (Nonhebel, 1999).

El periodo D-E es el segundo de velocidad decreciente y es el más largo de todos, ya que la evaporación se hace más complicada, la superficie de evaporación se encuentra cada vez más dentro del sólido, el agua sale con mayor dificultad del interior del sólido. La temperatura del alimento se aproxima a la del aire secante (Nonhebel, 1999).

d. **Deshidratación y deshidratadores en la industria de alimentos.** En la industria alimentaria se utiliza el proceso de deshidratación con diferentes fines, siendo el principal la preservación de los productos alimenticios. Otro uso importante que se le da es la producción de alimentos especiales e

ingredientes alimenticios, entre estos cabe mencionar las sopas y otros alimentos en polvo. Asimismo, se puede mencionar la deshidratación de granos al sol, semillas y especias. Un sector importante en el que es utilizado es en el secado de ciertas frutas y verduras, peces, pedazos de carne, con estos últimos se puede dar una combinación de ahumado y deshidratado al sol, ya que de esta manera se evita la proliferación de microorganismos. Es importante recalcar que el proceso de deshidratación de alimentos, debe cumplir con estándares tanto de calidad como de higiene e inocuidad (Saravac y Kostaropoulos, 2002).

Las tecnologías de deshidratación son variadas y el tipo de deshidratador adecuado va a estar en función de diversos parámetros como lo son, el tipo de alimento, su consistencia, su contenido de humedad, etc. La combinación de métodos, puede combinar las ventajas de uno u otro método haciendo mejor el proceso de deshidratación. El número de combinaciones posibles es vasto y está limitado por el avance de la tecnología. En muchos alimentos, se prefiere un proceso no térmico para deshidratarlos o una combinación de estos para reducir los costos, también se incluyen pre-tratamientos que mejoren la deshidratación (Saravaco y Kostaropoulos, 2002).

Existen diversos criterios para la clasificación de los deshidratadores en la industria alimenticia que pueden ser:

- Por método de operación: batch, continuo.
- Por mecanismo de transferencia de calor: convección (aire), convección (vapor), conducción (contacto), radiación (infrarroja, microondas, sol).
- Por estado físico del material a deshidratar: sólido, líquido, pasta.
- Por el movimiento del material durante el secado: estático, en movimiento, fluidizado.
- Por la presión de operación: atmosférica, vacío, altas presiones.

(Berk, 2013)

1) Deshidratador de gabinete. Se usa en secado en batch de sólidos a escalas moderadas. Son económicos y simples de construir. Consisten en un compartimiento cerrado que contiene bandejas en donde se coloca el producto a deshidratar. Las bandejas se colocan a una distancia adecuada entre sí. El aire caliente circula entre los compartimientos con las bandejas. La tasa de secado en este tipo de deshidratador depende del contenido de humedad del alimento y la posición de la bandeja en la que se encuentra. La bandeja que se encuentra más cerca de la entrada del aire debe deshidratar más rápido el producto pues el aire se encuentra más seco que para las bandejas de la salida del aire. Los deshidratadores de gabinete muchas veces contienen placas deflectoras para ajustar la distribución del aire. Este tipo de deshidratador suele encontrarse en instalaciones rurales y se usa para el secado de frutas, verduras y hierbas. La entrada de aire generalmente tiene una temperatura entre 60 y 80°C (Berk, 2013).

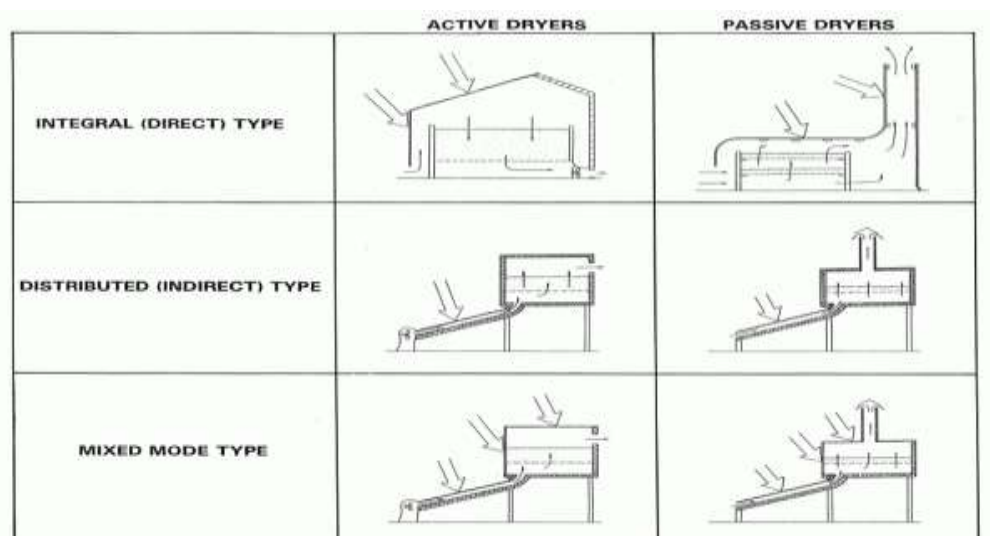
Son óptimos para secar cualquier producto, pero son de producción baja y se requiere cambiar cada ciclo las bandejas. El problema principal con estos deshidratadores es que es difícil alcanzar un secado uniforme dentro de las bandejas (Saravacos. & Kostaropoulos, 2002).

2) Deshidratador solar. El secado solar al aire libre es utilizada desde tiempos inmemorables para el secado de carne, pescado, madera, vegetales y otros productos agrícolas como un medio de conservación. A escala industrial presenta ciertas limitaciones como su elevado coste de mano de obra, equipos de superficies grandes, dificultades en el control del proceso de secado, posibles degradaciones por las reacciones químicas o microbiológicas, etc. (Maupoey. & Andrés, 2001).

Se refiere a un equipo solar eficiente, el cual consiste en equipos solares planos de alto rendimiento con características de tipo industrial, que capta o atrapa la Energía Solar, convirtiéndola en energía calorífica natural, para la deshidratación de las diferentes hortalizas, semillas, entre otros. (Barbosa. & Vega, 2000)

- Secadores solares directos. La radiación se absorbe directamente por el producto. Generalmente se coloca una cubierta transparente o paneles laterales que son atravesados por la radiación. De esta forma se genera evaporación en la superficie del producto conduciendo calor a través del mismo. (Hui, 2006).
- Secadores solares indirectos. Este tipo de secador poseen compartimientos separados y un colector, este cumple la función de calentar el aire del ambiente que pasa a través de él, a manera de conducirlo hacia el compartimiento en el que se encuentra el producto a secar (cámara de secado). El aire que pasa por el equipo transfiere calor hacia el producto y acarrea el agua evaporada fuera del equipo. (Hui, 2006).
- Secadores solares mixtos. En este tipo de secadores, el producto es secado mediante la combinación de la radiación directa del sol en la superficie del producto y por medio de la transferencia de calor por convección del aire caliente que proviene de un colector. Esta combinación permite una tasa de secado más alta en comparación a los mecanismos anteriores. (Hui, 2006)

Figura No. 20: Clasificación de los deshidratadores solares



(Hui, 2006).

Ventajas deshidratación solar:

- Emplea la Energía Solar para la deshidratación del producto.
- Distribuye la energía natural calorífica o energía solar atrapada de manera uniforme, dentro de la cámara de deshidratado, expulsando el exceso de humedad al exterior de la cámara en forma manual, mediante su válvula de desfogue de control de temperatura.
- Obtención de un producto orgánico y libre de contaminantes.
- Conservación de las condiciones nutritivas del producto.
- Tecnología no contaminante y silenciosa.
- Reducción de costos y gastos en el proceso de producción y mantenimiento.

e. Factores que afectan el proceso de secado.

1) Temperatura del aire. En forma general, a medida que se incrementa la temperatura acelera la eliminación de humedad en el alimento. La elección de la temperatura de secado se realiza en base al producto. Existen diversos niveles de temperatura que se mantienen durante el proceso: temperatura de bulbo seco, temperatura superficial y temperatura de bulbo húmedo. Cabe mencionar que durante el secado se genera un gradiente de temperatura con respecto al espesor del material el cual disminuye a medida que se reduce el contenido de humedad (Berk, 2013).

Mientras mayor sea la diferencia de temperatura entre el aire secante y el alimento mayor será la tasa de secado hasta cierto límite, debido a que si la temperatura es muy alta, puede existir un endurecimiento de la

superficie del alimento lo que provocaría que la humedad interior no pudiera salir a la superficie. (Vega, 1996)

2) **Humedad relativa del aire.** Cuando el aire está saturado contiene su máxima capacidad de humedad por lo que ya no puede absorber más. Si el aire es no saturado tiene la capacidad de absorber una dada cantidad de humedad hasta saturarse. Es decir que a menor saturación del aire, el proceso de secado es más efectivo (Universidad de las Américas Puebla, Fecha desconocida).

3) **Velocidad del aire.** La velocidad del aire transmite la energía requerida para calentar el agua presente en el material a secar facilitando su evaporación y también transporta la humedad saliente del material (Universidad de las Américas Puebla, Fecha desconocida).

La capa límite que existe entre el material a secar y es de importancia en el secado. Mientras menor es el espesor de la capa límite se tiene una remoción de humedad más rápida. La forma de la corriente del aire también es importante, una corriente turbulenta es más eficaz que una laminar. (Universidad de las Américas Puebla, Fecha desconocida)

Al iniciar el proceso de secado, la velocidad del aire es primordial, a mayor velocidad, mayor tasa de evaporación y menor tiempo de secado. Por lo tanto, para tener un secado rápido y uniforme es indispensable una circulación del aire fuerte y regular. A pesar de esto, una velocidad de aire alta no es tan beneficiosas mientras mayor es el espesor del material, menor el contenido de humedad inicial y la temperatura de bulbo seco inicial. (Universidad de las Américas Puebla, Fecha desconocida)

4) **Área de superficie.** Es el área en la cual se colocara el alimento a secar, mientras mayor sea el área mayor será el área de transferencia de calor y masa, aumentando la velocidad del proceso (Vega, 1996).

5) **Tiempo.** Se debe llegar a un óptimo entre la velocidad máxima de secado y la calidad que el producto requiere, hay alimentos que conviene deshidratarlos lentamente por el daño que les produce estar expuestos a altas temperaturas durante cortos periodos (Vega, 1996).

6) **Propiedades de los alimentos.** Las propiedades de los alimentos son muy particulares e irregulares, es decir no tienen homogeneidad molecular y cada pieza es diferente de la otra, lo cual hace muy difícil determinar a priori el proceso de deshidratación (Vega, 1996).

f. **Efectos del secado en la calidad del producto.** La estructura de los alimentos cambia debido al secado. La textura, estructura, apariencia, color, sabor y valor nutricional están sujetos a cambio durante este proceso. El efecto más general y evidente al igual que el más difícil de evitar es el encogimiento del producto. En las matrices alimentarias sólidas se induce a un estrés mecánico que causa la

deformación. Durante el secado los solutos se transportan junto con el agua. Como resultado, la distribución de los componentes en el producto seco puede ser distinta a la del material inicial. La concentración de los solutos como azúcares y proteínas puede ser mayor en la superficie del producto deshidratado (Berk, 2013).

Los efectos térmicos más comunes son el pardeamiento no enzimático, desnaturalización de proteínas y la destrucción térmica de sustancias termolábiles como las vitaminas y pigmentos (Berk, 2013).

Cuadro No. 1: Degradación de la calidad ocurrida durante el proceso de deshidratación que debe ser evitado.

FÍSICO	QUÍMICO	MICROBIOLÓGICO
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios en la porosidad.</li> <li>• Encogimiento</li> <li>• Cambios en la solubilidad</li> <li>• Baja rehidratación</li> <li>• Endurecimiento</li> <li>• Fragilidad</li> <li>• Pérdida de aroma y sabor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reacciones enzimáticas</li> <li>• Oxidación lipídica</li> <li>• Pérdida de proteína y vitaminas</li> <li>• Reacciones de pardeamiento</li> <li>• Degradación de nutracéuticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Supervivencia microbiana.</li> </ul>

(Ratti, 2008).

## D. Zonas climáticas de Guatemala

1. **Planicies del Norte.** Comprende la región del Petén, Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz e Izabal. Es una zona muy lluviosa durante todo el año principalmente en los meses de junio a octubre donde se registran precipitaciones más intensas. La temperatura oscila entre los 20 y los 30 °C (INSIVUMEH, 2015).

2. **Franja transversal del Norte.** Comprende el norte de Huehuetenango, Quiché y Alta Verapaz. En esta región se presenta un clima cálido con invierno benigno, estación seca bien definida y semicálidos con invierno benigno (INSIVUMEH, 2015).

3. **Meseta y altiplanos.** Comprende la mayor parte de los departamentos de los departamentos de Huehuetenango, Quiché, San Marcos, Quetzaltenango, Totonicapán, Sololá, Chimaltenango, Guatemala y sectores de Jalapa y Baja y Alta Verapaz. En esta región las lluvias no son tan intensas y los registros más altos se obtienen en los meses de mayo a octubre, en los meses restantes en estos departamentos se reportan los valores más bajos de temperatura en el país (INSIVUMEH, 2015).

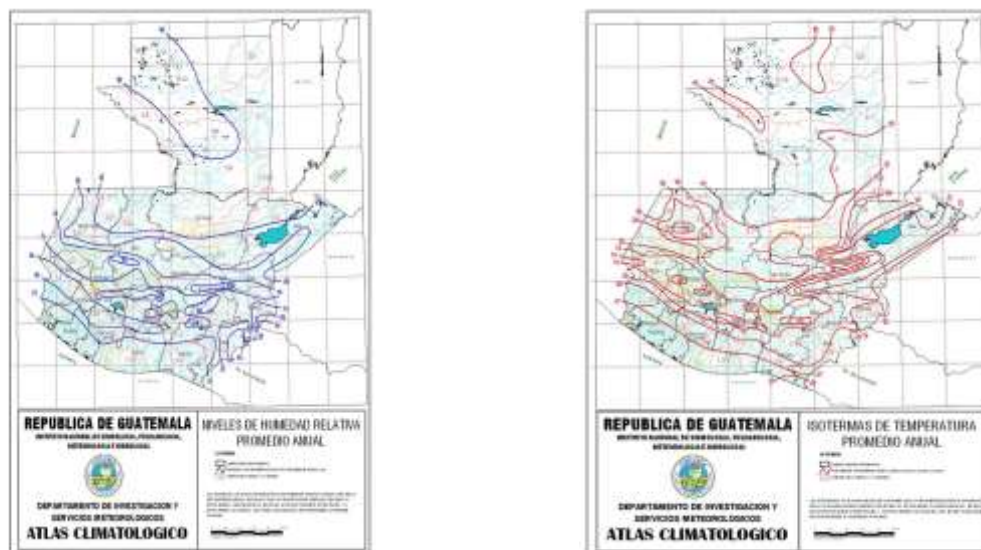
4. **Bocacosta.** Se extiende desde San Marcos hasta Jutiapa. Las lluvias alcanzan los niveles más altos del país juntamente con la transversal del norte, con lluvias máximas en los meses de junio a septiembre. En esta región el clima es semicálido y sin estación fría bien definida, con carácter muy húmedo, sin estación seca bien definida, en el extremo oriental varía a húmedo y sin estación seca bien definida (INSIVUMEH, 2015).

5. **Planicie costera del pacifico.** La región también se extiende desde San Marcos hasta Jutiapa. Las lluvias tienden a disminuir conforme se llega al litoral marítimo. Esta región se caracteriza por climas cálidos sin estación fría bien definida (INSIVUMEH, 2015).

6. **Zona oriental.** Comprende la mayor parte de Zacapa, El Progreso, Jalapa, Jutiapa y Chiquimula. La zona se caracteriza por la deficiencia de la lluvia y con altos valores de temperatura. En esta región se manifiestan climas cálidos con inviernos secos (INSIVUMEH, 2015).

En la Figura No. 21 se muestra el mapa de Guatemala donde se presenta la temperatura y humedad promedio en las diferentes regiones del país.

Figura No. 21: Humedad relativa y temperatura promedio en Guatemala



Humedad relativa anual

Temperatura promedio anual

(INSIVUMEH, 2015)

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

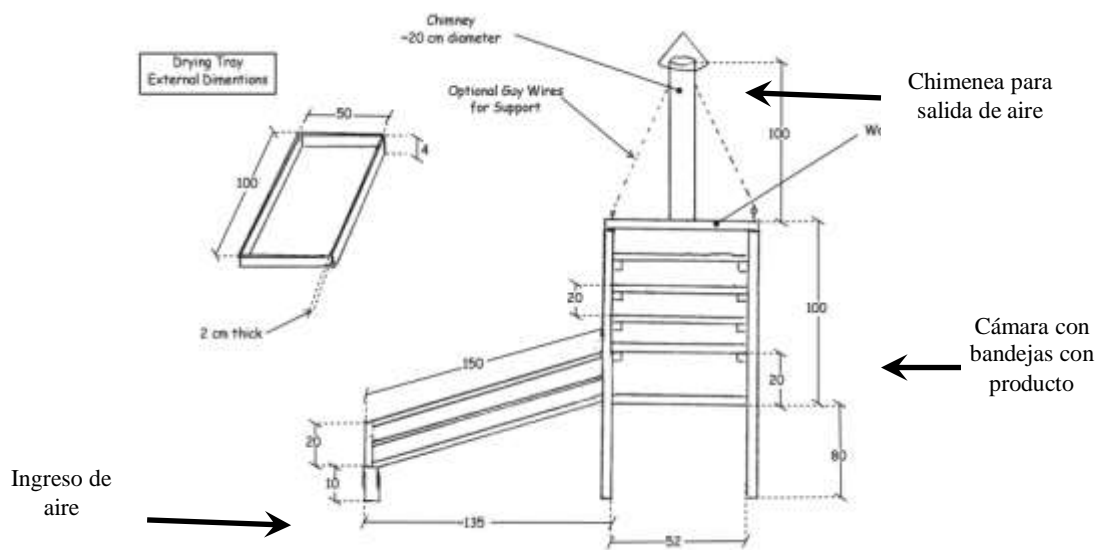
### A. Deshidratadores solares

1. Localización y fecha del estudio. El trabajo de investigación se llevó a cabo en el Campus Central de la Universidad del Valle de Guatemala, en el mes de marzo de 2015.

#### 2. Diseño de los equipos.

a. Deshidratador de gabinete. Se utilizó un secador convencional de gabinetes (modelo FAO) construido con madera y plástico transparente. Las bandejas fueron realizadas con madera y cedazo. La chimenea se construyó con metal galvanizado (ver Figura No. 22). La capacidad total aproximada del equipo es de 6.5 kg de chile jalapeño y 1.6 kg por bandeja. El ingreso del aire se da por la parte inclinada del deshidratador (colector) donde se tenía una apertura lateral. El aire ingresó a la cámara donde se encontraban las bandejas por la parte inferior y se movió ascendentemente hasta salir por la chimenea. De esta forma, el aire (que entró más seco) fue absorbiendo la humedad del producto y secándolo de esta forma. La puerta del deshidratador, que permitía el acceso a las bandejas, se encontraba forrada con doble plástico para reducir las pérdidas de calor.

Figura No. 22: Diseño tradicional de deshidratador de gabinete.



b. **Deshidratador UCD.** El deshidratador a evaluar fue diseñado por el programa Hort Innovation Lab – UC Davis. Cuenta con una capacidad de aproximadamente 13.3 kg de chile jalapeño. El deshidratador cuenta con una base de 6 m de largo y 1 m de alto. Sobre la cual se colocó plástico negro, este cumplirá la función de captar la radiación solar y calentar el aire que ingresa al equipo. Además se colocaron 5 bandejas sobre la base (una libre de producto). Estas están elaboradas de madera y cedazo para colocar las muestras, con dimensión de 1m<sup>2</sup>, con espacio de separación del plástico negro de 0.2m y entre ellas estaban separadas por 20mm. Dichas bandejas sirvieron de conducto, el aire ingresó de lado izquierdo (ver Figura 22) y fue conducido a través de estas hacia la chimenea del lado derecho.

La chimenea cuenta con 4 postes de 3 metros de alto y fue cubiertos con un film de polietileno, asimismo cuenta con una sección transversal de 1x0.25 m, es por donde se condujo el aire de las bandejas hacia la chimenea. Finalmente se colocó un film de polietileno sobre las bandejas, a manera de retener el aire que ingresó y se dirigiera hacia la chimenea. Además protegió al producto de contaminación. Esta se podía remover para poder tomar las muestras durante la experimentación.

Figura No. 23: Diagrama del deshidratador solar UCD

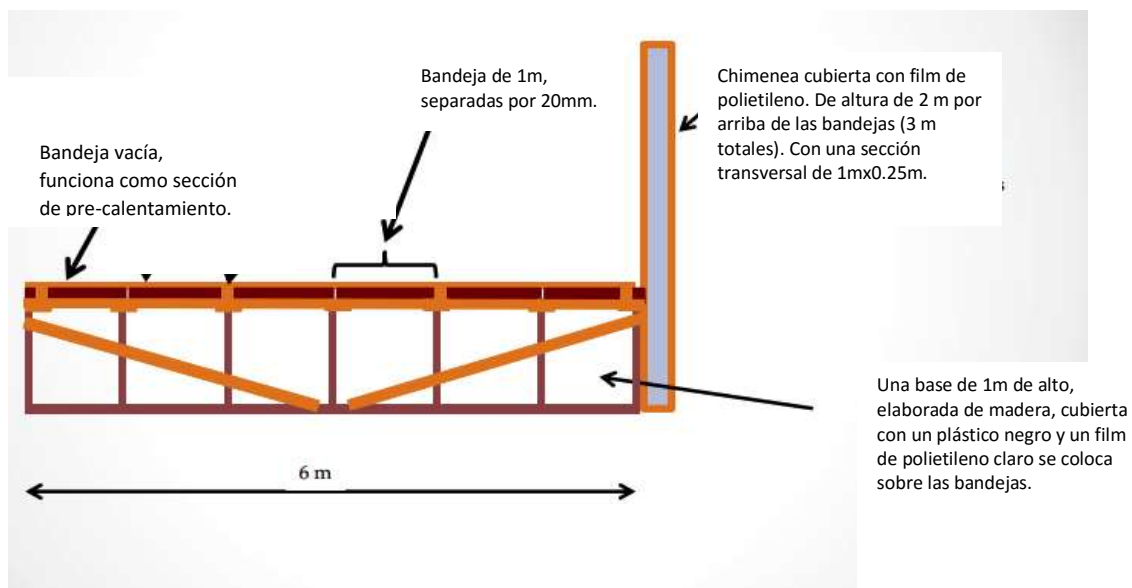
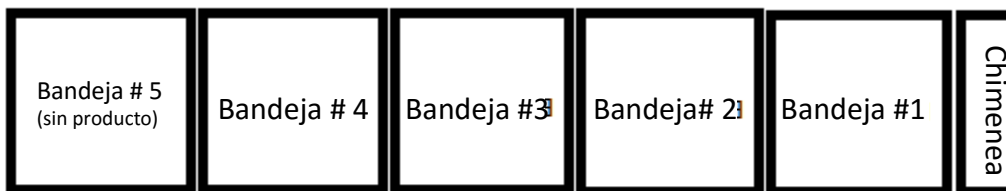


Figura No. 24: Ubicación de las bandejas en el deshidratador.



3. **Método para pruebas experimentales.** Se monitoreó a lo largo del experimento la humedad relativa (T/RH), la temperatura (T/T) utilizando dos sensores portátiles de humedad y temperatura Hobo U23 Pro v2 Data Loggers con un rango de medición de temperatura del sensor interno con capacidad de -40 a 70°C y una incertidumbre de  $\pm 0.21^\circ\text{C}$ . El rango de operación para la humedad relativa es de 0-100% y una incertidumbre de  $\pm 2.5\%$ . Se registraron estos parámetros cada 5 segundos.

Adicionalmente se midió por medio de una estación meteorológica portable marca Hobo la humedad relativa del ambiente exterior, radiación solar y velocidad del viento y temperatura del ambiente exterior. Estos valores se registraron cada 5 segundos desde el inicio de cada corrida hasta el final de la misma.

Se llevaron a cabo tres ensayos utilizando los deshidratadores y se utilizó como muestra chiles jalapeño (*Capsicum annuum*), debido a que tiene cualidades aptas para el proceso de secado rápido, es fácil de manejar, fácil de preparar, se encuentra disponible en Guatemala y es consumido tradicionalmente.

Se usó una cantidad de 20kg de chiles jalapeños enteros. Se midió humedad inicial de 3 g de producto usando una balanza de humedad marca OHAUS ® MB 23. Al iniciar el ensayo se descartaron los chiles pimientos que presentaron daños, teniendo como criterio de descarte lo indicado en la una cartilla de daño físico de UC Davis ( Cuadro No. 2). Para la exclusión de los chiles que no cumplieron con las características deseadas, se colocaron los 20 kg de chiles jalapeños enteros en una superficie limpia y se inspeccionaron visualmente de forma superficial (sin manipularlos individualmente) retirando los que se observaban dañados o de calidad inadecuada (daño físico 4 o 5 según escala de UC Davis Cuadro3). Seguidamente se dividió el total en 6 secciones con una cantidad igual de chiles jalapeños, cuatro de estas se apartaron para su uso en el deshidratador UCD y los otros dos grupos se utilizaron para el deshidratador de gabinete. Para este último deshidratador, se dividieron nuevamente los grupos mencionados a la mitad para obtener un total de cuatro pilas.

Se tomó cada una de las secciones por separado y se cortó cada uno de los chiles en rodajas de un grosor aproximado de 1.5cm. Se colocó finalmente el chile cortado en la bandeja correspondiente a cada pila realizada tomando en cuenta que las rodajas no debían estar una sobre otra, ni tocar los lados de madera, es decir, se debieron distribuir uniformemente a modo de que las rodajas no se tocaran entre sí.

Cuadro No. 2: Escala de calidad de daño físico evaluación del Chile Jalapeño (*Capsicum annuum var. Annuum.*)

Escala	Daño físico	Parámetros de evaluación
1	Ninguno	Sin signos de daños físicos.
2	Mínimo	Mínimos signos de daño físico que no afectaría el precio de venta
3	Moderado	Síntomas evidentes de daño físico que pueden afectar el precio de venta.
4	Severo	Daño físico severo, el producto no podría venderse sin una reducción sustancial del precio
5	Extremo.	Inutilizable, no podría venderse el producto.

Para realizar el monitoreo del peso se tomaron tres muestras iguales para cada uno de los grupos realizados para cada bandeja. Estas muestras se colocaron en canastas de cedazo del mismo material de la bandeja. Dichas canastas se colocaron diagonalmente (ver Figura No. 25), para el deshidratador UCD y para el deshidratador de gabinete según se muestra en la Figura No. 26. Además se identificaron con el número de bandeja (1, 2, 3 ó 4) y la letra correspondiente a la muestra (a, b, c).

Figura No. 25: Posición de las canastas en cada una de las bandejas del deshidratador UC Davis.

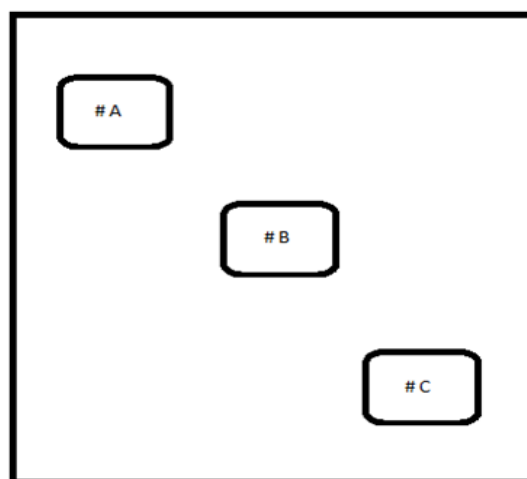
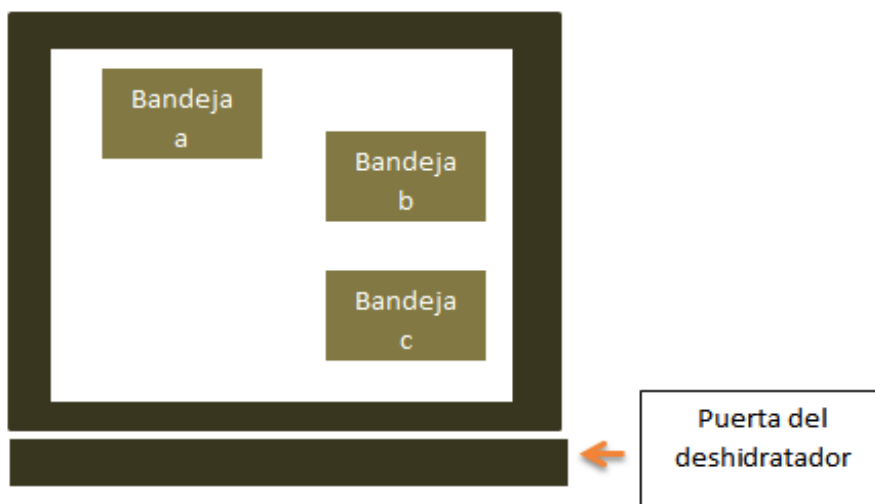


Figura No. 26: Posición de las canastas en una de las bandejas del deshidratador tradicional de gabinete.



En cada prueba, se realizó el muestreo el producto tres veces diariamente en intervalos de tiempo de cuatro horas. Los tres portamuestras de cada bandeja se retiraron y se analizaron los siguientes parámetros:

- Pérdida de peso.
- Calidad visual (de acuerdo a la escala de UC Davis que se observa en el Cuadro No. 3)

Cuadro No. 3: Escala de calidad visual para evaluación del Chile Jalapeño deshidratado (*Capsicum annum*)

Escala	Calidad	Parámetros de evaluación
9	Excelente	Textura crujiente color verde sin daños evidentes de quemadura
7	Buena	Poca pérdida de color
5	Aceptable	Leves daños en el producto
3	Pobre	Daños evidentes de quemadura (50% muestra quemada)
1	Extremadamente pobre	Producto quemado 100% muestra (negro)

- Color: se tomaron fotos de cada bandeja indicando en la misma la hora, fecha, número de prueba y número de bandeja. Esto permitió observar los cambios en el color producto a lo largo del proceso de deshidratación.

4. **Determinación de curvas de secado.** Para ambos deshidratadores, se pesaron las tres muestras de cada bandeja en un intervalo de una hora desde que comenzó el experimento hasta que se obtuvo un peso constante. Durante el horario después de las 5:00 pm no se registraron datos de peso, solamente se midieron los datos registrados por los sensores de temperatura y humedad HOBO data loggers ®.

5. **Análisis de datos de calidad visual y color.** Los datos de calidad visual y color permitieron monitorear cómo el proceso de secado afecta estos factores. Se determinó si el producto final contaba con las características adecuadas para tener un valor comercial aceptable.

#### 6. Análisis de datos para la curva de secado.

- Para tener datos representativo se realizó tres veces el mismo ensayo como se ha mencionado anteriormente, así como las tres muestras a analizar colocadas en cada una de las bandejas del deshidratador UC Davis y del deshidratador convencional de gabinete.
- El peso del material en los portamuestras se expresó como contenido de humedad en base seca (kg agua/kg masa seca). La tasa de secado se encontrará como la disminución del contenido de agua durante un intervalo de tiempo entre dos medidas subsecuentes dividido entre un intervalo de tiempo y expresado como kg agua evaporada/kg masa seca Tunde-Alkitunde, *et al* (2005)
- Se realizaron la primera y segunda curva de secado utilizando el módulo de Excel 2010.
- Se graficaron las curvas de secado de cada portamuestra (a, b y c) de todas las bandejas y se calculó el promedio de los tres portamuestras para cada bandeja obtenida.

- A partir del promedio obtenido para cada bandeja, se obtuvo una curva de secado promedio por corrida.
- Se realizaron las gráficas de temperatura ambiental versus temperatura promedio dentro de los deshidratadores al igual que de humedad relativa ambiental y humedad relativa ambiental con los datos obtenidos con los sensores de temperatura HOBO data loggers ® para cada día de cada corrida utilizando el módulo de Excel 2010.
- Se realizó el análisis de normalidad de los datos de humedad absoluta promedio para cada corrida utilizando el software Minitab ® y se encontró que los datos no se comportaban de forma normal. En base a esto, se realizó el análisis de comparación de medianas de Kruskal Wallis para el que se plantearon las siguientes hipótesis:  
 $H_0 =$  no existen diferencias entre las medianas de las cuatro bandejas del deshidratador de gabinete.  
 $H_a =$  al menos una de las cuatro bandejas del deshidratador tiene una mediana distinta.
- Con base en los resultados, se concluyó en base a la homogeneidad de los resultados del proceso de deshidratación usando un deshidratador solar de gabinete.

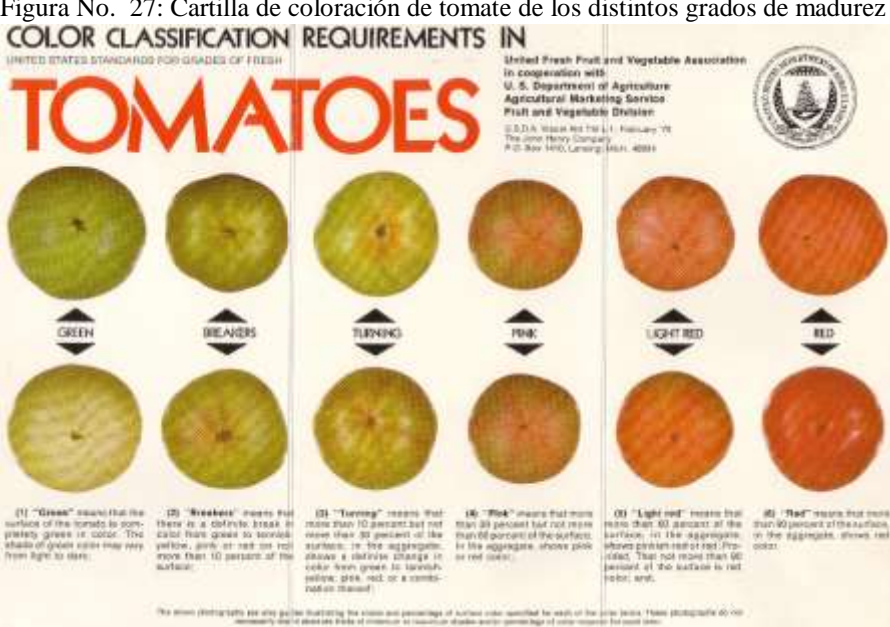


## B. ZECC (Zero Energy Cooling Chamber)

Para la construcción ZECC se utilizó ladrillo refractario, con dimensiones (largo x ancho x alto) de las paredes externas de 191.5 x 128.5 x 67.5 cm y de las paredes internas de 150 x 90 x 67.5 cm con una separación entre ambas paredes de 8.5 cm el cual fue relleno con arena; la cual favoreció al sistema de enfriamiento por evaporación al conservar la humedad. En la parte superior la cámara contó con una cubierta, con marco de madera, cedazo, plástico y brin. Para la protección de la cámara contra factores externos como lluvia y solo se construyó un techo de 362 x 123 x 318 cm ubicado por encima de la misma.

Se empleó un sistema de riego manual en donde se regó con 60 litro de agua dos veces al día, durante los 11 días de ensayo. La cámara fue saturada con agua un día antes de dar inicio al ensayo, para contar con una temperatura constante.



**1. Material a evaluar.** Se utilizó tomate (*Solanum lycopersicum*), redondeado liso tipo ramillete, a los cuales se le removió el pedicelo. El producto fue seleccionado en base a su disponibilidad, su calidad visual, madurez y uniformidad en el color y tamaño. No se aceptó tomate que presentara cicatrices, manchas, podredumbre, golpes y deformaciones, o bien sobre maduro. Se cumplieron con estándares de calidad para la aceptación o rechazo de tomate ( Cuadro No. 4).


Cuadro No. 4: Parámetros de aceptación y rechazo de tomate para la experimentación

Parámetro	Características	
<p><b>Color</b></p> <p>Para este estudio se eligieron tomates en estado de madurez 3,4 y 5 según la cartilla</p>	<p>Figura No. 27: Cartilla de coloración de tomate de los distintos grados de madurez</p>  <p>(UCDAVIS, 2014)</p>	
<p><b>Defectos leves aceptados:</b></p>	<p>Cicatrices</p>	<p>Figura No. 28: Tomate con cicatrices</p>  <p>(Universidad de la Serna, 2013)</p> <p>Figura No. 29: Tomate sin cosechar con cicatriz</p> 



(Blancard, 2011)


Continuación Cuadro 4

Parámetro		Características
<b>Defectos leves no aceptados:</b>	Manchas	<p data-bbox="889 426 1284 457">Figura No. 30: Tomate con manchas</p>  <p data-bbox="997 821 1179 852">(Blancard, 2011)</p>
	Fruto hueco	<p data-bbox="850 873 1321 905">Figura No. 31: Tomate con huecos internos</p>  <p data-bbox="919 1394 1256 1425">(Universidad de la Serna, 2013)</p>



	Deformado	<p>Figura No. 32: Tomate deformado</p>  <p>(Blancard, 2011)</p>
--	-----------	---

Continuación Cuadro 4

Parámetro		Características
<b>Defectos leves no aceptados:</b>	Inmaduro	<p>Figura No. 33: Tomate inmaduro (Número 1 en la cartilla de color de la UCDAVIS)</p>  <p>(Wowryk, 2013).</p>
<b>Defectos graves no aceptados</b>	Podredumbre	<p>Figura No. 34: Tomate podrido</p> 

		(Blancard, 2011)
	Daño Profundo	<p>Figura No. 35: Tomate con daños profundos</p>  <p>(Blancard, 2011)</p>

Continuación cuadro 4

Parámetro		Características
Defectos graves no aceptados	Daño por helada	<p>Figura No. 36: Demostración de tomate con daños por frío</p>  <p>(Universidad de la Serna, 2013)</p>
		<p>Figura No. 37: Tomate con dermis dañada por frío</p>  <p>(Universidad de la Serna, 2013)</p>
	Sobre maduro	Figura No. 38: Tomate sobremaduro



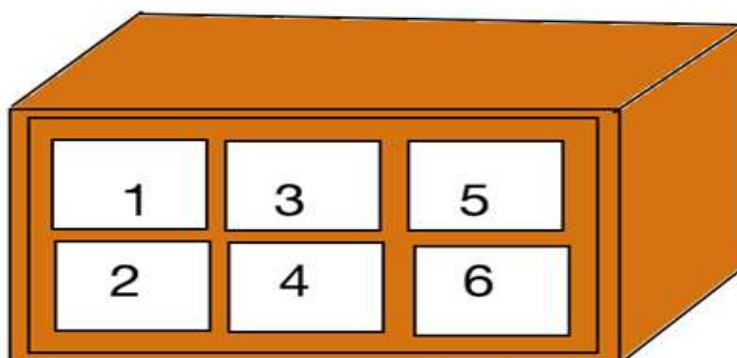
2. **Colocación y ubicación del producto en la experimentación.** Se utilizaron 12 canastas de plásticas de 53 x 19 x 35.3 cm en las cuales se colocó alrededor de 20 lb de producto. De dichas canastas, 6 se colocaron a temperatura ambiente y 6 dentro del ZECC. Las canastas fueron colocadas para tener ventilación lateral e inferior (separadas de paredes de paredes y suelo) tanto para almacenamiento a temperatura ambiente como dentro del ZECC.

Los sensores Data Logger se ubicaron de acuerdo al Cuadro No. 5 y en la Figura No. 39, la distribución presentada se realizó tanto adentro como afuera del ZECC; en ambos casos se monitoreó la temperatura y la humedad registrando datos en intervalos de 5 minutos durante los ocho días de evaluación.

Cuadro No. 5: Mapa de distribución de canastas y localización de data logger para cada tratamiento (dentro y fuera del ZECC).

<b>Canasta 1</b>	<b>Canasta 3</b>	<b>Canasta 5</b> Temperatura canal 1
<b>Canasta 2</b> Data logger Temperatura humedad relativa	<b>Canasta 4</b> Temperatura canal 2	<b>Canasta 6</b>

Figura No. 39: Distribución de canastas adentro del ZECC



3. **Pretratamiento con cloruro de calcio.** Se aplicó un pre tratamiento con una solución de cloruro de calcio en muestras de tomate para compararlas dentro del ZECC y fuera del mismo. La aplicación a los tomates se realizó por inmersión en solución al 3% de cloruro de calcio por 10min (Contreras-Angulo et al., 2011) y se dejó secar con un ventilador. Se utilizaron 12 canastas elaboradas de plástico resistente con 53 x 19 x 35.3 cm y cada una tuvo una muestra de aproximadamente 20lbs de tomates, 6 de las cuales estuvieron adentro del ZECC y 6 afuera del mismo. Se evaluaron nueve variables (pérdida de peso, calidad visual, madurez, temperatura, humedad relativa, pH, firmeza, acidez titulable y sólidos solubles totales). Además, se evaluó el comportamiento microbiológico a partir del crecimiento de bacterias, mohos y levaduras. La selección de los tomates a evaluar fue completamente aleatoria, tomando una libra de tomate en cada una de las canastas. En el Cuadro No. 6 se observa la distribución del tratamiento de cloruro de calcio en las distintas canastas tanto adentro como afuera del ZECC. Los resultados tanto dentro del ZECC (con cloruro de calcio y sin cloruro de calcio) se compararon con los resultados obtenidos afuera del ZECC (con cloruro de calcio y sin cloruro de calcio) por medio de análisis estadísticos.

Cuadro No. 6: Distribución de canastas con Cloruro de calcio aplicada

<b>Canasta</b>	<b>Tratamiento</b>
1	Cloruro de calcio
2	Sin tratamiento
3	Cloruro de calcio
4	Sin tratamiento
5	Sin tratamiento
6	Cloruro de calcio

4. **Comportamiento microbiológico.** Para evaluar el comportamiento microbiológico se prepararon los siguientes materiales:

- a. Medio de cultivo DRBC (Dicloran Rose Bengal Chloramphenicol). En un erlenmeyer se diluyeron 31.6g de agar DRBC por un litro de agua destilada y se calentó en una estufa con agitación hasta llegar al punto de ebullición. Se colocó en la autoclave a 121°C por 15 minutos y luego de enfriar a aproximadamente 50°C, se sirvió en placas Petri, colocando aproximadamente 30mL por placa.
- b. Medio de cultivo PCA (Plaque Counting Agar). Se diluyeron 16.45g de agar DRBC, marca Merck, por litro de agua destilada en un erlenmeyer y se calentó en una estufa con agitación hasta llegar al punto de ebullición. Se colocó en la autoclave a 121°C por 15 minutos y luego de enfriar a aproximadamente 50°C, se sirvió en placas Petri, colocando aproximadamente 30mL por placa.
- c. Agua peptonada amortiguada. Se agregaron 2.55g de agua peptona por un litro de agua destilada y se agitó hasta diluir completamente. Se colocaron 9mL en cada tubo para diluciones y 99mL por Erlenmeyer para el lavado de cada muestra. Los tubos de diluciones y los Erlenmeyer con agua peptona se autoclavearon a 121°C por 15 minutos.

Los tomates seleccionados para la evaluación del comportamiento microbiológico se introdujeron en bolsas Ziploc® estériles selladas. Las bolsas con las muestras se desinfectaron por fuera con etanol al 70% antes de ingresarlas a la campana de flujo laminar. A cada bolsa se le agregaron 99mL de agua peptona amortiguada esterilizada y se agitó el contenido para lavar la superficie del tomate muestreado. Se tomó 1mL del agua peptona del lavado y se realizaron diluciones seriadas  $1 \times 10^{-1}$ ,  $1 \times 10^{-2}$ ,  $1 \times 10^{-3}$ ,  $1 \times 10^{-4}$  y  $1 \times 10^{-5}$  siguiendo la metodología de FSSAI (2012).

Se sembró 1mL de las diluciones de  $1 \times 10^{-2}$  y  $1 \times 10^{-3}$  en 3M™ Petrifilm™ para *Escherichia coli* y coliformes; y 0.1mL de las diluciones  $1 \times 10^{-3}$ ,  $1 \times 10^{-4}$  y  $1 \times 10^{-5}$  en las placas Petri con medio PCA y DRBC. Todas las diluciones se trabajaron en duplicado. Se incubaron las placas de PCA y los 3M™ Petrifilm™ por 24 horas a 36°C y las placas de DRBC por 5 días a 25°C según las metodologías de FSSAI (2012) y Tournas *et al.* (2001).

Para la evaluación del comportamiento microbiológico, se realizó el conteo de unidades formadoras de colonias (UFC) en todas las placas y se registraron para realizar un promedio de UFC de bacterias y hongos por dilución y por muestra de acuerdo a la metodología de FSSAI (2012). A partir de las muestras en agar DRBC, incubadas por 5 días a 25°C, se aislaron en nuevas placas del mismo agar los mohos y levaduras presentes en las diferentes diluciones. Las placas se incubaron por 5 días a 25°C según la metodología propuesta por Tournas *et al.* (2001) y se agregaron 48 horas más de incubación si no se observaba crecimiento luego de este tiempo.

Los hongos aislados se identificaron por medio de microscopio óptico. Se utilizó el método de preparación de muestras con cinta adhesiva Scotch®, descrito por Koneman y Fann (1971). Se tomó un pedazo de cinta de aproximadamente 7cm y se sostuvo con el dedo índice y el pulgar con el lado del pegamento hacia afuera. Se presionó este lado contra una de las colonias de hongo y luego se colocó sobre una gota de azul de lactofenol en una lámina para microscopio.

Las preparaciones se observaron bajo el microscopio y se identificaron de acuerdo a la guía presentada por Koneman y Fann (1971) en “Practical Laboratory Mycology”.

**5. Muestreo.** Para las variables físico-químicas, al iniciar la experimentación se evaluó una muestra aleatoria de 3 libras de producto para medir. En el día 8 de la experimentación se realizó un muestreo aleatorio de una libra de tomate en las canastas 2, 4 y 5 tanto a dentro como fuera del ZECC. Se seleccionó tomando un tomate en cada uno de los cuadrantes de la caja.

En el caso de la evaluación microbiológica, el muestreo se llevó a cabo los días 1, 4, 8 y 11 de cada prueba y consistió en dos canastas dentro de la cámara ZECC, una con pre-tratamiento de CaCl<sub>2</sub> y una sin pre-tratamiento, y dos canastas fuera de la cámara. Las canastas que se muestrearon se eligieron al azar y de cada una de ellas se tomaron dos tomates al azar. Los tomates se tomaron con guantes, previamente desinfectados con etanol al 70%, y se introdujeron en bolsas Ziploc® estériles que se sellaron posteriormente.

**6. Variables evaluadas.** Para el ensayo se realizó una evaluación de las propiedades fisicoquímicas (pérdida de peso, calidad visual, madurez temperatura, humedad relativa, clima, pH, firmeza, acidez titulable y sólidos solubles totales) en el día 1 y 8 de la experimentación.

a. **Pérdida de peso.** La pérdida de peso de peso fue evaluado al inicio y al concluir la experimentación utilizando una balanza electrónica. La pérdida de peso se reportó en libras comparando el peso inicial y final en cada una de las canastas evaluadas.

Ecuación 1. Determinación de la pérdida de peso de los tomates (Islam,*et al.*, 2012)

$$\text{Pérdida de peso, \%} = \left[ \frac{(X1 - X)}{X} \right] * 100$$

*X1 = masa inicial (g)*

*X = masa al final del tiempo de almacenamiento (g)*

b. **Calidad visual.** El tomate de cada una de las canastas fue evaluado y clasificado de acuerdo a una escala de calidad visual, empleando para ello una escala estándar de Likert ( Cuadro No. 7)

con ponderación de 1 a 9, siendo 9 excelente y 1 muy mala. Además el producto fue seleccionado en base a una cartilla de aceptación. La evaluación se realizará al inicio y al finalizar el estudio, en cada una de las canastas evaluadas, será reportado el porcentaje que posea calidad visual similar (Kader, 2005).

Cuadro No. 7: Rango de la calidad visual de los tomates en la experimentación

<b>Estado</b>	<b>Calidad visual en manejo de productos post-cosecha</b>
9	Excelentes, sin ningún síntoma de deterioro
7	Bueno, síntomas leves de deterioro
5	Justo, deterioro evidente pero no grave, aún puede ser comercializado
3	Mala, deterioro grave
1	Extremadamente mala, inaceptable, no se puede utilizar

(Kader, 2005).

c. **Madurez.** La madurez fue evaluada visualmente utilizando las tablas de madurez del Postharvest Technology Center de la Universidad de California en Davis (ver Cuadro No.8). La evaluación se realizó al iniciar y al finalizar la experimentación, se reportó el porcentaje de tomates de acuerdo a su grado de madurez.

Cuadro No. 8: Grado de madurez visual en tomate

<b>Grado de madurez</b>	<b>Color del fruto</b>
1	<i>Verde:</i> El tomate está completamente verde. La tonalidad del verde puede variar de claro a oscuro.
2	<i>Rompimiento:</i> Amarillo, rosado o rojo en 10% o menos de la superficie del tomate
3	<i>Pintón:</i> Amarillo, rosado o rojo en más del 10% pero menos del 30% de la superficie del tomate
4	<i>Rosado:</i> Rosado o rojo en más del 30% pero menos del 60% de la superficie del tomate
5	<i>Rojo claro:</i> Rojo - rosáceo o rojo en más del 60% pero menos del 90% de la superficie del tomate.
6	<i>Rojo:</i> Rojo en más del 90% de la superficie del tomate

(Kader, 2005)

d. **pH.** Se realizó utilizando un potenciómetro digital Hanna HI 99161 con una exactitud de  $\pm 0.02$ pH capaz de medir de -2.00 a 16.00pH con una resolución de 0.01pH; por medio de la inmersión

directa del electrodo en el jugo de tomate. La medición se realizó en triplicado en cada uno de los tomates de la muestra, con una evaluación al iniciar y finalizar la experimentación (Islam, *et al.*, 2012).

e. **Acidez titulable.** Se tomaron 20g de cada tomate de la muestra y se le agregaron 100mL de agua destilada neutralizada y se licuó en una licuadora comercial por 1min. Posteriormente se filtró la muestra con tela. Se tomó una alícuota de 25mL del extracto y se realizó una titulación de neutralización con una solución de NaOH 0.1N, empleando un potenciómetro y una solución de fenolftaleína al 1% para determinar el punto de viraje de la solución, cada tomate fue analizado en triplicado con evaluación al inicio y al finalizar la experimentación. La acidez titulable se expresó como porcentaje en ácido cítrico.

f. **Sólidos solubles.** Los sólidos solubles fueron determinados por medio de un refractómetro digital, en el cual fueron colocado gotas del extracto del tomate de la muestra. La evaluación fue realizada en triplicado en cada uno de los tomates de la muestra, al iniciar y finalizar la evaluación. Los datos serán reportados en grados Brix (Contreras-Angulo *et. al.*, 2011).

g. **Firmeza.** La firmeza fue evaluada empleando un texturómetro Brookfield modelo CT3 V1.4 Build 17 Texture Analyzer, con una velocidad de 0.5mm/s un carga de activación de 4g y una penetración de 10mm, con una exactitud de  $\pm 0.5\%$  está será medida en dos puntos ecuatoriales de cada tomate de la muestra medida en dos puntos ecuatoriales del mismo. El parámetro fue evaluado al iniciar y al finalizar la evaluación.

h. **Temperatura y humedad.** Se realizó mediciones de temperatura y humedad para el comportamiento de las condiciones del tiempo (ambientales) durante los siete días de evaluación. Los datos se recabaron a través de una estación meteorológica con un sistema HOBOWare Pro, la cual estuvo ubicada a 10 m del experimento. Misma que tomó datos respecto la velocidad del viento para evaluar la incidencia de este factor en la reducción de temperatura en el equipo. Los datos fueron registrados en intervalos de 5 minutos durante los ocho días de experimentación.

La temperatura y la humedad relativa dentro de la cámara, son factores determinantes en el funcionamiento del equipo para lograr mantener la calidad del producto almacenado. Por lo que se realizaron mediciones de ambos parámetros para evaluar el comportamiento en dentro del ZECC y se realizó una comparación con relación condiciones ambientales. Para ello se colocan sensores electrónicos con capacidad de almacenamiento de datos en tiempo real, el cual cuenta con un software HOBOWare Pro. Los datos se obtuvieron con una frecuencia de 5 minutos durante los 8 días del estudio tanto para el ZECC como para temperatura ambiente.

7. **Diseño experimental.** Se utilizó un diseño experimental totalmente al azar, con variables independientes y relacionadas. Con dos tratamientos de almacenamiento: ZECC y ambiente natural en ambos casos comparando el producto con un pre tratamiento y sin pre tratamiento. Se realizaron dos experimentaciones con una duración de 11 días. En cada experimentación se evaluaron nueve variables (pérdida de peso, calidad visual, madurez, temperatura, humedad relativa, pH, firmeza, acidez titulable y sólidos solubles totales) y el comportamiento microbiológico a partir del crecimiento de bacterias, mohos y levaduras.

8. **Análisis estadísticos.** Se utilizó el software Minitab® con el que se realizó un análisis de varianza para las variables: pH, firmeza, acidez titulable y sólidos solubles totales para determinar las diferencias entre el almacenamiento en condición ambiente y dentro del ZECC. Y gráficas de dispersión X Y para comparar las condiciones de humedad y temperatura a lo largo de los siete días de experimentación, en las dos condiciones de almacenamiento. Se determinó la diferencia porcentual del cambio de calidad visual, pérdida de peso y madurez visual comparando los tomates que se encuentran dentro y fuera del ZECC con cloruro de calcio y sin cloruro de calcio. Además se realizó una comparación para dos parámetros independientes (Tratamiento de cloruro de calcio y entorno al cual fue sometido) utilizando ANOVA poder evaluar el comportamiento y la diferencia en cuanto a sus características fisicoquímicas (pH, acidez titulable, sólidos solubles y firmeza). Se utilizaron niveles de significancia  $\alpha=0.05$ .

Como estimador del comportamiento microbiano se utilizó el crecimiento bacterias y hongos en tomates pertenecientes a cada población. Cada muestra se trabajó en 3 diluciones, con dos réplicas cada una y se realizaron conteos de unidades formadoras de colonias (UFC) que crecieran en agar para recuento total (PCA), coliformes y *Escherichia coli* en 3M™ Petrifilm™; y mohos y levaduras en agar Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol (DRBC). Los resultados obtenidos para cada dilución y réplica se promediaron para obtener un conteo final por muestra correspondiente a cada combinación de tratamientos.

Para realizar una comparación entre los microorganismos de las diferentes combinaciones de tratamiento, se analizaron los datos utilizando la prueba estadística de U de Mann-Whitney. Por medio de este análisis se determinó si la diferencia entre el comportamiento observado en cada combinación de tratamientos se debía al azar y se determinó si el uso de tratamiento de  $\text{CaCl}_2$  y almacenamiento dentro de la cámara ZECC son alternativas útiles para incrementar el tiempo de vida de anaquel del tomate.



## VII. RESULTADOS

### A. DESHIDRATADORES

1. Evaluación de las condiciones ambientales externas y sensores en los equipos. A continuación se presenta los datos máximos y mínimos de cada uno de los parámetros que intervienen en el proceso de secado, siendo temperatura, % de humedad relativa y radiación solar del ambiente los cuales fueron registrados por la estación meteorológica. También se presentan los resultados de temperaturas y humedades relativas máximas y mínimas en ambos deshidratadores. Se encontró para el deshidratador UCD que la temperatura máxima se alcanzó en el tercer día del experimento al igual que para el deshidratador de gabinete.

Cuadro No. 9: Datos máximos y mínimos de temperatura (°C) y % Humedad relativa en el deshidratador de UCD y el deshidratador de gabinete.

Ensayo	Deshidratador UCD				Deshidratador de gabinete			
	Temperatura (°C)		Humedad Relativa (%)		Temperatura (°C)		Humedad Relativa (%)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	14.5	53.9	12.3	93.5	12.7	45.5	8.3	99.5
2	10.2	65.1	6.2	98.3	13.4	45.3	15.4	97.2
3	10.6	66.0	5.6	95.4	13.6	50.6	9.4	98.2

Cuadro No. 10: Datos máximos y mínimos de radiación solar, temperatura y % humedad relativa obtenidos por medio de la estación metereológica.

Ensayo	Temperatura (°C)		Humedad Relativa (%)		Radiación (W/m <sup>2</sup> )	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	15.5	32.3	25.3	90.5	0.6	1125.6
2	13.5	28.9	35.4	91.6	0.6	1139.4
3	13.9	31.2	30.6	83.2	0.6	1196.9

a. **Temperatura.** En las siguientes gráficas se muestra la comparación de las temperaturas encontradas en el deshidratador de gabinete y en el deshidratador de UCD. En los ensayos 2 y 3 (Figuras No. 41 y No. 42) se observa que el deshidratador de UCD presentó una mayor temperatura que el deshidratador de gabinete mientras que en la primera corrida los resultados de temperatura fueron similares (Figura No.40)

Figura No. 40: Temperatura a lo largo del proceso dentro del deshidratador ensayo 1

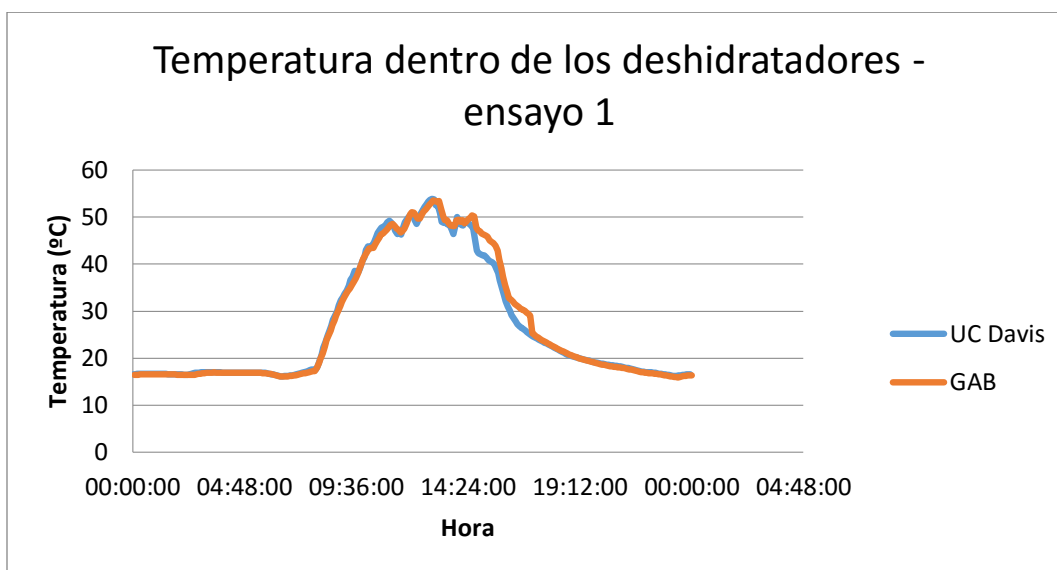


Figura No. 41: Temperatura a lo largo del proceso dentro del deshidratador ensayo 2

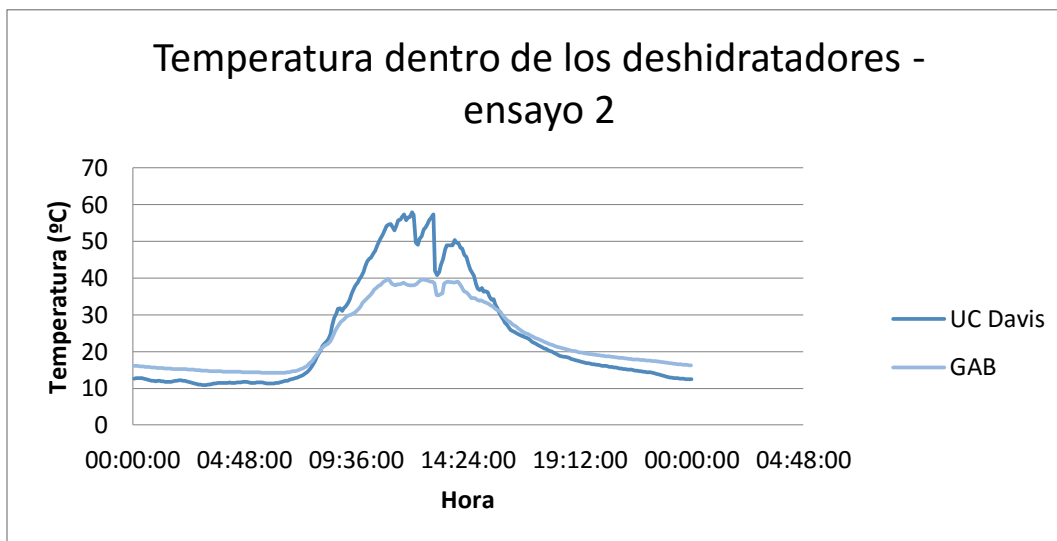
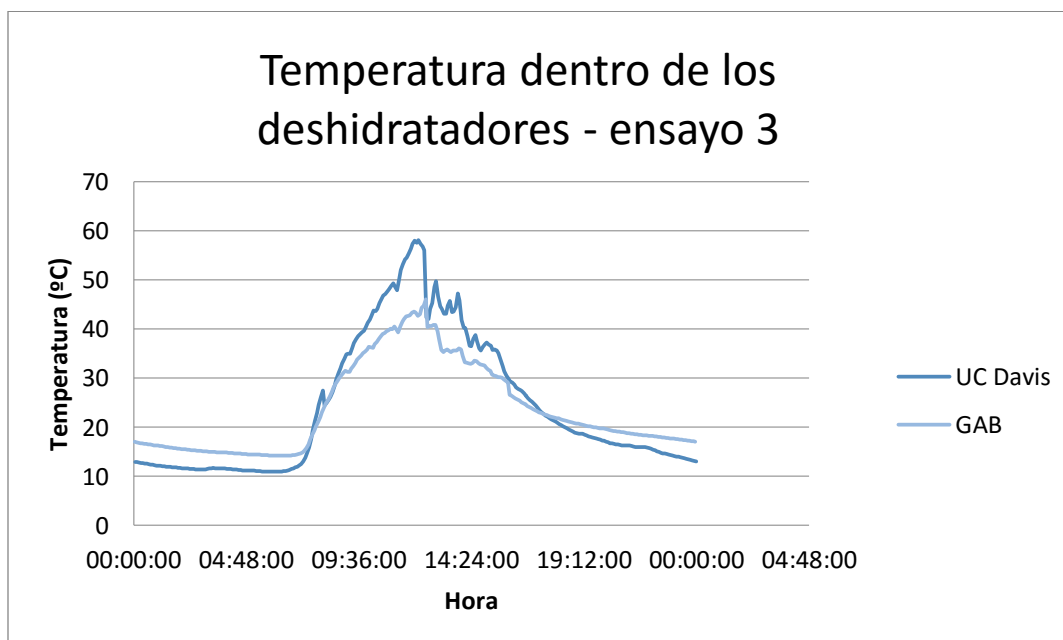


Figura No. 42: Temperatura a lo largo del proceso dentro del deshidratador ensayo 3



b. **Humedad relativa.** En las siguientes gráficas se muestra la comparación de las humedades relativas encontradas en el deshidratador de gabinete y en el deshidratador de UCD. En los tres ensayos (Figura No. 43, Figura No. 44, Figura No. 45) se observa que el deshidratador de UCD presentó una menor humedad relativa que el deshidratador de gabinete.

Figura No. 43: Humedad relativa a lo largo del proceso dentro del deshidratador ensayo 1

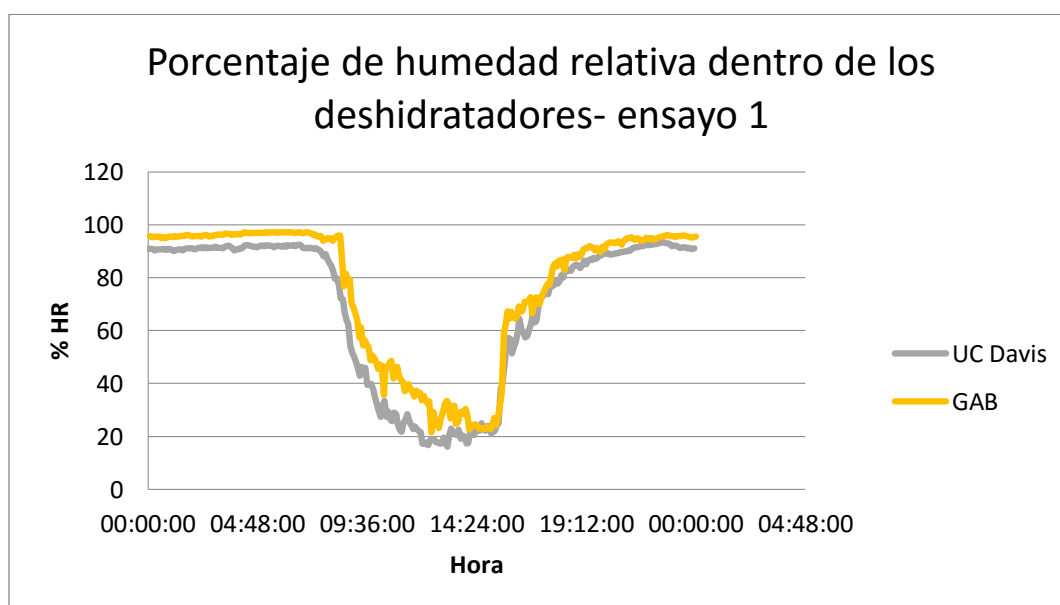


Figura No. 44: Humedad relativa a lo largo del proceso dentro del deshidratador ensayo 2

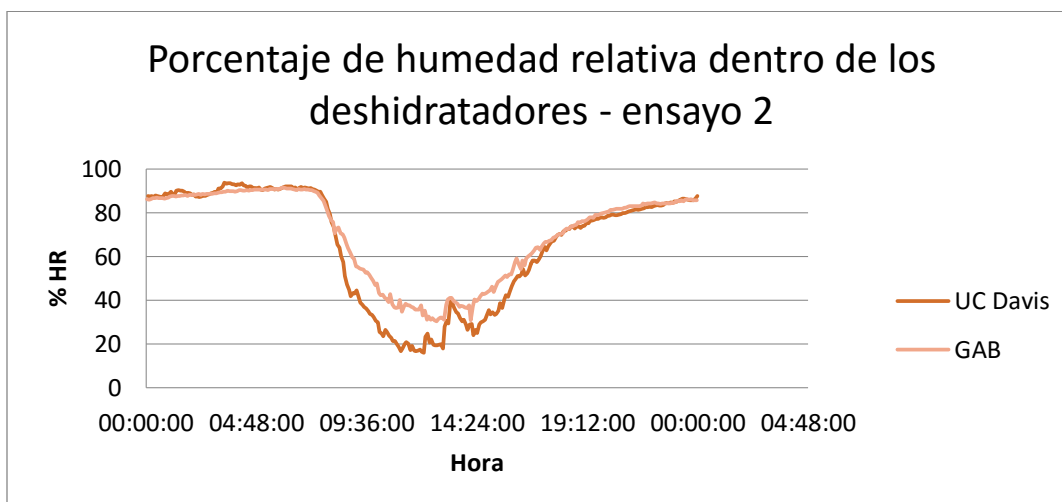
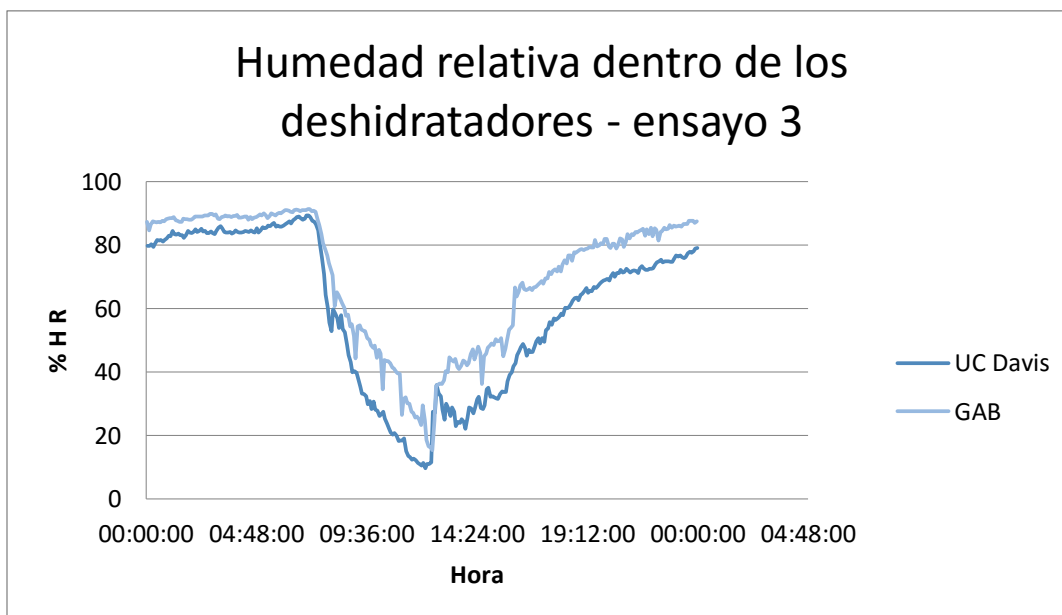


Figura No. 45: Humedad relativa a lo largo del proceso dentro del deshidratador ensayo 3



## 2. Correlación entre condiciones ambientales y condiciones en los deshidratadores.

a. Ensayo 1. Se puede observar en el cuadro siguiente ( Cuadro No. 11) que en el ensayo 1 existió una fuerte influencia de las condiciones climáticas de temperatura y porcentaje de humedad relativa del ambiente sobre el proceso de secado, es decir, sobre las condiciones internas de los deshidratadores.

Cuadro No. 11: Correlación entre datos de sensores los sensores de temperatura y humedad de los deshidratadores en la corrida 1

Día	Deshidratador UCD		Deshidratador de gabinete	
	Temperatura ambiente vs. %HR deshidratador	%HR ambiente vs. %HR deshidratador	Temperatura ambiente vs. %HR deshidratador	%HR ambiente vs. %HR deshidratador
1	0.9441	0.8359	0.9616	0.8086
2	0.9448	0.9380	0.9528	0.9846
3	0.9647	0.9793	0.9274	0.9891

b. Ensayo 2. En el caso del ensayo dos, también se encontró una fuerte correlación entre las condiciones de humedad y temperatura del deshidratador con respecto a las condiciones ambientales como puede observarse en el cuadro siguiente ( Cuadro No. 12)

Cuadro No. 12: Correlación entre datos de sensores los sensores de temperatura y humedad de los deshidratadores en la corrida 2

Día	Deshidratador UCD		Deshidratador de gabinete	
	Temperatura ambiente vs. %HR deshidratador	%HR ambiente vs. %HR deshidratador	Temperatura ambiente vs. %HR deshidratador	%HR ambiente vs. %HR deshidratador
1	0.93525	0.72476	0.9481	0.7034
2	0.96769	0.97360	0.9231	0.703
3	0.95375	0.95632	0.9316	0.9665

c. **Ensayo 3.** El ensayo 3 mostró la misma tendencia que los ensayos anteriores encontrándose una alta correlación entre la temperatura y humedad del deshidratador y la temperatura y humedad ambientales como se muestra en el Cuadro No. 13.

Cuadro No. 13: Correlación entre datos de sensores de temperatura y humedad de los deshidratadores en la corrida 3

Día	Deshidratador UCD		Deshidratador de gabinete	
	Temperatura ambiente vs. %HR deshidratador	%HR ambiente vs. %HR deshidratador	Temperatura ambiente vs. %HR deshidratador	%HR ambiente vs. %HR deshidratador
<b>1</b>	0.93270	0.87161	0.9540	0.7404
<b>2</b>	0.95231	0.94581	0.8745	0.8035
<b>3</b>	0.95709	0.95558	0.9700	0.9678

**3. Curvas de secado.** A continuación se presentan las curvas de secado, estas representan la humedad perdida durante el proceso de secado.

a. **Deshidratador UCD y de gabinete.** En las siguientes curvas se puede observar que el proceso de secado posee el comportamiento esperado (Figuras No.46, 47 y 48) . Puede observarse que en todos los ensayos, el secado fue similar al principio para ambos deshidratadores, pero posteriormente el descenso en la humedad absoluta fue mayor en el deshidratador UCD.

## 1) Primeras curvas de secado

Figura No. 46: Comparación curvas de secado promedio del ensayo 1- deshidratador UCD y deshidratador de gabinete.

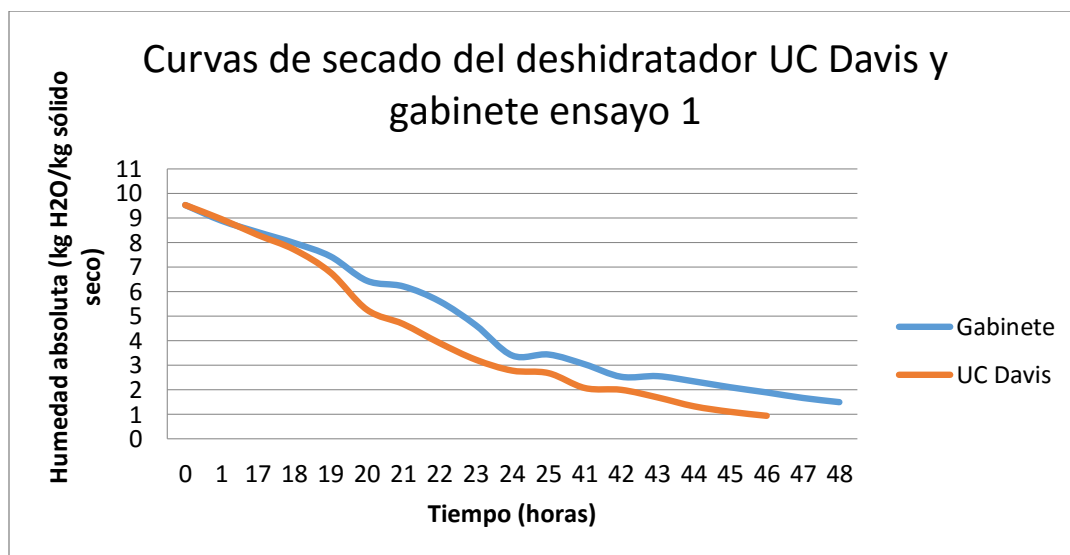


Figura No. 47: Comparación curvas de secado promedio del ensayo 2 - deshidratador UCD y deshidratador de gabinete.

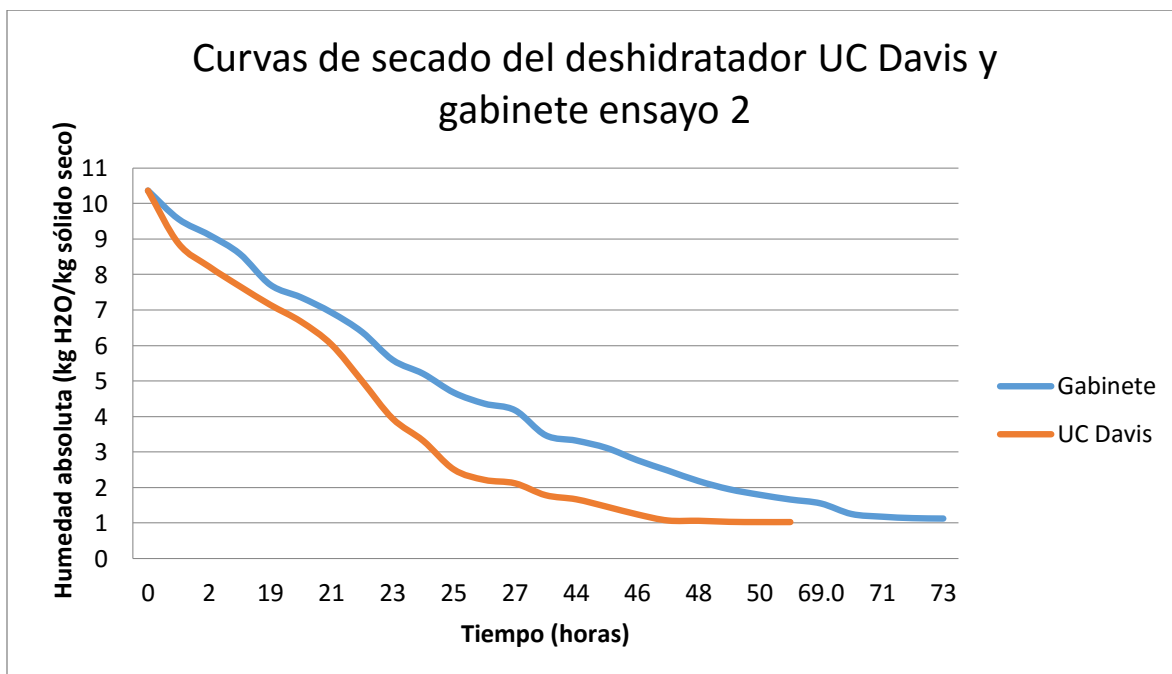
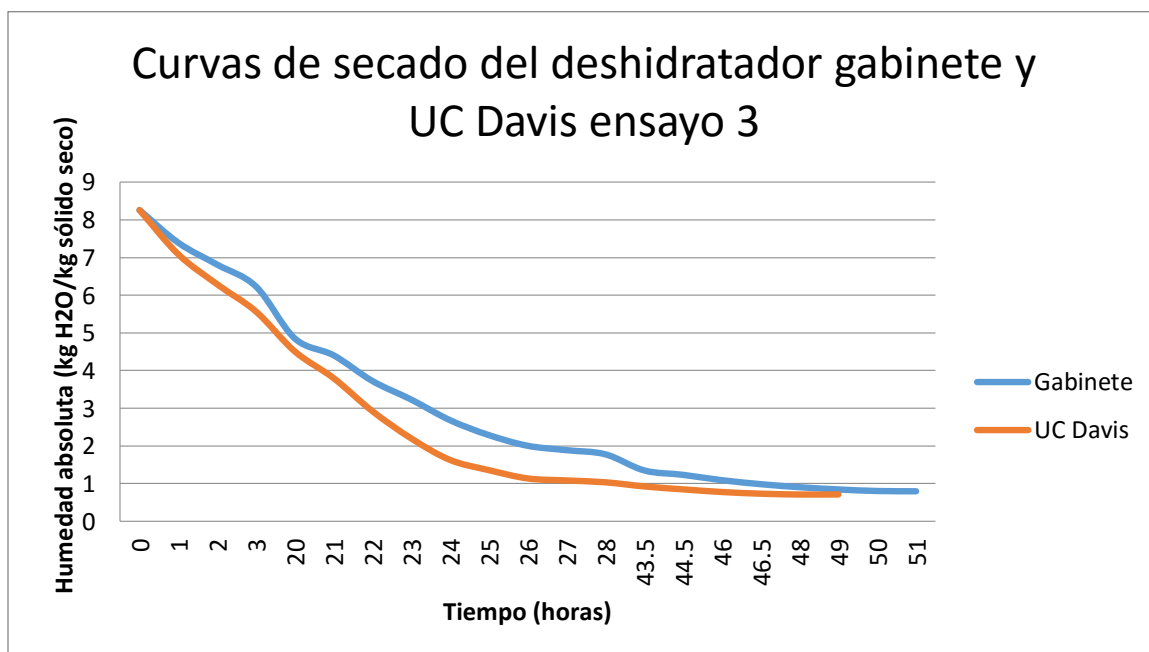


Figura No. 48: Comparación curvas de secado promedio del ensayo 3-deshidratador UCD y deshidratador de gabinete.



En el cuadro siguiente (Cuadro No. 14) puede observarse una alta correlación para las curvas de secado de ambos deshidratadores con el modelo exponencial.

Cuadro No. 14: Resultados de correlación de las curvas de secado con un modelo exponencial

Ensayo	Deshidratador UCD	Deshidratador gabinete
	$R^2$	
<b>1</b>	0.99160	0.98490
<b>2</b>	0.97324	0.99485
<b>3</b>	0.99481	0.98656

2) Curvas de velocidad de secado. Las curvas de velocidad de secado para los tres ensayos presentaron un comportamiento no uniforme, la velocidad de secado se redujo drásticamente durante las noches por la falta de energía solar. En los ensayos 2 y 3 se observa que la mayor parte del tiempo la velocidad de secado fue mayor para el deshidratador UCD mientras que en el ensayo 1 no se observó una tendencia clara como se observa en las Figuras No. 49, Figura No. 50 y Figura No. 51. Se observa que en los picos donde se presenta un descenso drástico en la velocidad de secado fue el período de noche donde no se tenía presencia de la radiación solar.

Figura No. 49: Curva de velocidad de secado del ensayo 1 - comparación entre los dos deshidratadores

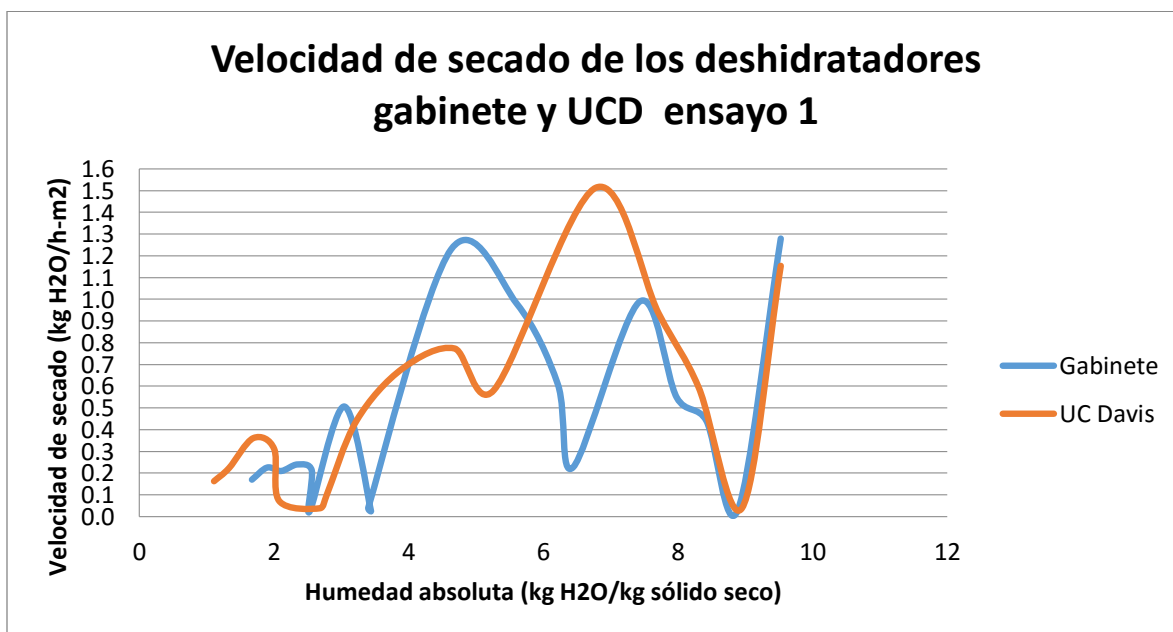


Figura No. 50 Curva de velocidad de secado del ensayo 2 - comparación entre los dos deshidratadores

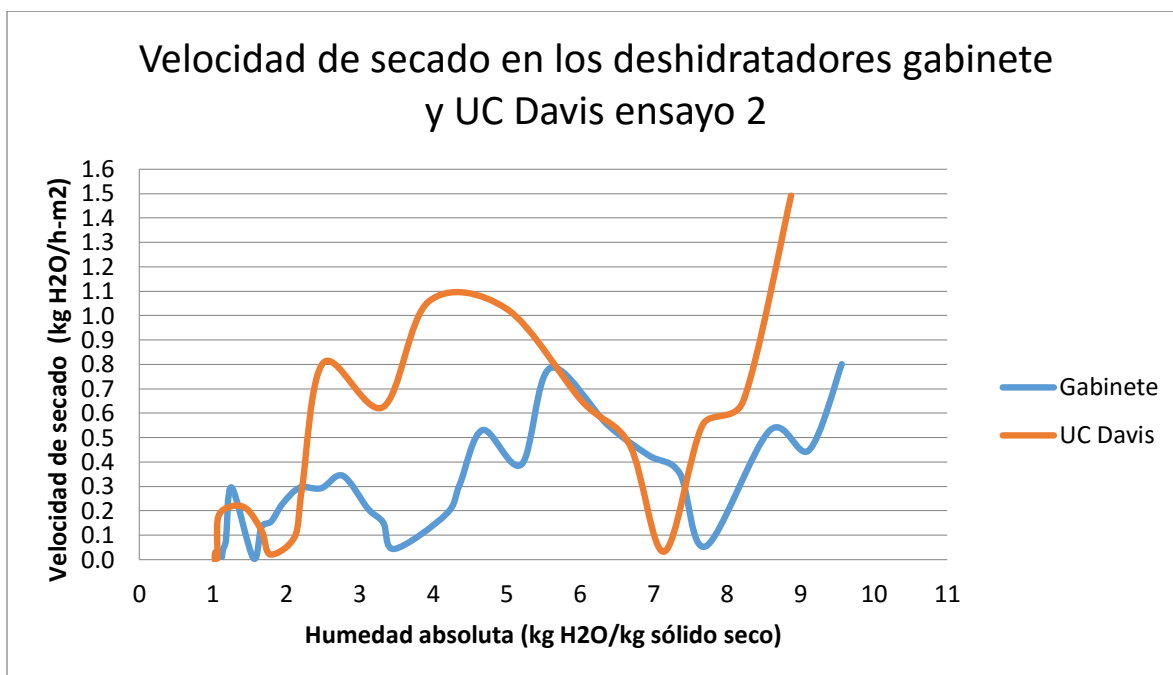
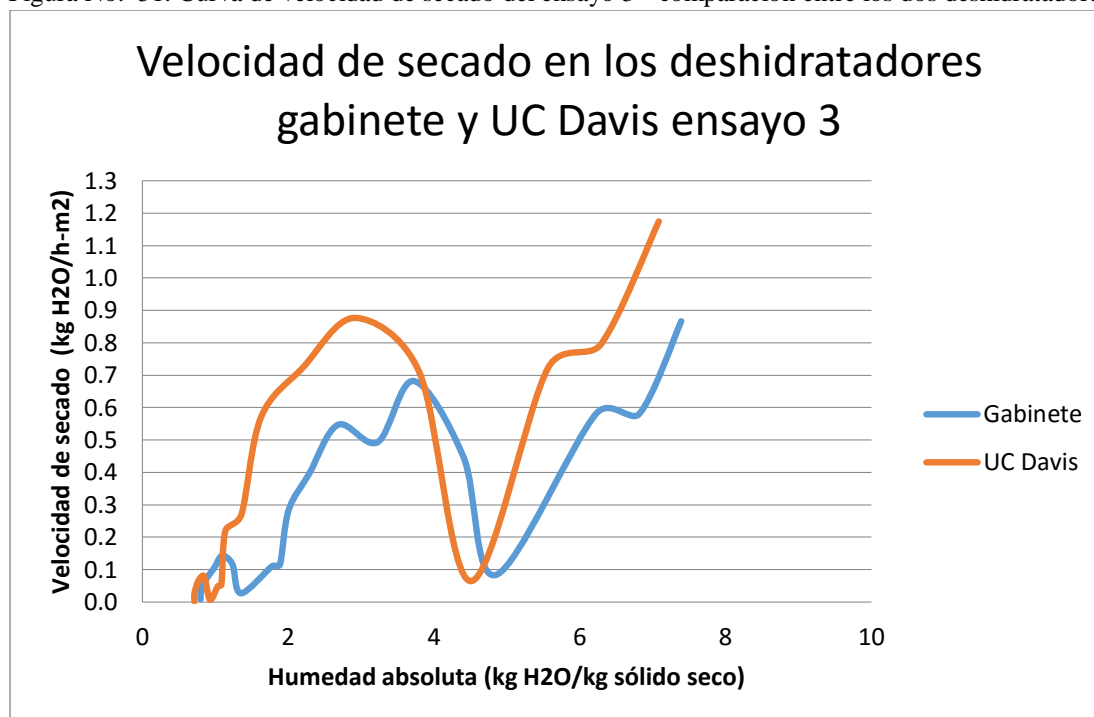


Figura No. 51. Curva de velocidad de secado del ensayo 3 - comparación entre los dos deshidratadores



b. Diferencia en el proceso de secado entre los dos deshidratadores. Debido a la no normalidad de los datos, se realizó la prueba de medianas de Kruskal-Wallis, en donde se plantearon las siguientes hipótesis:

$H_0$ = no existen diferencias entre las medianas del deshidratador solar de gabinete y el deshidratador con el modelo de UCD

$H_a$ = existe diferencia entre las medianas del deshidratador solar de gabinete y el deshidratador con el modelo de UCD

A continuación se presentan los resultados obtenidos, encontrándose un valor P mayor a 0.05 para los ensayos 1 y 3 (ver cuadros No. 15 y 17 respectivamente) por lo que se aceptó la hipótesis nula que indica que no existe diferencia entre las medianas del deshidratador de gabinete y el deshidratador UCD. En el caso del ensayo 2 (ver Cuadro No. 16), el valor P fue menor a 0.05 por lo tanto se aceptó la hipótesis alternativa que indica que existe diferencia entre las medianas del deshidratador de gabinete y el deshidratador con el modelo de UCD para los tres ensayos realizados.

Cuadro No. 15: Valor de medianas y valor P para prueba de Kruskal-Wallis ensayo 1.

Deshidratador	Medianas	Valor P
Gabinete	3.788	0.1021
UCD	3.089	

Si el valor  $P > 0.05$ , se acepta la hipótesis nula.

Si el valor  $P < 0.05$ , se acepta la hipótesis alternativa.

Cuadro No. 16: Valor de medianas y valor P para prueba de Kruskal-Wallis ensayo 2.

<b>Deshidratador</b>	<b>Medianas</b>	<b>Valor P</b>
Gabinete	3.706	0.0396
UCD	2.431	

Si el valor  $P > 0.05$ , se acepta la hipótesis nula.

Si el valor  $P < 0.05$ , se acepta la hipótesis alternativa.

Cuadro No. 17: Valor de medianas y valor P para prueba de Kruskal-Wallis ensayo 3.

<b>Deshidratador</b>	<b>Medianas</b>	<b>Valor P</b>
Gabinete	2.036	0.0548
UCD	1.505	

Si el valor  $P > 0.05$ , se acepta la hipótesis nula.

Si el valor  $P < 0.05$ , se acepta la hipótesis alternativa.

**4. Tiempo total de secado.** A continuación se presenta un Cuadro que muestra el tiempo total de secado para cada uno de los equipos y ensayos tomando en cuenta que el proceso de secado terminaría al llegar al 17% del peso inicial del producto. En el Cuadro No. 18 se muestra el tiempo para cada ensayo y se puede observar que el proceso más tardado fue el del ensayo 2, seguido por el ensayo 1 y por último el ensayo 3 tanto para el deshidratador de UCD como para el deshidratador de gabinete.

Cuadro No. 18: Tiempo total de secado para cada ensayo

<b>Ensayo</b>	<b>Deshidratador UCD</b>		<b>Deshidratador de gabinete</b>	
	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Tiempo (días)</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Tiempo (días)</b>
1	46	1.92	50	2.08
2	47	1.96	69	2.88
3	43.5	1.81	48.5	2.02

**5. Calidad del fruto.** A continuación se presenta la calidad del producto final, se puede observar que para el deshidratador UCD en algunos de los casos se presentó una calidad de 3, el Cuadro No. 3. Escala de calificación de calidad visual, lo que corresponde a pobre. Sin embargo también se observan muestras con calidad 5 y 7, lo que ocurrió en la mayoría de las muestras para el deshidratador de gabinete, correspondiendo aceptable y buena.

1) Ensayo 1. En las Figuras No. 52 a la No. 54 pueden observarse los cambios en el producto a lo largo del proceso de secado. En las Figuras No. 55 y No. 56 puede observarse la comparación de la calidad final encontrada en los distintos portamuestras de las 4 bandejas en cada deshidratador. Se observa que la calidad del deshidratador de gabinete fue más homogénea que para el deshidratador de UCD.

Figura No. 52. Calidad visual inicial del producto a deshidratar entre el deshidratador UCD (izq.) y gabinete (der.)

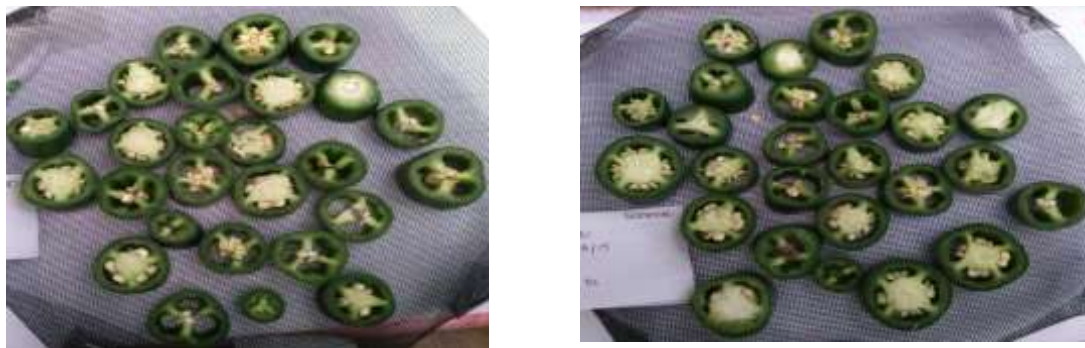


Figura No. 53. Calidad del producto en el segundo día del proceso de deshidratación UCD (izq.) y gabinete (der.)



Figura No. 54:. Calidad final del producto con un 17% del peso inicial UCD (izq.) y gabinete (der.)



Figura No. 55. Calidad del producto final de las muestras por bandeja del deshidratador UCD  
Ensayo 1.

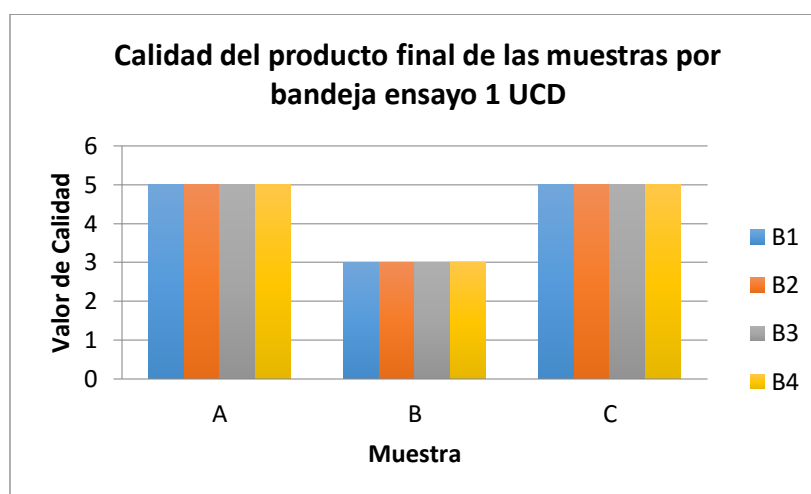
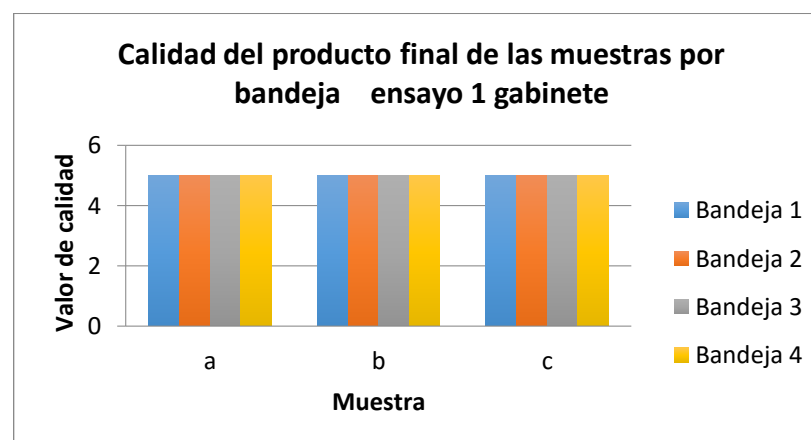


Figura No. 56. Calidad del producto final de las muestras por bandeja del deshidratador de gabinete  
Ensayo 1



2) Ensayo 2. En las Figuras No. 57 a la No. 59 pueden observarse los cambios en el producto a lo largo del proceso de secado. En las Figuras No. 60 y No. 61 puede observarse la comparación de la calidad final encontrada en los distintos portamuestras de las 4 bandejas en cada deshidratador. Se observa que la calidad del deshidratador de gabinete fue mejor que para el deshidratador de UCD con un valor 5 según la escala de calidad visual (Cuadro No. 3).

Figura No. 57 Comparación de calidad visual inicial del producto a deshidratar entre el deshidratador UCD (izq.) y gabinete (der.)



Figura No. 58. Comparación de calidad del producto en el segundo día del proceso de deshidratación UCD (izq.) y gabinete (der.)



Figura No. 59: Calidad final del producto con un 17% del peso inicial UCD (izq.) y gabinete (der.)



Figura No. 60: Calidad del producto final de las muestras por bandeja del deshidratador UCD Ensayo 2.

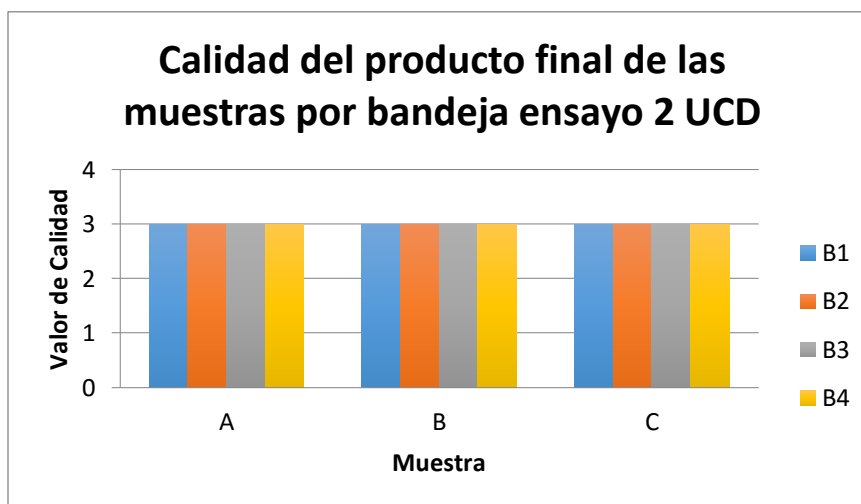
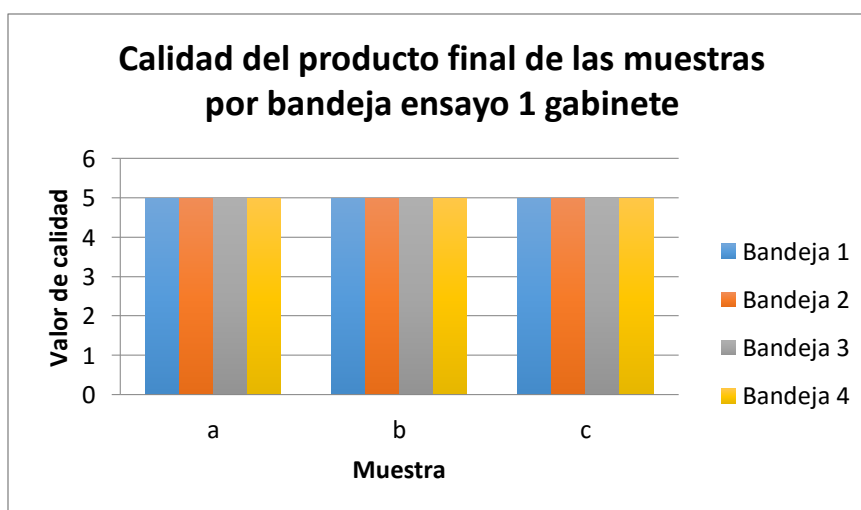


Figura No. 61: Calidad del producto final de las muestras por bandeja del deshidratador de gabinete Ensayo 2.



3) Ensayo 3. En las Figuras No. 62 a la No. 64 pueden observarse los cambios en el producto a lo largo del proceso de secado. En las Figuras No. 65 y No. 66 observa que la calidad del deshidratador de gabinete presentó una calidad similar que para el deshidratador de UCD.

Figura No. 62: Calidad visual inicial del producto a deshidratar entre el deshidratador UCD (izq.) y gabinete (der.)



Figura No. 63: Calidad del producto en el segundo día del proceso de deshidratación UCD (izq.) y gabinete (der.)



Figura No. 64: Calidad final del producto con un 17% del peso inicial UCD (izq.) y gabinete (der.)



Figura No. 65: Calidad del producto final de las muestras por bandeja del deshidratador UCD Ensayo 3.

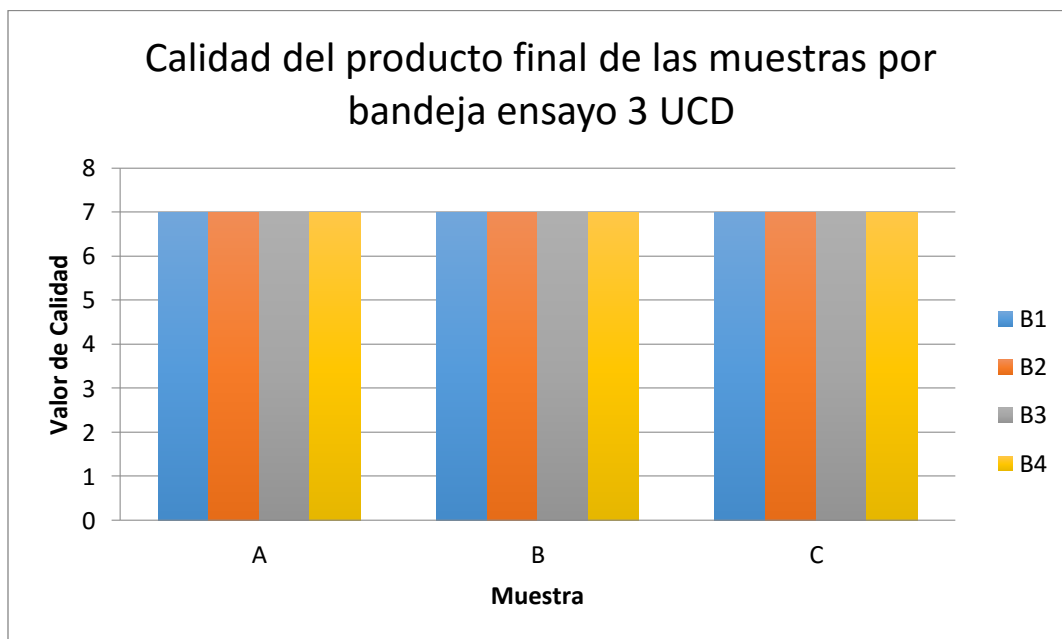
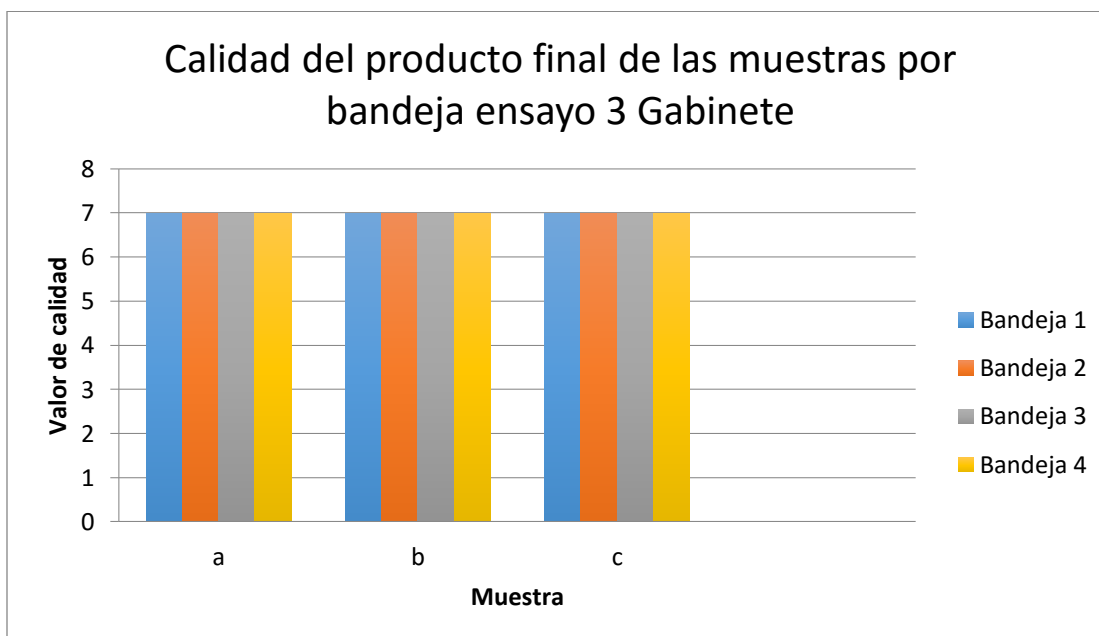


Figura No. 66 Calidad del producto final de las muestras por bandeja del deshidratador de gabinete Ensayo 3.



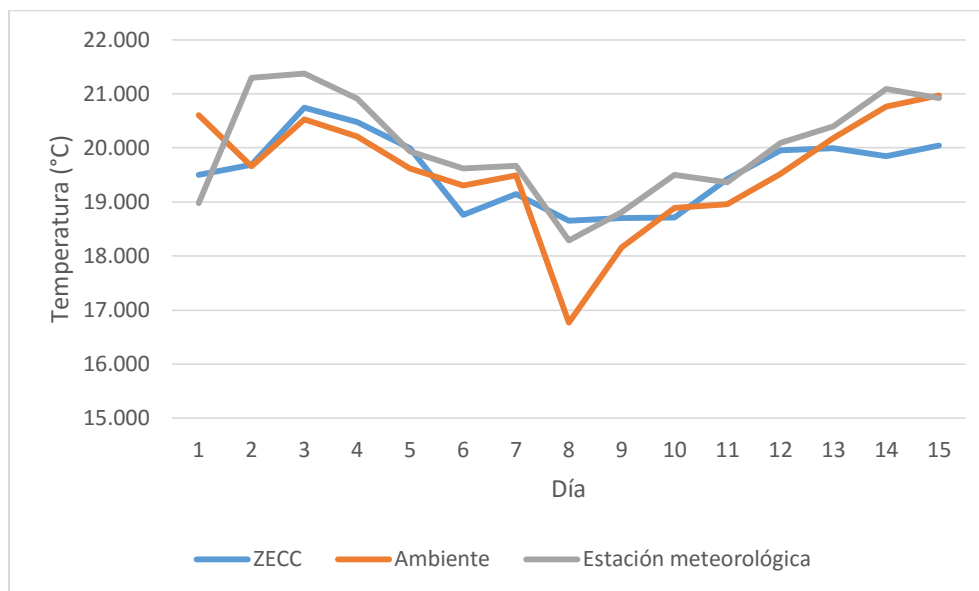
## B. ZECC

### 1. Evaluación de las condiciones ambientales externas

a. Temperatura. En la Figura No. 67 se muestra la variación de temperatura

presentada durante los días de evaluación en los dos tipos almacenamiento: ZECC y ambiente; los cuales a su vez fueron comparados con las condiciones meteorológicas de la Universidad del Valle de Guatemala Campus Central. Los máximos y mínimos de la temperatura registrada se muestran en el Cuadro No. 19; no existió una diferencia de temperatura promedio entre ZECC y ambiente y existió una diferencia de 0.43°C mayor entre la estación meteorológica y el ZECC.

Figura No. 67: Variación de temperatura durante los días de almacenamiento

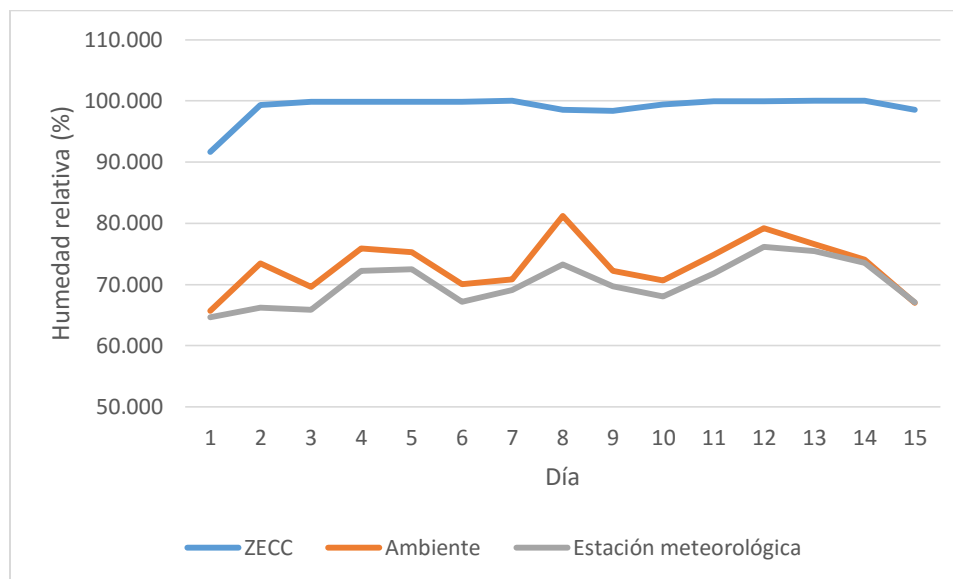


Cuadro No. 19: Temperaturas presentadas durante los días de evaluación

	<b>ZECC</b>	<b>Ambiente</b>	<b>Estación meteorológica</b>
<b>Máximo (°C)</b>	20.75	20.97	21.37
<b>Mínimo (°C)</b>	18.65	16.77	18.28
<b>Promedio (°C)</b>	19.58	19.58	20.01

b. **Humedad Relativa.** En la Figura No. 68 se muestra el comportamiento de la humedad relativa durante los días de ensayo bajo las diversas condiciones de almacenamiento. En dicha Figura se observa que la humedad relativa dentro del ZECC alcanza hasta un 100%, mientras en condiciones ambientales permaneció alrededor de 60-80%. En el Cuadro No. 20. se muestra que la humedad relativa promedio mantenida en la cámara de almacenamiento ZECC es superior al valor máximo registrado para el almacenamiento en condición ambiental.

Figura No. 68: Variación de humedad relativa presentada durante los días de almacenamiento

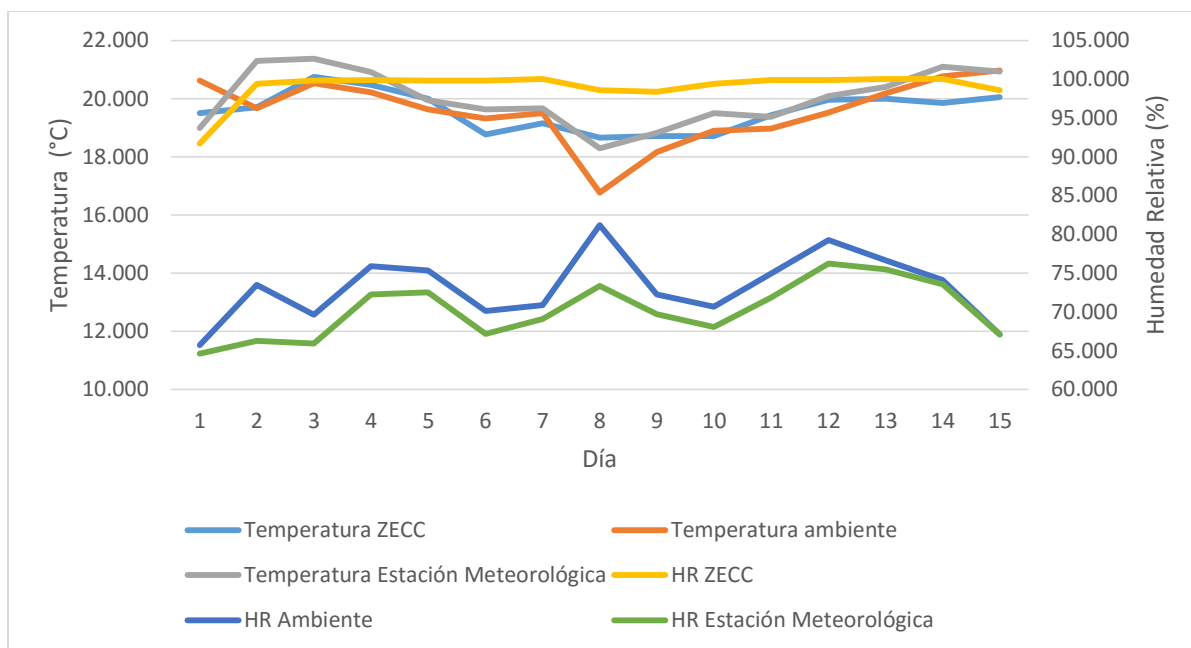


Cuadro No. 20: Humedad relativa presentadas durante los días de evaluación

	<b>ZECC</b>	<b>Ambiente</b>	<b>Estación meteorológica</b>
<b>Máximo (%)</b>	100	81.17	76.19
<b>Mínimo (%)</b>	91.68	65.68	64.60
<b>Promedio (%)</b>	99.00	73.11	70.18

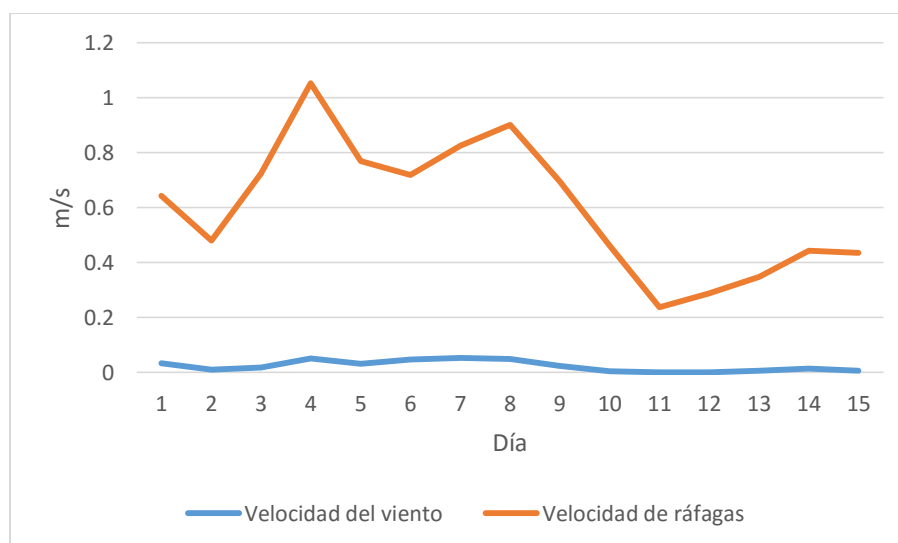
En la Figura No. 69 se muestra la comparación de las condiciones del entorno influyentes en un almacenamiento del tomate: temperatura y humedad relativa en el almacenamiento; así como el tipo de almacenamiento utilizado: ambiente y ZECC durante el transcurso de la experimentación.

Figura No. 69: Gráfica temperatura y humedad relativa del entorno y de las dos formas de almacenamiento ZECC y ambiente



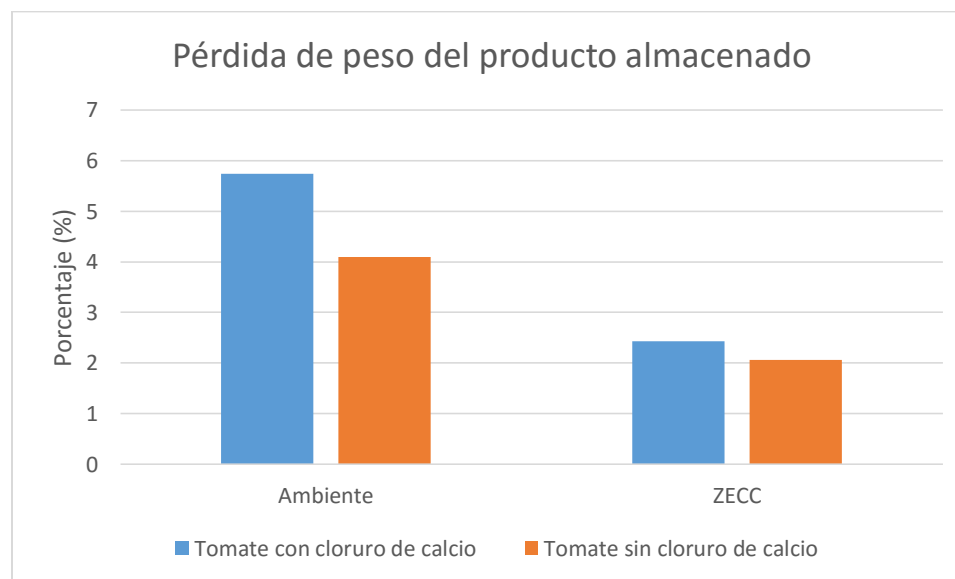
c. Velocidad del viento. La velocidad del viento durante la experimentación no llego a ser superior de 1 m/s en la mayor parte de días con ráfagas inexistente durante la experimentación tal como se muestra en la Figura No. 70.

Figura No. 70: Velocidad del viento y ráfaga durante el almacenamiento



2. Pérdida de peso, calidad y madurez. El almacenamiento del tomate bajo el almacenamiento en condiciones ambientales produjo una pérdida de peso porcentual superior al peso perdido en un almacenamiento realizado en la cámara ZECC. La misma tendencia de pérdida de peso, se mostró en el producto sometido al pretratamiento de cloruro de calcio, sin embargo existió una reducción de la pérdida de peso, tal como se puede observar en la Figura No. 71. Los datos específicos del porcentaje de pérdida se muestra en el Cuadro No.21.

Figura No. 71: Pérdida del peso de tomate almacenado



Cuadro No. 21: Pérdida de peso porcentual

Muestra promedio	Ambiente (%)	ZECC (%)
Tomates con cloruro de calcio	5.745	2.427
Tomates sin cloruro de calcio	4.091	2.064
Promedio*	4.918	2.245

\*Hay diferencia significativa  $p < 0.01$

La calidad visual inicial para ambas corridas que se muestra en la Figura No. 72, se observa que todos los tomates se encuentran en calidad visual 7. Concluyendo la experimentación se puede observar en la Figura No. 73, que en ambiente (control) tanto con cloruro de calcio con un 46.07%

cómo sin cloruro de calcio con 50.57% prevaleció la calidad visual 5. En cuando a ZECC, prevaleció la calidad visual 1 con un 46.57% sin cloruro de calcio y 35.77% con cloruro de calcio.

Figura No. 72: Calidad visual inicial para ambas corridas

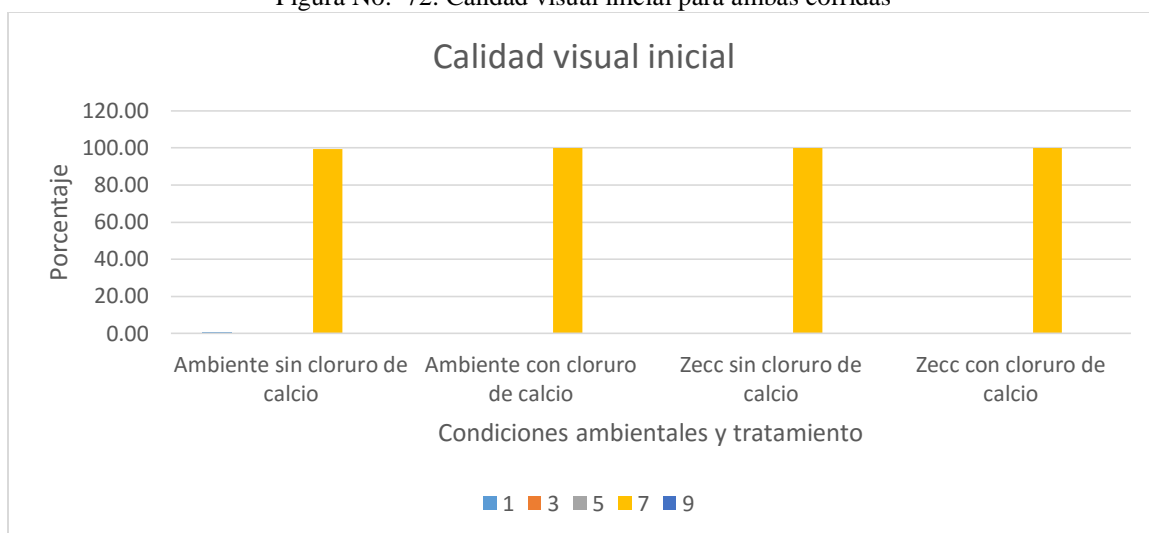
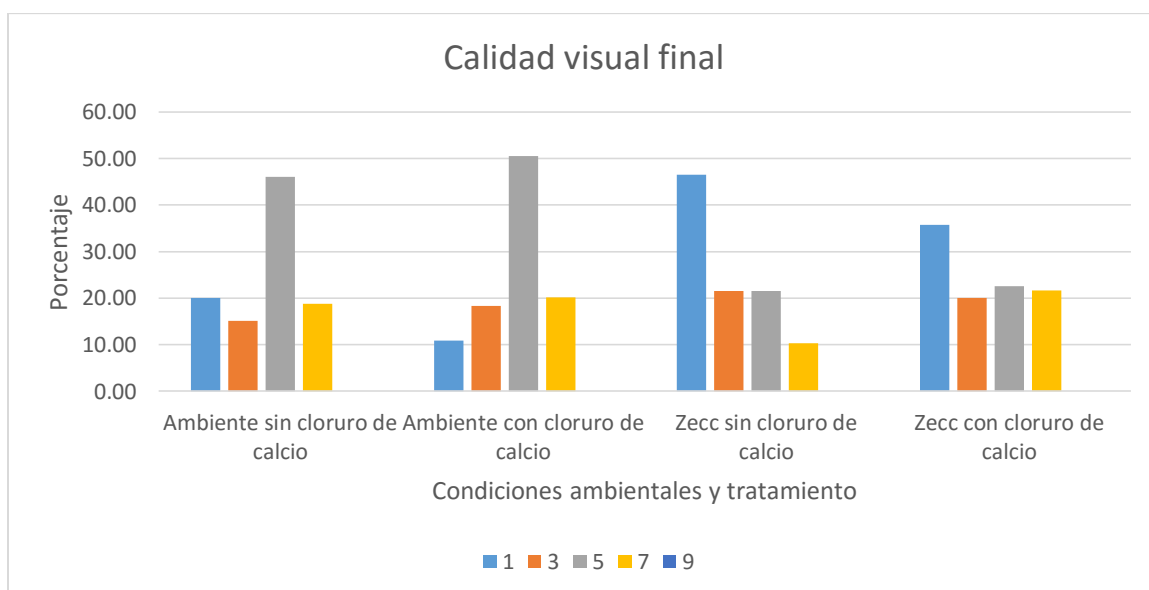
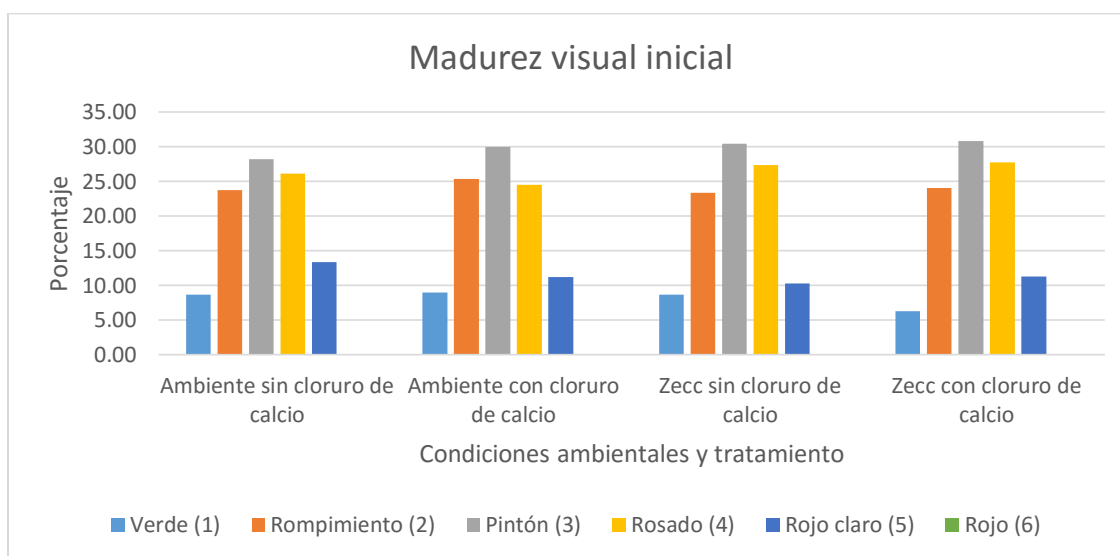


Figura No. 73: Calidad visual final para ambas corridas



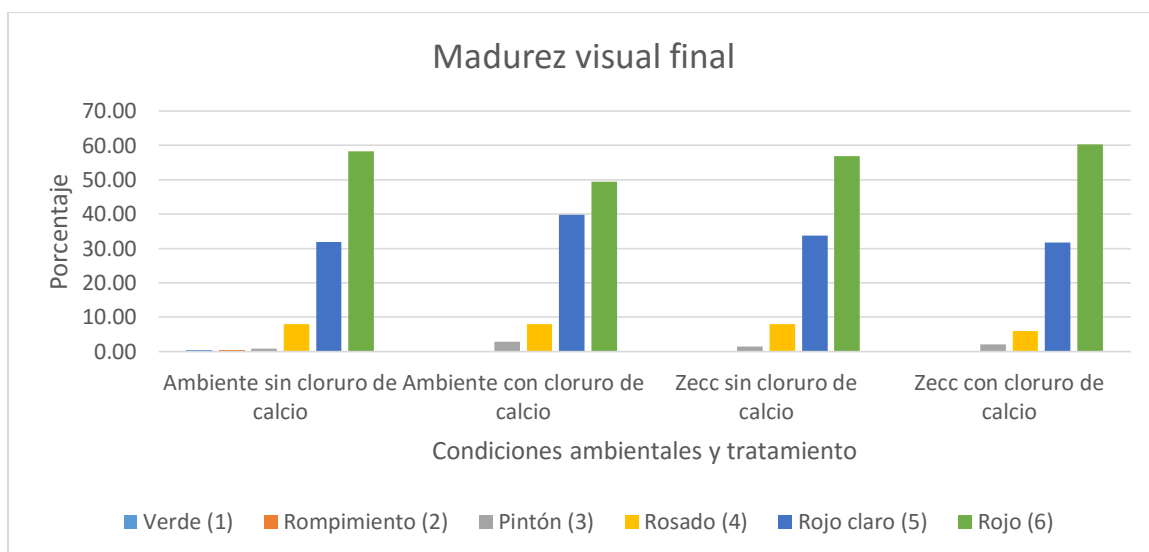
Se determinó que la distribución inicial, como se muestra en la Figura No. 74, de la madurez visual fue equitativa para todas las canastas. Entre el 28.21-30.78% se encontró en pintón en todas las condiciones ambientales y de tratamiento se encontró entre 24.51-27.73% rosado y entre 23.37-25.36% se mostró en rompimiento. El resto se encontró distribuidos en rojo claro y verde, cabe mencionar que ninguno estaba en madurez 6 (rojo).

Figura No. 74: Madurez visual inicial para ambas corridas



Se observa en la Figura No. 75, que Una vez concluida la experimentación la madurez visual presentó un cambio considerablemente entre el 49.41-60.29% fue tomate rojo y entre un 31.65-39.81% se encontraron rojo claro por lo que la madurez visual no depende del entorno. El resto del producto almacenado se encontró en madurez pintón y claro. No se determinó diferencia en la madurez visual entre el producto con tratamiento de cloruro de calcio y el control.

Figura No. 75: Madurez visual final para ambas corridas



Durante el tiempo de almacenamiento el producto almacenado en el ZECC con y sin pretratamiento de cloruro de calcio presentó moho tal como se muestra en la Figura No. 76.

Figura No. 76: Calidad del tomate inicial y final dentro del ZECC



Inicial

Final

3. **Parámetros fisicoquímicos.** En el Cuadro No. 22 se observa que la acidez titulable, los sólidos solubles y la textura transversal sí mostraron diferencia significativa en cuanto al entorno que se encontraban. Solo Ambas texturas (transversal y lateral) mostraron diferencias en cuanto la aplicación de coluro de calcio. Por último, solo la textura lateral mostró una diferencia significativa en relación a la condición ambiental y la aplicación de cloruro de calcio.

Cuadro No. 22: Promedios de parámetros fisicoquímicos de tomate en ambas corridas

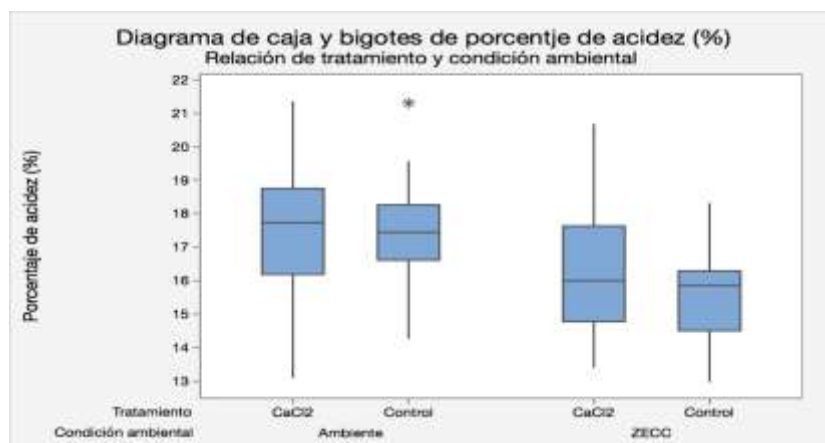
Parámetro fisicoquímico (promedio)	ZECC con cloruro de calcio	Ambiente sin cloruro de calcio	ZECC sin cloruro de calcio	Ambiente con cloruro de calcio
Acidez titulable (%) <sup>a</sup>	16.340±1.860	17.519±1.535	15.706±1.295	17.436±2.151
pH	4.354±0.104	4.360±0.193	4.338±0.142	4.317±0.162
Sólidos solubles <sup>a</sup> (°Brix)	3.896±0.453	4.094±0.262	3.744±0.358	4.154±0.546
Textura Transversal <sup>a b</sup> (g de fuerza)	1244.00±236.52	1228.11±197.20	1174.56±249.37	1418.78±208.32
Textura Lateral <sup>b c</sup> (g de fuerza)	956.44±206.68	824.17±824.17	850.22±85.67	1100.78±224.22

Referente al análisis de Anova para dos parámetros:

<sup>a</sup> Indica que hubo diferencia significativa ( $P<0.05$ ) en ambos entornos (ZECC y ambiente), <sup>b</sup> en la aplicación de coluro de calcio ( $P<0.05$ ) y <sup>c</sup> en la aplicación de coluro de calcio y condición ambiental combinados ( $P<0.05$ )

En la Figura No. 77, se observa el diagrama de caja y bigotes del Porcentaje de Acidez (%) para ambas corridas en la cual se muestra similitud entre el entorno al que se encuentra. Ya que las medianas para ZECC con cloruro de calcio fue de 17.73% y sin cloruro de calcio (control) de 17.45%. En cuanto a la mediana en condiciones ambientales con cloruro de calcio fue de 14.79% y el control fue de 14.51%.

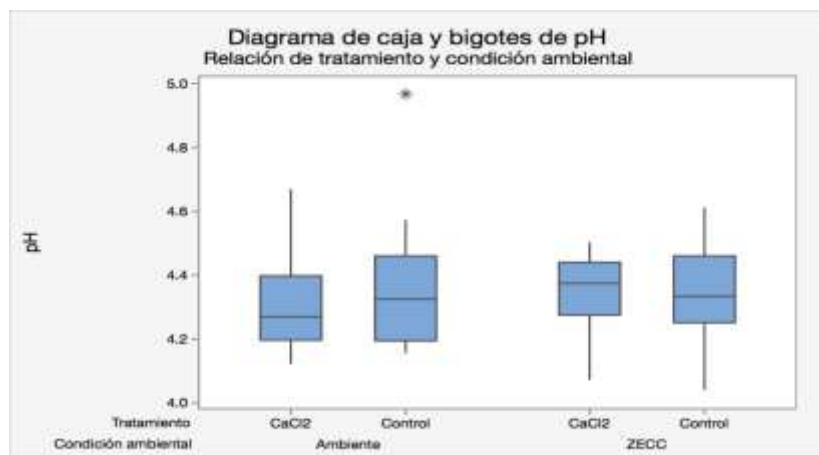
Figura No. 77. Diagrama de caja y bigotes de acidez titulable (%)



\*Indica que se encuentra datos atípicos

El comportamiento de la variación de pH en relación al tratamiento y la condición ambiental se observa en la Figura No. 78, en la que al igual que todos las medianas y los datos están próximos unos de otros. Para la muestra almacenada en ambiente con cloruro de calcio, la mediana fue de 4.270 y sin cloruro de calcio 4.335. En cuanto a ZECC la mediana fue de 4.375 para cloruro de calcio y 4.334 para el control.

Figura No. 78. Diagrama de Caja y Bigotes de pH

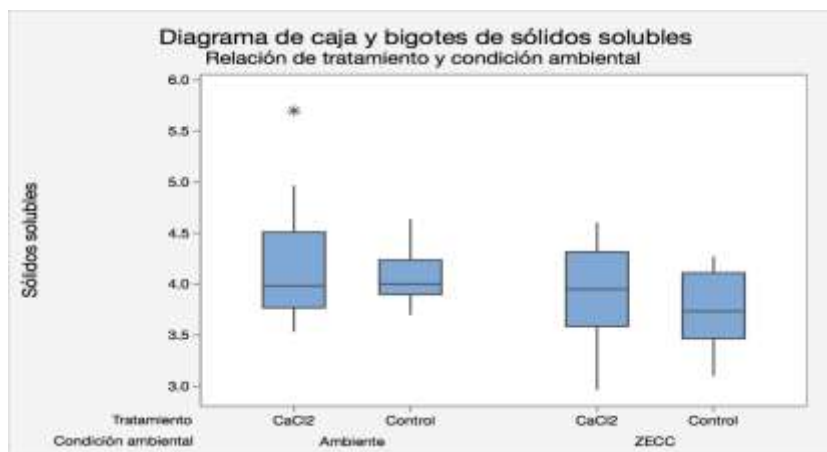


\*Indica que se encuentra datos atípicos.

El contenido de sólidos solubles (°Brix) en ambas corridas se observa en la Figura No. 79, los datos presentan poca dispersión y abarcan rangos similares principalmente ZECC; y las medianas se encuentran

cercanas unas de otras. Para ambiente con cloruro de calcio se obtuvo una mediana de 3.983°Brix y sin cloruro de calcio 4.00°Brix. En relación a ZECC fue de 3.95°Brix para cloruro de calcio y 3.73°Brix para control siendo este el dato más apartado.

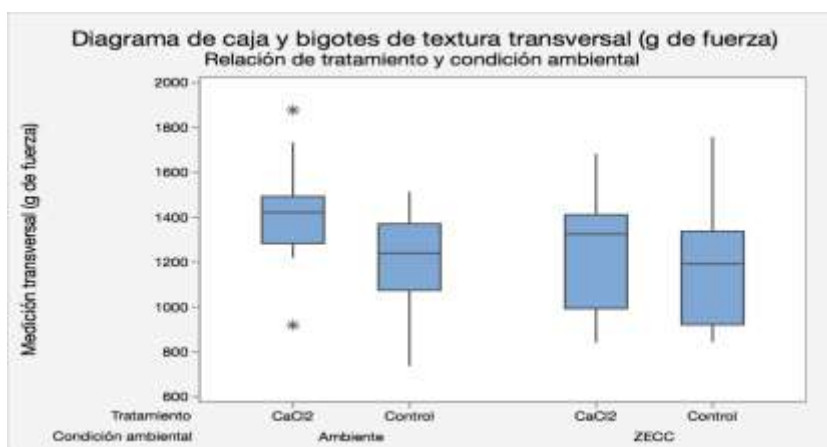
Figura No. 79. Diagrama de caja y bigotes de sólidos solubles (°Brix)



\*Indica que se encuentra datos atípicos.

En la Figura No. 80, se observa la textura transversal expresada en gramos de fuerza, en la cual las medias para cloruro de calcio muestran una similitud entre sí al igual que las muestras control. Para los tomates con cloruro de calcio tuvieron una mediana de 1421.0gf en ambiente y 1324.5gf en ZECC. En cuanto a ambiente sin cloruro de calcio fue de 1240.0gf y para ZECC de 1193.0gf.

Figura No. 80. Diagrama de caja y bigotes de textura transversal (gf)

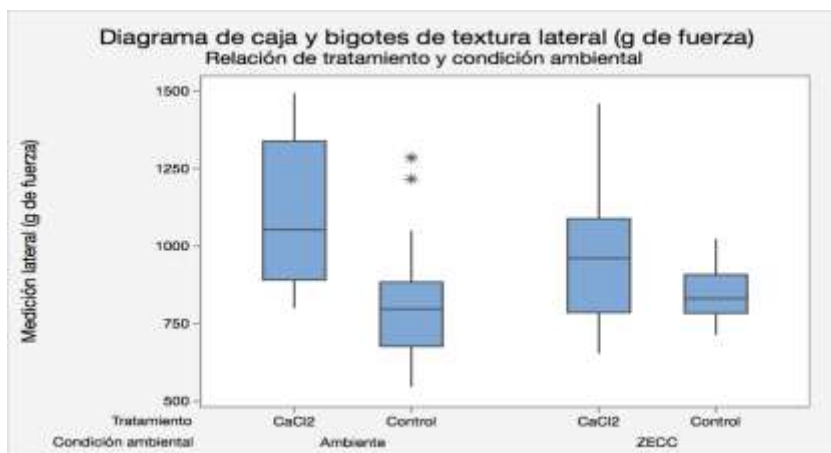


\*Indica que se encuentra datos atípicos.

La textura lateral observada en la Figura No. 81, muestra la diferencia de la distribución entre las muestras con cloruro de calcio y sin cloruro de calcio (control). La similitud se encuentra en las muestras

con cloruro de calcio siendo 1052.5gf la mediana en ambiente y 961.0gf en ZECC. En cuanto a muestras control, se obtuvo una mediana de 798.0gf para ambiente y 832gf en ZECC.

Figura No. 81: Diagrama de caja y bigotes de textura lateral (gf)



\*Indica que se encuentra datos atípicos

4. **Comportamiento microbiológico.** En el análisis de comportamiento microbiológico se evaluaron cuatro tratamientos: almacenamiento dentro de la cámara ZECC sin CaCl<sub>2</sub> (1), almacenamiento dentro de la cámara ZECC con CaCl<sub>2</sub> (2), almacenamiento fuera de la cámara ZECC sin CaCl<sub>2</sub> (3) y almacenamiento fuera de la cámara ZECC con CaCl<sub>2</sub> (4). Luego de evaluar la normalidad y homogeneidad de varianzas del conteo de bacterias y mohos y levaduras, se utilizó el análisis no paramétrico para k muestras independientes, Mann-Whitney, con una significancia de 0.05, según el cual no hubo diferencia de crecimiento bacteriano entre ninguno de los tratamientos evaluados.

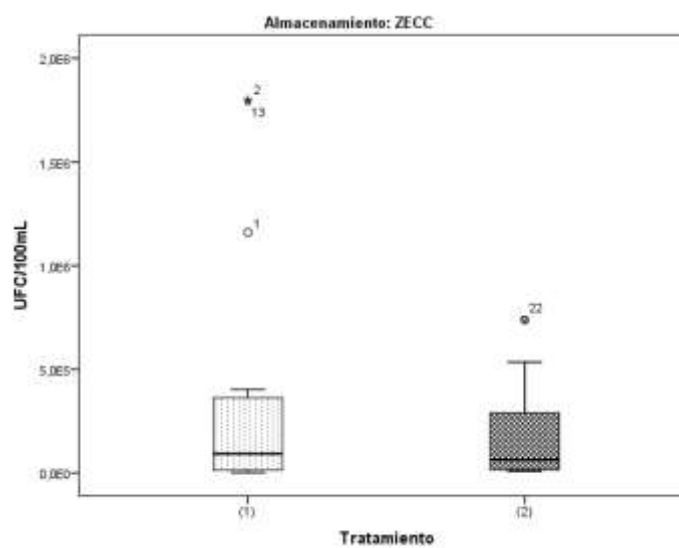
Además, se realizó el conteo de *Escherichia coli* y coliformes en los tomates muestreados en cada tratamiento. Se observó que en el primer muestreo no hubo crecimiento de *E. coli* ni coliformes en ninguna de las combinaciones; sin embargo, en el segundo muestreo de tomates almacenados dentro de la cámara en combinación con CaCl<sub>2</sub> se obtuvo un conteo de 109E+001, 98E+001 y 102E+001 para los tres primeros días de muestreo.

Las medianas (ver Cuadro No. 23) y la representación gráfica de la distribución de datos de crecimiento bacteriano para las combinaciones de tratamientos dentro de la cámara ZECC (ver Figura No. 82), demuestran que los rangos se superponen y confirman que no hay diferencia significativa entre ellos. El mismo resultado se obtuvo según las medianas (ver Cuadro No. 24) y el gráfico de caja-bigotes (ver Figura No. 83) para el crecimiento fúngico.

Cuadro No. 23: Comparación de crecimiento bacteriano en tomates almacenados dentro de la cámara ZECC sin  $\text{CaCl}_2$  (1) y con  $\text{CaCl}_2$  (2).

Tratamientos comparados	Medianas (UFC/100mL)	Estadístico
1	9,225E+004	0,926
2	6,490E+004	

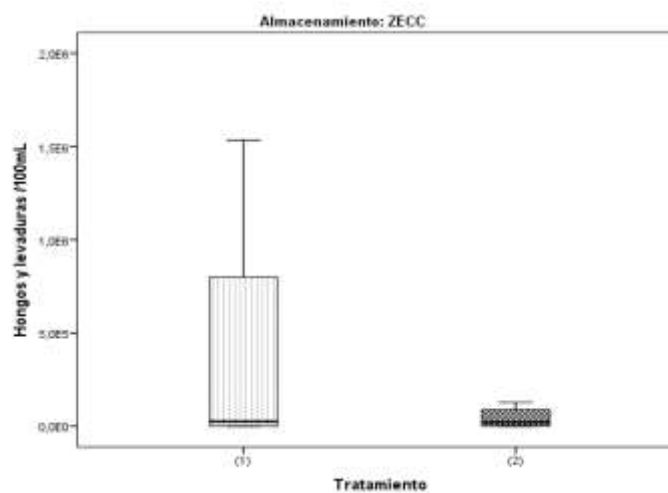
Figura No. 82: Gráfica de caja para crecimiento bacteriano en tomates almacenados dentro de la cámara ZECC sin  $\text{CaCl}_2$  (1) y con  $\text{CaCl}_2$  (2).



Cuadro No. 24: Comparación de crecimiento fúngico en tomates almacenados dentro de la cámara ZECC sin  $\text{CaCl}_2$  (1) y con  $\text{CaCl}_2$  (2).

Tratamientos comparados	Medianas (/100mL)	Estadístico
1	2,533E+004	0,752
2	2,012E+004	

Figura No. 83: Gráfica de caja para crecimiento fúngico en tomates almacenados dentro de la cámara ZECC sin  $\text{CaCl}_2$  (1) y con  $\text{CaCl}_2$  (2).

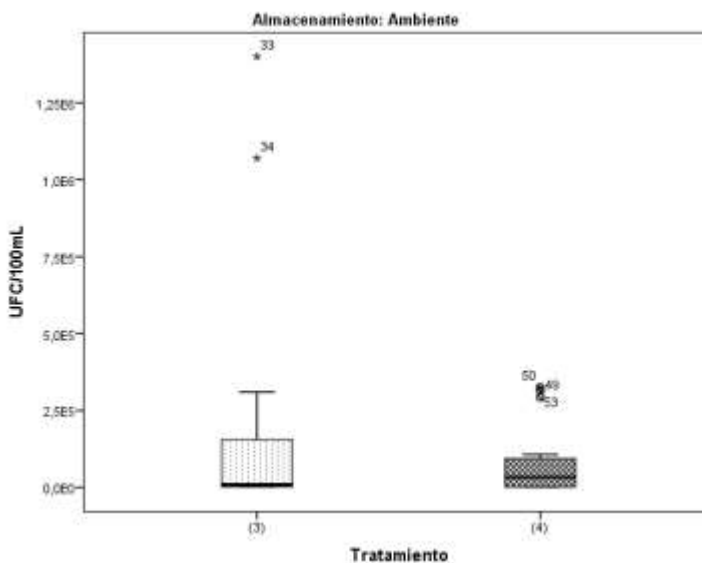


Las medianas para el crecimiento bacteriano en los tomates almacenados a temperatura ambiente y el estadístico para la prueba de Mann-Whitney (ver Cuadro No.25) demuestran que únicamente hay diferencia entre almacenar el tomate con o sin  $\text{CaCl}_2$  fuera de la cámara. Los resultados estadísticos se confirmaron con la gráfica de caja (ver Figura No. 84), donde se observa una distribución similar entre la combinación de tratamientos.

Cuadro No. 25: Comparación de crecimiento bacteriano en tomates almacenados a temperatura ambiente sin  $\text{CaCl}_2$  (3) y con  $\text{CaCl}_2$  (4).

Tratamientos comparados	Medianas (UFC/100mL)	Estadístico
3	9,000E+003	0.956
4	3,340E+004	

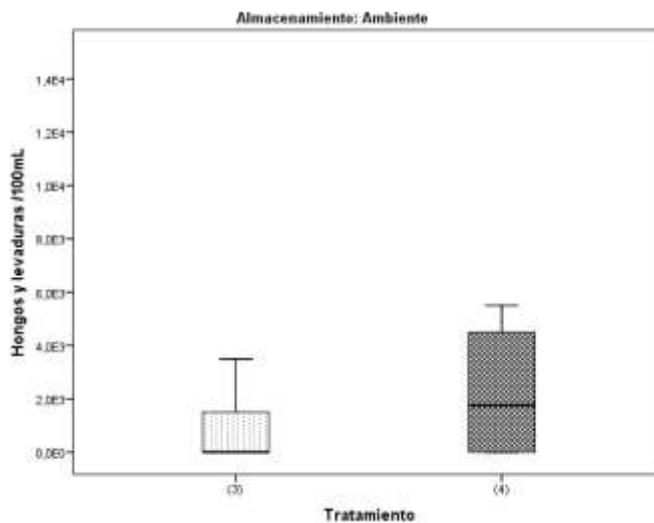
Figura No. 84: Gráfica de caja para crecimiento bacteriano en tomates almacenados a temperatura ambiente sin CaCl<sub>2</sub> (3) y con CaCl<sub>2</sub> (4).



Cuadro No. 26: Comparación de crecimiento fúngico en tomates almacenados a temperatura ambiente sin CaCl<sub>2</sub> (3) y con CaCl<sub>2</sub> (4).

Tratamientos comparados	Medianas (/100mL)	Estadístico
3	0.000E+000	0.160
4	1,750E+003	

Figura No. 85: Gráfica de caja para crecimiento fúngico en tomates almacenados a temperatura ambiente sin CaCl<sub>2</sub> (3) y con CaCl<sub>2</sub> (4).



## VIII. DISCUSIÓN

### A. DESHIDRATADORES

En cuanto a los equipos de deshidratación, ambos diseños (deshidratador de gabinete y modelo UCD) funcionan por medio de radiación solar combinada, esto se refiere, a que el producto se seca por medio de la combinación de radiación solar directa del Sol en la superficie del producto y por una transferencia de calor por convección del aire caliente que proviene de un colector, según lo descrito por según Hui (2006). Esta combinación permite que se dé una tasa de secado más alta en comparación a los secadores solares directos e indirectos. Según Barbosa & Vega, (2000) se tiene una reducción de costos en el proceso de producción y mantenimiento, un producto orgánico libre de contaminantes y se usa una tecnología no contaminante y silenciosa al usar este tipo de deshidratadores.

Al tratarse de deshidratadores solares, las condiciones ambientales son un factor determinante en el proceso, por lo que se evaluó el efecto de éstas sobre el deshidratador. Mediante el análisis de correlaciones entre la temperatura ambiental y temperatura interna de los deshidratadores, al igual que el análisis de correlación entre humedad ambiental y humedad interna, se obtuvo que efectivamente, el funcionamiento de ambos deshidratadores se encuentra sujeto a las condiciones ambientales pues todos los valores de correlación fueron altos. Según Krokida, M., *et al* (2003), entre los principales factores que afectan el proceso de secado se encuentra la temperatura y humedad del aire, por lo tanto es de importancia evaluar dichos factores en el lugar donde se instalarán los equipos.

Un paso importante que ayuda en el estudio del proceso de secado de cierto producto es la realización de curvas de secado y de velocidad de secado, esto se debe a que por medio de estas se puede determinar cuál es el mejor equipo para llevar a cabo dicho proceso. En el caso de las curvas de secado obtenidas para ambos deshidratadores se encontró que tienen una alta correlación con el modelo exponencial, tal como se ha encontrado en otros estudios como los realizados por Montoya, Jorge y Jimenez (2006) y Pineda Casto, *et al.* 2009, en donde se determinó que el modelo exponencial es el más apropiado para modelar el comportamiento del contenido de humedad en función del tiempo, lo que quiere decir que el proceso se lleva a cabo de la manera esperada dentro de los equipos evaluados.

Como puede observarse en las figuras No. 46, 47 y 48 el descenso en la humedad absoluta respecto al tiempo fue menor para el deshidratador de UCD. Al principio del proceso se observó un valor de humedad absoluta similar, sin embargo al pasar el tiempo fue clara la tendencia de una pérdida de humedad mayor en

el deshidratador UCD. Sin embargo, al realizar los análisis estadísticos para conocer si existía una diferencia significativa entre la humedad absoluta de los deshidratadores, se encontró que solamente para el ensayo 2, se dio esta situación con un valor P de 0.0369. En el caso del ensayo 1, el valor P fue de 0.1021 y en el ensayo 3 fue de 0.0548 siendo mayores a 0.05 por lo que se aceptó la hipótesis nula que establecía que no existía diferencia significativa entre las medianas de las humedades absolutas entre ambos deshidratadores.

En las gráficas de temperatura respecto el tiempo, puede observarse que la temperatura en la corrida 1 fue similar durante la mayor parte de la corrida, sin embargo, se encontró una diferencia de casi 10°C entre la temperatura máxima alcanzada en el deshidratador de UCD y el de gabinete siendo mayor la del primero. La temperatura máxima alcanzada para el primer ensayo fue de 53.9°C para el deshidratador UC Davis mientras que para el deshidratador de gabinete fue de 45.5°C. En el ensayo 2, se obtuvo un valor máximo de 65.1°C para el modelo de UC Davis y 45.3°C para el deshidratador de gabinete. Finalmente, para el ensayo 3, la temperatura máxima alcanzada en el modelo de UC Davis fue de 66.0°C y en el de gabinete fue de 50.6°C obteniéndose diferencias de 8.4°C, 19.8°C y 15.4°C para los ensayos 1, 2 y 3 respectivamente. Además en las Figuras No. 40, 41 y 42, se muestra que la temperatura del deshidratador UC Davis fue mayor que el deshidratador de gabinete en los ensayos 2 y 4 a pesar de encontrarse bajo las mismas condiciones climáticas, lo que sugiere que el diseño del deshidratador con el modelo de UC Davis permite una mayor temperatura dentro del deshidratador. Esto puede ser debido a que posee un área de colección de aire amplia, al igual que una chimenea que busca mantener el flujo continuo de aire a través del mismo, lo que ayuda a su vez al flujo de humedad saliente del producto a deshidratar. Esto último se ve reflejado en las Figuras No. 43, 44 y 45, en donde se muestra que en el deshidratador UC Davis se mantuvo a un porcentaje de humedad relativa menor respecto a la que se tenía en el deshidratador de gabinete, lo que favorece al proceso de deshidratación dentro del equipo.

Un aspecto importante a evaluar es el tiempo que tarda en llevarse a cabo el proceso en cada uno de los deshidratadores. En este caso se deseaba llegar a 17% del peso inicial de la muestra, el tiempo requerido para esto fue menor en el deshidratador UC Davis que en el deshidratador de gabinete para los tres ensayos, teniéndose que en el deshidratador UC Davis se necesitó 46 horas mientras que el deshidratador de gabinete 50 horas en el primer ensayo, mientras que para el segundo los valores fueron de 47 y 69 horas, para el deshidratador UCD y gabinete respectivamente, y el tiempo para el tercer ensayo fue de 43.5 y 48.5 en el mismo orden. Berk (2013) establece que a medida que la temperatura del aire aumenta, se incrementa la eliminación de humedad en el alimento. Esto concuerda con la obtención de un menor tiempo de secado para el deshidratador de UC Davis pues su temperatura fue mayor que la del deshidratador de gabinete como se mencionó previamente.

Las curvas de velocidad de secado presentadas en las Figuras No. 49, 50 y 51, ayudan a confirmar lo dicho respecto al tiempo, en estas se muestra que para los tres ensayos la velocidad de secado alcanzada en el equipo de UCD es mayor en comparación a la que se obtiene para el deshidratador de gabinete. Un aspecto importante a mencionar es que las curvas no presentan el comportamiento característico de velocidad de secado, en donde se observa una etapa constante y luego un decaimiento de la velocidad. En el caso de las curvas para la deshidratación de chile jalapeño con ambos equipos muestran altibajos, lo que se debe principalmente a que las mediciones se realizaron durante la noche también y al ser la temperatura, radiación y humedad factores influyentes sobre la velocidad de secado, se tiene como resultado que al disminuir la temperatura y radiación y aumentar la humedad relativa se dé una disminución en la velocidad del proceso y es por esto que presentan una forma irregular.

En cuanto al diseño, es importante a evaluar aspectos como la capacidad de los deshidratadores. Este aspecto va a depender de diversos factores como el tamaño del deshidratador y el número de bandejas disponibles. En el caso del deshidratador de gabinete, este tiene una capacidad aproximada de 6.5 kg de chile, mientras que el deshidratador de UCD tiene una capacidad aproximada de 13 kg de chile siendo el doble que el otro deshidratador. Este es un factor importante a tomar en cuenta ya que permite al productor obtener una mayor cantidad de producto deshidratado en un menor tiempo (como se indicó anteriormente) aumentando así sus ingresos y disminuyendo en mayor proporción las pérdidas poscosecha.

Además del funcionamiento y capacidad del equipo, se debe recalcar que la calidad del producto final es de suma importancia para lograr su comercialización. El proceso de deshidratación causa ciertos tipos de cambios inevitables, entre los cambios más comunes está el pardeamiento no enzimático, desnaturalización de proteínas y la destrucción térmica de sustancias termolábiles como vitaminas y pigmentos según Berk (2013). También se generan cambios en la apariencia externa del producto, cambios de color y el encogimiento que es un proceso inevitable. También se dan propiedades organolépticas de los productos por la pérdida de agua. En el caso del deshidratador UC Davis, el proceso de secado fue más rápido, sin embargo, las características finales de calidad fueron menores, en algunos casos, como lo fue en el caso del ensayo 1 y 2. Se observó que el chile jalapeño seco, tenía una calidad de 3 (pobre) en algunas de las muestras, no se tuvo una calidad uniforme para las tres muestras dentro del deshidratador, además en algunos casos se tuvo producto quemado, lo que se pudo deber a que se alcanzan temperaturas mayores incidiendo así en el producto teniendo una calidad menor, además de que el producto se encuentra muy cercano a la capa de plástico sobre la que se colocan las bandejas. Este es un plástico negro el cual absorbe la radiación y por encontrarse muy caliente puede influir en que el producto se queme. Por lo que se recomienda una evaluación del tiempo de secado requerido para procesar el producto sin que afecte la calidad del mismo. Para el último ensayo se observó una mejor calidad y similar a la calidad de los chiles jalapeños procesados en el deshidratador de gabinete, correspondiendo a una calidad de 7 (buena) para las

tres muestras dentro de los deshidratadores. Este es un factor determinante ya que el cliente va a buscar un producto de mayor calidad y que cuente con características organolépticas deseables.

Los resultados obtenidos sugieren que el diseño del deshidratador de UC Davis permite que se alcance una mayor temperatura dentro del mismo y el producto se deshidrate más rápido. Como se ha mencionado, el deshidratador UC Davis cuenta en su diseño con un área extensa en la que se colecta el aire para ser calentado, el área donde se coloca el producto también es amplia en comparación al deshidratador de gabinete donde el tamaño de las bandejas es menor. Vega (1996) indicó que el área en la cual se coloca el alimento al secar es directamente proporcional a la velocidad de secado pues la transferencia de calor y masa se da de forma más eficiente. Ambos deshidratadores tienen un modelo de deshidratador mixto, sin embargo, el modelo de UC Davis recibía la radiación solar de forma más directa debido a su diseño mientras que el deshidratador de gabinete recibía los rayos del sol principalmente sobre la bandeja superior. Además contaba con plástico negro en el área de colección de aire y colocación del producto, lo que ayuda a la captación de energía para calentar el aire y la deshidratación del producto, siendo estas algunas razones por las cuales el deshidratador de UC Davis mantenía una temperatura más alta que el deshidratador de gabinete.

Finalmente se considera que se pudo cumplir con los objetivos planteados al inicio de la experimentación tanto para las evaluaciones realizadas en el ZECC y en los deshidratadores solares. Cabe mencionar que a pesar de que los resultados obtenidos, se pudo encontrar una alternativa entre estas dos que podría ayudar a la disminución de pérdidas post-cosecha mediante su conservación por deshidratación. En cuanto al ZECC podría ser evaluado en otras zonas del país en las que se vea favorecido su funcionamiento.

## B. ZECC

El funcionamiento de la cámara de enfriamiento se encuentra sujeto de las condiciones ambientales y del entorno especialmente de las condiciones de temperatura y humedad relativa. Se esperaba que el ZECC produjera una reducción en la temperatura y un incremento en la humedad relativa tal como reporta Vigyan *et al.* (2014) en su estudio en la India; sin embargo no se presentó dicho comportamiento para la temperatura. Los resultados mostraron que en promedio la temperatura en ambas formas de almacenamiento (ZECC y ambiente) fue similar a la temperatura medio ambiental promedio de la Ciudad de Guatemala durante el período evaluado. Se registró la temperatura media en las dos condiciones de almacenamiento, mientras que se registró una temperatura mínima inferior en almacenamiento bajo condiciones ambientales. La escasa reducción de temperatura que se presentó en la cámara de enfriamiento respecto al almacenamiento en condición ambiente, se pudo deber a las bajas corrientes y la velocidad del

viento que fue insignificante y bajas ráfagas de viento que no fueron superiores a 1 m/s. Este factor limitó el proceso de evaporación que no favoreció la reducción de temperatura.

En cuanto a la humedad relativa dentro de la cámara de enfriamiento ZECC alcanzó 90-100%, lo cual superó los datos registrados en la estación meteorológica. En el almacenamiento en condiciones del medio ambiente, la humedad relativa fue similar a la humedad relativa exterior (estación meteorológica). Según información presentada por Suslow y Cantewell (2013) la temperatura para una maduración lenta debe ser de 14-16°C con una humedad relativa de 90-95%; en la cámara de enfriamiento ZECC se superaron dichas condiciones, por un lado la humedad relativa se mantuvo con una media de 99% con una temperatura promedio fue de 19.58°C. Esto en vez de favorecer y retardar el proceso de maduración del producto, aceleró el proceso y favoreció el crecimiento de hongos y bacterias que generaron un deterioro inaceptable del producto.

Un aspecto favorable presentando con el uso de la cámara de enfriamiento fue una reducción en la pérdida de peso respecto al almacenamiento en condiciones ambientales el cual tuvo una pérdida porcentual mayor al del ZECC, tanto con o sin pretratamiento de cloruro de calcio. Sin embargo este punto resulta irrelevante dado a que el tomate a pesar de no perder peso, igualmente no puede ser comercializado dado a su inaceptable calidad visual generado por la presencia de hongos y bacterias. En términos específicos al finalizar el período de almacenamiento el cloruro de calcio tuvo una mayor pérdida de peso, 5.745% en el ambiente exterior de la cámara y 2.427% en ZECC y sin cloruro de calcio fue de 4.091% y 2.064% respectivamente, sin embargo no hubo diferencia significativa en estos valores comparando el exterior contra ZECC con y sin tratamiento por lo que no es un factor discriminante. Sin embargo, se determinó que hubo una mayor pérdida significativa en condiciones ambientales llegando a un promedio de 4.918% a diferencia del ZECC que fue de 2.245% debido a que el aire seco acelera la deshidratación y pérdida de peso del producto.

En cuanto a la maduración visual se observó resultados similares en ambas formas de almacenamiento. Al finalizar el período de almacenamiento la mayoría del producto se encontraba maduro con una coloración rojo a rojo claro, siendo esta tendencia más evidente en el ZECC, en donde hubo una mayor proporción de tomate rojo sobre maduro y no apto para ser comercializado. Con base en dichos resultados es importante resaltar la importancia de la calidad y madurez del producto inicial que ingresa a la cámara de enfriamiento, ya que en ambas corridas el producto empleado se encontraba en un estado de madurez pinto y con presencia de síntomas leves de daño tal como cicatrices, que pudieron repercutir en las malas condiciones finales que presentó el producto al finalizar el almacenamiento.

Otro aspecto evaluado durante la experimentación fue la incidencia de las condiciones de almacenamiento en las características fisicoquímicas del tomate almacenado. Los resultados mostraron una diferencia significativa en parámetros de sólidos solubles, acidez titulable y firmeza lateral en el tomate, los

cuales denotan un menor grado de madurez al finalizar, en el producto almacenado en condición ambiente frente al almacenado en el ZECC; lo cual muestra bajo estos parámetros un almacenamiento favorable en condición ambiente.

Para los parámetros fisicoquímicos, se determinó que sí hubo una diferencia significativa en relación a ambos entornos (ZECC y ambiente exterior) para acidez titulable (%), sólidos solubles (°Brix) y textura transversal. Obteniendo valores mayores fuerza del ZECC en comparación con los datos obtenidos dentro del mismo. En cuando al pH, no hubo diferencia significativa debido a que este parámetro sólo muestra los H<sup>+</sup> libres. En el caso de la acidez titulable que sí mostró una diferencia significativa debido a que este parámetro incluye todos los componentes que por medio de la titulación liberan grupos H<sup>+</sup> al medio (Negri, 2005).

En el presente estudio los parámetros fisicoquímicos de acidez titulable, sólidos solubles y pH no pueden ser considerados factores determinantes para indicar la madurez del fruto, por las condiciones de la experimentación. Debido a que en los criterios de selección utilizados, no existió uniformidad en el grado de madurez al inicio de la experimentación de cada una de las canastas, lo cual tuvo incidencia en los resultados además de la aleatoriedad de la muestra. Por lo que se puede establecer que el ZECC no favoreció el incremento de la vida de anaquel del producto.

En cuanto al tratamiento con cloruro de calcio, sólo hubo diferencia significativa en la textura transversal y textura lateral pero no en Acidez titulable (%), sólidos solubles (°Brix) y pH. Siendo mayor siempre para tratamientos con cloruro indicando que el cloruro de calcio al 3% sí aumenta la firmeza en el tomate. Además cabe mencionar que fue mayor la firmeza en las muestras almacenadas a condiciones ambientales con cloruro con 1418.78gf para textura transversal y 1100.78gf para textura lateral, que en ZECC con cloruro con 1244gf para y 956.44gf respectivamente, debido a que la alta humedad relativa deterioró las paredes celulares de los frutos.

Relacionando ambos parámetros de entorno y tratamiento, sólo la textura lateral mostró una diferencia significativa. La firmeza de la muestra en ambiente exterior con cloruro de calcio se encontró superior, tanto en ambiente sin cloruro de calcio como el ZECC con y sin cloruro de calcio. En base a esto, se puede inferir que el cloruro de calcio sí tuvo un impacto significativo favorable en mantener la firmeza en los tomates durante los días de almacenamiento, sin embargo en ZECC no se observó su efectividad.

Los diagramas de caja indican la mediana que es una medida de tendencia central, el rango de dispersión de los datos y el primer (25%) y tercer (75%) cuartil que son medidas de posición de la forma en la cual se encuentran distribuidos los datos (Miller, Heerem y Hornsby, 2006). Se utilizaron dichos diagramas para relacionar parámetros fisicoquímicos de acidez titulable, Sólidos solubles, pH y texturas con las diferencias significativas determinadas en los promedio de dichos parámetros. En cuanto a la acidez titulable (%) las medianas de las muestras en condiciones ambientales son similares entre ambos

tratamientos, al igual que las medianas en ZECC respaldando la diferencia significativa que se determinó en relación al entorno.

En cuanto al diagrama de caja de pH, las medianas de las dos variables (entorno y tratamiento) se encuentran muy cercanas entre sí, al igual que la distribución de los datos lo cual ampara que no hay diferencia significativa en este factor. En el caso de los sólidos solubles, las medianas de ambiente con y sin cloruro de calcio y ZECC con cloruro de calcio son muy similares; sin embargo la muestra control en ZECC fue la menor con 3.73°Brix, respaldando que sí hubo diferencia en cuando al entorno debido a que este último dato sí es considerable menor al resto. Para estos dos factores, se observa el mismo comportamiento en relación a los promedios de los datos obtenidos respaldando las diferencias significativas determinadas anteriormente.

Con respecto al parámetro de texturas para los diagramas de caja, tanto en la transversal como en la lateral se observa el mismo comportamiento. En el cual las medianas de las muestras con cloruro de calcio tanto para el ambiente exterior como para ZECC fueron mayores que las muestras sin cloruro. Siendo mayor afuera del ZECC en ambos casos, demostrando así que el cloruro de calcio sí tiene incidencia positiva en la firmeza del tomate. Esto se puede respaldar en la diferencia significativa obtenida por el tratamiento.

De acuerdo al estudio realizado por Rayaguru, Khan y Sahoo (2010) en Orissa, India durante el año 2007, la vida de anaquel del tomate estaba entre 8 y 18 días cuando éste era almacenado dentro de la cámara ZECC y entre 3 y 7 días cuando estaba a temperatura ambiente. Comparado con esta literatura, durante este estudio la vida de anaquel de los tomates almacenados dentro de la cámara fue menor a los almacenados a temperatura ambiente, principalmente como consecuencia del crecimiento fúngico que deterioró los tomates almacenados dentro. Además, en el mismo estudio reportaron una disminución de la temperatura de entre 5° y 8°C y un aumento hasta el 90% de humedad relativa (HR) dentro de la cámara, lo que contrasta con los resultados obtenidos para este estudio, donde la temperatura promedio no tuvo cambios y la HR tuvo un aumento promedio a 99% dentro de la cámara.

Para maximizar la vida de anaquel de los frutos, estudios previos utilizaron entre 45 y 90 litros de agua al día para mantener la cámara húmeda, concluyendo que el uso de agua juega un papel importante en la disminución de la temperatura y el aumento de la HR (Rayaguru *et al.*, 2010; Islam *et al.*, 2012; Islam *et al.*, 2013). Sin embargo, el aumento de la HR hasta el 99% dentro de la cámara en este estudio como consecuencia de la falta de control del volumen de agua utilizado, favoreció el crecimiento de mohos dentro de la cámara ZECC y su propagación entre los tomates almacenados dentro de ella. Este comportamiento concuerda con las recomendaciones realizadas por los mismos estudios, donde se indica que una HR muy alta puede causar la aparición de mohos en la cámara al interferir con el paso del aire a través de las paredes de la cámara y evitar que la temperatura disminuya.

De acuerdo a los resultados obtenidos, no hay diferencia significativa entre el crecimiento de microorganismos dentro y fuera de la cámara ZECC. Sin embargo, sí se observó que las medianas de unidades formadoras de colonias (UFC) y de mohos y levaduras en los tomates almacenados dentro, fueron mayores a las de los tomates almacenados a temperatura ambiente. Además, la metodología utilizada durante el almacenamiento de los tomates incluyó el desprendimiento del pedicelo de los tomates, lo que contradice a las recomendaciones realizadas por los estudios previos e incrementó la exposición al ingreso de microorganismos, tomando en cuenta que no se realizó un lavado previo con hipoclorito de sodio o con agua a 60°C como se ha recomendado previamente (Sigh *et al.*, 2010; Islam *et al.*, 2012).

Aunque se esperaba que el conteo total de bacterias fuera mayor y sobrepasara el fúngico, las medianas se encontraban en el mismo orden de magnitud. Esto puede ser consecuencia del pH ácido de los tomates, el cual era en promedio de 4.35, favoreciendo el crecimiento de hongos y no de bacterias. Además, la presencia de hongos se incrementó por la competitividad de los mismos sobre las bacterias, al poseer enzimas que al secretarse degradan el tejido del tomate y le permiten tener una mejor nutrición en comparación con las bacterias.

En cuanto a la presencia de coliformes en los tomates almacenados en las diferentes combinaciones de tratamientos, se observó que había presencia solo en uno de los muestreos realizados. Debido a que la presencia de coliformes se considera un parámetro de calidad del agua (Ofor *et al.*, 2009), se considera que esto es consecuencia de la falta de estandarización en el manejo post-cosecha del tomate utilizado ya que, probablemente los coliformes provenían del agua utilizada para el riego y lavado de los tomates. Esto coincide con investigaciones como la de Shenge *et al.* (2015), en la que observaron que la principal fuente de contaminación en tomates de granjas y mercados de Nigeria era el agua utilizada durante el riego.

Además de comparar el crecimiento microbiano al almacenar tomate dentro la cámara ZECC y a temperatura ambiente, se analizó el parámetro en cuanto al uso de un tratamiento adicional de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ). Aunque el uso de  $\text{CaCl}_2$  incrementó la firmeza del tomate como lo habían propuesto el estudio de Singh y colegas (2010), su uso no causó una diferencia significativa en el crecimiento microbiano en comparación con el almacenamiento sin este tratamiento. Ya que el calcio regula procesos metabólicos como la respiración en el tomate y preserva la integridad de la membrana celular, se esperaba que contribuyera a la disminución de la entrada y posterior crecimiento de microorganismos en la fruta. La contradicción con los resultados del estudio previo puede deberse a la diferencia en la concentración de  $\text{CaCl}_2$  utilizada en este estudio, ya que se utilizó el doble de la recomendada por Singh y colegas luego de realizar una prueba previa para determinar la firmeza del tomate. Con base en estos resultados, se podría disminuir la concentración del tratamiento para determinar si el crecimiento de microorganismos disminuye incluso si el aumento en la firmeza es menor.

Según investigaciones realizadas previamente en regiones de África e India, el uso del ZECC para el almacenamiento de productos agrícolas aumenta la vida de anaquel de los mismos, específicamente hasta a 18 días si se almacena tomate. Sin embargo, los resultados obtenidos en este estudio contradicen algunos de

los obtenidos por otros autores, lo que podría ser debido al uso de otras metodologías que incluían el retiro del pedicelo, la ausencia de un lavado con una solución de cloro y el almacenamiento de una variedad específica de tomate. Además, el clima de estas regiones tiende a ser más constante que en Guatemala, principalmente por la variedad de microclimas que se encuentran en el territorio guatemalteco. Por esta razón, en un futuro se podrían realizar más estudios en los que se cambien estas condiciones, al mismo tiempo que se superan limitaciones de este estudio como el bajo número de muestreos, la cantidad de tomates almacenados según cada combinación, el muestreo solo en un microclima del país y en solo una época del año.

De acuerdo a los resultados obtenidos bajo las condiciones meteorológicas analizadas en la Ciudad de Guatemala no se considera que el almacenamiento de tomate en la cámara de enfriamiento ZECC sea una alternativa de almacenamiento favorable para evitar pérdida post-cosecha del tomate, especialmente si el tiempo de almacenamiento es prolongado; aun cuando el tomate sea sometido a un pretratamiento de cloruro de calcio. En base al presente estudio se encontraron mejores resultados y menores pérdidas de tomate bajo un almacenamiento tradicional en condiciones ambientales, incremento en la textura durante el tiempo de almacenamiento empleado un pretratamiento y medianas de los conteos de microorganismos menores, aunque la diferencia no fue significativa en este último factor.

En base a los resultados anteriormente descritos, el uso de agua empleado para mantener sistema de enfriamiento en funcionamiento es considerado un gasto innecesario tanto a nivel económico como entorno al medio ambiente, ya que no se contaba con un sistema de circulación o aprovechamiento de la misma ya que ocasiones la cámara rebalsaba y gran parte era desperdiciada; lo cual debe de ser considerado en tener un mejor aprovechamiento para futuras evaluaciones. Incluso si los resultados obtenidos no favorecen el uso de la cámara ZECC como un tratamiento post-cosecha que incremente la vida de anaquel del tomate, se considera que el estudio es significativo ya que demuestra las diferencias en el funcionamiento de este tipo de tecnologías según factores como la temperatura y humedad relativa del lugar de uso. Por esta razón, este tipo de evaluación se considera beneficiosa para cualquier tecnología ya que evita la inversión en equipos que, aún con buenos resultados previos en otros países, no son la mejor opción para utilizar en Guatemala.

## IX. CONCLUSIONES

1. El proceso de secado del chile jalapeño fue llevado de manera efectiva en ambos deshidratadores pudiendo llegar al 17% del peso inicial como se tenía estipulado, de una manera continua.
2. Estadísticamente no hubo diferencia significativa en el proceso de secado entre el deshidratador UC Davis y el deshidratador de gabinete en dos de los ensayos, sin embargo en las curvas de secado, de velocidad de secado y el tiempo de secado además de las características visuales, se observó que sí hubo una diferencia en el proceso.
3. Un aspecto importante en los productos procesados es la calidad final de los mismos, en el caso de los deshidratadores es pertinente mencionar que existen diferencias en la calidad obtenida en los chiles jalapeños secos, lo que refleja que el diseño del equipo influyó en la misma.
4. El deshidratador UC Davis sí presentó ventajas frente al deshidratador de gabinete, el nuevo diseño permite que los productos se sequen de manera más rápida además de tener aproximadamente el doble de la capacidad del deshidratador de gabinete, lo que influye en el tiempo total de procesamiento, esto es beneficioso ya que se podría someter a este proceso de conservación una mayor cantidad de producto, siempre controlando que la calidad final sea la adecuada.
5. En la textura, se determinó estadísticamente que sí hubo una mayor firmeza en los tomates que contenían cloruro de calcio siendo mayor siempre en las muestras almacenadas en condiciones ambientales que ZECC.
6. En la experimentación, se determinó que no existió un aumento en la vida útil del tomate en ZECC con y sin cloruro de calcio, ya que los resultados de los parámetros fisicoquímicos determinados (pH, sólidos solubles, acidez titulable) no son discriminantes para determinar si la madurez cambia dependiendo del entorno ambiental.
7. El método de almacenamiento (ambiente exterior o ZECC) o el tratamiento (con o sin cloruro de calcio) no tuvo efecto en la madurez visual del tomate, pero en la calidad visual se observó que fue mejor en ambiente que en ZECC.

8. A diferencia de resultados de estudios previos realizados en India y África, no hubo diferencia estadísticamente significativa en el crecimiento de microorganismos al almacenar el tomate dentro de la cámara ZECC en presencia o ausencia del tratamiento de cloruro de calcio.
9. En contraste con estudios previos, se determinó que no hay diferencia significativa en el crecimiento de microorganismos al almacenar el tomate dentro de la cámara ZECC o a temperatura ambiente.
10. La implementación de la cámara ZECC como alternativa para disminuir la actividad microbiana o aumentar la vida de anaquel del tomate no presenta ventajas para su uso en las condiciones de temperatura y humedad relativa evaluadas en el Campus Central de la Universidad del Valle de Guatemala.

## X. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar ajustes en la separación entre de las bandejas y el colector de radiación (plástico negro) del deshidratador UCD para evitar que el producto se queme.
2. Se debe analizar el tipo de producto a introducir en los deshidratadores, para conocer si en base a su composición y características, resulta más útil usar el deshidratador UCD o el deshidratador de gabinete.
3. Se recomienda realizar pruebas con otros productos y observar si se mantiene el comportamiento de los deshidratadores obteniendo un tiempo de secado menor en el deshidratador UCD.
4. Se debe evaluar el lugar en el que se colocan los deshidratadores pues el funcionamiento de ambos depende de las condiciones ambientales.
5. Si se desea aumentar la capacidad de los deshidratadores, debe evaluarse el número de bandejas con las cuales el deshidratador sigue secando adecuadamente el producto.
6. Evaluar el funcionamiento de la cámara ZECC utilizando una muestra mayor para que los resultados de los análisis puedan ser más significativos y se puedan extrapolar a otras regiones del país con condiciones ambientales similares.
7. Continuar experimentando ZECC con tomate pero en otras condiciones ambientales en el cual la humedad relativa en el ambiente sea menor, ya que no se vio favorecido en el Campus Central de la Universidad del Valle de Guatemala debido a la poca ventilación y alta humedad, por lo que se debe tener un buen control de humedad.
8. Evitar colocar una manta o plástico encima del ZECC cómo lo establece la metodología de la Universidad de Davis de California ya que esto provoca que exista una condensación del vapor de agua (la cual gotea sobre el producto almacenado) promoviendo el desarrollo de los microorganismos.
9. Construir el ZECC en un lugar de sombra evitando el contacto directo con el sol y colocar una malla en la superficie para evitar el ingreso de plagas.

10. Probar la experimentación de ZECC con otros productos más resistentes y menos perecederos ya que el tomate tiene una pared celular muy delgado y se daña fácilmente.
11. Asegurase que la construcción del ZECC se realice en un terreno firme para evitar que exista acumulación de agua en el fondo y que sea fuente de contaminación.
12. Realizar mantenimiento y limpieza profunda al equipo antes de utilizar con el fin de eliminar los microorganismos que pueden afectar al producto.
13. No remover el pedicelo de los tomates al almacenarse dentro de la cámara ZECC ya que esto como una entrada para microorganismos que disminuyen su vida de anaquel.
14. Se recomienda el uso de materiales aislantes dentro de los materiales de construcción del ZECC para favorecer las condiciones de temperatura y humedad relativa durante el período de almacenamiento.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguado, José, *et al.* 2002. *Ingeniería de la Industria Alimentaria: Operaciones de conservación de alimentos*. España: Editorial Síntesis S.A. 256 págs.
2. Ayala, Helmer. Fecha desconocida. *Le ik, los chiles en Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. 117 págs.
3. Ayala, N. 2010. *Manejo Poscosecha del tomate*. <http://www.mag.gov.py/Comercializacion/Tripticos2010/Poscosecha%20de%20tomate.pdf> [12 de octubre 2014]
4. Barbosa, Gustavo; H. Vega. 2000. *Deshidratación de Alimentos*. Zaragoza: Editorial Acribia. 314 págs.
5. Basediya, A. 2011. Evaporative cooling system for storage of fruits and vegetables—a review. *J Food Sci Technol*, 50(3), 429-442.
6. Berk, Zeki. 2013. *Food Process Engineering and Technology*. 2ª edición. Estados Unidos: Elsevier. 720 pp.
7. Blancard, D. 2011. *Enfermedades del tomate. Identificar, conocer y controlar*. Ediciones mundiprensa. España, Madrid. Pp. 665
8. Castellano, G. Quijada, O. Ramírez, R y Sagayo, E. (2004). Comportamiento Poscosecha de frutas de guayaba (*psidium guajava* L.) tratados con cloruro de calcio y agua caliente a dos temperaturas de almacenamiento. *Revista Iberoamericana de Tencnología Postcosecha*. 6(2): 78-82
9. Chileplanet.eu. 2010. *Anatomía de pimienta, de el tronco y su flor*. <http://www.chileplanet.eu/Chili-anatomy-es.html> [17 de febrero de 2015]
10. Contreras-Angulo, L. *et al.* 2011. Efecto del genotipo y sales de calcio en la calidad de tomates frescos cortados. Chapingo. *Serie horticultura* 17(1): 29-35.

11. Cortez, Margarida Maria. y P. Ho. 2008. *Experimentis in Unit Operations and Processings of Foods*. USA: Springer Science & Business Media. 190págs.
12. Dong, Xiao y A. Mujumdar. 2009. *Drying Technologies in Food Processing*. Singapore: John Wiley & Sons. 352 págs.
13. Durán, F. 2006. Manual del Ingeniero de Alimentos. Grupo Latino. Colombia.
14. Hui, Yiu. 2006 *Handbook of Food Science, Technology and Engineering*. Estados Unidos: CRC Press. 712 págs.
15. Escalona, V.; Alvarado, P.; Monardes, H.; Urbina, C.; y Martin, A. 2009. Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Facultad de CS. Agronómicas, Universidad de Chile. Obtenido de: [http://www.cepoc.uchile.cl/pdf/Manua\\_Cultivo\\_tomate.pdf](http://www.cepoc.uchile.cl/pdf/Manua_Cultivo_tomate.pdf) [Con acceso el: 28/09/2014]. 60pp
16. FAO. Desciende el hambre en el mundo, pero 805 millones de personas sufren todavía su alimentación crónica. Obtenido de: <http://www.fao.org/news/story/es/item/243842/icode/> [Con acceso el: 27/10/2015].
17. FAO. 2013. El cultivo de Tomate con buenas prácticas agrícolas en la agricultura urbana y periurbana. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Uruguay. <http://www.fao.org/docrep/019/i3359s/i3359s.pdf> [Con acceso el: 25/09/2014]. 70pp.
18. FAOSTAT. Producción de chile en Guatemala. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>. [28 de mayo de 2015]
19. Flores, C.; Buono, S.; Giorgini, S. 2012. Enfermedades de tomate: Guía de consulta. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. 136pp
20. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Food wastage footprint Impacto on natural resorces, Summary Report, 2013. Estados Unidos. Recuperado de Food wastage footprints. FAO [http://www.fao.org/fileadmin/templates/nr/sustainability\\_pathways/docs/Factsheet\\_FOOD-WASTAGE.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/nr/sustainability_pathways/docs/Factsheet_FOOD-WASTAGE.pdf) [Septiembre 2014]
21. Ganesan, M.; Balasubramanian, K.; y Bhavani, R. 2004. Studies on the application of different levels of wáter on Zero energy cool chamber with reference to the shelf-life of brinjal. *J Indian Inst Sci*. 84: 107-111

22. Genta, H., Bernal, R. y Guarioni, C. 1992. Fisiología y manejo de postcosecha en tomate de primor. Instituto Nacional de investigación Agropecuaria. Pp 32.
23. Gliessman, S. (2002). *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Costa Rica: CATIE
24. INSIVUMEH. 2015. Zonas climáticas de Guatemala. Obtenido en: <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/zonas%20climaticas.htm>. [8 de noviembre de 2015]
25. Islam, M.*et al.* 2012. Storage behavior of tomato inside a zero energy coold chamber. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 14(4), 209-2017
26. Islam, M.; Morimoto, T.; y Hatou, K. 2013. Dynamic optimization of inside temperatura of Zero Energy Cool Chamber for storing fruits and vegetables using neural networks and genetic algorithms. *Computers and Electronics in Agriculture*. 95: 98-107
27. Kader, A. 2005. *Produce Quality Rating Scales and Color Charts: Postharvest Horticulture*. Postharvest Technology Center University of California, Davis.
28. Leyva, N. *et al.* 2011. Sales de calcio mejoran vida de anaquel y aceptabilidad general de papaya (Carica papaya L. Var. Mardol) fresca cortada. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de alimentos*. 2(1): 001-015.
29. López, A. 2003. *Manual para la preparación y frutas y hortalizas: Del campo al mercado*. Argentina: FAO
30. Libery, J. *et al.* 2013. Principles and Application of Evaporative Cooling Systems for Fruits and Vegetables Preservation. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 3(3), 1000-1006
31. Lipinski, B.; Hanson, C.; Lomax, J.; Kitinoja, L.; Waite, R.; y Searchinger, T. 2013. Reducing Food Loss and Waste. Working Paper, Installment 2 of Creating a Sustainable Food Future. Word Resources Institute. Obtenido de:<http://www.wri.org/publication/reducing-food-loss-and-waste> [Con acceso el: 27/07/2014].
32. López, Héctor. 2014. *Desarrollo y evaluación de un chile jalapeño (Capsicum annum) en salmuera y su diseño de planta*. Tesis Universidad Zamorano. Honduras: Administración de agronegocios. Honduras: Universidad Zamorano, Honduras. 45 págs.

33. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación). (2013). El agro en cifras 2013. Gobierno de Guatemala. Pp. 68.
34. Maupoey, Pedro, *et al.* 2001. *Introducción al Secado de Alimentos Por Aire Caliente*. Valencia: Editorial de la UPV. 211 págs.
35. Mosalve, Jorge y Machado, M. 2007. <<Evaluación de dos métodos de deshidratación para el tomate variedad manzano>>. *Multiciencias. Universidad de Zulia*. VII (3): 256-265
36. Montoya, Jorge y Jimenez, E. 2006. <<Determinación de la curva de secado al aire libre, mediante modelación matemática y experimental de la Guadua angustifolia Kunth>> *Scientia et Technica* XII (3) 415-419.
37. Negri, L. (2005). pH y Acidez Titulable. *INTA* . 2(1): 155-161
38. Nonhebel, T, Moss, H. 1999. *El secado de sólidos en la industria química*. España: Editorial Reverte. 354 págs.
39. Pérez, D. (2014). Tecnología apropiada para pequeños agricultores: Evaluación de cámara de enfriamiento con cero energía (ZECC). (Tesis de ingeniería). Universidad de Zamorano, Honduras.
40. Pérez, J.; Hurtado, G.; Aparicio, V.; Argueta, Q.; Larín, M. 2002. Guía Técnica: Cultivo de Tomate. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. El Salvador. 48pp
41. Pineda, M., *et al.* 2009. <<Efectos de las condiciones de secado sobre la cinética de deshidratación de las hojas de morera (*Morus alba*)>>. *Agronomía Mesoamericana*. XX (2) 275-283.
42. Prats, G. 2008. Microbiología Clínica. Médica Panamericana. Argentina. 400pp
43. Ramírez, J *et. al.* 2005. Maduración poscosecha de la feijoa (*Acca sellowiana Berg*) tratada con cloruro de calcio a tres temperaturas de almacenamiento. *Agronomía Colombiana* 23(1): 117-127.
44. Ratti, Cristina. 2008. *Advances in Food Dehydration*. USA: CRC Press Taylor & Francis Group. 467 págs.
45. Rayaguru, K.; Khan, K.; y Sahoo, N. 2010. Water use optimization in zero energy cool chambers for short term storage of fruits and vegetables in coastal area. *J Food Sci Technol*. 47(3): 437-441

46. Rueda, G. I. (2007). Impacto del calcio, choque térmico y refrigeración sobre la calidad química de guayaba transferida a temperatura ambiente. (Tesis de Ingeniería). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.
47. Saravacos, R. & Kostaropoulos, F. 2002. Handbook of foods processing equipment. Estados Unidos: Editorial Kluwer.
48. Suslow, T y M. Cantewell. (2013). *Tomate: (Jitomate): Recomendaciones para mantener la calidad postcosecha*. [University of California UCDAVIS Postharvest Technology]: [http://postharvest.ucdavis.edu/Hortalizas/Tomate\\_\\_Jitomate/](http://postharvest.ucdavis.edu/Hortalizas/Tomate__Jitomate/)
49. Treybal, R. (1988). Operaciones de transferencia de masa. McGraw-Hill. México. 865pp
50. UC Davis. *Chiles: recomendaciones para mantener la calidad postcosecha*. UC Davis California. <http://postharvest.ucdavis.edu/Hortalizas/Chiles/> [29 de junio de 2015]
51. UCDAVIS. 2014. Postharvest Technology. Maturity and Quality. En línea. Disponible en: <http://postharvest.ucdavis.edu/pfvegetable/TomatoPhotos/?repository=30014&a=83752> [21 de nov de 2014].
52. Universidad de las Américas Puebla. *Revisión Bibliográfica*. México. Universidad de las Américas Puebla. [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/meiq/celis\\_c\\_a/capitulo4.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/meiq/celis_c_a/capitulo4.pdf) [03 de julio de 2015]
53. Universidad de la Serena. 2013. Post-cosecha de tomate. Principales desordenes fisiológicos en terreno y en destino. [http://www.agrouls.cl/index.php?vista=no&pag=modulos/mod\\_postcosecha&c\\_id\\_padre=10&c\\_id=1660](http://www.agrouls.cl/index.php?vista=no&pag=modulos/mod_postcosecha&c_id_padre=10&c_id=1660) [21 de febrero de 2015].
54. Universidad de las Américas Puebla. *Revisión Bibliográfica*. [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/leip/ortiz\\_a\\_bs/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/ortiz_a_bs/capitulo2.pdf). [03 de julio de 2015]
55. Universidad de las Américas Puebla. *Revisión Chile Bibliográfica*. [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/meiq/celis\\_c\\_a/capitulo4.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/meiq/celis_c_a/capitulo4.pdf) [29 de junio de 2015]

56. Vega, Humberto. 1996. *Dehydration of foods*. Estados Unidos: Springer. 330 págs.
57. Wowryk,R. (2013). La demanda por el tomate verde sigue siendo abundante. En línea. <http://www.freshplaza.es/article/71116/EE.UU.-La-demanda-por-el-tomate-verde-sigue-siendo-abundante> [21 de febrero de 2015]
58. Zambrano, J. y Manzano, J. 1994. Efecto de la aplicación de sales de calcio sobre la maduración de frutos de mango. *Agronomía tropical*. 45(3): 407-415.
59. Zambrano, J. *et al.* (1995). Efecto del estado de madurez en la composición y calidad de frutos de tomate. *Agronomía tropical*, 46(1), 61-72.

## XII. ANEXOS

### A. Deshidratadores

Figura No. 86: Escala visual de daño físico.

ESCALA	Daño físico	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN
1	Ninguno	Sin signos de daños físicos.
2	Mínimo	Mínimos signos de daño físico que no afectaría el precio de venta
3	Moderado	Síntomas evidentes de daño físico que pueden afectar el precio de venta.
4	Severo	Daño físico severo, el producto no podría venderse sin una reducción sustancial del precio
5	Extremo	Inutilizable, no podría venderse el producto.

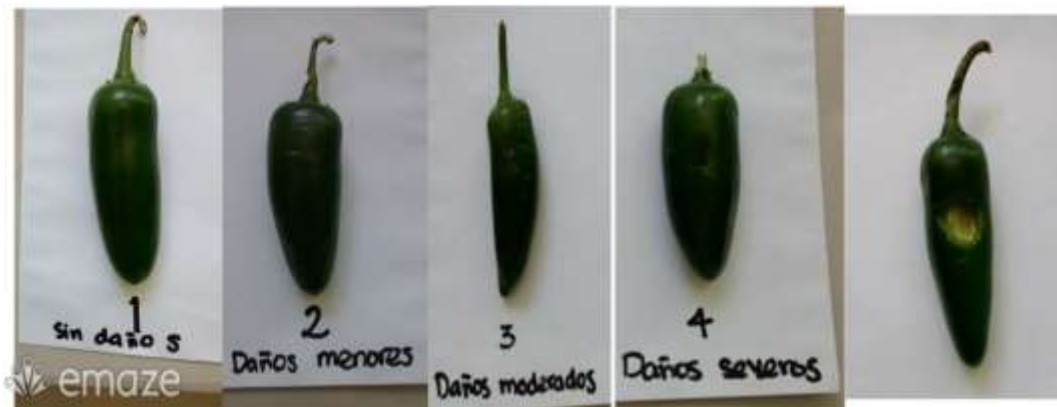


Figura No. 87: Bandejas en deshidratador UCD.



Figura No. 88. Deshidratador de gabinete



Figura No. 89. Prueba de normalidad para en ensayo 1.

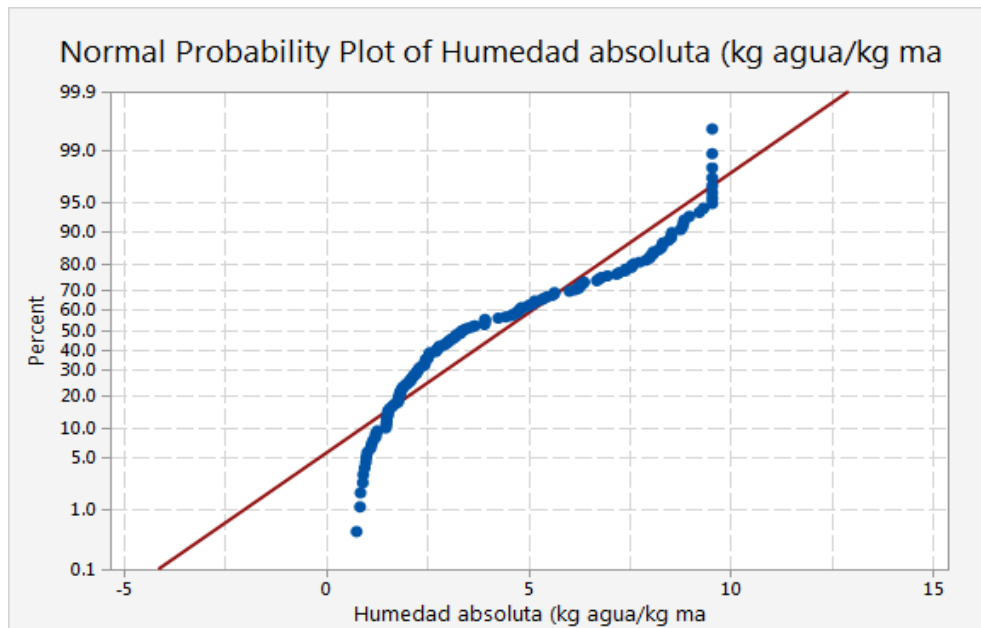


Figura No. 90. Prueba de normalidad para en ensayo 2.

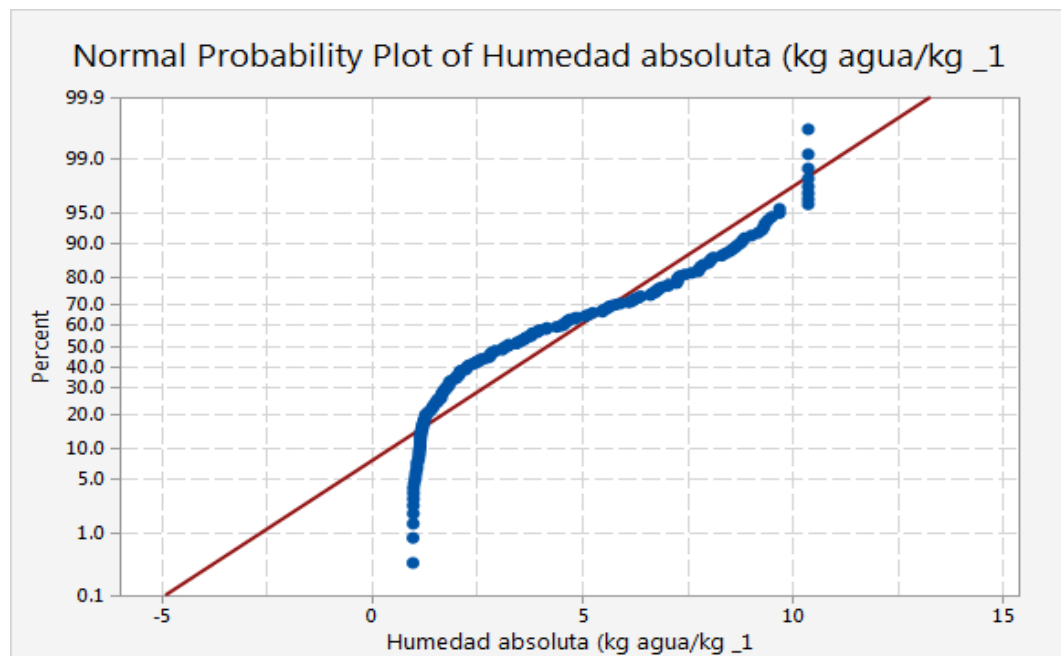
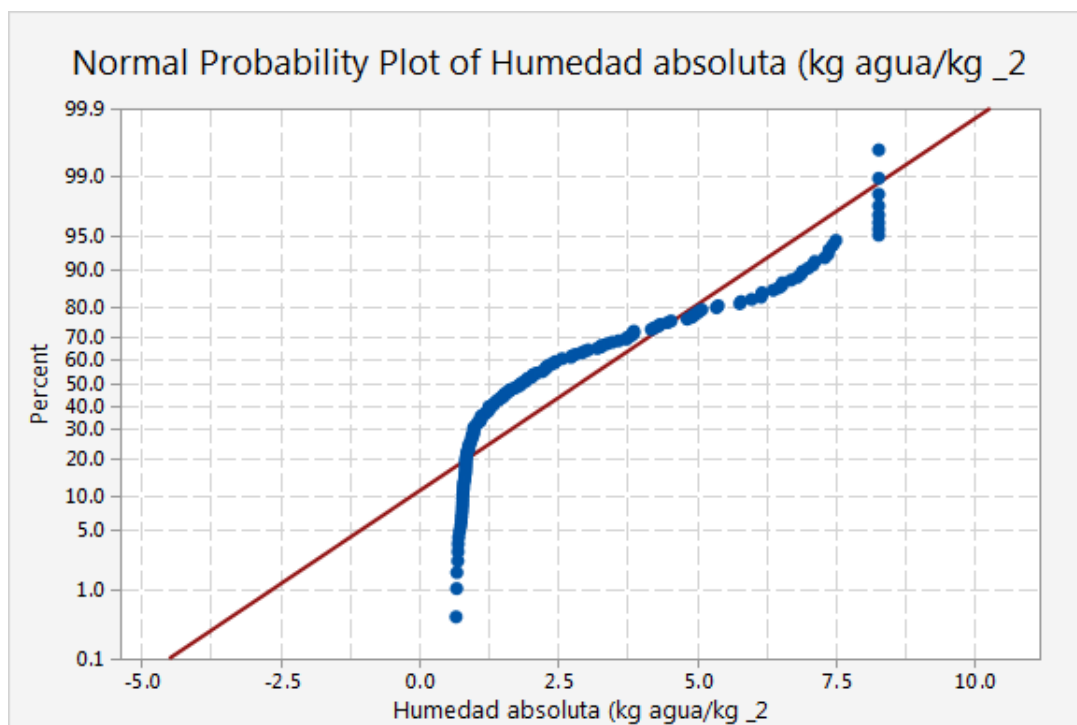


Figura No. 91. Prueba de normalidad para en ensayo 3.



## B. ZECC

Cuadro No. 27: Calidad visual inicial para ambas corridas

<b>Calidad visual</b>	<b>1 (%)</b>	<b>3 (%)</b>	<b>5 (%)</b>	<b>7 (%)</b>	<b>9 (%)</b>
Ambiente sin cloruro de calcio	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
Ambiente con cloruro de calcio	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
Zecc sin cloruro de calcio	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
Zecc con cloruro de calcio	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00

\*(Ver metodología para parámetros de calidad visual)

Cuadro No. 28: Calidad visual final para ambas corridas en tomate

<b>Calidad visual</b>	<b>1 (%)</b>	<b>3 (%)</b>	<b>5 (%)</b>	<b>7 (%)</b>	<b>9 (%)</b>
Ambiente sin cloruro de calcio	20.04	15.13	46.07	18.77	0.00
Ambiente con cloruro de calcio	10.87	18.38	50.57	20.18	0.00
Zecc sin cloruro de calcio	46.57	21.51	21.57	10.35	0.00
Zecc con cloruro de calcio	35.77	20.09	22.52	21.62	0.00

\*(Ver metodología para parámetros de calidad visual)

Cuadro No. 29: Madurez visual inicial para corrida ambas corridas

<b>Madurez visual</b>	<b>Verde (1) (%)</b>	<b>Rompimiento (2) (%)</b>	<b>Pintón (3) (%)</b>	<b>Rosado (4) (%)</b>	<b>Rojo claro (5) (%)</b>	<b>Rojo (6) (%)</b>
Ambiente sin cloruro de calcio	8.64	23.74	28.21	26.08	13.33	0.00
Ambiente con cloruro de calcio	8.96	25.36	29.96	24.51	11.21	0.00
Zecc sin cloruro de calcio	8.63	23.37	30.39	27.32	10.28	0.00
Zecc con cloruro de calcio	6.26	24.01	30.78	27.73	11.22	0.00

\*(Ver metodología para parámetros de madurez visual)

Cuadro No. 30: Madurez visual inicial para ambas corridas

Madurez visual	Verde (1) (%)	Rompimiento (2) (%)	Pintón (3) (%)	Rosado (4) (%)	Rojo claro (5) (%)	Rojo (6) (%)
Ambiente sin cloruro de calcio	0.56	0.56	0.86	7.95	31.82	58.24
Ambiente con cloruro de calcio	0.00	0.00	2.76	8.02	39.81	49.41
Zecc sin cloruro de calcio	0.00	0.00	1.49	7.94	33.73	56.84
Zecc con cloruro de calcio	0.00	0.00	2.08	5.99	31.65	60.29

\*(Ver metodología para parámetros de madurez visual)

Cuadro No. 31: Promedios de acidez titulable en ambas corridas

Tomate	ZECC con Cloruro de Calcio (% acidez titulable)	Ambiente sin cloruro de calcio (% acidez titulable)	ZECC sin cloruro de calcio (% acidez titulable)	Ambiente con cloruro de calcio (% acidez titulable)
1	18.565	21.305	12.988	15.801
2	13.410	18.210	15.645	17.893
3	20.665	19.103	14.157	17.570
4	17.518	19.573	15.274	18.244
5	16.779	17.716	16.062	16.319
6	15.762	15.619	15.926	16.393
7	14.519	17.459	18.259	18.561
8	17.190	15.743	16.100	19.359
9	18.590	17.450	14.446	17.024
10	13.710	16.656	15.779	19.786
11	17.593	16.524	16.580	18.547
12	16.126	17.389	15.545	13.100
13	14.989	18.419	14.538	15.095
14	15.874	17.670	16.390	13.433
15	14.335	16.943	18.316	21.355
16	15.842	14.281	16.096	20.465
17	17.771	18.206	16.262	16.879
18	14.879	17.086	14.341	18.022
<b>Promedio</b>	<b>16.340</b>	<b>17.519</b>	<b>15.706</b>	<b>17.436</b>

Cuadro No. 32: Promedios de pH en ambas corridas

Tomate	ZECC con cloruro de calcio (pH)	Ambiente sin cloruro de calcio (pH)	ZECC sin cloruro de calcio (pH)	Ambiente con cloruro de calcio (pH)
1	4.263	4.240	4.320	4.200
2	4.467	4.200	4.273	4.223
3	4.073	4.170	4.040	4.230
4	4.293	4.157	4.283	4.443
5	4.277	4.177	4.370	4.177
6	4.280	4.177	4.347	4.283
7	4.503	4.240	4.270	4.197
8	4.407	4.427	4.207	4.193
9	4.273	4.287	4.113	4.270
10	4.463	4.447	4.537	4.353
11	4.260	4.497	4.373	4.147
12	4.487	4.383	4.250	4.670
13	4.393	4.337	4.460	4.630
14	4.360	4.397	4.510	4.123
15	4.433	4.573	4.610	4.317
16	4.360	4.500	4.407	4.270
17	4.390	4.967	4.463	4.593
18	4.390	4.313	4.253	4.383
<b>Promedio</b>	<b>4.354</b>	<b>4.360</b>	<b>4.338</b>	<b>4.317</b>

Cuadro No. 33: Promedios de sólidos solubles (°Brix) en corrida ambas corridas

Tomate	ZECC con cloruro de calcio (°Brix)	Ambiente sin cloruro de calcio (°Brix)	ZECC sin cloruro de calcio (°Brix)	Ambiente con cloruro de calcio (°Brix)
1	3.600	3.933	3.467	4.467
2	3.033	3.933	3.100	4.200
3	3.367	4.033	3.567	4.000
4	3.667	3.867	3.200	5.700
5	3.533	4.167	3.467	4.967
6	2.967	3.700	3.500	4.633
7	3.767	3.967	3.667	3.633
8	4.300	4.100	3.433	3.533
9	4.367	3.900	3.533	3.800
10	3.967	4.200	4.267	4.367
11	4.167	3.900	4.267	3.667
12	4.367	4.333	3.900	3.800
13	4.100	3.833	3.800	3.967
14	4.167	4.583	4.067	3.833
15	3.933	4.100	4.267	4.633
16	3.867	3.967	3.833	4.133
17	4.600	4.633	4.233	3.833
18	4.367	4.533	3.833	3.600
<b>Promedio</b>	<b>3.896</b>	<b>4.094</b>	<b>3.744</b>	<b>4.154</b>

Cuadro No. 34: Promedios de textura transversal en ambas corridas

Tomate	ZECC con cloruro de calcio (g de fuerza)	Ambiente sin cloruro de calcio (g de fuerza)	ZECC sin cloruro de calcio (g de fuerza)	Ambiente con cloruro de calcio (g de fuerza)
1	1350	1455	1222	1255
2	1334	739	862	1474
3	993	1080	1083	1411
4	898	1350	845	1526
5	1199	1198	1284	1221
6	994	1515	1412	920
7	1488	1503	1272	1679
8	1324	1274	911	1478
9	1470	1256	1536	1458
10	1358	1141	1061	1386
11	872	1191	977	1878
12	1394	970	926	1335
13	843	1429	1755	1293
14	1681	1224	1328	1484
15	1325	1347	855	1351
16	1257	1344	1164	1732
17	1510	1034	1285	1226
18	1102	1056	1364	1431
<b>Promedio</b>	<b>1244.00</b>	<b>1228.11</b>	<b>1174.56</b>	<b>1418.78</b>

Cuadro No. 35: Promedios de textura lateral en ambas corridas

Tomate	ZECC con cloruro de calcio (g de fuerza)	Ambiente sin cloruro de calcio (g de fuerza)	ZECC sin cloruro de calcio (g de fuerza)	Ambiente con cloruro de calcio (g de fuerza)
1	996	874	834	1383
2	984	630	896	944
3	933	869	846	1136
4	962	706	761	1093
5	1199	1285	942	824
6	801	679	715	801
7	1106	799	1023	1492
8	1458	752	871	1020
9	1249	648	996	1325
1	871	857	830	892
2	817	713	808	1485
3	742	797	784	886
4	1013	1217	966	888
5	1083	823	726	1000
6	728	1049	810	1085
7	655	916	824	1437
8	960	547	784	978
9	659	674	888	1145
<b>Promedio</b>	<b>956.44</b>	<b>824.17</b>	<b>850.22</b>	<b>1100.78</b>

Cuadro No. 36: Valores p obtenidos en Anova de dos parámetros

Parámetro Físicoquímico (Promedio)	Condición Ambiental	Tratamiento	Condición Ambiental*tratamiento
Acidez titulable (%) <sup>a</sup>	0.0010	0.5167	0.3938
pH	0.8431	0.7104	0.4273
Sólidos solubles <sup>a</sup> (°Brix)	0.0039	0.2997	0.6529
Textura Transversal <sup>a b</sup> (g de fuerza)	0.0302	0.0193	0.2682
Textura Lateral <sup>b c</sup> (g de fuerza)	0.1915	0.0001	0.0160

Referente al análisis de Anova para dos parámetros:

**a** Indica que hubo diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) en ambos entornos (ZECC y ambiente), **b** en la aplicación de coluro de calcio ( $P < 0.05$ ) y **c** en la aplicación de coluro de calcio y condición ambiental combinados ( $P < 0.05$ ).

Cuadro No. 37: Unidades formadoras de colonias (UFC) en medio PCA, por cada 100mL de agua peptona utilizada para lavar la superficie de tomates almacenados dentro de la cámara ZECC.

Combinación con tratamiento de CaCl <sub>2</sub>	Día en que se realizó muestreo	UFC/100mL
Sin CaCl <sub>2</sub>	1	1.16E+06
		1.80E+06
		1.38E+04
		1.48E+04
	4	4.03E+05
		1.46E+05
		1.38E+04
		1.20E+04
	8	2.09E+05
		1.46E+05
		Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
	11	1.79E+06
		3.22E+05
		2.35E+04
		3.85E+04
Con CaCl <sub>2</sub>	1	3.09E+05
		1.28E+05
		1.13E+04
		1.08E+04
	4	5.35E+05
		7.38E+05
		1.45E+04
		1.28E+04
	8	1.85E+04
		1.60E+04
		2.71E+05
		4.04E+05
	11	7.73E+04
		5.25E+04
		1.38E+05
		4.98E+04

Cuadro No. 38: Mohos y levaduras en medio DRBC, por cada 100mL de agua peptona utilizada para lavar la superficie de tomates almacenados dentro de la cámara ZECC.

Combinación con tratamiento de $\text{CaCl}_2$	Día en que se realizó muestreo	Mohos y levaduras/ 100mL
Sin $\text{CaCl}_2$	1	Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
	4	Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
		3.50E+03
	8	6.01E+04
		6.28E+04
		6.00E+04
		4.72E+04
	11	2.14E+06
		2.04E+06
		2.64E+06
		1.54E+06
Con $\text{CaCl}_2$	1	Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
	4	Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
	8	Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
		3.00E+03
		3.50E+03
	11	Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
		6.50E+03
		6.00E+03

Cuadro No. 39: Unidades formadoras de colonias (UFC) en medio PCA, por cada 100mL de agua peptona utilizada para lavar la superficie de tomates almacenados a temperatura ambiente.

Combinación con tratamiento de $\text{CaCl}_2$	Día en que se realizó muestreo	UFC/100mL
Sin $\text{CaCl}_2$	1	1.40E+06
		1.07E+06
		Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
	4	3.10E+05
		2.66E+05
		Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
	8	4.50E+03
		1.35E+04
		4.45E+04
		Menos de 1E+03
	11	1.15E+04
		1.05E+04
		Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
Con $\text{CaCl}_2$	1	2.93E+05
		3.25E+05
		Menos de 1E+03
		1.15E+04
	4	3.15E+05
		1.07E+05
		Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
	8	5.93E+04
		6.23E+04
		Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
	11	5.53E+04
		8.15E+04
		Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03

Cuadro No. 40: Mohos y levaduras en medio DRBC por cada 100mL de agua peptona utilizada para lavar la superficie de tomates almacenados a temperatura ambiente.

Combinación con tratamiento de CaCl <sub>2</sub>	Día en que se realizó muestreo	Mohos y levaduras/ 100mL
Sin CaCl <sub>2</sub>	1	Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
	4	Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
	8	4.75E+04
		3.72E+04
		6.12E+04
		9.22E+04
	11	8.47E+04
		1.04E+05
		1.27E+05
		9.05E+04
Con CaCl <sub>2</sub>	1	Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
		1.46E+05
		2.65E+04
	4	Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
		2.00E+03
		5.50E+03
	8	1.10E+06
		Menos de 1E+03
		3.50E+03
		1.50E+03
	11	Menos de 1E+03
		Menos de 1E+03
		2.50E+03
		2.50E+03

Figura No. 92. Presencia de microorganismos en tomates dentro de ZECC



Figura No. 93 Crecimiento microbiano en tomates dentro de ZECC



Figura No. 94: Construcción de ZECC



Figura No. 95: Selección de grado de madurez de tomate



Figura No. 96: Clasificación de tomates



Figura No. 97. Selección de tomates dependiendo de la calidad visual donde se encuentran tomates en calidad visual 7, 5, 3 y 1



Figura No. 98: Muestreo realizado en tomates para análisis fisicoquímicos



Figura No. 99: Medición de la textura transversal de tomate



Figura No. 100: Medición del pH en tomate



Figura No. 101: Medición de acidez titulable



Figura No. 102: Instructivo de uso del ZECC

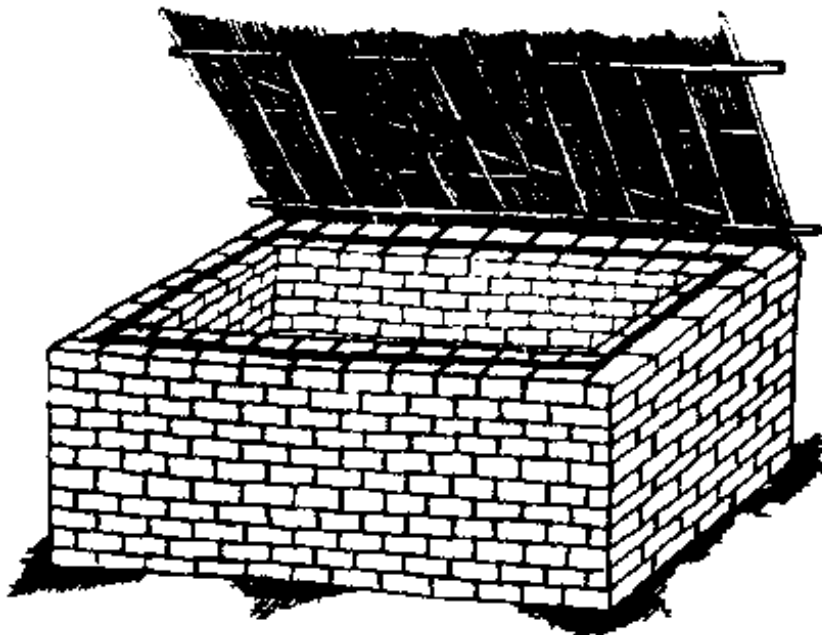
<h1 style="margin: 0;">Z E C C</h1> <h2 style="margin: 0;">Cámara de enfriamiento para el almacenamiento de alimentos</h2> <h3 style="margin: 0;">Recomendaciones para la construcción y uso del equipo</h3>			
ZECC	CONSIDERACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN		
<p>El ZECC es una cámara de enfriamiento para el almacenamiento de alimentos, capaz de reducir la temperatura ambiental bajo condiciones ambientales adecuadas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilizar ladrillos horneados sin barniz, es recomendable el uso de ladrillos grandes para agilizar la construcción.</li> <li>Utilizar arena ya sea de río o de construcción para facilitar el drenaje de agua.</li> <li>Colocar una tapadera con malla para evitar el ingreso de cualquier plaga. Así como una manta humedad para mantener la humedad de la cámara.</li> </ul>		
	<h4 style="text-align: center;">UBICACIÓN DE LA CÁMARA</h4> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ubicar la cámara de almacenamiento ZECC en un área con sombra.</li> <li>Ubicar la cámara con orientación del lado más largo a favor del viento.</li> <li>El área de ubicación debe de contar con disponibilidad de agua potable o no contaminada para el funcionamiento del ZECC.</li> <li>El terreno de ubicación del ZECC debe ser elevado y plano para facilitar el drenaje del agua.</li> <li>La condición óptima de desempeño es con clima caliente y seco.</li> </ul>		
<h4 style="text-align: center;">CONSTRUCCIÓN EN 5 PASOS</h4> <ul style="list-style-type: none"> <li>Colocar una plancha de ladrillos de aproximadamente 165 cm x 115 cm.</li> <li>Coloque una fila de canastas para determinar el área requerida. <b>RECUERDE</b> debe mantener espacio entre cada canasta y con la pared.</li> <li>Levantar sobre la plancha una doble pared de 67,5 cm de alto dejando un espacio entre ambas paredes de 8,5cm.</li> <li>Rellenar el espacio de 8 cm con arena mojada.</li> <li>Construir un marco de madera cubierto con malla fina para la tapadera de la cámara.</li> </ul>	<h4 style="text-align: center;">CONDICIÓN DE ACUERDO AL PRODUCTO</h4> <ul style="list-style-type: none"> <li>Preferiblemente retener el pedicelo en los frutos o vegetales.</li> <li>Dependiendo el tipo de producto se recomienda limpiar y desinfectar el producto antes de almacenarlo con una solución de cloro 100 ppm por 20 minutos. <b>RECUERDE</b> secar el producto antes de ser almacenado.</li> </ul> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 60%;"></td> <td style="text-align: right; vertical-align: top;"> <b>EJEMPLOS DE PRODUCTOS A DESINFECTAR:</b>            Tomate            Manzana            Pera            Berenjena            Papaya            Chile         </td> </tr> </table>		<b>EJEMPLOS DE PRODUCTOS A DESINFECTAR:</b> Tomate Manzana Pera Berenjena Papaya Chile
	<b>EJEMPLOS DE PRODUCTOS A DESINFECTAR:</b> Tomate Manzana Pera Berenjena Papaya Chile		
	<h4 style="text-align: center;">CONSIDERACIONES ANTES DEL USO</h4> <ul style="list-style-type: none"> <li>Saturar la cámara de almacenamiento con agua un día antes de dar inicio al almacenamiento.</li> <li>Desinfectar el ZECC con una solución de cloro al 10%.</li> </ul> <p><b>**Recuerde que el tiempo de almacenamiento depende del producto y las condiciones del clima.</b></p>		
	<p style="text-align: center;">Durante el almacenamiento se debe de contar con supervisión diaria para evaluar las condiciones del producto almacenado</p>		

Figura No. 103. Construcción del ZECC en el cual se construye con dos paredes de ladrillos y entre cada pared una cavidad que contiene arena



(International Institute of rural reconstruction, 1997)

Figura No. 104. Diseño terminado de ZECC



(International Institute of rural reconstruction, 1997)