



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR TIPO ARMARIO PARA LA
DESHIDRATACIÓN HASTA EL DIEZ POR CIENTO DE BERRO,
ESPINACA, ZANAHORIA”**

TESIS DE GRADO

Previo a la Obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO

**TANIA PATRICIA BELTRÁN CABRERA
SABINA ALEJANDRA VELOZ GAVILANEZ**

RIOBAMBA – ECUADOR

2014

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios por brindarnos salud, intelecto y encaminarnos a conseguir nuestra meta.

A nuestros padres y familiares quienes con su cariño, esfuerzo y apoyo incondicional supieron guiarnos en el transcurso de toda nuestra carrera.

A nuestra querida Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que nos acogió durante nuestros años de estudio y en especial a los Ingenieros Hannibal Brito y Mabel Parada quienes con paciencia supieron impartirnos sus conocimientos y orientarnos para que este proyecto de tesis pueda realizarse con éxito.

A nuestros Amigos y Compañeros que con su amistad y confianza han hecho que este ciclo de nuestra vida sea inolvidable compartiendo con cada uno de ellos gratos momentos, y que a pesar de tener en ciertas ocasiones algunas diferencias siempre estuvieron a nuestro lado, por esas y muchas cosas más simplemente nos queda decirles GRACIAS.

DEDICATORIA

Yo **Tania Patricia Beltrán Cabrera** dedico el presente trabajo en primer lugar a Dios por darme la vida y permitirme alcanzar la culminación de mis estudios, a mis padres Emanuel y Emma por brindarme sus mejores consejos, apoyo y amor incondicional de tal manera permitirme llegar a cumplir mi meta, a mi hermano José Luis por ser un apoyo importante en mi vida, a mis tíos en especial a Milton, Jhon y María por estar siempre pendiente de mi carrera, y a mi enamorado Eduardo por estar a mi lado y alentarme cada día.

Yo **Sabina Alejandra Veloz Gavilanez** dedico con mucho cariño este trabajo primeramente a Dios y a la Virgen de Guadalupe por iluminarme, protegerme y darme sabiduría para culminar mi carrera, a mis padres Carlos e Ilda quienes con su esfuerzo y apoyo incondicional siempre estuvieron presentes en los momentos que más los necesitaba, a mi hijo Luis Alberto quien ha sido mi mayor inspiración para alcanzar esta meta, a mis hermanos Alexandra, Luis, Mayra y José por brindarme siempre su cariño y sus palabras de aliento, y mi Tío Francisco (Tío Pancho) quien ha sido como un padre por estar siempre presente y alentarme en cada escalón de mi vida, y a toda mi familia me queda solo decirles MUCHAS GRACIAS por su apoyo.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

El tribunal de tesis certifica que: El trabajo de investigación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR TIPO ARMARIO PARA LA DESHIDRATACIÓN HASTA EL DIEZ POR CIENTO DE BERRO, ESPINACA, ZANAHORIA**”, de responsabilidad de las señoritas Tania Patricia Beltrán Cabrera y Sabina Alejandra Veloz Gavilanez ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizado su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. César Avalos I. DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
Ing. Mario Villacrés A. DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
Ing., Hanníbal Brito DIRECTOR DE TESIS
Ing. Mabel Parada MIEMBRO DE TRIBUNAL
Ing. Eduardo Tenelanda COORDINADOR SISIB-ESPOCH
Nota de Tesis Escrita	

HOJA DE RESPONSABILIDAD

Nosotras **TANIA PATRICIA BELTRÁN CABRERA Y SABINA ALEJANDRA VELOZ GAVILANEZ**, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente trabajo y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**.

TABLA DE CONTENIDOS

CONTENIDO	Pp:
PORTADA	
AGRADECIMIENTO	
DEDICATORIA	
HOJA DE FIRMAS	
HOJA DE RESPONSABILIDAD	
TABLA DE CONTENIDOS	
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	
TABLA DE CONTENIDO DE ANEXOS	
TABLA DE CONTENIDO DE ECUACIONES	
TABLA DE CONTENIDO DE GRÁFICOS	
TABLA DE CONTENIDO DE TABLAS	
RESUMEN.....	i
SUMMARY.....	ii
INTRODUCCIÓN.....	iii
ANTECEDENTES.....	iv
JUSTIFICACIÓN.....	vi
OBJETIVOS.....	vii

CAPÍTULO I

1	MARCO TEÓRICO	1
1.1	VERDURAS Y HORTALIZAS	1
1.1.1	BERRO.....	1
1.1.1.1	Valor Nutricional.....	1
1.1.2	ESPINACA.....	4
1.1.2.1	Valor Nutricional.....	5
1.1.3	Zanahoria.....	7
1.1.3.1	Valor nutricional.....	7
1.2	Secado.....	9
1.2.1	Humedad.....	10
1.2.2	Cinética de secado.....	11
1.2.3	Períodos de secado.....	12
1.2.4	Cálculo del Tiempo de Secado.....	14
1.2.5	Cálculo de la Velocidad de Secado	17
1.2.5.1	Velocidad de Secado en el período antecrítico.....	17
1.2.5.2	Velocidad de secado en el período poscrítico.....	18
1.2.5.3	Cálculo de la velocidad total de secado.....	18
1.2.6	Mecanismos de secado.....	19
1.2.7	Humedad Crítica.....	20
1.2.8	Tipos de Secadores	20
1.2.9	Secador de Tipo Armario o de Anaqueles.....	21
1.3	DISEÑO DEL SECADOR TIPO ARMARIO.....	22

1.3.1	BALANCE DE MASA Y ENERGÍA.....	22
1.3.1.1	Balance de Masa del Secador	22
1.3.1.2	Balance de Energía del Secador.....	23
1.3.1.1	Cálculo del rendimiento del secador.....	28
1.3.1.4	Cálculo de la eficiencia del secador.....	28

CAPÍTULO II

2	PARTE EXPERIMENTAL	33
2.1	MUESTREO	33
2.2	METODOLOGÍA	33
2.2.1	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	33
2.2.1.1	MÉTODOS	33
2.2.1.2	TÉCNICAS	34
2.2.1.2.1	TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE VERDURAS	35
2.2.1.2.1.1	DETERMINACIÓN DE HUMEDAD (Técnica AOAC 925.10).....	35
2.2.1.2.1.2	DETERMINACIÓN DE GRASA (Técnica AOAC 920.85).....	36
2.2.1.2.1.3	DETERMINACIÓN DE CENIZAS (Técnica AOAC 923.03).	37
2.2.1.2.1.4	DETERMINACIÓN DE FIBRA (Norma INEN 542).....	38
2.2.1.2.1.5	DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA (Técnica AOAC 984.13A).	39
2.3	DATOS EXPERIMENTALES.....	40
2.3.1	DIAGNÓSTICO.....	40
2.3.2	DATOS.....	40
2.3.2.1	DATOS EXPERIMENTALES PARA EL SECADOR DE BANDEJAS	40

2.3.2.1.1 DATOS EXPERIMENTALES PARA EL SECADO DE BERRO.....	40
2.3.2.1.2 DATOS EXPERIMENTALES PARA EL SECADO DE ESPINACA.....	41
2.3.2.1.3 DATOS EXPERIMENTALES PARA EL SECADO DE ZANAHORIA.....	42
2.3.2.3 DATOS EXPERIMENTALES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR TIPO ARMARIO.....	45
2.4 DATOS ADICIONALES	46

CAPÍTULO III

3 DISEÑO	48
3.1 CÁLCULOS	48
3.1.1 CÁLCULOS DE LA HUMEDAD	48
3.1.2 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SECADO DEL SECADOR TIPO ARMARIO	48
3.1.3 CÁLCULO DEL TIEMPO DE SECADO EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	49
3.1.4 BALANCE DE MASA Y ENERGÍA PARA EL SECADOR TIPO ARMARIO.....	50
3.1.4.1 BALANCE DE MASA EN EL SECADOR TIPO ARMARIO.....	50
3.1.4.2 BALANCE DE ENERGIA EN EL SECADOR TIPO ARMARIO.....	51
3.1.4.2.1 CÁLCULO DE LAS CAPACIDADES CALORÍFICAS DE LAS MUESTRAS.....	51
3.1.4.2.2 CÁLCULO DE LAS ENTALPÍAS DEL SÓLIDO.....	51
3.1.4.2.3 CÁLCULO DE LAS ENTALPÍAS DEL AIRE.....	52
3.1.5 CÁLCULO DEL NÚMERO DE ELEMENTOS DE TRANSMICIÓN.....	54

3.1.6	CÁLCULO DE LA LONGITUD DE UNIDAD DE TRANSMISION.	56
3.1.7	CÁLCULO DEL RENDIMIENTO EN EL SECADOR TIPO ARMARIO.....	57
3.1.8	CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL SECADOR TIPO ARMARIO.....	57
3.1.8.1	CÁLCULO DEL CALOR NECESARIO PARA CALENTAR EL SOLIDO EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	57
3.1.8.2	CÁLCULO DEL CALOR NECESARIO PARA EVAPORAR EL AGUA DEL SOLIDO.....	57
3.2	RESULTADOS	60
3.2.1	ANÁLISIS BROMATOLÓGICO.	60
3.2.2	RESULTADOS DEL SECADOR DE BANDEJAS.	60
3.2.2.1	RESULTADOS DEL SECADOR DE BANDEJAS PARA EL BERRO..	60
3.2.2.2	RESULTADOS DEL SECADOR DE BANDEJAS PARA LA ESPINACA.	64
3.2.2.3	RESULTADOS DEL SECADOR DE BANDEJAS PARA LA ZANAHORIA.....	68
3.2.3	RESULTADOS DEL SECADOR TIPO ARMARIO.	74
3.2.3.1	RESULTADOS DEL SECADOR TIPO ARMARIO PARA EL BERRO.....	74
3.2.3.2	RESULTADOS DEL SECADOR TIPO ARMARIO PARA LA ESPINACA.	78
3.2.3.3	RESULTADOS DEL SECADOR TIPO ARMARIO PARA LA ZANAHORIA.....	83
3.3	PROPUESTA DE DISEÑO.....	89
3.3.1	ANÁLISIS DE COSTOS.....	90
3.3.1.1	COSTOS DE INVERSION	90
3.3.1.1.1	RECURSOS MATERIALES.....	90

Pp:

3.3.1.1.2 RECURSOS HUMANOS.....	91
3.3.1.1.3 COSTOS DE PRODUCCIÓN.....	91
3.3.1.1.4 RECURSOS TOTALES.....	91
3.4 ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	92

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
4.1 CONCLUSIONES	94
4.2 RECOMENDACIONES.....	95
BIBLIOGRAFÍA	976
ANEXOS.....	99

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A	Área (m ²).
Cps	Capacidad calorífica del sólido (kcal/kg°C).
Cpl	Capacidad calorífica del líquido (kcal/kg°C).
cm	Centímetros.
° C	Grados Celsius.
g	Gramos.
kg	Kilogramos.
h	Horas.
h _s	Entalpía del sólido (kJ/kg°C).
H	Entalpía del aire (kJ/kg°C).
q	Pérdida de calor (kcal).
X	Humedad del sólido (kg agua/kg sólido seco).
W	Velocidad de secado (kg/m ² h).
ts	Temperatura del sólido (°C).
T	Temperatura del aire (°C).
ΔT	Variación de la temperatura (°C).
θ	Tiempo de secado (h).
Δθ	Variación del tiempo de secado (h).
G	Flujo del aire (kg/h).
S	Flujo del sólido (kg/h).
Y	Humedad del aire (kg/kg aire seco).
ΔH _O	Calor integral del sólido (kJ/kg°C).

kcal	Kilocalorías.
m	Masa (kg).
%	Porcentaje.
AACC	Asociación Americana de Químicos Cerealistas.
NOT	Número de unidades de transferencia.
HOT	Longitud de la unidad de transferencia
Q	Calor necesario para calentar la muestra.
X _c	Humedad crítica (kg agua/kg sólido seco).
X*	Humedad de equilibrio (kg agua/kg sólido seco).

TABLA DE CONTENIDO DE ANEXOS

ANEXO:	Pp:
I: ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS DEL BERRO MUESTRA FRESCA.....	100
II: ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS DE LA ESPINACA MUESTRA FRESCA....	101
III: ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS DE LA ZANAHORIA MUESTRA FRESCA	102
IV: ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS DEL BERRO MUESTRA SECA.....	103
V: ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS DE LA ESPINACA MUESTRA SECA.....	104
VI: ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS DE LA ZANAHORIA MUESTRA SECA...	105
VII: CÁLCULOS PSICROMÉTRICOS	106
VIII: PROPIEDADES DE VAPOR-AGUA, HUMEDADES Y ENTALPÍAS.....	107
IX: PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA Y VAPOR DE AGUA A 1 at.....	108
X: SIMULACIÓN DEL SECADOR TIPO ARMARIO	109
XI: SIMULACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SECADOR	110
XII: SECADOR TIPO ARMARIO	111
XIII: BANDEJAS Y RESISTENCIA ELÉCTRICA.....	112
XIV: DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR TIPO ARMARIO.....	113
XV: SECADO DE BERRO, ESPINACA Y ZANAHORIA.....	114

TABLA DE CONTENIDO DE ECUACIONES

ECUACIÓN:	Pp:
1.2.1-1. HUMEDAD BASE SECA	10
1.2.1-2. HUMEDAD BASE HUMEDA.....	10
1.2.1-3. HUMEDAD LIBRE	11
1.2.2-1. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SECADO.....	11
1.2.4-1. CÁLCULO DEL TIEMPO DE SECADO	14
1.2.4-2. CÁLCULO DEL TIEMPO DE SECADO EN PERIODO ANTECRÍTICO ...	15
1.2.4-3. CÁLCULO DEL TIEMPO DE SECADO EN EL PERIODO POSCRÍTICO POR EL MÉTODO GRÁFICO	16
1.2.4-4. CÁLCULO DEL TIEMPO DE SECADO EN EL PERIODO POSCRÍTICO POR EL MÉTODO GRÁFICO	16
1.2.4-5. CÁLCULO DEL TIEMPO TOTAL	17
1.2.5.1-1. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SECADO EN EL PERÍODO ANTECRÍTICO.....	18
1.2.5.1-2. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SECADO EN EL PERÍODO ANTECRÍTICO.....	18
1.2.5.2-1. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SECADO EN EL PERÍODO POSCRÍTICO	18
1.2.5.2-2 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SECADO EN EL PERÍODO POSCRÍTICO	18
1.2.5.3-1 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD TOTAL DE SECADO.....	19
1.3.1.1-1 BALANCE DE MASA DE UN SECADOR.....	22
1.3.1.2-1. CÁLCULO DEL BALANCE DE ENERGÍA EN EL SECADOR.....	23
1.3.1.2-2. CÁLCULO DE LA ENTALPÍA DEL SOLIDO.....	23
1.3.1.2-3. CÁLCULO DE LA ENTALPÍA DEL AIRE.....	24
1.3.1.2-4. CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE CALOR PERDIDO	24
1.3.1.2-5. CÁLCULO DE LA TEMPERATURA A LA SALIDA DEL AIRE EN LA ZONA II.....	25
1.3.1.2-6. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA DEL SÓLIDO EN LA ZONA II	26
1.3.1.2-7.CÁLCULO DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA DEL AIRE EN LA ZONA II.....	26

ECUACIÓN

Pp:

1.3.1.2-8. CÁLCULO DE LA TEMPERATURA DE SALIDA DEL AIRE EN LA ZONA III	26
1.3.1.2-9. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA DEL SÓLIDO EN LA ZONA III	26
1.3.1.2-10. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA DEL AIRE EN LA ZONA III	27
1.3.1.2-11. CÁLCULO DE LA HUMEDAD A LA ENTRADA DEL AIRE.....	27
1.3.1.2-12. ECUACIÓN PSICROMÉTRICA	27
1.3.1.2-13. CÁLCULO DEL NÚMERO DE ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN EN LA ZONA II	27
1.3.1.2-14. CÁLCULO DEL NÚMERO DE ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN EN LA ZONA I.....	27
1.3.1.2-15. CÁLCULO DEL NÚMERO DE ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN EN LA ZONA III.....	28
1.3.1.2-16 CÁLCULO DEL NUMERO TOTAL DE ELEMENTOS DE TRANSMISION	28
1.3.1.2-17 CÁLCULO DE LONGITUD DE UNIDAD DE TRANSMISIÓN.....	28
1.3.1.3-1. CÁLCULO DEL RENDIMIENTO DEL SECADOR	28
1.3.1.4-1. CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL SECADOR.....	28
1.3.1.4-2. CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE CALOR NECESARIO PARA CALENTAR EL SÓLIDO.....	29
1.3.1.4-3. CÁLCULO DEL CALOR NECESARIO PARA EVAPORAR EL AGUA DEL SOLIDO	29
1.3.1.4-4. CÁLCULO DEL CALOR TOTAL NECESARIO PARA CALENTAR EL SISTEMA	29
1.3.1.4-5 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE AIRE QUE DEBE PROPORCIONAR EL VENTILADOR	30
1.3.1.4-6 CÁLCULO DEL CAUDAL DEL AIRE.....	30
1.3.1.4-7 ÁREA DEL PLATO.....	30
1.3.1.4-8 NÚMERO DE PLATOS	31
1.3.1.4-9 NÚMERO DE BANDEJAS	31

TABLA DE CONTENIDO DE GRÁFICOS

GRÁFICO:	Pp:
1.1.1-1 BERRO.....	1
1.1.2-1 ESPINACA.....	4
1.1.3-1 ZANAHORIA	7
1.2.3-1 CURVA DE SECADO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.....	13
1.2.3-2 CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO	13
1.2.4-1 CÁLCULO DEL TIEMPO POSCRÍTICO POR MÉTODO GRÁFICO.....	16
1.3.1-1 BALANCE DE MASA Y ENERGÍA DE UN SECADOR.....	22
1.3.1.2-1 ZONAS DE SECADO	24
3.2.2.1-1. CURVA DE HUMEDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DEL BERRO EN EL SECADOR DE BANDEJAS	62
3.2.2.1-2. CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE HOJAS DE BERRO EN EL SECADOR DE BANDEJAS.....	63
3.2.2.1-3 CURVA DE 1/W EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE BERRO EN EL SECADOR DE BANDEJAS	64
3.2.2.2-1 CURVA DE HUMEDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE ESPINACA EN EL SECADOR DE BANDEJAS	66
3.2.2.2-2 CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE HOJAS CORTADAS DE ESPINACA EN EL SECADOR DE BANDEJAS.....	67
3.2.2.2-3 CURVA DE 1/W EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE ESPINACA EN EL SECADOR DE BANDEJAS	68
3.2.2.3-1 CURVA DE HUMEDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE ZANAHORIA EN EL SECADOR DE BANDEJAS.....	72
3.2.2.3-2 CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE CUADRADOS DE ZANAHORIA EN EL SECADOR DE BANDEJAS	73
3.2.2.3-3. CURVA DE 1/W EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE ZANHORIA EN EL SECADOR DE BANDEJAS	74
3.2.3.1-1. CURVA DE LA HUMEDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DEL BERRO EN EL SECADOR TIPO ARMARIO.....	76

GRÁFICO

Pp:

3.2.3.1-2. CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DEL BERRO EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	77
3.2.3.1-3. CURVA DE 1/W EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE BERRO EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	78
3.2.3.2-1. CURVA DE HUMEDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE ESPINACA EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	81
3.2.3.2-2. CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE LA ESPINACA EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	82
3.2.3.2-3. CURVA DE 1/W EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE ESPINACA EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	83
3.2.3.3-1 CURVA DE HUMEDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE ZANAHORIA EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	86
3.2.3.3-2. CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE LA ZANAHORIA EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	87
3.2.3.3-3. CURVA DE 1/W EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE ZANAHORIA EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	88
3.3-1. SECADOR TIPO ARMARIO	90

TABLA DE CONTENIDO DE TABLAS

TABLA:	Pp:
1.1.1.1-1 APORTE NUTRICIONAL MEDIO DEL BERRO	1
1.1.2.1-1 APORTE NUTRICIONAL MEDIO DE LA ESPINACA	5
1.1.3.1-1 APORTE NUTRICIONAL MEDIO DE LA ZANAHORIA.....	7
2.2.1.2.1.1-1 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD.....	35
2.2.1.2.1.2-1 DETERMINACIÓN DE GRASA.....	36
2.2.1.2.1.3-1 DETERMINACIÓN DE CENIZAS.....	37
2.2.1.2.1.4-1 DETERMINACIÓN DE FIBRA.....	38
2.2.1.2.1.5-1 DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA.....	39
2.3.2.1.1-1 TIEMPO Y PESO PARA CURVAS DE SECADO DE BERRO EN EL SECADOR DE BANDEJAS	40
2.3.2.1.2-1 TIEMPO Y PESO PARA CURVAS DE SECADO DE ESPINACA EN EL SECADOR DE BANDEJAS	41
2.3.2.1.3-1 TIEMPO Y PESO PARA LAS CURVAS DE SECADO DE ZANAHORIA EN EL SECADOR DE BANDEJAS	42
2.3.2.2.1-1 TIEMPO Y PESO PARA LAS CURVAS DE SECADO DE BERRO EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	43
2.3.2.2.2-1 TIEMPO Y PESO PARA LAS CURVAS DE SECADO DE ESPINACA EN EL SECADOR TIPO ARMARIO.....	43
2.3.2.2.3-1 TIEMPO Y PESO PARA LAS CURVAS DE SECADO DE ZANAHORIA EN EL SECADOR TIPO ARMARIO.....	44
2.3.2.3-1 DATOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR TIPO ARMARIO.....	45
2.4-1 DATOS ADICIONALES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR TIPO ARMARIO.....	46
3.2.1-1 ANALISIS BROMATOLÓGICOS DE LAS MUESTRAS FRESCAS.....	60
3.2.1-2 ANALISIS BROMATOLÓGICOS DE LAS MUESTRAS SECAS.....	60
3.2.2.1-1 RESULTADOS DE PRUEBAS DE SECADO DE HOJAS DE BERRO A 50 °C EN EL SECADOR DE BANDEJAS.....	60

TABLA:**Pp:**

3.2.2.1-2 RESULTADOS DE PRUEBAS DE SECADO DE TALLOS Y HOJAS DE BERRO A 50 °C EN EL SECADOR DE BANDEJAS	61
3.2.2.1-3 DATOS PARA GRAFICAR 1/W EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE BERRO EN EL SECADOR DE BANDEJAS	63
3.2.2.2-1 RESULTADO DE PRUEBAS DE SECADO DE HOJAS ENTERAS DE ESPINACA A 50 °C EN EL SECADOR DE BANDEJAS	64
3.2.2.2-2 RESULTADO DE PRUEBAS DE SECADO DE HOJAS CORTADAS DE ESPINACA A 50 °C EN EL SECADOR DE BANDEJAS	65
3.2.2.2-3 DATOS PARA GRAFICAR 1/W EN FUNCION DE LA HUMEDAD DE LA ESPINACA EN EL SECADOR DE BANDEJAS	67
3.2.2.3-1 RESULTADO DE PRUEBAS DE SECADO DE CUADROS DE ZANAHORIA A 60 °C EN EL SECADOR DE BANDEJAS	68
3.2.2.3-2 RESULTADO DE PRUEBAS DE SECADO DE TIRAS FINAS DE ZANAHORIA A 60 °C EN EL SECADOR DE BANDEJAS	69
3.2.2.3-3 RESULTADO DE PRUEBAS DE SECADO DE RODAJAS FINAS DE ZANAHORIA A 60 °C EN EL SECADOR DE BANDEJAS	70
3.2.2.3-4 RESULTADO DE PRUEBAS DE SECADO DE RODAJAS GRUESAS DE ZANAHORIA A 60 °C EN EL SECADOR DE BANDEJAS	71
3.2.2.3-5 DATOS PARA GRAFICAR 1/W EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE ZANAHORIA EN EL SECADOR DE BANDEJAS	73
3.2.3.1-1 RESULTADOS DE PRUEBAS DE SECADO DE HOJAS DE BERRO A 50 °C EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	74
3.2.3.1-2 RESULTADOS DE PRUEBAS DE SECADO DE HOJAS DE BERRO A 55 °C EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	75
3.2.3.1-3 RESULTADOS DE PRUEBAS DE SECADO DE HOJAS DE BERRO A 60 °C EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	75
3.2.3.1-3 DATOS PARA GRAFICAR 1/W EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE BERRO EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	77
3.2.3.2-1 RESULTADOS DE PRUEBAS DE SECADO DE ESPINACA A 50 °C EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	78
3.2.3.2-2 RESULTADOS DE PRUEBAS DE SECADO DE ESPINACA A 55 °C EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	79
3.2.3.2-3 RESULTADOS DE PRUEBAS DE SECADO DE ESPINACA A 60 °C EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	80

TABLA:**Pp:**

3.2.3.2-4 DATOS PARA GRAFICAR 1/W EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE LA ESPINACA EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	82
3.2.3.3-1 RESULTADOS DE PRUEBAS DE SECADO DE ZANAHORIA A 50 °C EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	83
3.2.3.3-2 RESULTADOS DE PRUEBAS DE SECADO DE ESPINACA A 55 °C EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	84
3.2.3.3-3 RESULTADOS DE PRUEBAS DE SECADO DE ESPINACA A 60 °C EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	85
3.2.3.3-4 DATOS PARA GRAFICAR 1/W EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE LA ZANAHORIA EN EL SECADOR TIPO ARMARIO	87
3.2.4-1 VALORES DE FLUJO MASICO, VELOCIDAD, TEMPERATURA DE SECADO PARA SECADOR DE BANDEJAS Y TIPO ARMARIO.....	88
3.3-1 DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR TIPO ARMARIO	89
3.3.1.1.1-1.RECURSOS MATERIALES	90
3.3.1.1.2-1 RECURSOS HUMANOS	91
3.3.1.1.3-1 COSTOS DE INSUMOS.....	91
3.3.1.1.4-1 RECURSOS TOTALES	91

RESUMEN

Se Diseñó y se Construyó un Secador Tipo Armario para la deshidratación de Berro, Espinaca y Zanahoria hasta el diez por ciento, el equipo estará en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; para la formación académica y desarrollo práctica de los estudiantes de Operaciones Unitarias.

Para el diseño del equipo se utilizó cálculos de ingeniería, cartas psicométricas, ensayos de laboratorio, adquiriendo datos para su correcto dimensionamiento. Para la construcción y ensamblado del equipo se utilizó: cámara de secado, ventilador, resistencia eléctrica, controlador de temperatura y seis bandejas de acero inoxidable.

Construido y ensamblado el secador tipo armario se realizaron pruebas de validación del equipo, teniendo como resultado la identificación de variables de proceso como: humedad, velocidad y tiempo de secado.

Con una eficiencia del secador del 93,36% y un rendimiento de las verduras del 52,80%.

La construcción de secadores tipo armario son útiles para conservar los nutrientes presentes en los alimentos, evitando que estos no se degraden y se proliferen por la presencia de microorganismos.

El Secador Tipo Armario puede ser utilizado para el secado de verduras que son materia prima en las industrias con fines cosméticos y alimenticios.

SUMMARY

It was designed and built a dryer type cabiner for dehydration watercress, spinach and carrots to ten percent, the equipment will be at the Laboratory of Industrial Processes of the Chemical Engineering School, Science Faculty of the Higher Polytechnic of Chimborazo to the academic and practical development of students in Unit Operations.

For equipment design, engineering calculations, psychometric charts and laboratory testing were used, in order to acquire data for correct sizing. For the construction and assembly of the equipment was used: drying chamber, fan, electric heater, temperature controller, and six stainless steel trays.

Built and assembled the dryer type cabinet, equipment validation tests were performed, resulting in the identification of process variables such as humidity, wind speed and drying time.

With an efficiency of 93,36 % and dryer performance of 52,80 % vegetables.

The construction of the upright type dryers are useful to preserve the nutrients in food, preventing those not degraded and proliferate by the presence of microorganisms.

The dryer type cabinet can be used for dryer vegetables that are raw material in cosmetic and food industries purposes.

INTRODUCCIÓN

El proceso de secado es una Operación Unitaria que permite la eliminación de agua, con el fin de almacenar los nutrientes presentes en las muestras a tratar, y es muy utilizada a nivel industrial con el objetivo de evitar la reproducción de microorganismos en los alimentos y que estos se conserven. Es así como parte del proceso de desarrollo de nuevos productos es factible el diseño y construcción de un secador tipo armario para el secado de berro, espinaca y zanahoria, verduras u hortalizas que poseen diversas propiedades nutritivas las cuales mediante la deshidratación o secado pueden ser conservadas de una forma natural.

Este proyecto se fundamenta en un equipo de secado tipo armario que utiliza una corriente de gas para efectuar la vaporización, así se podrá deshidratar las muestras ayudando a conservar el producto con mayor estabilidad. Su diseño está basado en el estudio de las propiedades que poseen diferentes plantas para así escoger el grupo que presente las características que se buscan y empezar una línea de producción que inicia por la Operación de secado, molienda, extracción y mezclado. Los datos que se obtuvieron se generaron en la realización de pruebas de secado en un secador de bandejas a gas, con muestras de diferentes tamaños y formas a una temperatura determinada, posterior a ello se efectuaron cálculos de ingeniería para dimensionar de forma correcta el equipo secador tipo armario.

El equipo brindará un soporte académico-práctico al Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias donde los estudiantes de las diferentes carreras podrán realizar prácticas aplicando los conocimientos antes adquiridos en las aulas.

ANTECEDENTES

“La producción anual en el Ecuador referente a verduras y hortalizas entre ellas berro espinaca y zanahoria es a gran escala debido al consumo de la población, teniendo como producción anual 5 toneladas de berro, 159,1 toneladas de espinaca y 28130 toneladas de zanahoria.”¹

“La técnica de secado de alimentos es probablemente el método más antiguo para preservar el alimento que ha ideado el ser humano. La extracción de la humedad del alimento previene el crecimiento y la reproducción de los microorganismos causantes de la descomposición las cuales produce una disminución sustancial del peso y el volumen, reduciendo empaque, costos de almacenamiento y transporte, permitiendo el almacenamiento del producto a temperatura ambiente por largo tiempo.

A partir de 1950 el proceso de secado se ha venido empleando en la industria química, siendo menos costoso en energía, debido a los avances tecnológicos de secadores que tienen implementado controladores completos que permiten minimizar tiempo durante el proceso, mejorando su funcionamiento.”²

A partir del 2005 en la carrera de ingeniería química se “Diseñó y Construyó un secador de bandejas para germen de trigo” por los Sres. Juan Carlos Gómez Tapia y Danilo Rafael León Peñafiel, 2007 “diseño de un secador de bandejas para la deshidratación del hongo *Trichoderma Harzianum*” por la Srta. Mabel Mariela Parada Rivera, 2008 “diseño y construcción de un secador de bandejas a gas para deshidratar hojuelas de manzana” por los Sr René Rolando Capelo Hinojosa, 2009 “diseño y construcción de un secador tipo túnel para la deshidratación del maíz” por los Sres. Carlos Efraín Aucancela Guacho y Enma Natali Chávez Córdova ; “diseño y construcción de un secador por fluidización para la deshidratación de trigo (*Triticum Vulgare*)” por los Sres. Jairo Santiago Gonzales Sánchez y Edgar Rolando Paucar Torosina, 2010 “diseño y construcción de un equipo mixto de tamizado y secado para la separación de esporas de hongos del amaranto y su uso como bio-plaguicida” por las Srtas. Mariana Eulalia Rosero Álvarez y Lucrecia Janeth Olivarez Yachimba, 2012 “diseño de un secador tipo túnel para la deshidratación de la harina de sangre en el camal frigorífico de Riobamba” por el Sr. Marco Saúl Moreta Sánchez.

¹ PRODUCCION DE VERDURAS Y HORTALIZAS <http://sinagap.agricultura.gob.ec/>

² SECADO http://www.inaes.gob.mx/doctos/pdf/guia_empresarial/deshidratados_de_frutas.pdf

En la actualidad en la ESPOCH existen estudios realizados para la Operación Unitaria de secado en equipos de bandejas, túnel, fluidización y otros pero no se han construido secadores tipo armario. A fin de ampliar las líneas de investigación y desarrollo se ha visto en la necesidad de implementar un estudio enfocado en este tipo de secadores.

JUSTIFICACIÓN

La zanahoria y la espinaca son utilizadas en la industria alimenticia, como materia prima para la producción de conservas, enlatados, comida para niños entre otros, mientras que el berro tiene usos culinarios.

Gracias a las características nutricionales que tiene el berro, espinaca y zanahoria, el mismo que puede ser almacenado y conservado mediante la operación de secado, y ser aprovechado para fines químicos y alimenticios.

El diseño y construcción del equipo permitirá la deshidratación de las muestras a nivel de laboratorio, siendo importante para la conservación en procesos productivos a nivel industrial, que servirá para el avance y desarrollo práctico, productivo y científico del intelecto de los alumnos de Ingeniería Química en sus respectivas áreas de estudio.

Para lograr el almacenamiento y conservación de dichos nutrientes se desarrollará el diseño y construcción de un secador tipo armario para la deshidratación, a una determinada temperatura, siendo este el primer paso de una línea de producción seguida de molienda, extracción y mezclado para la elaboración de crema de protección solar.

El secador tipo armario funcionará eléctricamente debido a que en la actualidad se sustituirá el gas por corriente eléctrica, economizando así los costos de producción.

OBJETIVOS

GENERAL

Realizar el diseño y construcción de un Secador tipo Armario para la deshidratación hasta el diez por ciento de berro, espinaca, zanahoria.

ESPECÍFICOS

- Determinar las características del berro, espinaca y zanahoria.
- Identificar las variables del proceso.
- Efectuar los cálculos de ingeniería.
- Validar el equipo.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1 MARCO TEÓRICO

1.1 VERDURAS Y HORTALIZAS

1.1.1 BERRO



FUENTE: Berro: <http://www.huertodeurbano.com/como-cultivar/berros/> 2014

Graf. 1.1.1-1 BERRO

“De nombre común *Nasturtium officinale*. Pertenece a la familia de las Brassicaceae o Crucíferas. Es un alimento del reino vegetal dentro de la dieta del hombre, y por sus características pertenece al grupo Verduras u Hortalizas y son enmarcadas dentro de la rama hojas.

1.1.1.1 Valor Nutricional.

“Es un alimento con un significativo aporte de carotenoides, vitamina C, vitamina B9, vitamina A, calcio, agua, hierro, yodo y vitamina E.

Tabla. 1.1.1.1-1
APORTE NUTRICIONAL MEDIO DEL BERRO (en 100 mg)

DENOMINACION	VALOR	UNIDAD
Energía	20,20	kcal
Proteínas	1,60	g
Hidratos	2,03	g
Agua	94,60	g
Calcio	180,00	mg
Hierro	3,10	mg
Magnesio	34,00	mg
Cinc	0,70	mg
Sodio	12,00	mg
Potasio	276,00	mg
Fósforo	64,00	mg

Fibra	1,47	g
Grasa	0,30	g
Carotenoides	4900,00	µg
Vitamina A	816,60	µg
Vitamina B1	0,09	mg
Vitamina B2	0,17	mg
Vitamina B3	0,73	mg
Vitamina B6	0,23	mg
Vitamina B9	214,00	µg
Vitamina C	96,00	mg
Vitamina E	1,46	µg

FUENTE: Aporte Nutricional del Berro: <http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=s1&s2=s2&s3=Berro>

➤ **Carotenoides:** Presenta una elevada concentración, por lo que actúa como antioxidante previniendo el envejecimiento celular y protegiendo al organismo de los radicales libres y la aparición de cáncer, aumentando la eficiencia del sistema inmunitario y reduciendo las probabilidades de ataques cardíacos, estos son también requeridos por nuestro organismo para la formación de la vitamina A.

➤ **Vitamina C:** Por su concentración ésta presenta propiedades antioxidantes que ayudan a neutralizar los radicales libres y a eliminar determinadas sustancias tóxicas, reduciendo la probabilidad de desarrollar cáncer, además inhibe el crecimiento de bacterias dañinas para el organismo, favorece el sistema inmunitario, previene enfermedades vasculares al reducir la tensión arterial, y es empleada en tratamientos contra alergias como el asma o la sinusitis.

➤ **Vitamina B9:** Gracias a su contenido de esta vitamina, el berro contribuye a la formación de células sanguíneas y glóbulos rojos, ayudando a prevenir la anemia y a mantener sana la piel. Además de ser indispensable para la correcta división y crecimiento celular fundamental durante el embarazo y la infancia, la vitamina B9 o ácido fólico interviene en el metabolismo de proteínas, ADN y ARN, reduciendo el riesgo de aparición de deficiencias en el tubo neural del feto (estructura que dará lugar al sistema nervioso central), además ésta disminuye la posibilidad de presentar enfermedades cardiovasculares, previene algunos tipos de cáncer como la leucemia, estimula la formación de ácidos digestivos y ayuda a mejorar el apetito.

➤ **Vitamina A:** Por su rico contenido en esta vitamina, el berro colabora en las funciones de crecimiento, mantenimiento y reparación del sistema óseo, a la vez que contribuye al desarrollo celular relacionado con la vista, mucosas, epitelios, piel, uñas, cabello y esmalte de dientes. Esta vitamina además cumple un rol determinante en la función reproductiva, contribuyendo tanto en la producción de espermatozoides como en el ciclo reproductivo femenino, y favoreciendo el normal desarrollo de células y tejidos del feto durante el embarazo.

➤ **Calcio:** Los niveles de calcio que presenta el berro contribuye al fortalecimiento de huesos, dientes y encías, y favorece la adecuada coagulación de la sangre, previniendo enfermedades cardiovasculares, ya que ayuda a disminuir los niveles de colesterol en sangre. Éste nutriente también ayuda en la regularidad de la frecuencia cardíaca y en la transmisión de impulsos nerviosos, contribuyendo a reducir la tensión arterial en personas con hipertensión, mantiene la permeabilidad de las membranas celulares, e interviene en el proceso de la actividad neuromuscular, entre otras funciones.

➤ **Agua:** El berro contiene un 94,60% de agua, y por lo tanto favorece la hidratación de nuestro organismo, al que debemos abastecer, incluyendo el consumo a través de los alimentos, con una cantidad de agua que oscila entre los 2,7 y los 3,7 litros, dependiendo de cada constitución, de la actividad física desarrollada, o de estados como el embarazo, la lactancia, enfermedad o exposición a fuentes de calor, circunstancias estas últimas donde las necesidades de consumo aumentan.

➤ **Hierro:** Por ser un alimento rico en hierro (necesario para la síntesis de hemoglobina), el berro colabora en la renovación de las células sanguíneas, posibilitando el transporte de oxígeno desde los pulmones hacia los diferentes órganos, también incrementa la resistencia ante enfermedades reforzando las defensas frente a los microorganismos, previene estados de fatiga o anemia, y sin él no podrían funcionar el sistema nervioso central, el control de la temperatura corporal o la glándula tiroides, siendo además saludable para la piel, el cabello y las uñas. Este alimento resulta muy beneficioso para el organismo en situaciones de carencia de hierro, ya sean como consecuencia de hábitos alimenticios inadecuados, durante la menstruación o el embarazo, o tras accidentes u operaciones médicas donde se ha perdido sangre.

➤ **Yodo:** Por la presencia de yodo entre sus nutrientes, el berro favorece el funcionamiento de los tejidos nerviosos y musculares, así como el sistema circulatorio. Además, colabora en el metabolismo de otros nutrientes, y juega un papel esencial en el adecuado desarrollo de la glándula tiroidea.

➤ **Vitamina E:** La presencia de esta vitamina confiere al berro propiedades antioxidantes que ayudan a mantener la integridad de la membrana celular, protegiendo las células y aumentando la respuesta defensiva de éstas ante la presencia de sustancias tóxicas derivadas del metabolismo del organismo o del ingreso de compuestos por vías respiratorias o bucales. Las propiedades antioxidantes protegen además al sistema inmune, al sistema nervioso con el mantenimiento de la membrana neuronal y al sistema cardiovascular evitando la destrucción de glóbulos rojos y la formación de trombos. Asimismo, esta vitamina protege al organismo frente a la destrucción de ácidos grasos, vitamina A, vitamina C y selenio, y frente al envejecimiento causado por la degeneración de tejidos que trae consecuencias como la falta de memoria, siendo importante en la formación y renovación de fibras elásticas y colágenos del tejido conjuntivo.

El resto de nutrientes presentes en menor medida en este alimento, ordenados por relevancia de su presencia, son: vitamina B6, magnesio, potasio, vitamina B2, vitamina B, fibra, cinc, fósforo, hidratos de carbono, vitamina B3, proteínas, calorías, selenio, ácidos grasos poliinsaturados, sodio, grasa, ácidos grasos saturados y ácidos grasos monoinsaturados.”³

1.1.2 ESPINACA



FUENTE: Espinaca: http://www.intersemillas.es/catalogo_detalle_especie.php?tipo=1&id=26 2014

Graf. 1.1.2-1 ESPINACA.

³ VALOR NUTRICIONAL DEL BERRO. <http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=s1&s2=s2&s3=Berro>

“De nombre común *Spinacea oleracea* L. Pertenece a la familia de las Chenopodiaceae. Es un alimento del reino vegetal dentro de la dieta del hombre, y por sus características pertenece al grupo Verduras u Hortalizas y son enmarcadas dentro de la rama hojas.

1.1.2.1 Valor Nutricional.

“La espinaca es una hortaliza con un elevado valor nutricional debido a su alto contenido en agua y a su riqueza en vitaminas y minerales.

Tabla 1.1.2.1-1
APORTE NUTRICIONAL MEDIO DE LA ESPINACA (en 100 mg)

DENOMINACION	VALOR	UNIDAD
Energía	24,67	kcal
Proteínas	2,96	g
Hidratos	0,79	g
Agua	93,37	g
Calcio	147,82	mg
Hierro	2,55	mg
Yodo	6,72	µg
Magnesio	55,15	mg
Cinc	0,55	mg
Sodio	85,00	mg
Potasio	369,00	mg
Fósforo	41,33	mg
Fibra	2,33	g
Grasa	0,57	g
Carotenoides	2638,44	µg
Vitamina A	439,72	µg
Vitamina B1	0,06	mg
Vitamina B2	0,14	mg
Vitamina B3	1,77	mg
Vitamina B6	0,70	mg
Vitamina B9	110,88	µg
Vitamina C	19,37	mg

Vitamina E	6,58	µg
------------	------	----

FUENTE: Aporte Nutricional Espinaca: <http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=s1&s2=s2&s3=Espinaca>

Son fuente muy importante de sustancias de acción antioxidante que bloquean el efecto dañino de los radicales libres. La respiración en presencia de oxígeno es esencial en la vida celular de nuestro organismo, pero como consecuencia de la misma se producen unas moléculas, los radicales libres, que ocasionan efectos negativos para la salud por su capacidad de alterar el ADN (los genes), las proteínas y los lípidos o grasas. Hay situaciones en que aumentan la producción de radicales libres, como el ejercicio físico intenso, la contaminación ambiental, el tabaquismo, las infecciones, el estrés, dietas ricas en grasas y la sobre exposición al sol.

Su contenido de hidratos de carbono y grasas es muy bajo. Aunque tampoco tiene una cantidad muy alta de proteína. Su contenido en fibra, al igual que ocurre con la gran mayoría de las verduras, es considerable, lo que resulta beneficioso para la salud.

En relación con su riqueza vitamínica, presentan cantidades elevadas de **Provitamina A** que se transforma en vitamina A conforme el cuerpo lo necesite y es esencial para la visión, el buen estado de la piel, el cabello, las mucosas, los huesos y para el buen funcionamiento del sistema inmunológico. **Vitamina C** que interviene en la formación de colágeno, glóbulos rojos, huesos y dientes, al tiempo que favorece la absorción del hierro de alimentos y aumenta la resistencia frente las infecciones. **Vitamina E** misma que interviene en la estabilidad de las células sanguíneas y en la fertilidad. También son ricas en glutatión, ácido ferúlico, ácido cafeico, ácido beta-cumárico y carotenoides como la luteína y la zeaxantina, todas estas de acción antioxidante.

La Espinacas también son muy buena fuente de vitaminas del grupo B como: folatos que colaboran en la producción de glóbulos rojos y blancos, en la síntesis de material genético y en la formación de anticuerpos del sistema inmunológico; Vitamina B2 o Riboflavina que se relaciona con la formación de anticuerpos y glóbulos rojos e interviene en procesos de obtención de energía y mantenimiento del tejido epitelial de mucosas; Vitamina B6 y, en menor proporción, también se encuentran vitamina B3 y vitamina B1.

En cuanto al contenido en minerales, las espinacas son ricas en **Calcio**, **Hierro** que son de peor aprovechamiento que el que procede de fuentes importantes como los lácteos en

el caso del calcio y alimentos de origen animal como el hierro; **Magnesio** que se relaciona con el funcionamiento del intestino, nervios y músculos además de formar parte de huesos y dientes, mejora la inmunidad y posee un suave efecto laxante; **Potasio** al igual que el **Sodio** son necesarios para la transmisión y generación de impulsos nerviosos y para actividad muscular normal, regula también el equilibrio de agua dentro y fuera del organismo; además de presentar también buenas cantidades de fósforo importante en la función estructural forma parte de huesos y dientes y colabora en procesos de obtención de energía; y **Yodo** indispensable en el buen funcionamiento de la glándula tiroidea, que regula el metabolismo.”⁴

1.1.3 Zanahoria.



FUENTE: Zanahoria: www.visitapenasco.com.mx 2014

Graf. 1.1.3 -1 ZANAHORIA

“Conocido como zanahoria, su nombre específico *Daucus Carola* perteneciente a la familia de las Umbelíferas, corresponde al grupo verduras/hortalizas, y por sus características lo enmarcamos dentro de la rama raíces.

1.1.3.1 Valor nutricional.

“La zanahoria es una verdura que contiene una alta cantidad de carotenoides, vitamina A y agua. Además de Potasio, vitamina B6, yodo, fibra, hidratos de carbono, vitamina C, vitamina B, vitamina E, calcio, sodio, magnesio, vitamina B2, vitamina B9, fósforo, hierro, calorías, vitamina B3, cinc, proteínas, selenio, ácidos grasos poliinsaturados, grasa, ácidos grasos saturados y ácidos grasos monoinsaturados.

⁴ VALOR NUTRITIVO DE LA ESPINACA <http://verduras.consumer.es/documentos/hortalizas/espinacas/salud.php>

TABLA 1.1.3.1 -1
APORTE NUTRICIONAL MEDIO DE LA ZANAHORIA (en 100 mg)

DENOMINACION	VALOR	UNIDAD
Energía	28,58	kcal
Proteínas	0,83	g
Hidratos	5,16	g
Agua	92,25	g
Calcio	27,81	mg
Hierro	20,43	mg
Yodo	5,88	µg
Magnesio	9,59	mg
Cinc	0,19	mg
Sodio	51,75	mg
Potasio	234,75	mg
Fósforo	31,50	mg
Fibra	1,62	g
Grasa	0,16	g
Carotenoides	3564,25	µg
Vitamina A	703,29	µg
Vitamina B1	0,07	mg
Vitamina B2	0,05	mg
Vitamina B3	0,57	mg
Vitamina B6	0,15	mg
Vitamina B9	7,48	µg
Vitamina C	4,32	mg
Vitamina E	0,58	µg

FUENTE-Aporte nutricional zanahoria: <http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=s1&s2=s2&s3=Zanahoria>

➤ **Carotenoides:** Su presencia en la zanahoria hace que tenga efecto antioxidante previniendo el envejecimiento celular y protege el organismo frente a los radicales libres y la aparición de cáncer, a la vez que se aumenta la eficiencia del sistema inmunitario y reducen las probabilidades de ataques cardíacos. Los carotenos son también requeridos por nuestro organismo para la formación de la vitamina A.

➤ **Vitamina A:** Por su rica composición en esta vitamina, la zanahoria colabora en las funciones de crecimiento, mantenimiento y reparación del sistema óseo, contribuye al desarrollo celular relacionado con la vista, mucosas, epitelios, piel, uñas, cabello y esmalte de dientes, cumple además un rol determinante en la función reproductiva masculina durante la producción de espermatozoides y en el ciclo reproductivo femenino, y favorece el normal desarrollo de células y tejidos del feto durante el embarazo.

➤ **Agua:** La zanahoria contiene un 92,25% de agua, por tanto favorece la hidratación de nuestro organismo, al que debemos abastecer, incluyendo el consumo a través de los alimentos, con una cantidad de agua que oscila entre los 2,7 y los 3,7 litros, dependiendo de cada constitución, de la actividad física desarrollada, o de estados como el embarazo, la lactancia, enfermedad o exposición a fuentes de calor, circunstancias estas últimas donde las necesidades de consumo aumentan.”⁵

“Exteriormente se la puede utilizar para curar problemas de la piel como eczemas, heridas o quemaduras, incluidas las producidas por el sol. Es muy útil para paliar la acción destructiva de los rayos ultravioletas, motivo por el cual forma parte de la composición de muchos filtros solares. Una mascarilla de pulpa de zanahoria durante media hora favorece además la tersura de la piel, eliminando las arrugas o evitando que aparezcan.

En Cosmética, se las puede utilizar para confeccionar mascarillas o cremas limpiadoras para cuidado del cutis y el acné, por su capacidad de nutrir la piel y absorber las impurezas acumuladas sobre el cutis.”⁶

1.2 Secado.

“La operación de secado consiste en la eliminación o reducción de la humedad en forma de vapor, presente en un material u otras sustancias, mediante evaporización con una corriente gaseosa que generalmente suele ser aire, implicando transferencia de calor y transporte de masa.

El propósito de secado de una planta es extraer la humedad que contiene hasta un nivel que se considere seguro para evitar que esta se pudra, enferme o pierda las sustancias activas, además permitir su almacenamiento por un tiempo determinado antes de su utilización.

El secado es el paso más importante para lograr un producto de óptima calidad, ya que de este depende que el producto esté en condiciones de comercializarse, consumirse y conservarse por períodos prolongados.

1.2.1 Humedad.

Es la cantidad de agua que acompaña a una muestra de sólido seco, esta se puede expresar en base seca o base húmeda.

a) Base seca

$$X_{BS} = \frac{\text{Masa de Agua}}{\text{Masa de sólido seco}} = \frac{\text{Kg. agua}}{\text{Kg. sólido seco}} \quad \text{Ec. 1.2.1-1}$$

Dónde:

X_{BS} = Humedad del sólido en base seca (Kg de agua/Kg de sólido seco)

b) Base húmeda

$$X_{BH} = \frac{\text{Masa de Agua}}{\text{Masa de sólido humedo}} = \frac{\text{Kg. agua}}{\text{Kg. sólido humedo}} \quad \text{Ec. 1.2.1-2}$$

Dónde:

X_{BH} = Humedad del sólido en base húmeda (Kg de agua/Kg de sólido húmedo)

Se aplica para determinar la humedad en el suelo, materiales de construcción, aire.

➤ Humedad de Equilibrio.

Cuando un sólido húmedo se pone en contacto, con aire de temperatura y humedad determinadas y constantes, se alcanzarán las condiciones de equilibrio entre el aire y el sólido húmedo.

Tiene innumerables aplicaciones en el secado, almacenamiento y manejo de los productos agrícolas.

➤ Humedad libre.

Es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad de equilibrio con el aire en las condiciones dadas. Es la humedad que puede perder el sólido después de un tiempo de contacto con el aire en las condiciones determinadas y constantes.

⁵ VALOR NUTRITIVO DE LA ZANAHORIA: <http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=s1&s2=s2&s3=Zanahoria>

⁶ PROPIEDADES DE LA ZANAHORIA: <http://www.botanical-online.com/zanahorias.htm>

$$H_L = X - X^* \quad \text{Ec. 1.2.1-3}$$

Dónde:

H_L = Humedad libre (Kg de agua/Kg de sólido seco).

X = Humedad del sólido (Kg de agua/Kg de sólido seco).

X^* = Humedad de equilibrio (Kg de agua/Kg de sólido seco).

Los granos que contienen humedad libre cumplen un papel biológico y puede permitir las reacciones químicas (enzimáticas), además del desarrollo de hongos.

➤ **Humedad Ligada.**

Es la humedad mínima necesaria para que el sólido deje de comportarse como higroscópico, o bien es el valor de la humedad de equilibrio del sólido en contacto con aire saturado.

Esta se aplica en la industria alimenticia, se encuentra en los alimentos con agua de cristalización (hidrato) o ligada a las proteínas. Parte de la misma permanece ligada al alimento incluso a la temperatura que lo carboniza.

➤ **Humedad desligada.**

Es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad ligada; y representa al agua que está absorbida (no adsorbida), empapando el sólido, retenida pero sin interactuar con el sólido. O bien la humedad libre del sólido en contacto con aire saturado. Es evidente que si el sólido tiene humedad desligada se comportará como húmedo.

Esta humedad en la que se aplica al agua que llena los capilares grandes, espacios intercelulares, etc. y la que está contenida en los geles.

1.2.2 Cinética de secado.

Se define la velocidad del secado por la pérdida de humedad del sólido húmedo en la unidad de tiempo operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire cuyas condiciones (temperatura, presión, humedad y velocidad) permanecen constantes con el tiempo.

$$W = \frac{S}{A} \left(- \frac{dX}{d\theta} \right) \quad \text{Ec. 1.2.2-1}$$

Dónde:

W = Velocidad del secado (kg de agua/m².h).

S = Peso del sólido seco (kg sólido seco).

A = Área de la superficie expuesta (m²).

X = Humedad en base seca (Kg de agua/Kg de sólido seco).

θ = Tiempo de secado (h).

La cinética de secado se aplica para determinar la cantidad de agua que queda en la superficie en un determinado tiempo en industrias químicas

Se aplica para:

- Procesos de granulación húmeda (elaboración de cápsulas, polvos o tabletas).
- Producción de algunos materiales (hidróxido de aluminio, lactosa seca y extractos en polvo).
- Reducción del volumen y peso de los materiales (disminución del costo por transporte y almacenamiento).⁷

1.2.3 Períodos de secado.

“Cualquiera que sea el tipo de instalación a emplear para determinar la capacidad del equipo o el tiempo de secado es necesario efectuar ensayos de velocidad de secado del material a condiciones constantes de secado. A intervalos regulares se determina por pesada la humedad del cuerpo de los datos de humedad y tiempo se deduce la curva de velocidad de secado.

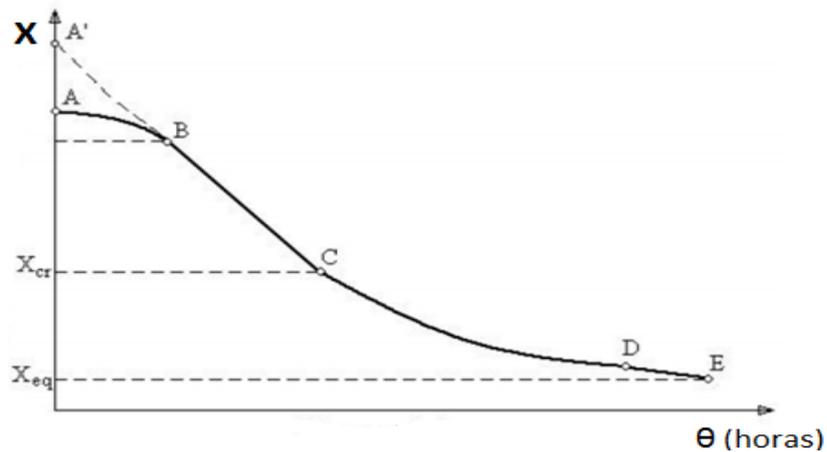
Para que los datos obtenidos tengan mayor semejanza con las condiciones que han de prevalecer en la operación en gran escala es necesario observar las siguientes precauciones:

- El material estará soportado en la misma forma que lo ha de estar posteriormente (sobre bastidores, bandejas, etc.).
- Se mantendrá la misma relación entre superficie exterior expuesta y superficie no expuesta al secado.
- Se dispondrán condiciones análogas de recepción de calor radiante.

⁷ OCON GARCIA, Joaquín y TOJO BARREIRO, Gabriel. Problemas de ingeniería química. Operaciones básicas. 2 ed. Madrid, Ediciones Aguilar, 1980. v.2. pp. 243.

- Es conveniente realizar ensayos con muestras de diferentes espesores.

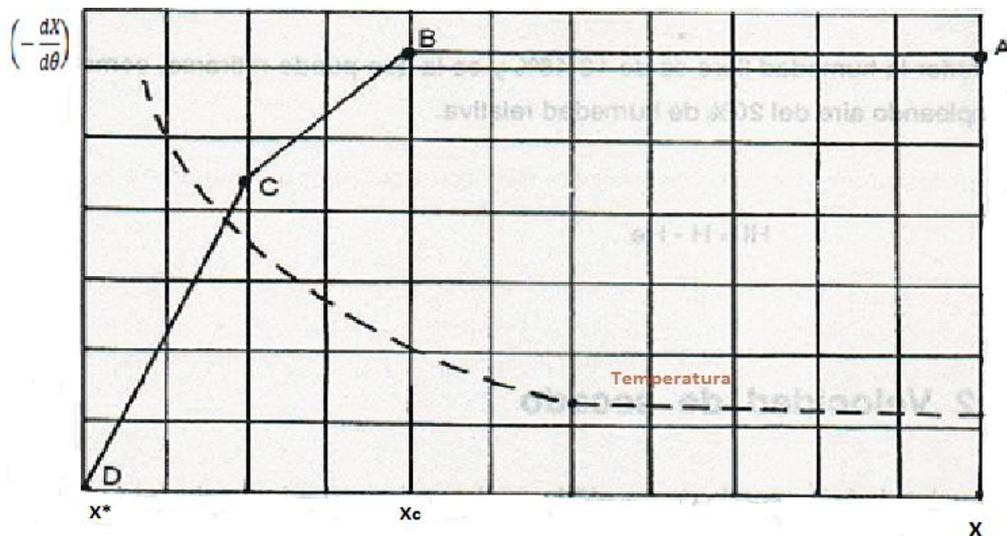
En el gráfico 1.2.3-1 se representa la curva humedad - tiempo de una muestra sometida a un ensayo de secado. La humedad disminuye continuamente desde el valor inicial (punto A) y finalmente se aproxima como límite a la humedad de equilibrio que corresponde a las condiciones constantes del aire.



FUENTE: OCON TOJO. Problemas de ingeniería química tomo II Pp. 244, 2014

Graf. 1.2.3-1 CURVA DE SECADO $X = f(\theta)$

Se obtiene la curva de velocidad de secado en el gráfico 1.2.3-2, en la que aparecen varios tramos diferentes:



FUENTE: OCON TOJO. Problemas de ingeniería química tomo II Pp. 246, 2014

Graf. 1.2.3-2 CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO

Tramo A-B: Período de Inducción o Ajuste: El sólido comienza a calentarse y con ello crece la velocidad de evaporación. Esto se aprecia porque la masa del sólido

(directamente relacionada con X) decrece con el tiempo cada vez más rápidamente. Eventualmente el calor penetra hasta al centro y la velocidad se hace máxima.

Tramo B-C: Período Antecrítico o de Velocidad de Secado Constante: velocidad de secado constante y máxima. X vs t es una recta de pendiente máxima. La velocidad de secado se hace constante. Es esta zona se está evaporando la humedad no ligada. La velocidad es máxima porque los mecanismos de transporte de agua desde el interior del sólido a la superficie son lo suficientemente rápidos para compensar la evaporación. El agua se elimina conforme llega a la superficie el calor suficiente para vaporizarla.

Se distinguen así dos períodos importantes de secado:

- a) **Período de velocidad constante:** llamado período antecrítico.
- b) **Período de velocidad decreciente:** llamado período poscrítico.

Tramo C-D: Primer Período Poscrítico: Es el primer período de secado o período de velocidad de secado decreciente, en el que la velocidad varía linealmente con la humedad.

Etapa D-E Segundo Período Poscrítico: Aquí se pierde la relación anterior.”⁸

“La cinética de secado puede aplicarse para:

- Conservación y estabilidad de productos animales y vegetales para disminuir el crecimiento de hongos y bacterias.
- Volver a un producto más estable (polvos higroscópicos, sales efervescentes, aspirina, penicilinas y ácido ascórbico). Una vez eliminada el agua, el producto se mantiene a bajos niveles de humedad con ayuda de agentes desecantes o por impermeabilidad del empaque.

1.2.4 Cálculo del Tiempo de Secado

A partir de la Ecuación 1.4.3-1 se puede calcular el tiempo de secado mediante la integración de la humedad inicial y final:

$$\theta = \frac{S}{A} \int_{X_f}^{X_i} \frac{dX}{W} \quad \text{Ec. 1.2.4-1}$$

⁸ OCON GARCIA, Joaquín y TOJO BARREIRO, Gabriel. Problemas de ingeniería química. Operaciones básicas. 2 ed. Madrid, Ediciones Aguilar, 1980. v.2. pp. 244 - 245.

Dónde:

θ = Tiempo de secado (h).

S = Peso del sólido seco (kg sólido seco).

A = Área de la superficie expuesta (m^2).

X = Humedad en base seca (Kg de agua/Kg de sólido seco).

W = Velocidad del secado (kg de agua/ m^2 .h).

Es necesario para el cálculo de esta integral conocer $W = f(X)$, y en general se distinguen dos períodos.

a) **PERÍODO ANTECRÍTICO:** Para este período la velocidad de secado permanece constante, por lo tanto el tiempo antecrítico será igual a:

$$\theta_a = \frac{S X_i - X_c}{A W_c} \quad \text{Ec. 1.2.4-2}$$

Dónde:

θ_a = Tiempo de secado en el período antecrítico (h).

S = Peso del sólido seco (kg sólido seco).

A = Área de la superficie expuesta (m^2).

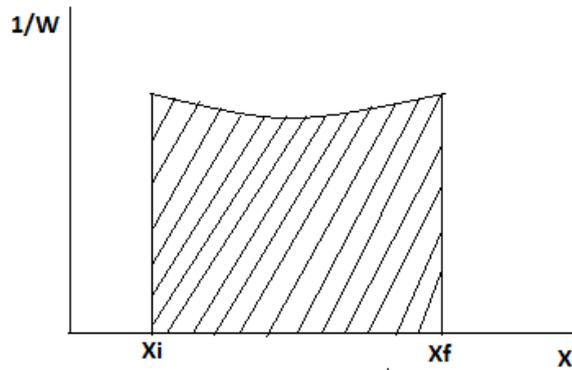
X_i = Humedad inicial (Kg de agua/Kg de sólido seco).

X_c = Humedad crítica (Kg de agua/Kg de sólido seco).

W_c = Velocidad del secado creciente (kg de agua/ m^2 .h).

b) **PERÍODO POSCRÍTICO:** Para este período se lo puede realizar por medio de dos métodos:

b-1) Método Gráfico: Este método se lo utiliza cuando no se conoce la relación analítica $W = f(X)$, la integración de la ecuación 1.4.4-1 ha de hacerse gráficamente representando X frente 1/W el área limitada bajo la curva será el valor de esta integral, en la cual el eje de las abscisas y las ordenadas extremas X_c y X_f .



FUENTE: OCON TOJO. Problemas de ingeniería química tomo II Pp.247,

Graf. 1.2.4-1 CÁLCULO DEL TIEMPO POSCRÍTICO POR EL MÉTODO GRÁFICO.

b-2) Método Analítico: Si la velocidad de secado varía linealmente con la humedad desde la humedad crítica hasta la humedad final, la integración de la ecuación 1.4.4-1 nos queda:

$$\theta_P = \frac{S}{A} \frac{X_c - X_f}{W_c - W_f} \ln \frac{W_c}{W_f} = \frac{S}{A} \frac{X_c - X_f}{W_{log}} \quad \text{Ec. 1.2.4-3}$$

Dónde:

θ_P = Tiempo de secado en el período poscrítico (h).

S = Peso del sólido seco (kg sólido seco).

A = Área de la superficie expuesta (m²).

X_f = Humedad final (Kg de agua/Kg de sólido seco).

X_c = Humedad crítica (Kg de agua/Kg de sólido seco).

W_c = Velocidad del secado creciente (kg de agua/m².h).

W_f = Velocidad del secado final (kg de agua/m².h).

Si no se conoce la forma en que varía la velocidad de secado durante este período y suponiendo una variación lineal desde la humedad crítica hasta la de equilibrio se obtiene la siguiente expresión aproximada:

$$\theta_P = \frac{S}{A} \frac{X_c - X^*}{W_c} \ln \frac{X_c - X^*}{X_c - X^*} \quad \text{Ec. 1.2.4-4}$$

Dónde:

θ_P = Tiempo de secado en el período poscrítico (h).

S = Peso del sólido seco (kg sólido seco).

A = Área de la superficie expuesta (m²).

X^* = Humedad de equilibrio (Kg de agua/Kg de sólido seco).

X_c = Humedad crítica (Kg de agua/Kg de sólido seco).

W_c = Velocidad del secado creciente (kg de agua/m².h).

Tanto la ecuación 1.2.4-3 como la ecuación 1.2.4-4 se supone que la humedad inicial es mayor que la crítica; si no se cumple con esto se ha de sustituir X_c por X_i .

c) **Cálculo del Tiempo Total:** Es la sumatoria de los tiempos en el período antecrítico y poscrítico.

$$\theta_T = \theta_a + \theta_p \quad \text{Ec. 1.2.4-5}$$

Dónde:

θ_T = Tiempo total de secado.

θ_a = Tiempo de secado antecrítico.

θ_p = Tiempo de secado poscrítico.

El tiempo de secado tiene aplicación en industrias agroalimentaria, papeleras, textil, química, cementera, cerámicas, electrometalurgia.

1.2.5 Cálculo de la Velocidad de Secado

La capacidad de un secador depende de la velocidad de transmisión de calor como de la velocidad de transmisión de masa. Puesto que debe evaporarse agua, hay que suministrar el calor de evaporación a la zona de evaporación que puede estar sobre la superficie o dentro del sólido, dependiendo del tipo de material y las condiciones del proceso la humedad debe fluir a través del sólido como líquido o vapor y como vapor desde la superficie del sólido hasta la corriente de aire.

1.2.5.1 Velocidad de Secado en el período antecrítico

Puesto que en este período la superficie del sólido está totalmente húmeda y cubierta por una capa líquida, la evaporación solo dependerá de la velocidad de difusión del vapor o de la transmisión de calor a través de la capa límite del aire. La superficie mojada se comporta como superficie de agua libre, por tanto:⁹

⁹ OCON GARCIA, Joaquín y TOJO BARREIRO, Gabriel. Problemas de ingeniería química. Operaciones básicas. 2 ed. Madrid, Ediciones Aguilar, 1980. v.2. pp. 262-263.

$$W_c = \frac{S}{A} \left(-\frac{dX}{d\theta} \right) \quad \text{Ec. 1.2.5.1-1}$$

A partir de la ecuación 1.4.5.1-1 se obtiene:

$$W_c = \frac{S}{A} \left(\frac{X_i - X_f}{\theta_f - \theta_i} \right) \quad \text{Ec. 1.2.5.1-2}$$

Dónde:

W_c = Velocidad del secado en el período antecrítico (kg de agua/m².h).

S = Peso del sólido seco (kg sólido seco).

A = Área de la superficie expuesta (m²).

X_i = Humedad inicial (Kg de agua/Kg de sólido seco).

X_f = Humedad crítica (Kg de agua/Kg de sólido seco).

θ_f = Tiempo final en el período antecrítico.

θ_i = Tiempo inicial en el período antecrítico.

1.2.5.2 Velocidad de secado en el período poscrítico

“Es el movimiento simultáneo de la humedad desde el interior del sólido hacia la superficie.

$$W_p = \frac{S}{A} \left(-\frac{dX}{d\theta} \right) \quad \text{Ec. 1.2.5.2-1}$$

A partir de la ecuación 1.4.5.2-1 se obtiene:

$$W_p = \frac{S}{A} \left(\frac{X_c - X_f}{\theta_{fp} - \theta_{cp}} \right) \quad \text{Ec. 1.2.5.2-2}$$

Donde

W_p = Velocidad del secado en el período poscrítico (kg de agua/m².h).

S = Peso del sólido seco (kg sólido seco).

A = Área de la superficie expuesta (m²).

X_c = Humedad crítica (Kg de agua/Kg de sólido seco).

X_f = Humedad final (Kg de agua/Kg de sólido seco).

θ_f = Tiempo final en el período poscrítico.

θ_c = Tiempo en el período crítico.

1.2.5.3 Cálculo de la velocidad total de secado

Representa la sumatoria de la velocidad constante y decreciente de secado.

$$W_T = W_C + W_D \quad \text{Ec. 1.2.5.3-1}$$

La velocidad de secado tiene aplicación en la selección de secadores rápidos y su optimización, y en el diseño de secadores. »¹⁰

1.2.6 Mecanismos de secado.

“Durante el secado tiene lugar simultáneamente una transferencia de calor hacia el sólido y una transferencia de materia (agua) desde el sólido al fluido desecante. La operación de secado en general está controlada por los dos fenómenos porque ambas resistencias, a la transferencia de calor y de materia, son significativas.

Los mecanismos por los que se transmite el calor son:

- Convección del gas a la superficie del sólido: por lo que tendremos un coeficiente de transferencia del calor h . Como el calor se transmite por la superficie el área externa tendrá importancia. En esto influye la forma y el estado de agregación del sólido.

- Conducción de la superficie al interior del sólido: que dependerá de las dimensiones del sólido y de su conductividad k .

La conductividad del sólido puede ir variando conforme avanza el secado. También es usual, especialmente en alimentos, que se produzca contracción, endurecimiento superficial o ambas cosas.

Los mecanismos de la transferencia de materia (agua) son:

- Convección de la superficie del sólido al gas. Aparecerá, por tanto, el coeficiente de transferencia por convección k_g . El resto de las consideraciones son idénticas que lo dicho para el calor.

- Difusión del vapor de agua, de las aguas líquidas o ambas del interior desde el interior de sólido. Aparecen las correspondientes difusividades.

- Transporte por capilaridad, según el alimento o sólido del que se trate.

¹⁰ MARCILLA GOMIS, A. Introducción a las operaciones de separación, Contacto Continuo. Murcia. Publicaciones de la universidad de Alicante. 1999. pp. 18.

1.2.7 Humedad Crítica.

La humedad crítica de un sólido es el punto que separa los dos períodos de secado antecrítico y poscrítico.

- **Período antecrítico:** Es el período de tiempo en el que la velocidad de secado es constante, desde la humedad inicial hasta la humedad crítica.
- **Período poscrítico:** Es el período de tiempo en el que la velocidad de secado disminuye hasta llegar a un valor de cero. Este período empieza con la humedad crítica hasta la humedad de equilibrio.”¹¹

1.2.8 Tipos de Secadores

“La operación de secado puede clasificarse en:

- **Lotes:** Es un proceso en semilotes en la que la sustancias que se van a secar se expone a una corriente de aire que fluye continuamente.
- **Continuos:** En el equipo el gas pasa continuamente en las sustancias que se van a secar.

El equipo que se utiliza para el secado se puede clasificar en:

- 1) Método de operación, o sea por lotes o continuo.

Secado por lotes.

- **Secador Directo:** Secador de Anaqueles, Secador de Camión, Secador de Circulación Transversal.
- **Secador Indirecto:** Secador de Anaqueles al Vacío, Liofilizador, Secador de Tambor.

Secado Continuo.

- Secador de túnel.
- Secador de tipo turbo (base rotatoria).

¹¹ BRITO MOINA, Hannibal Lorenzo. Texto básico de operaciones unitarias III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Riobamba-Ecuador. 2006. pp. 35-38.

- Secador de circulación transversal continua.
- Secador rotatorio.
- Secador de tambor.
- Secador por aspersión
- Lecho Fluidizado.
- Secador Neumático.

2) Método de obtención del calor necesario para la evaporación de la humedad.

Naturaleza de la sustancia que se va a secar.”¹²

1.2.9 Secador de Tipo Armario o de Anaqueles.

“El secador tipo armario, o secador de anaqueles, consiste en un gabinete, de tamaño suficientemente grande para alojar los materiales a secar, en el cual se hace correr suficiente cantidad de aire caliente y seco. En general, el aire es calentado por vapor, pero no saturado, de modo que pueda arrastrar suficiente agua para un secado eficiente.

Las bandejas pueden ser metálicas o plásticas, dependiendo del material a secar. El fondo puede ser perforado o enrejado, para permitir una buena circulación del aire y el escape del vapor. Esto permite hacer pasar el aire en forma transversal a través del producto; lo que hace que el secado sea mucho más rápido.”¹³

“Los Secadores de Anaqueles se utilizan para secar sólidos que deben sujetarse sobre platos, consta de un gabinete que contiene platos móviles sobre los cuales se colocan el sólido por secar. Una vez cargado, el gabinete se cierra y se introduce aire calentado con vapor a través y entre los platos, para evaporar la humedad. Cuando el sólido alcanza el grado de sequedad querido, el gabinete se abre y los platos se reemplazan por un nuevo lote.

Una de las dificultades más importantes en la utilización de secadores de bandejas es la no uniformidad del contenido en humedad, propia del producto terminado que se extrae de diferentes partes del secador. Esa falta de uniformidad es principalmente el resultado del movimiento inadecuado y no uniforme del aire dentro del secador.

¹² TREYBAL, Robert E. Operaciones de transferencia de masa, 2 ed. México. McGraw-Hill. pp. 729-773.

¹³ SECADOR DE BANDEJAS <http://es.scribd.com/doc/18030474/secado>

Estos pueden usar calentamiento directo o indirecto y trabajan a presión reducida. Este método de secado se emplea para materiales cuyas características esenciales podrían ser alternadas, dañadas o destruidas por exposición a condiciones atmosféricas o elevadas temperaturas, materiales que se inflaman, explotan o que son tóxicos o peligrosos, requieren vacío.

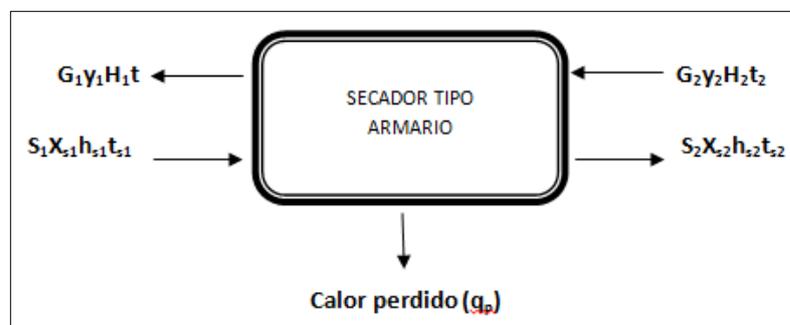
Se emplean extensamente en las industrias químicas, farmacéuticas y de alimentos.¹⁴

1.3 DISEÑO DEL SECADOR TIPO ARMARIO

1.3.1 BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

El balance de masa y energía se utiliza para determinar los flujos de entrada y salida tanto del aire como del material a tratar y las pérdidas de calor que se producen durante el proceso de secado.

“En el gráfico 1.3.1-1 se muestra el diagrama de flujo para un secador tipo armario, en el que el gas fluye a contracorriente al flujo de sólidos. El sólido entra a velocidad S (kg/h) con un contenido de humedad X_{S1} y temperatura t_{S1} y sale a X_{S2} con t_{S2} . El gas entra a velocidad G (kg/h) con humedad Y_2 y temperatura T_2 y sale a Y_1 con T_1 . Considerando las pérdidas de calor que se dan durante el proceso.”¹⁵



FUENTE: BELTRÁN T. /VELOZ S, ESPOCH, 2014

Graf. 1.3.1-1 BALANCE DE MASA Y ENERGÍA DE UN SECADOR

1.3.1.1 Balance de Masa del Secador

Mediante el balance de masa se determina los flujos de aire y sólido a la entrada y salida del secador con sus respectivos componentes parciales en este caso la humedad.

$$SX_{S1} + GY_2 = SX_{S2} + GY_1 \quad \text{Ec. 1.3.1.1-1}$$

Dónde:

S = Flujo del sólido (kg/h).

¹⁴ TREYBAL, Robert E. Operaciones de transferencia de masa, 2 ed. México. McGraw-Hill. pp. 730-732.

G = Flujo del aire (kg/h).

X_{S1} = Humedad del sólido a la entrada del secador (kg de agua/kg sólido seco).

X_{S2} = Humedad del sólido a la salida del secador (kg de agua/kg sólido seco).

Y_1 = Humedad del aire a la salida del secador (kg de agua/kg aire seco).

Y_2 = Humedad del aire a la entrada del secador (kg de agua/kg aire seco).

El balance de masa se aplica en estudios de operaciones de secado en equipos como secadores de bandejas, liofilizadores, secadores tipo túnel y secadores rotatorios.

1.3.1.2 Balance de Energía del Secador

El balance de energía permite establecer las pérdidas de calor que se producen durante el proceso de secado.

$$Sh_{S1} + GH_2 = Sh_{S2} + GH_1 + 0,1q_p \quad \text{Ec. 1.3.1.2-1}$$

Dónde:

S = Flujo del sólido (kg/h).

G = Flujo del aire (kg/h).

h_{S1} = Entalpía del sólido a la entrada del secador (kcal/kg).

h_{S2} = Entalpía del sólido a la salida del secador (kcal/kg).

H_1 = Entalpía del aire a la salida del secador (kcal/kg).

H_2 = Entalpía del aire a la entrada del secador (kcal/kg).

q_p = Cantidad de calor perdido (kg/h).

El balance de energía se aplica para establecer perdidas de calor en secadores discontinuos.

Cálculo de las entalpías del sólido: h_s

“La entalpía del sólido está constituida por la entalpía del sólido seco más la del líquido como humedad libre. Esta se calcula tanto a la entrada como a la salida.”¹⁶

$$h_s = (C_{pS} + C_{pL}X)ts \quad \text{Ec. 1.3.1.2-2}$$

Dónde:

C_{pS} = Capacidad calorífica (kcal/kg°C).

¹⁵ GEANKOPLIS, Christie. J. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. 3 ed. México, CECSA, 1998, 625 págs.

C_{pL} = Capacidad calorífica del agua (kcal/kg°C).

X = Humedad del sólido (kg de agua/kg de sólido seco).

t_s = Temperatura del Sólido (°C).

La entalpía se aplica en procesos de transferencia térmica en un sistema

Cálculo de la entalpía del Aire: H

Ésta se calcula tanto a la entrada como a la salida

$$H = (0,24 + 0,46Y)T + 597,2Y \quad \text{Ec. 1.3.1.2-3}$$

Dónde:

H= Entalpía del aire (kcal/kg).

Y= Humedad del aire (kg de agua/kg de aire seco).

T= Temperatura del aire (°C).

Las entalpías se pueden aplicar en plantas separadoras de aire.

Cálculo de la cantidad de calor perdido

Representa las pérdidas de calor durante el proceso de secado.

Las pérdidas de calor hacia el exterior se estiman en un 10% de la entalpía total a la entrada del aire.

$$0,1q_p = 0,1 \cdot H_2 \cdot G \quad \text{Ec. 1.3.1.2-4}$$

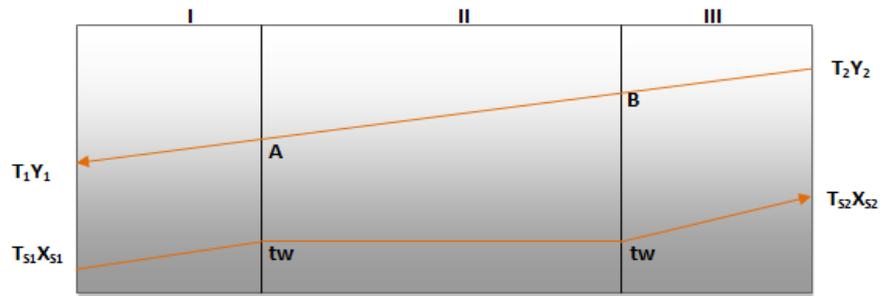
Se aplica en procesos industriales como destilación, condensación, bombas de calor, y en procesos de secado.

Determinación de las zonas de secado

Las zonas de secado permite el análisis del comportamiento de la temperatura del sólido y el aire durante el secado en la que se puede distinguir tres zonas.

“En la figura 1.6.1.2-1 se representa esquemáticamente un secador adiabático continuo con funcionamiento en contracorriente, en donde se puede observar que la temperatura del aire desciende de modo continuo desde la entrada hasta la salida del secadero, mientras que la del sólido asciende lentamente, se estabiliza en un valor constante y finalmente vuelve a ascender.

¹⁶ GEANKOPLIS, Christie. J. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. 3 ed. México, CECSA, 1998, pp. 626.



FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S., 2014

Graf. 1.3.1.2-1 ZONAS DE SECADO.

En esta figura se observan tres zonas de secado:

- **ZONA I: PRECALEFACCIÓN**, en la que los sólidos se calientan hasta la temperatura de saturación adiabática, no afectándose el secado en dicha zona
- **ZONA II: SECADO**, en la que se separa prácticamente toda la humedad del sólido, permaneciendo este a la temperatura de saturación adiabática.
- **ZONA III: RECALEFACCIÓN**, en donde vuelve a elevarse la temperatura del sólido, sin variar prácticamente su humedad.

En la **ZONA II** la temperatura del sólido se mantiene constante si recibe calor solamente del aire de secado. Esta zona constituye la zona más amplia en la mayoría de los secadores y en ella pueden estudiarse las variaciones de las condiciones del aire y el sólido.”¹⁷

Temperatura a la salida del aire de la ZONA II

Es la elevación de la temperatura del aire para calentar el sólido.

Por aplicación de un balance de energía se tiene:

$$T_A = t_1 + \frac{Scp_s}{Gcp_g}(t_w - t_{s1}) \quad \text{Ec. 1.3.1.2-5}$$

Dónde:

T_A = Temperatura de salida del aire en la zona II (°C).

t_1 = Temperatura de salida del aire (°C).

S = Flujo de sólido (kg/h).

G = Flujo de aire (kg/h).

Cp_s = Capacidad calorífica del sólido (kcal/kg°C).

Cp_g = Capacidad calorífica del aire (kcal/kg°C).

¹⁷ OCON GARCIA, Joaquín y TOJO BARREIRO, Gabriel. Problemas de ingeniería química. Operaciones básicas, 2 ed. Madrid, Ediciones Aguilar, 1980, v.2. pp. 284-285.

t_w = Temperatura húmeda ($^{\circ}\text{C}$).

t_{s1} = Temperatura de entrada del sólido ($^{\circ}\text{C}$).

q_I = Cantidad de calor perdido en la zona I.

Donde C_{ps} y C_{pg} viene dado por las siguientes expresiones:

$$C_{ps} = C_{ps} + X C_{pL} \quad \text{Ec. 1.3.1.2-6}$$

Dónde:

C_{ps} = Capacidad calorífica del sólido para la zona I ($\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}$).

C_{ps} = Capacidad calorífica inicial del sólido ($\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}$).

X = Humedad a la entrada del secador ($\text{kg de agua/kg de sólido seco}$).

C_{pL} = Capacidad calorífica del agua ($\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}$).

$$C_{pg} = 0,24 + 0,46Y \quad \text{Ec. 1.3.1.2-7}$$

Donde

C_{pg} = Capacidad calorífica del aire en la zona I ($\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}$).

Y = Humedad de salida del aire ($\text{kg de agua/kg de aire seco}$).

Temperatura de salida del aire de la zona III

Representa la temperatura húmeda del aire.

Por aplicación de un balance de energía se tiene:

$$T_B = T_2 - \frac{S C_{ps}}{G C_{pg}} (t_{s2} - t_w) \quad \text{Ec. 1.3.1.2-8}$$

Dónde:

T_B = Temperatura de salida del aire en la zona III ($^{\circ}\text{C}$).

T_2 = Temperatura de entrada del aire ($^{\circ}\text{C}$).

S = Flujo de sólido (kg/h).

G = Flujo de aire (kg/h).

C_{ps} = Capacidad calorífica del sólido ($\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}$).

C_{pg} = Capacidad calorífica del aire ($\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}$).

t_w = Temperatura húmeda ($^{\circ}\text{C}$).

t_{s2} = Temperatura de salida del sólido ($^{\circ}\text{C}$).

q_{III} = Cantidad de calor perdido en la zona III.

Donde C_{ps} y C_{pg} viene dado por las siguientes expresiones:

$$C_{ps} = C_{ps} + X C_{pL} \quad \text{Ec. 1.3.1.2-9}$$

Dónde:

Cps= Capacidad calorífica del sólido para la zona III (kcal/kg°C).

Cps= Capacidad calorífica inicial del sólido (kcal/kg°C).

X= Humedad a la salida del secador (kg de agua/kg de sólido seco).

CpL= Capacidad calorífica del agua (kcal/kg°C).

$$C_{pg} = 0,24 + 0,46Y \quad \text{Ec. 1.3.1.2-10}$$

Donde

Cpg= Capacidad calorífica del aire en la zona I (kcal/kg°C).

Y= Humedad de entrada del aire (kg de agua/kg de aire seco)

Para el cálculo de t_w se utiliza la siguiente expresión:

$$Y_2 = 0,62 \frac{P_v}{P - P_v} \quad \text{Ec. 1.3.1.2-11}$$

Dónde:

Y_2 = Humedad de entrada del aire (kg de agua/kg de aire seco).

P= Presión de la mezcla aire-agua (mmHg).

P_v = Presión de saturación del vapor de agua (mmHg).

$$P_w - P_v = 0,5 (t - t_w) \quad \text{Ec. 1.3.1.2-12}$$

Dónde:

P_w = Presión húmeda (mmHg).

P_v = Presión de saturación del vapor de agua (mmHg).

t_w = Temperatura húmeda (°C).

t= Temperatura de saturación del vapor de agua (°C).

Número de elementos de transmisión

Se calcula separadamente el número de elementos de transmisión de cada zona de acuerdo con las siguientes expresiones.

Zona II

$$NOT_{II} = \ln \frac{T_B - t_w}{T_A - t_w} \quad \text{Ec. 1.3.1.2-13}$$

Zona I

$$NOT_I = \frac{T_A - t_1}{(t_1 - t_{s1}) - (T_A - t_w)} \ln \frac{t_1 - t_{s1}}{T_A - t_w} \quad \text{Ec. 1.3.1.2-14}$$

Zona III

$$NOT_{III} = \frac{t_2 - T_B}{(T_B - t_w) - (t_2 - t_{s2})} \ln \frac{T_B - t_w}{t_2 - t_{s2}} \quad \text{Ec. 1.3.1.2-15}$$

$$NOT_T = NOT_I + NOT_{II} + NOT_{III} \quad \text{Ec. 1.3.1.2-16}$$

Dónde:

NOT= Número de elementos de transmisión en las Zonas I, II, III.

T_B= Temperatura de salida del aire en la zona III (°C).

T_A= Temperatura de salida del aire en la zona II (°C).

t₁= Temperatura de salida del sólido (°C).

t₂= Temperatura de entrada del sólido (°C).

t_w= Temperatura húmeda (°C).

t_{s1}= Temperatura de entrada del sólido (°C).

t_{s2}= Temperatura de salida del sólido (°C).

El número de elementos de transmisión se aplica para conocer las temperaturas intermedias en cada zona en el proceso de secado.

Longitud de unidad de transmisión

Para el cálculo se utiliza la siguiente expresión:

$$HOT = \frac{z_s}{NOT_T} \quad \text{Ec. 1.3.1.2-17}$$

1.3.1.3 Cálculo del rendimiento del secador

Para calcular el rendimiento del secador se utiliza la siguiente expresión

$$R = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Peso humedo}} * 100 \quad \text{Ec. 1.3.1.3-1}$$

El rendimiento de un secador se aplica para saber cuánto trabajo realizó la máquina.

1.3.1.4 Cálculo de la eficiencia del secador

Para calcular la eficiencia del secador se utiliza la siguiente expresión

$$\epsilon = \frac{q}{Q} * 100 \quad \text{Ec. 1.3.1.4-1}$$

Dónde:

ε= Eficiencia del equipo.

q= Cantidad de calor perdido.

Q= Cantidad de calor necesario para calentar el material.

La eficiencia de un secador se aplica para minimizar el consumo de energía o combustible la cual garantiza un secado uniforme y costos bajos.

Cálculo de la cantidad de calor necesario para calentar el sólido

Este tipo de calor representa el calor sensible del proceso

$$Q = mC_p\Delta T \quad \text{Ec. 1.3.1.4-2}$$

Dónde:

Q= Cantidad de calor necesario para calentar el sólido (kcal/h).

m= peso del material (kg).

C_p= capacidad calorífica del material (kcal/kg°C).

ΔT= variación de la temperatura (°C).

Se aplica en termodinámica y transferencia de calor

Cálculo del calor necesario para evaporar el agua del sólido

Este tipo de calor representa el calor latente de vaporización del proceso.

$$Q_{evap} = H_2O_{evap} \times \lambda \quad \text{Ec.1.3.1.4-3}$$

Dónde:

Q_{evap} = cantidad de calor necesario para evaporar el agua del sólido.

Se aplica en termodinámica y transferencia de calor.

Cálculo del calor total necesario para calentar el sistema

$$Q_T = Q_{evap} + Q \quad \text{Ec. 1.3.1.4-4}$$

Dónde:

Q_T= Calor total necesario.

Q_{evap} = Cantidad de calor suministrado al sistema.

Q = Cantidad de calor necesario para calentar el material.

Se aplica en termodinámica y transferencia de calor.

Cálculo de la cantidad de aire que debe proporcionar el ventilador

Es el aire que genera el ventilador para que circule dentro de la cámara de secado.

$$\delta_{aire} = \frac{m_{aire}}{V_{aire}} \quad \text{Ec. 1.3.1.4-5}$$

Dónde:

δ_{aire} = Densidad del aire (kg/m³)

m_{aire} = Masa del aire seco (kg)

V_{aire} = Cantidad de aire que debe suministrar el ventilador (m³)

Se aplica a secadores tipo armario y de bandejas, de lecho fluidizado, tipo túnel.

Cálculo del caudal del aire

Es la cantidad de aire que se requiere para el proceso de secado transcurrido un tiempo.

$$Q_{aire} = \frac{V_{aire}}{t} \quad \text{Ec. 1.3.1.4-6}$$

Dónde:

Q_{aire} = Caudal del aire (m³/h).

t = Tiempo de secado (h).

V_{aire} = Cantidad de aire que debe suministrar el ventilador (m³).

Se aplica a secadores tipo armario y de bandejas, de lecho fluidizado, tipo túnel.

Cálculo del tamaño y número de bandejas

➤ Área del plato

Es la superficie que se encuentra en la bandeja a través de la cual circula el aire para que se produzca un secado uniforme.

$$A_p = \frac{\pi}{4} D^2 \quad \text{Ec. 1.3.1.4-7}$$

Dónde

A_p = Área del plato (m²)

D = Diámetro del plato (m)

➤ **Número de platos**

Representa la cantidad de platos o agujeros que se encuentra en la superficie de la bandeja.

$$Np = \frac{L_{bandeja} \times A_{bandeja}}{A_p} \quad \text{Ec. 1.3.1.4-8}$$

Dónde

Np = Número de platos

$L_{bandeja}$ = Largo de la bandeja (m)

$A_{bandeja}$ = Ancho de la bandeja (m)

A_p = Área del plato (m²)

➤ **Número de bandejas.**

Es la cantidad de bandejas que se encuentran dentro del secador en la que se coloca el material a secar.

$$Nb = \frac{\text{Capacidad total}}{\text{Capacidad por bandeja}} \quad \text{Ec. 1.3.1.4-9}$$

Dónde

Nb = Número de bandejas

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2 PARTE EXPERIMENTAL

Para este estudio se realizaron los análisis bromatológicos en el laboratorio CESTTA del berro, espinaca y zanahoria, con el fin de conocer las características y propiedades de cada una de ellas, las cuales servirán como materia prima para la deshidratación en el secador tipo armario y posterior construcción.

2.1 MUESTREO

Para llevar a cabo el proceso de secado en el Secador tipo Armario se realizó la colecta de las muestras en diferentes mercados de la ciudad de Riobamba como son: Mercado de Productores Mayoristas, Mercado la Condamine y Mercado Santa Rosa.

Para la toma de las muestras se consideró ciertas características organolépticas como textura, olor, color, sabor.

El muestreo se efectuó por un método simple con frecuencia de una vez por día por cada muestra, por un lapso de tres días con un total de tres ensayos

2.2 METODOLOGÍA

2.2.1 MÉTODOS Y TÉCNICAS

2.2.1.1 MÉTODOS

En este proyecto se utilizaron métodos inductivos y deductivos para determinar variables de operación, que permiten el funcionamiento a una temperatura adecuada en un tiempo determinado con un porcentaje de humedad necesario para el almacenamiento y conservación, guardando el valor nutritivo del berro, espinaca y zanahoria, y así operar de una manera más eficiente.

➤ INDUCTIVO

Este método parte desde lo simple a lo más complejo, a partir del muestreo en los diferentes mercados de la ciudad de Riobamba considerando características organolépticas como color, olor, sabor, textura; y su posterior secado se obtuvo diferentes variables de proceso tales como humedad, velocidad y tiempo de secado a una temperatura óptima que nos permita conservar los nutrientes que presentan las muestras, las cuales arrojaron datos y mediante cálculos de ingeniería se procedió al correcto dimensionamiento y construcción del secador tipo armario, y su validación.

➤ **DEDUCTIVO**

Este método parte de lo complejo a lo más simple, en base al diseño y construcción del secador tipo armario a través de la validación y de su correcto dimensionamiento permitió adquirir variables de proceso y cálculos de ingeniería, los cuales ayudaran a establecer las condiciones adecuadas de secado de las muestras que se recolectaron en los diferentes mercados de la ciudad de Riobamba.

➤ **DESCRIPTIVO**

Son las pruebas de laboratorio tales como determinación de humedad, grasa, ceniza, fibra, proteína, que se utilizaron para realizar ciertos análisis de las verduras y cálculos para el dimensionamiento del equipo.

2.2.1.2 TÉCNICAS

La utilización de análisis bromatológicos y variables de procesos.

2.2.1.2.1 TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE VERDURAS

2.2.1.2.1.1 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD (Técnica AOAC 925.10).

**TABLA 2.2.1.2.1.1-1.
DETERMINACIÓN DE HUMEDAD.**

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
La humedad se usa para describir la cantidad de agua que tienen los materiales o sustancias. Debido a que la mayoría de los materiales sólidos están constituidos de materia seca y agua.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza analítica. ➤ Capsulas de porcelana. ➤ Desecador. ➤ Estufa desecadora de aire caliente. ➤ Pinza de capsula. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tarar la capsula. ➤ Pesar la capsula vacía tarada. ➤ Pesar 5g. de muestra en la capsula. ➤ Ingresar a la estufa la capsula con la muestra a 105 °C ± 3 °C por un lapso de 2 a 3 horas. ➤ Enfriar en el desecador hasta temperatura ambiente. ➤ Pesar la capsula enfriada. 	$\%H = \frac{M_1 - M_2}{M_2}$ <p>Dónde: %H: Humedad. M₁: Peso de la capsula más muestra fresca. M₂: Peso de la capsula más muestra seca.</p>

FUENTE: Determinación de humedad: <https://www.cenam.mx/sm2010/info/pviernes/sm2010-vp01b.pdf>

2.2.1.2.1.2 DETERMINACIÓN DE GRASA (Técnica AOAC 920.85).

**TABLA 2.2.1.2.1.2-1.
DETERMINACIÓN DE GRASA.**

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Las grasas son compuestos orgánicos formados por carbono, oxígeno e hidrógeno y forman el grupo más grande de aporte energético en nuestra alimentación. Las grasas o lípidos pueden presentarse en forma sólida o líquida.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Equipo Soxhlet. ➤ Reverbero. ➤ Hexano. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pesar 20g. de muestra seca. ➤ Empaquetar la muestra en papel filtro. ➤ Armar el equipo Soxhlet ➤ Colocar la muestra empaquetada en el interior del equipo Soxhlet. ➤ Colocar el hexano. ➤ Iniciar la extracción con el encendido de la fuente de calor, durante ocho horas. ➤ Desarmar el equipo. ➤ Evaporar el solvente a sequedad ➤ Pesar la grasa extraída. ➤ Hacer el cálculo del porcentaje de grasa. 	$\%EE = \frac{W_3 - W_2}{W_1} * 100$ <p>Dónde:</p> <p>%EE: Extracto Etéreo.</p> <p>W₁: Peso de la muestra analizada.</p> <p>W₂: Peso del balón.</p> <p>W₃: Peso del balón más grasa.</p>

FUENTE: Determinación de grasa: <http://carbohidratos.net/grasas-en-alimentacion>

2.2.1.2.1.3 DETERMINACIÓN DE CENIZAS (Técnica AOAC 923.03).

**TABLA 2.2.1.2.1.3-1.
DETERMINACIÓN DE CENIZAS.**

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>La ceniza es el producto resultante de la incineración de la muestra de alimentos mediante procedimientos normalizados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza analítica. ➤ Mufla eléctrica. ➤ Crisoles de porcelana. ➤ Desecador. ➤ Espátula. ➤ Pinza de crisol. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tarar el crisol. ➤ Pesar 2 g. de muestra. ➤ Colocar la muestra en el crisol tarado. ➤ Quemar la muestra hasta carbón, que salga humo. ➤ Ingresar a la mufla a 550°C. ➤ Dejar hasta que se observe cenizas blancas. Es aconsejable dejar secar y añadir una gota de agua destilada y remover. ➤ Evaporar en el reverbero y llevar a la mufla durante 4 horas hasta obtener cenizas blancas. ➤ Sacar y llevar al desecador por 30 minutos. ➤ Dejar en la mufla hasta que se observe cenizas libres de residuo carbonoso. ➤ Pesar el crisol. 	$\%C = \frac{M_2 - M}{M_1 - M} * 100$ <p>Dónde: %C: Porcentaje de Cenizas. M: Peso del crisol vacío. M₁: Peso del crisol más la muestra húmeda. M₂: Peso del crisol más las cenizas.</p>

FUENTE: Determinación de cenizas: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0544.1981.pdf>

2.2.1.2.1.4 DETERMINACIÓN DE FIBRA (Norma INEN 542).

TABLA 2.2.1.2.1.4-1
DETERMINACIÓN DE FIBRA.

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CALCULOS
<p>La fibra representa la porción no digerible de los alimentos, constituida por celulosa, hemicelulosa y lignina.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza analítica. ➤ Estufa (130° ±3°C). ➤ Desecador. ➤ Matraz Erlenmeyer. ➤ Crisol de Gooch. ➤ Papel filtro. ➤ Filtro de succión. ➤ Aparato de digestión. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pesar el papel solo. ➤ Pesar 2g. de muestra desengrasada más el papel. ➤ Colocar en el matraz Erlenmeyer. ➤ Someter a digestión acida, agregar 200 cm³ de H₂SO₄ 0,255 N. ➤ Dejar hervir durante 30 minutos. ➤ Someter a digestión básica la muestra resistente al acido, agregar NaOH 0,313 N y unas gotas antiespumante. ➤ Dejar hervir por 30 minutos. ➤ Filtrar con el crisol Gooch (lo filtrado descartamos). ➤ Llevar a secar en el crisol la muestra resistente a digestión acida y básica, a la estufa a 105 °C hasta peso constante. ➤ Llevar a la mufla a 550 °C, para hacer ceniza. ➤ Calcular el porcentaje de fibra. 	$\%F = \frac{W_3 - W_4}{W_2 - W_1} * 100$ <p>Dónde:</p> <p>%F: Porcentaje de fibra</p> <p>W₁: Peso del papel solo.</p> <p>W₂: Peso del papel más muestra desengrasada.</p> <p>W₃: Peso del crisol más muestra seca.</p> <p>W₄: Peso del crisol más cenizas</p>

FUENTE: Determinación de fibra: <http://qfbalimentoslaboratory.blogspot.com/2008/11/determinacion-de-fibra-cruda.html>

2.2.1.2.1.5 DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA (Técnica AOAC 984.13A).

TABLA 2.2.1.2.1.5-1.

DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA.

PRINCIPIO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
La proteína está constituida por grupos de amino de los aminoácidos; por este motivo el contenido de proteína se calcula a partir del contenido de nitrógeno de los alimentos.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza analítica. ➤ Digestor y destilador microkjeldhal. ➤ Balón Kjeldhal de 50 ml. ➤ Erlenmeyer de 250 ml. ➤ Bureta. Reactivos <ul style="list-style-type: none"> ➤ Ácido sulfúrico. ➤ Ácido clorhídrico 0.02 N. ➤ Hidróxido de sodio 40% ➤ Ácido bórico 2% ➤ Rojo de metilo 0.1% ➤ Verde de bromocresol al 0.2% en alcohol de 95%. ➤ Mezcla catalizadora: 800 g. de sulfato de potasio, 50 g. de sulfato cúprico pentahidratado y 50 g. de dióxido de selenio. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pesar 40 mg de muestra ➤ Colocar en el balón de Kjeldhal ➤ Añadir 1,5 g. de K₂SO₄; 40 mg de HgO y 3 mL de H₂SO₄. ➤ Colocar el balón en el digestor. ➤ Calentar hasta observar un líquido transparente. ➤ Enfriar el balón, agregar 4 mL de agua destilada. ➤ Verter lo anterior en el balón de destilación, añadiendo 4 mL de agua destilada. ➤ Cerrar la llave y añadir 8 mL de NaOH al 40% 2 mL de tiosulfato de sodio al 5% ➤ Recoger el destilado previamente con ácido bórico 4% y gotas de indicador mixto rojo de metilo y bromocresol. ➤ Destilar. ➤ Con 15 ml de destilado, titular con HCl 0.02N. ➤ Calcular el porcentaje de proteína 	$\%N = \frac{(V_1 - V_2) * N * 14 * 100}{m * 10}$ <p>Dónde: %N: Porcentaje de nitrógeno. V₁: Volumen de ácido consumido en la titulación. V₂: Volumen de ácido en la titulación de un blanco. m: Peso de la muestra. N: Normalidad del ácido.</p> $\%P = \%N * F$ <p>Dónde: %P: Porcentaje de proteína. %N: Porcentaje de nitrógeno. F: Factor para transformar el nitrógeno en proteína, que es específico para cada alimento.</p>

FUENTE: Determinación de proteína: <http://www.webs.ulpgc.es/nutranim/tema3.htm>

2.3 DATOS EXPERIMENTALES.

2.3.1 DIAGNÓSTICO

Los abastecimientos de las materias primas utilizadas para el presente estudio tienen un tiempo de vida en los mercados visitados tales como: La Condamine, Santa Rosa, Mercado de Productores Mayoristas de Riobamba; es aproximadamente dos semanas para el caso de la zanahoria, mientras para la espinaca cinco días y el berro de dos a tres días, considerando que pasado este lapso de tiempo pierden su frescura.

Los ensayos realizados proporcionan datos como peso, tiempo y velocidad de secado con pequeñas muestras expuestas a diferentes temperaturas con el fin de determinar la más óptima durante el proceso de secado.

La línea de equipos siguientes al proceso de secado tales como molienda, extracción y mezclado tiene como finalidad obtener una crema de protección solar.

2.3.2 DATOS

2.3.2.1 DATOS EXPERIMENTALES PARA EL SECADOR DE BANDEJAS

2.3.2.1.1 DATOS EXPERIMENTALES PARA EL SECADO DE BERRO

**TABLA 2.3.2.1.1-1
TIEMPO Y PESO PARA LAS CURVAS DE SECADO DE BERRO EN EL
SECADOR DE BANDEJAS**

Tiempo (horas)	P. muestra Kg	
	Hojas Enteras	Tallos y Hojas
0	0,0265	0,0314
0,083	0,0173	0,0212
0,167	0,0141	0,0179
0,250	0,0119	0,0147
0,333	0,0096	0,0131
0,417	0,0067	0,01
0,500	0,0051	0,0089
0,583	0,0047	0,0062
0,667	0,0042	0,0059
0,750	0,0036	0,0054
0,833	0,0036	0,0054

FUENTE: BELTRAN T. / VELOZ S., LABORATORIO PROCESOS INDUSTRIALES, ESPOCH, 2014

2.3.2.1.2 DATOS EXPERIMENTALES PARA EL SECADO DE ESPINACA

**TABLA 2.3.2.1.2-1
TIEMPO Y PESO PARA LAS CURVAS DE SECADO DE ESPINACA EN EL
SECADOR DE BANDEJAS**

Tiempo (horas)	P. muestra Kg	
	Hojas Enteras	Hojas Cortadas
0	0,1092	0,1129
0,083	0,1033	0,104
0,167	0,0978	0,0992
0,250	0,0978	0,0957
0,333	0,0933	0,0917
0,417	0,0884	0,0885
0,500	0,0854	0,0831
0,583	0,0809	0,0788
0,667	0,0751	0,074
0,750	0,0713	0,0717
0,833	0,0666	0,0666
0,917	0,0643	0,0641
1,000	0,0609	0,06
1,083	0,0568	0,0569
1,167	0,0537	0,0531
1,250	0,0514	0,0498
1,333	0,0492	0,0466
1,417	0,0481	0,0447
1,500	0,045	0,041
1,583	0,0431	0,0404
1,667	0,0409	0,0373
1,750	0,0392	0,0347
1,833	0,0374	0,0325
1,917	0,0358	0,0312
2,000	0,0341	0,0289
2,083	0,0334	0,0272
2,167	0,0312	0,0265
2,250	0,0295	0,0258
2,333	0,0291	0,0241
2,417	0,0274	0,0231
2,500	0,0261	0,022
2,583	0,0251	0,021
2,667	0,0241	0,0204
2,750		0,0204

FUENTE: BELTRAN T. / VELOZ S., LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES, ESPOCH, 2014

2.3.2.1.3 DATOS EXPERIMENTALES PARA EL SECADO DE ZANAHORIA

TABLA 2.3.2.1.3-1
TIEMPO Y PESO PARA LAS CURVAS DE SECADO DE ZANAHORIA EN EL
SECADOR DE BANDEJAS

Tiempo (horas)	P. Muestra (kg)			
	Cuadrados	Tiras Finas	Rodajas Finas	Rodajas Gruesas
0,000	0,479	0,4843	0,6575	1,340
0,167	0,447	0,4493	0,6065	1,302
0,333	0,406	0,4073	0,5515	1,261
0,500	0,367	0,3752	0,5068	1,222
0,667	0,326	0,3402	0,4677	1,196
0,833	0,299	0,3106	0,4194	1,140
1,000	0,270	0,2744	0,3839	1,107
1,167	0,241	0,2583	0,3471	1,070
1,333	0,212	0,2339	0,3125	1,033
1,500	0,189	0,2116	0,2819	1,000
1,667	0,164	0,1829	0,2428	0,951
1,833	0,141	0,1694	0,2233	0,922
2,000	0,124	0,1503	0,1959	0,882
2,167	0,110	0,1361	0,1765	0,849
2,333	0,100	0,1238	0,1617	0,821
2,500	0,091	0,1142	0,1473	0,791
2,667	0,084	0,1042	0,1366	0,758
2,833	0,077	0,0962	0,1252	0,733
3,083	0,073	0,0887	0,1163	0,714
3,333	0,069	0,0838	0,1115	0,692
3,583	0,067	0,0789	0,1052	0,669
3,833	0,065	0,0765	0,1032	0,646
4,083	0,064	0,0694	0,0964	0,630
4,333	0,0614	0,0694	0,0936	0,597
4,583	0,0614		0,0892	0,578
4,833			0,0873	0,561
5,167			0,0861	0,538
5,500			0,0852	0,5265
5,750			0,0852	

FUENTE: BELTRAN T. / VELOZ S., LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES, ESPOCH, 2014

2.3.2.2 DATOS EXPERIMENTALES DEL SECADOR TIPO ARMARIO

2.3.2.2.1 DATOS EXPERIMENTALES PARA EL SECADO DE BERRO.

TABLA 2.3.2.2.1-1

TIEMPO Y PESO PARA LAS CURVAS DE SECADO DE BERRO EN EL SECADOR TIPO ARMARIO

Tiempo (horas)	P. muestra Kg		
	50 °C	55 °C	60 °C
0	0,0194	0,0178	0,0184
0,083	0,0179	0,0146	0,0137
0,167	0,0144	0,013	0,0094
0,250	0,0121	0,0108	0,0082
0,333	0,01	0,0086	0,0045
0,417	0,0081	0,0074	0,003
0,500	0,0069	0,0058	0,0023
0,583	0,0058	0,0046	0,0021
0,667	0,0044	0,0031	0,0021
0,750	0,0028	0,0028	
0,833	0,0014	0,0028	
0,917	0,0013		
1,000	0,0013		

FUENTE: BELTRAN T. / VELOZ S., LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES, ESPOCH, 2014

2.3.2.2.2 DATOS EXPERIMENTALES PARA EL SECADO DE ESPINACA

TABLA 2.3.2.2.2-1

TIEMPO Y PESO PARA LAS CURVAS DE SECADO DE ESPINACA EN EL SECADOR TIPO ARMARIO

Tiempo (horas)	P. muestra Kg		
	50 °C	55 °C	60 °C
0	0,0818	0,0606	0,0549
0,167	0,0773	0,0522	0,0474
0,333	0,0732	0,0463	0,0414
0,500	0,0707	0,0420	0,0376
0,667	0,0681	0,0374	0,0327
0,833	0,0635	0,0337	0,0292
1,000	0,0614	0,0297	0,0258
1,167	0,0572	0,0269	0,0248
1,333	0,0515	0,0225	0,0227
1,500	0,0473	0,0199	0,0191
1,667	0,0429	0,0180	0,0168
1,833	0,0371	0,0168	0,0153
2,000	0,0326	0,0148	0,0136
2,167	0,0294	0,0136	0,0121
2,333	0,0273	0,0130	0,0109

2,500	0,0243	0,0116	0,0101
2,667	0,0222	0,0098	0,0094
2,833	0,0191	0,0090	0,0087
3,000	0,0188	0,0084	0,0081
3,167	0,0173	0,0078	0,0081
3,333	0,0169	0,0078	
3,500	0,0155		
3,667	0,0150		
3,833	0,0135		
4,000	0,0132		
4,167	0,0127		
4,333	0,0127		

FUENTE: BELTRAN T. / VELOZ S., LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES, ESPOCH, 2014

2.3.2.2.3 DATOS EXPERIMENTALES PARA EL SECADO DE ZANAHORIA.

TABLA 2.3.2.2.3-1

TIEMPO Y PESO PARA LAS CURVAS DE SECADO DE ZANAHORIA EN EL SECADOR TIPO ARMARIO

Tiempo (horas)	P. Muestra (kg)		
	50 °C	55 °C	60 °C
0,000	0,450	0,589	0,265
0,167	0,439	0,559	0,252
0,333	0,432	0,539	0,235
0,500	0,422	0,525	0,221
0,667	0,411	0,515	0,210
0,833	0,400	0,497	0,200
1,000	0,392	0,485	0,190
1,167	0,381	0,469	0,181
1,333	0,369	0,454	0,172
1,500	0,364	0,437	0,160
1,667	0,358	0,417	0,150
1,833	0,349	0,402	0,142
2,000	0,339	0,388	0,134
2,167	0,333	0,375	0,126
2,333	0,325	0,368	0,116
2,500	0,317	0,357	0,107
2,667	0,311	0,348	0,101
2,833	0,302	0,338	0,092
3,000	0,295	0,332	0,087
3,167	0,287	0,327	0,079
3,333	0,278	0,318	0,073
3,500	0,271	0,316	0,067
3,667	0,265	0,315	0,064
3,833	0,257	0,312	0,062

4,000	0,248	0,311	0,060
4,167	0,238	0,311	0,058
4,333	0,229		0,057
4,500	0,221		0,057
4,667	0,212		
4,833	0,204		
5,000	0,191		
5,167	0,178		
5,333	0,169		
5,500	0,160		
5,667	0,149		
5,833	0,139		
6,000	0,131		
6,167	0,127		
6,333	0,125		
6,500	0,125		

FUENTE: BELTRAN T. / VELOZ S., LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES, ESPOCH, 2014

2.3.2.3 DATOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR TIPO ARMARIO.

**TABLA 2.3.2.3-1
DATOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR TIPO ARMARIO**

PARAMETRO	UNIDADES	SECADOR DE BANDEJAS	SECADOR TIPO ARMARIO
Temperatura del aire de operación; T	°C	20	20
Caudal del solido húmedo; Gs	Kg/h	0,479	0,589
Peso del solido seco; s	Kg/h	0,0164	0,311
Humedad del solido a la entrada; x_1	Kg/kg	0,872	0,892
Humedad del solido a la salida; x_2	Kg/kg	0,036	0,005
Humedad del aire a la entrada; Y_2	Kg/kg	0,009	0,0133
Temperatura del solido a la entrada; T_{s1}	°C	20	20
Temperatura del solido a la salida; T_{s2}	°C	53	49
Temperatura del aire a la entrada; T_2	°C	60	55
Temperatura del aire a la salida; T_1	°C	57	53
Humedad del aire a la salida; Y_1	Kg/kg	0,007	0,0107
Área de transferencia; A_T	m ²	0,192	0,157
Largo de la bandeja	m	0,40	0,502
Ancho de la bandeja	m	0,48	0,312

Humedad critica berro	Kg/kg	1,264	2,464
Humedad de equilibrio berro	Kg/kg	0,236	0,375
Humedad critica espinaca	Kg/kg	0,904	2,167
Humedad de equilibrio espinaca	Kg/kg	0,054	0,115
Humedad critica zanahoria	Kg/kg	1,871	0,270
Humedad de equilibrio zanahoria	Kg/kg	0,081	0,009

FUENTE: BELTRAN T. / VELOZ S, LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES, ESPOCH, 2014

2.4 DATOS ADICIONALES

TABLA 2.4-1
DATOS ADICIONALES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR
TIPO ARMARIO.

PARAMETRO	UNIDADES	VALOR
Presión atmosférica de Riobamba; P	MmHg	543,32
Temperatura Ambiente; T _{amb}	°C	20
Capacidad calorífica del Berro; Cps	kcal/kg°C	0,936
Capacidad calorífica de la Espinaca; Cps	kcal/kg°C	0,947
Capacidad calorífica de la Zanahoria; Cps	kcal/kg°C	0,925
Capacidad Calorífica del agua; Cps	kcal/kg°C	1
Humedad relativa	%	65

FUENTE: BELTRAN T. / VELOZ S, LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES, ESPOCH, 2014

CAPÍTULO III

CÁLCULOS Y RESULTADOS

3 DISEÑO

3.1 CÁLCULOS

3.1.1 CÁLCULOS DE LA HUMEDAD

Empleando las ecuaciones 1.2.1-1 y 1.2.1-2 se determina la humedad en base seca y en base húmeda con los datos experimentales de la tabla 2.3.2.2.3-1 de tiempo y peso para las curvas de velocidad de secado de la zanahoria en el secador tipo armario

$$X_{BS} = \frac{\text{Masa de Agua}}{\text{Masa de sólido seco}} = \frac{\text{Kg. agua}}{\text{Kg. sólido seco}}$$

$$X_{BS} = \frac{0,589 - 0,311}{0,311}$$

$$X_{BS} = 0,892 \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg sólido seco}}$$

$$X_{BH} = \frac{\text{Masa de Agua}}{\text{Masa de sólido humedo}} = \frac{\text{Kg. agua}}{\text{Kg. sólido humedo}}$$

$$X_{BH} = \frac{0,589 - 0,311}{0,589}$$

$$X_{BH} = 0,471 \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg sólido humedo}}$$

3.1.2 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE SECADO DEL SECADOR TIPO ARMARIO

Una vez determinada la humedad seca empleando la ecuación 1.2.2-1 se tiene la velocidad de secado, tomando en cuenta los datos de peso de la muestra (S) de la tabla 2.3.2.2.3-1 y el área de la bandeja (A) es de 0,157 m²:

$$W = \frac{S}{A} \left(- \frac{dX}{d\theta} \right)$$

$$W = \frac{S}{A} \left(- \frac{X_2 - X_1}{\theta_2 - \theta_1} \right)$$

$$W = \frac{S}{A} \left(- \frac{0,892 - 0,797}{0 - 0,167} \right)$$

$$W = \frac{0,311}{0,157} - \left(\frac{0,095}{-0,167} \right)$$

$$W = 1,135 \text{ Kg/m}^2\text{h}$$

Además de ello se calcula la velocidad de secado en tiempo antecrítico y poscrítico.

Aplicando la ecuación 1.2.5.1-1 calculamos la velocidad antecrítico con los datos obtenidos de la tabla 3.2.3.3-1 y con un análisis del gráfico 3.2.3.3-2 se tiene:

$$W_c = \frac{S}{A} \left(\frac{X_i - X_f}{\theta_f - \theta_i} \right)$$

$$W_c = \frac{0,311}{0,157} \left(\frac{0,797 - 0,294}{1,83 - 0,167} \right)$$

$$W_c = 0,599 \text{ kg/m}^2\text{h}$$

Empleando la ecuación 1.2.5.2-2 calculamos la velocidad poscrítico con los datos obtenidos de la tabla 3.2.3.3-1 y con un análisis del gráfico 3.2.3.3-2 se tiene:

$$W_p = \frac{S}{A} \left(\frac{X_c - X_f}{\theta_f - \theta_c} \right)$$

$$W_p = \frac{0,311}{0,157} \left(\frac{0,270 - 0,005}{3,667 - 2,000} \right)$$

$$W_p = 0,286 \text{ kg/hm}^2$$

3.1.3 CÁLCULO DEL TIEMPO DE SECADO EN EL SECADOR TIPO ARMARIO

De acuerdo a los ensayos realizados se escoge la muestra más óptima para los cálculos según su temperatura y transcurso de tiempo de secado:

Empleando la ecuación 1.2.4-2 se tiene el tiempo de secado en el período antecrítico con los datos obtenidos de la tabla 3.2.3.3-1 y con un análisis del gráfico 3.2.3.3-2 se tiene:

$$\theta_a = \frac{S}{A} \left(\frac{X_i - X_c}{W_c} \right)$$

$$\theta_a = \frac{0,311}{0,157} \left(\frac{0,797 - 0,270}{0,598} \right)$$

$$\theta_a = 1,746 \text{ h}$$

Empleando la ecuación 1.2.4-3 por el método gráfico se tiene el tiempo de secado poscrítico previo la obtención del área bajo la curva representada en el gráfico 3.2.3.3-3:

$$\theta_p = \frac{S}{A} \int_{X_f}^{X_c} \frac{dX}{d\theta}$$

$$\theta_p = \frac{0,311}{0,157} (0,981)$$

$$\theta_p = 1,94 \text{ h}$$

Empleando la ecuación 1.2.4-5 calculamos el tiempo total se secado:

$$\theta_T = \theta_a + \theta_p$$

$$\theta_T = 1,746 + 1,94$$

$$\theta_T = 4,18 \text{ h}$$

3.1.4 BALANCE DE MASA Y ENERGÍA PARA EL SECADOR TIPO ARMARIO.



3.1.4.1 BALANCE DE MASA EN EL SECADOR TIPO ARMARIO.

Aplicando la ecuación 1.3.1.1-1 se tiene:

$$SX_{S1} + GY_2 = SX_{S2} + GY_1$$

$$30(0,892) + G(0,0133) = 30(0,005) + GY_1$$

$$26,76 + 0,0133G = 0,15 + GY_1$$

$$26,61 = GY_1 - 0,0133G \quad \text{Ec. 3.1.4.1-1}$$

3.1.4.2 BALANCE DE ENERGÍA EN EL SECADOR TIPO ARMARIO.

3.1.4.2.1 CÁLCULO DE LAS CAPACIDADES CALORÍFICAS DE LAS MUESTRAS

Con la ayuda de los análisis bromatológicos de la tabla 3.2.1-1 y la aplicación de la fórmula calculamos las capacidades caloríficas del berro, espinaca y zanahoria.

$$C_p = 4,187(X_{\text{Humedad}}) + 1,549(X_{\text{Proteína}}) + 1,675(X_{\text{Grasa}}) + 1,424(X_{\text{ELN}}) + 0,836(X_{\text{Ceniza}})$$

➤ **Berro.**

$$C_p = 4,187(0,9160) + 1,547(0,0312) + 1,672(0,0092) + 1,420(0,0029) + 0,836(0,0176)$$

$$C_p = 3,918 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$$

$$C_p = 0,936 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

➤ **Espinaca.**

$$C_p = 4,187(0,9262) + 1,547(0,0334) + 1,672(0,0105) + 1,420(0,0005) + 0,836(0,0208)$$

$$C_p = 3,965 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$$

$$C_p = 0,947 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

➤ **Zanahoria.**

$$C_p = 4,187(0,8967) + 1,547(0,0157) + 1,672(0,0038) + 1,420(0,00615) + 0,836(0,0082)$$

$$C_p = 3,879 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$$

$$C_p = 0,925 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

3.1.4.2.2 CÁLCULO DE LAS ENTALPÍAS DEL SÓLIDO

Aplicando la ecuación 1.3.1.2-2. con los datos de capacidad calorífica del sólido y del líquido, humedad y temperatura de la tabla 2.3.2.3-1 de datos experimentales y la tabla 2.4-1 de datos adicionales se tiene:

➤ **Entrada**

$$h_{s1} = (C_{ps} + C_{pL}X_1)ts_1$$

$$hs_1 = ((0,925 + 1(0,892))20$$

$$hs_1 = 36,34 \text{ kcal/kg}$$

➤ Salida.

$$hs_2 = (Cp_s + CpLX_2)ts_2$$

$$hs_2 = ((0,925 + 1(0,005))49$$

$$hs_2 = 45,57 \text{ kcal/kg}$$

3.1.4.2.3 CÁLCULO DE LAS ENTALPÍAS DEL AIRE.

Aplicando la ecuación 1.3.1.2-3 con datos experimentales de humedad y temperatura de la tabla 2.3.3-1 se tiene:

➤ Entrada

$$H_2 = (0,24 + 0,46Y_2)T_2 + 597,2Y_2$$

$$H_2 = (0,24 + 0,46(0,0133))55 + 597,2(0,0133)$$

$$H_2 = 21,479 \text{ kcal/kg}$$

➤ Salida

$$H_1 = (0,24 + 0,46Y_1)T_1 + 597,2Y_1$$

$$H_1 = (0,24 + 0,46Y_1)53 + 597,2Y_1$$

$$H_1 = 12,72 + 24,38Y_1 + 597,2Y_1$$

$$H_1 = 12,72 + 621,58Y_1 \quad \text{Ec.3.1.4.2.3-1}$$

Para calcular la cantidad de aire necesario y su humedad de salida se aplica un balance de masa y energía considerando en práctica un 10% de pérdidas de calor a la entrada del aire al sistema, considerando esto se tiene:

$$qp = 0,1H_2G$$

$$qp = 0,1(21,479)G \quad \text{Ec. 3.1.4.2.3-2}$$

Aplicando la ecuación 1.3.1.2-1 del balance de energía con los datos antes obtenidos se tiene:

$$Sh_{S1} + GH_2 = Sh_{S2} + GH_1 + 0,1q_p$$

$$30(36,34) + G(21,479) = 30(45,57) + G(12,72 + 621,58Y_1) + 2,1479G$$

$$1090,2 + 21,479G = 1367,1 + 12,72G + 621,58GY_1 + 2,1479G$$

$$6,611G - 621,58GY_1 = 276,9$$

$$G(6,611 - 621,58Y_1) = 276,9$$

$$G = \frac{276,9}{6,611 - 621,58Y_1} \quad \text{Ec. 3.1.4.2.3-3}$$

Reemplazando la ecuación 3.1.4.1-1 en la ecuación 3.1.4.2.3-3 se tiene.

$$26,61 = \frac{276,9Y_1}{6,611 - 621,58Y_1} - \frac{3,68}{6,611 - 621,58Y_1}$$

$$26,61 = \frac{276,9Y_1 - 3,68}{6,611 - 621,58Y_1}$$

$$175,92 - 16540,24Y_1 = 276,9Y_1 - 3,68$$

$$179,6 = 16817,14Y_1$$

$$Y_1 = 0,0107 \text{ kg de agua/kg aire seco}$$

Obtenido el valor de la humedad de salida del aire Y_1 se reemplaza en la ecuación 3.1.4.2.3-3 y se obtiene

$$G = \frac{276,9}{6,611 - 621,58Y_1}$$

$$G = \frac{276,9}{6,611 - 621,58(0,0107)}$$

$$G = 6938,81 \text{ kg/h}$$

Obtenido los valores de la cantidad de aire y su humedad se reemplaza en la ecuación 3.1.4.2.3-2 calor perdido y la ecuación 3.1.4.2.3-1 de entalpía de salida del aire

$$H_1 = 12,72 + 621,58Y_1$$

$$H_1 = 12,72 + 621,58(0,0107)$$

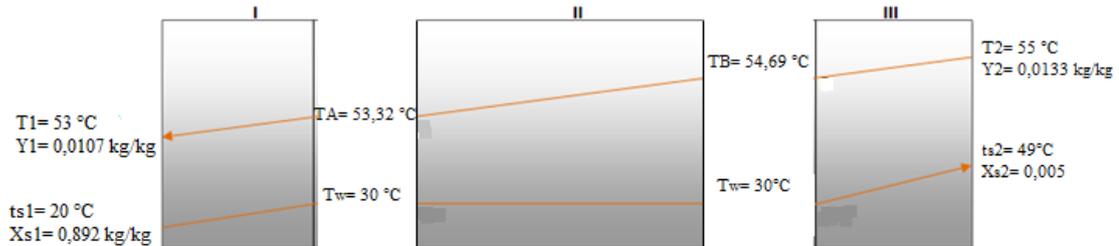
$$H_1 = 19,37 \text{ kcal/kg}$$

$$q_p = 0,1(21,479)G$$

$$Q_p = 0,1(21,479)(6938,81)$$

$$Q_p = 14903,87 \text{ kcal}$$

3.1.5 CÁLCULO DEL NÚMERO DE ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN.



Aplicando la ecuación 1.3.1.2-11 se determina la presión de vapor de agua

$$Y_2 = 0,62 \frac{P_v}{P - P_v}$$

$$0,0133 = 0,62 \frac{P_v}{543,32 - P_v}$$

$$7,226 - 0,0133P_v = 0,62P_v$$

$$7,226 = 0,633 P_v$$

$$P_v = 11,41$$

A partir de la ecuación 1.3.1.2-12 se obtiene la temperatura húmeda mediante tanteo.

$$P_w - P_v = 0,5 (t - t_w)$$

$$22,75 - 11,41 = 0,5(55 - 30)$$

$$11,34 = 12,5$$

Se determina T_B por aplicación de un balance de energía en la zona III, de acuerdo a la ecuación 1.3.1.2-8, se parte de los valores de capacidades caloríficas para el aire y el sólido de la tabla 2.4-1:

Se determina la capacidad calorífica aplicando la ecuación 1.3.1.2-9.

$$C_{ps2} = C_{ps} + C_{pL}(X_2)$$

$$C_{ps2} = 0,925 + 1(0,005)$$

$$C_{ps2} = 0,93 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

De igual forma para la capacidad calorífica del aire mediante la ecuación 1.3.1.2-10 se tiene.

$$C_{pG2} = 0,24 + 0,46Y_2$$

$$C_{pG2} = 0,24 + 0,46(0,0133)$$

$$C_{pG2} = 0,246 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

Reemplazando se tiene:

$$T_B = T_2 - \frac{SCp_s}{GCp_g} (t_{s2} - t_w)$$

$$T_B = 60 - \frac{30(0,93)}{6938,81(0,246)} (49 - 30)$$

$$T_B = 54,69$$

Se determina T_A por aplicación de un balance de energía en la zona I de acuerdo a la ecuación 1.3.1.2-5, se parte de los valores de capacidades caloríficas para el aire y el sólido de la tabla 2.4-1:

Se determina la capacidad calorífica aplicando la ecuación 1.3.1.2-6.

$$C_{pS1} = C_{pS} + C_{pL}(X_2)$$

$$C_{pS1} = 0,925 + 1(0,892)$$

$$C_{pS1} = 1,817 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

De igual forma para la capacidad calorífica del aire mediante la ecuación 1.3.1.2-7 se tiene.

$$C_{pG1} = 0,24 + 0,46Y_2$$

$$C_{pG1} = 0,24 + 0,46(0,0107)$$

$$C_{pG1} = 0,245 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

Reemplazando se tiene:

$$T_A = T_1 + \frac{SCp_s}{GCp_g} (t_w - t_{s1})$$

$$T_A = 53 + \frac{30(1,817)}{6938,81(0,245)} (30 - 20)$$

$$T_A = 53 + 0,32$$

$$T_A = 53,32$$

A partir de la ecuación 1.3.1.2-13 se tiene:

$$NOT_{II} = \ln \frac{T_B - t_w}{T_A - t_w}$$

$$NOT_{II} = \ln \frac{54,69 - 30}{53,32 - 30}$$

$$NOT_{II} = 0,057$$

A partir de la ecuación 1.3.1.2-14 se tiene:

$$NOT_I = \frac{T_A - T_1}{(T_1 - t_{s1}) - (T_A - t_w)} \ln \frac{T_1 - t_{s1}}{T_A - t_w}$$

$$NOT_I = \frac{53,32 - 53}{(53 - 20) - (53,32 - 30)} \ln \frac{53 - 20}{53,32 - 30}$$

$$NOT_I = 0,011$$

A partir de la ecuación 1.3.1.2-15 se tiene:

$$NOT_{III} = \frac{T_2 - T_B}{(T_B - t_w) - (T_2 - t_{s2})} \ln \frac{T_B - t_w}{T_2 - t_{s2}}$$

$$NOT_{III} = \frac{55 - 54,69}{(54,69 - 30) - (55 - 49)} \ln \frac{54,69 - 30}{55 - 49}$$

$$NOT_{III} = 0,023$$

A partir de la ecuación 1.3.1.2-16 tenemos:

$$NOT_T = NOT_I + NOT_{II} + NOT_{III}$$

$$NOT_T = 0,057 + 0,011 + 0,023$$

$$NOT_T = 0,091$$

3.1.6 CÁLCULO DE LA LONGITUD DE UNIDAD DE TRANSMISIÓN.

A partir de la ecuación 1.3.1.2-17 se tiene:

$$HOT = \frac{Z}{NOT}$$

$$HOT = \frac{0,005}{0,091}$$

$$HOT = 0,055$$

3.1.7 CÁLCULO DEL RENDIMIENTO EN EL SECADOR TIPO ARMARIO.

A partir de la ecuación 1.3.1.3-1 se tiene:

$$R = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Peso húmedo}} \times 100$$

$$R = \frac{0,311}{0,589} \times 100$$

$$R = 52,80\%$$

3.1.8 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL SECADOR TIPO ARMARIO.

3.1.8.1 CÁLCULO DEL CALOR NECESARIO PARA CALENTAR EL SÓLIDO EN EL SECADOR TIPO ARMARIO

A partir de la ecuación 1.3.1.4-2 se tiene:

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$Q = (30)(0,925)(49-20)$$

$$Q = 804,75 \text{ kcal/h}$$

3.1.8.2 CÁLCULO DEL CALOR NECESARIO PARA EVAPORAR EL AGUA DEL SÓLIDO.

Se calcula la cantidad de agua evaporada presente en el sólido

$$X_{s_1}(S) = 0,892 (30) = 26,76$$

$$X_{s_2}(S) = 0,005 (30) = 0,15$$

$$\text{Agua evaporada} = 26,76 - 0,15$$

$$\text{Agua evaporada} = 26,61 \text{ kg/h}$$

Para encontrar el valor de (λ) a 49 °C se obtiene interpolando los valores en el ANEXO IX. Y a partir de la ecuación 1.3.1.4-3 se tiene:

$$Q_{evap} = H_2O_{evap} * \lambda$$

$$Q = (26,61)(569,66)$$

$$Q = 15158,65 \text{ kcal/h}$$

Cálculo del calor total necesario para calentar el sistema

A partir de la ecuación 1.3.1.4-4 se tiene:

$$Q_T = Q_{evap} + Q$$

$$Q_T = 15158,65 + 804,75$$

$$Q_T = 15963,4 \text{ kcal/h}$$

Reemplazando el calor perdido y el calor total necesario para calentar el sistema en la ecuación 1.3.1.4-1 se tiene:

$$\epsilon = \frac{q}{Q_T} * 100$$

$$\epsilon = \frac{14903,87}{15963,4} \times 100$$

$$\epsilon = 93,36\%$$

Cantidad de energía eléctrica necesaria

$$15963,4 \text{ kcal} \times \frac{1000 \text{ cal}}{1 \text{ kcal}} \times \frac{1,163 \times 10^{-6} \text{ kw/h}}{1 \text{ cal}} = 1,82 \text{ kw/h}$$

Cálculo de la cantidad de aire que debe proporcionar el ventilador

A partir de la ecuación 1.3.1.4-5 se tiene:

El valor de la densidad del aire a 20 °C en el anexo IX.

$$\delta_{aire} = 1,213 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{aire} = \frac{m_{aire}}{\delta_{aire}}$$

$$V_{aire} = \frac{6938,81}{1,213}$$

$$V_{aire} = 5720,37 \text{ m}^3$$

Cálculo del caudal del aire

A partir de la ecuación 1.3.1.4-6 se tiene:

$$Q_{aire} = \frac{V_{aire}}{t}$$

$$Q_{aire} = \frac{5720,37}{3,83}$$

$$Q_{aire} = 5737,34 \text{ m}^3/h$$

Cálculo del tamaño y número de bandejas

➤ Área del plato

A partir de la ecuación 1.3.1.4-7 se tiene:

$$A_p = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$A_p = \frac{\pi}{4} (0,141)^2$$

$$A_p = 0,0157 \text{ m}^2$$

➤ Número de platos

A partir de la ecuación 1.3.1.4-8 se tiene:

$$Np = \frac{L_{bandeja} \times A_{bandeja}}{A_p}$$

$$Np = \frac{0,502 \times 0,312}{0,0157}$$

$$Np = 9,97$$

De esto restamos el 15 % que ocupa los agujeros quedando 8,47 platos por bandeja. Y multiplicamos por el peso de la muestra en la bandeja que es de 0,589 resultando 4,99 kg por bandeja.

➤ Número de bandejas.

A partir de la ecuación 1.3.1.4-9 se tiene:

$$Nb = \frac{\text{Capacidad total}}{\text{Capacidad por bandeja}}$$

$$Nb = \frac{30}{4,99}$$

$$Nb = 6 \text{ bandejas}$$

3.2 RESULTADOS

3.2.1 ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS.

TABLA 3.2.1-1
ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS DE LAS MUESTRAS FRESCAS

	Unidad	Berro	Espinaca	Zanahoria
Humedad	%	91,60	92,62	89,67
Grasa	%	0,92	1,05	0,38
Cenizas	%	1,76	2,08	0,82
Fibra	%	2,31	0,86	1,41
Proteína	%	3,12	3,34	1,57

FUENTE: LABCESTTA, 2014, DATOS COMPLETOS ANEXOS I, II, III.

TABLA 3.2.1-2
ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS DE LAS MUESTRAS SECAS

	Unidad	Berro	Espinaca	Zanahoria
Humedad	%	10,90	7,92	0,90
Grasa	%	1,23	1,40	0,51
Cenizas	%	4,15	4,90	1,93
Fibra	%	10,82	4,03	6,60
Proteína	%	11,69	12,52	5,89

FUENTE: LABCESTTA, 2014, DATOS COMPLETOS ANEXOS IV, V, VI.

3.2.2 RESULTADOS DEL SECADOR DE BANDEJAS.

Para establecer las curvas de humedad, velocidad y tiempo de secado a 60 °C en la zanahoria y 50 °C en el berro y espinaca, se utilizan los siguientes datos tabulados obtenidos en el laboratorio a fin de optimizar su funcionamiento.

3.2.2.1 RESULTADOS DEL SECADOR DE BANDEJAS PARA EL BERRO

TABLA 3.2.2.1-1
RESULTADO DE PRUEBAS DE SECADO DE HOJAS DE BERRO A 50 °C EN EL SECADOR DE BANDEJAS

Tiempo (horas)	P. muestra Kg	X bs Kg/Kg	X bh Kg/Kg	\bar{X}	dx	$\Delta\theta$	W (kg/hm ²)
		$= \frac{P_1 - P_2}{P_2}$	$= \frac{P_1 - P_2}{P_1}$	$= \frac{X_1 + X_2}{2}$	$= X_1 - X_2$	$= t_1 - t_2$	$= \frac{S}{A} \left(- \frac{dX}{\Delta\theta} \right)$
0	0,0265	6,3611	0,8642				
0,083	0,0173	3,8056	0,5170	5,0833	2,5556	-0,083	0,5750
0,167	0,0141	2,9167	0,3962	3,3611	0,8889	-0,083	0,2000

0,250	0,0119	2,3056	0,3132	2,6111	0,6111	-0,083	0,1375
0,333	0,0096	1,6667	0,2264	1,9861	0,6389	-0,083	0,1437
0,417	0,0067	0,8611	0,1170	1,2639	0,8056	-0,083	0,1813
0,500	0,0051	0,4167	0,0566	0,6389	0,4444	-0,083	0,1000
0,583	0,0047	0,3056	0,0415	0,3611	0,1111	-0,083	0,0250
0,667	0,0042	0,1667	0,0226	0,2361	0,1389	-0,083	0,0313

FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

TABLA 3.2.2.1-2

RESULTADO DE PRUEBAS DE SECADO DE TALLOS Y HOJAS DE BERRO

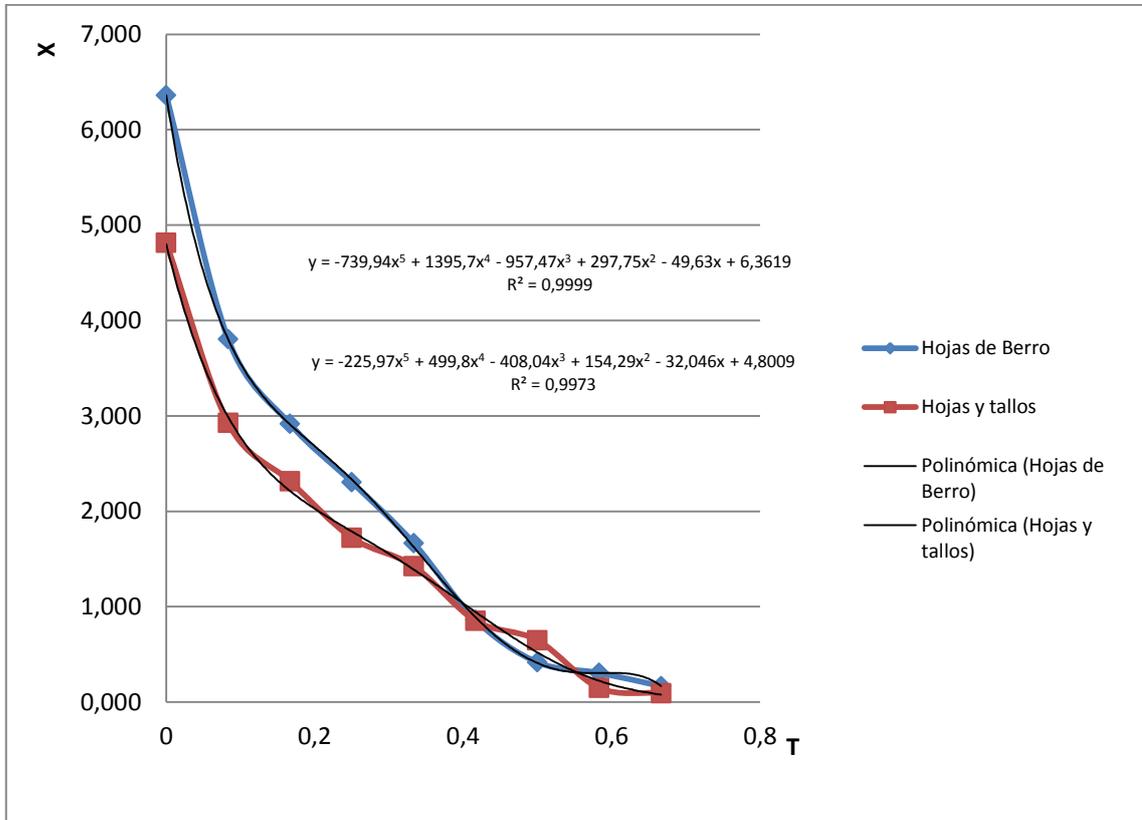
A 50 °C EN EL SECADOR DE BANDEJAS

Tiempo (horas)	P. muestra Kg	X bs Kg/Kg	X bh Kg/Kg	\bar{X}	dx	$\Delta\theta$	W (kg/hm²)
0	0,0314	4,8148	0,8280				
0,083	0,0212	2,9259	0,5032	3,8704	1,8889	-0,0833	0,6375
0,167	0,0179	2,3148	0,3981	2,6204	0,6111	-0,0833	0,2063
0,250	0,0147	1,7222	0,2962	2,0185	0,5926	-0,0833	0,2000
0,333	0,0131	1,4259	0,2452	1,5741	0,2963	-0,0833	0,1000
0,417	0,01	0,8519	0,1465	1,1389	0,5741	-0,0833	0,1937
0,500	0,0089	0,6481	0,1115	0,7500	0,2037	-0,0833	0,0688
0,583	0,0062	0,1481	0,0255	0,3981	0,5000	-0,0833	0,1687
0,667	0,0059	0,0926	0,0159	0,1204	0,0556	-0,0833	0,0188

FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

Gráfico 3.2.2.1-1

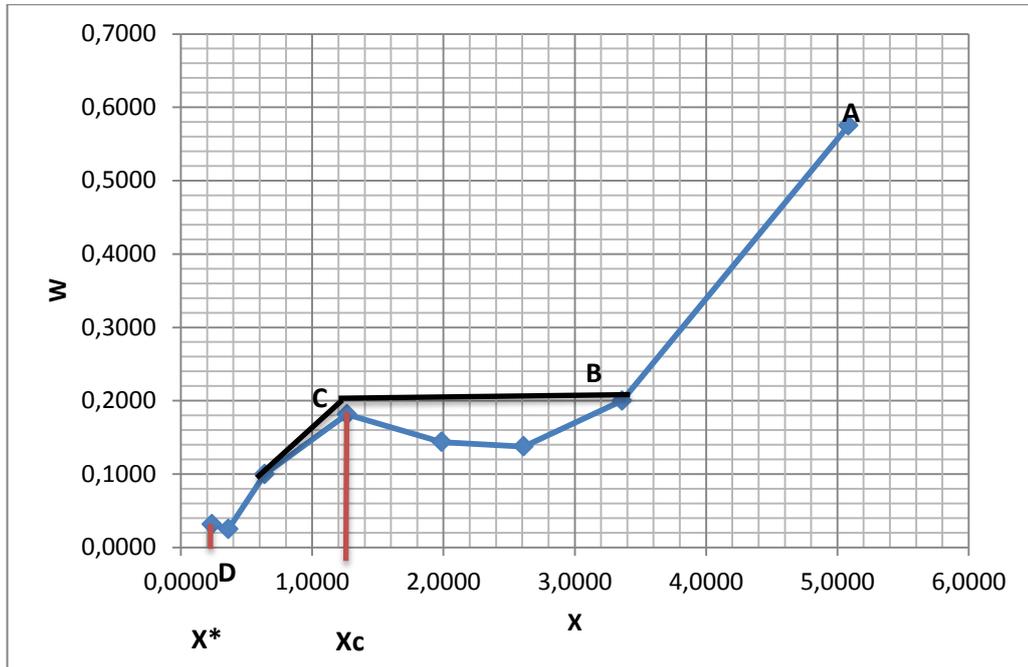
CURVA DE HUMEDAD DEL BERRO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO EN EL SECADOR DE BANDEJAS



FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

Se puede observar en esta gráfica que el tiempo de secado para las dos muestras es el mismo a diferencia en la pérdida de la humedad, presentándose las hojas una disminución uniforme de la humedad mientras que en los tallos y hojas presenta un comportamiento diferente, considerándose así la muestra de hojas para los análisis y cálculos correspondientes.

Gráfico 3.2.2.1-2
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE HOJAS DE BERRO EN EL SECADOR DE BANDEJAS



FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

Mediante este gráfico se verifica el transcurso de la velocidad de secado y se determina la humedad de equilibrio y la humedad crítica.

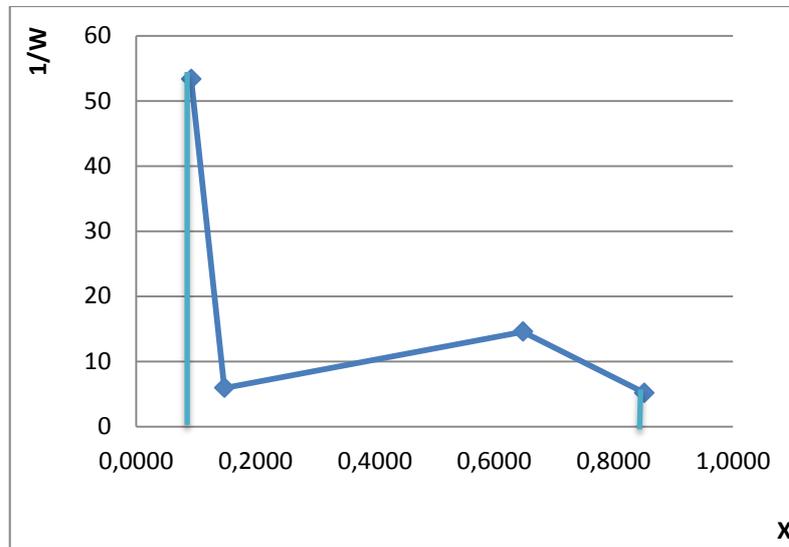
TABLA 3.2.2.1-3
DATOS PARA GRAFICAR 1/W EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE BERRO EN EL SECADOR DE BANDEJAS

X bs	1/W (m²°C/kg)
0,8611	5,5172
0,4167	10
0,3056	40
0,1667	32

FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

Gráfico 3.2.2.1-3

CURVA DE 1/W EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE BERRO EN EL SECADOR DE BANDEJAS



FUENTE: BELTRAN T. VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

Mediante este gráfico se obtiene el tiempo poscrítico mediante el método gráfico, estableciendo el área bajo la curva.

3.2.2.2 RESULTADOS DEL SECADOR DE BANDEJAS PARA LA ESPINACA

TABLA 3.2.2.2-1

RESULTADO DE PRUEBAS DE SECADO DE HOJAS ENTERAS DE ESPINACA A 50 °C EN EL SECADOR DE BANDEJAS

Tiempo (horas)	P. muestra Kg	X bs Kg/Kg	X bh Kg/Kg	\bar{X}	dx	$\Delta\theta$	W (kg/hm ²)
0	0,1092	3,5311	0,7793				
0,083	0,1033	3,2863	0,7253	3,4087	0,2448	-0,0833	0,3688
0,167	0,0978	3,0581	0,6749	3,1722	0,2282	-0,0833	0,3438
0,250	0,0978	3,0581	0,6749	3,0581	0,0000	-0,0833	0,0000
0,333	0,0933	2,8714	0,6337	2,9647	0,1867	-0,0833	0,2813
0,417	0,0884	2,6680	0,5888	2,7697	0,2033	-0,0833	0,3062
0,500	0,0854	2,5436	0,5614	2,6058	0,1245	-0,0833	0,1875
0,583	0,0809	2,3568	0,5201	2,4502	0,1867	-0,0833	0,2813
0,667	0,0751	2,1162	0,4670	2,2365	0,2407	-0,0833	0,3625
0,750	0,0713	1,9585	0,4322	2,0373	0,1577	-0,0833	0,2375
0,833	0,0666	1,7635	0,3892	1,8610	0,1950	-0,0833	0,2937
0,917	0,0643	1,6680	0,3681	1,7158	0,0954	-0,0833	0,1438
1,000	0,0609	1,5270	0,3370	1,5975	0,1411	-0,0833	0,2125
1,083	0,0568	1,3568	0,2995	1,4419	0,1701	-0,0833	0,2563
1,167	0,0537	1,2282	0,2711	1,2925	0,1286	-0,0833	0,1937

1,250	0,0514	1,1328	0,2500	1,1805	0,0954	-0,0833	0,1437
1,333	0,0492	1,0415	0,2299	1,0871	0,0913	-0,0833	0,1375
1,417	0,0481	0,9959	0,2198	1,0187	0,0456	-0,0833	0,0687
1,500	0,045	0,8672	0,1914	0,9315	0,1286	-0,0833	0,1938
1,583	0,0431	0,7884	0,1740	0,8278	0,0788	-0,0833	0,1187
1,667	0,0409	0,6971	0,1538	0,7427	0,0913	-0,0833	0,1375
1,750	0,0392	0,6266	0,1383	0,6618	0,0705	-0,0833	0,1063
1,833	0,0374	0,5519	0,1218	0,5892	0,0747	-0,0833	0,1125
1,917	0,0358	0,4855	0,1071	0,5187	0,0664	-0,0833	0,1000
2,000	0,0341	0,4149	0,0916	0,4502	0,0705	-0,0833	0,1062
2,083	0,0334	0,3859	0,0852	0,4004	0,0290	-0,0833	0,0438
2,167	0,0312	0,2946	0,0650	0,3402	0,0913	-0,0833	0,1375
2,250	0,0295	0,2241	0,0495	0,2593	0,0705	-0,0833	0,1063
2,333	0,0291	0,2075	0,0458	0,2158	0,0166	-0,0833	0,0250
2,417	0,0274	0,1369	0,0302	0,1722	0,0705	-0,0833	0,1063
2,500	0,0261	0,0830	0,0183	0,1100	0,0539	-0,0833	0,0812
2,583	0,0251	0,0415	0,0092	0,0622	0,0415	-0,0833	0,0625

FUENTE: BELTRAN T. VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

TABLA 3.2.2.2-2
RESULTADO DE PRUEBAS DE SECADO DE HOJAS CORTADAS DE
ESPINACA A 50 °C EN EL SECADOR DE BANDEJAS

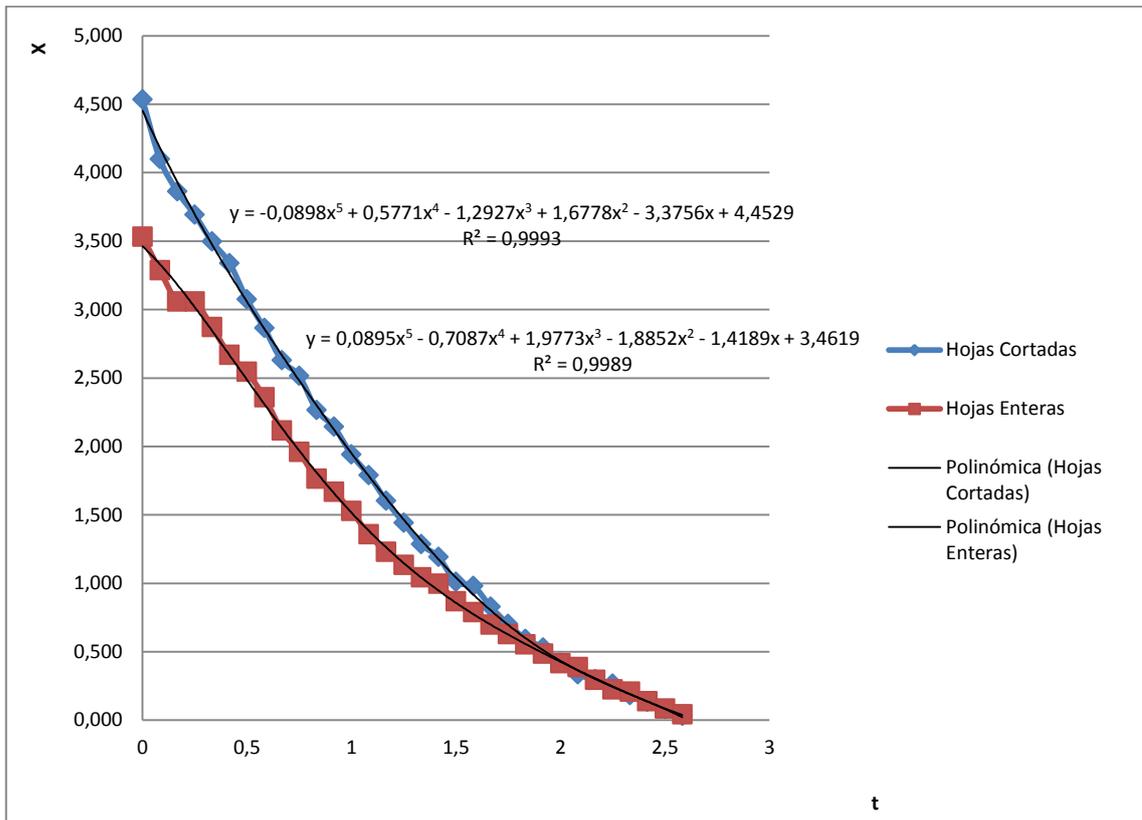
Tiempo (horas)	P. muestra Kg	X bs Kg/Kg	X bh Kg/Kg	\bar{X}	dx	$\Delta\theta$	W (kg/hm²)
0	0,1129	4,5343	0,8193				
0,083	0,104	4,0980	0,7405	4,3162	0,4363	-0,0833	0,5562
0,167	0,0992	3,8627	0,6980	3,9804	0,2353	-0,0833	0,3000
0,250	0,0957	3,6912	0,6670	3,7770	0,1716	-0,0833	0,2188
0,333	0,0917	3,4951	0,6315	3,5931	0,1961	-0,0833	0,2500
0,417	0,0885	3,3382	0,6032	3,4167	0,1569	-0,0833	0,2000
0,500	0,0831	3,0735	0,5554	3,2059	0,2647	-0,0833	0,3375
0,583	0,0788	2,8627	0,5173	2,9681	0,2108	-0,0833	0,2687
0,667	0,074	2,6275	0,4748	2,7451	0,2353	-0,0833	0,3000
0,750	0,0717	2,5147	0,4544	2,5711	0,1127	-0,0833	0,1438
0,833	0,0666	2,2647	0,4092	2,3897	0,2500	-0,0833	0,3187
0,917	0,0641	2,1422	0,3871	2,2034	0,1225	-0,0833	0,1563
1,000	0,06	1,9412	0,3508	2,0417	0,2010	-0,0833	0,2562
1,083	0,0569	1,7892	0,3233	1,8652	0,1520	-0,0833	0,1938
1,167	0,0531	1,6029	0,2896	1,6961	0,1863	-0,0833	0,2375
1,250	0,0498	1,4412	0,2604	1,5221	0,1618	-0,0833	0,2062
1,333	0,0466	1,2843	0,2321	1,3627	0,1569	-0,0833	0,2000
1,417	0,0447	1,1912	0,2152	1,2377	0,0931	-0,0833	0,1188
1,500	0,041	1,0098	0,1825	1,1005	0,1814	-0,0833	0,2312
1,583	0,0404	0,9804	0,1771	0,9951	0,0294	-0,0833	0,0375
1,667	0,0373	0,8284	0,1497	0,9044	0,1520	-0,0833	0,1937

1,750	0,0347	0,7010	0,1267	0,7647	0,1275	-0,0833	0,1625
1,833	0,0325	0,5931	0,1072	0,6471	0,1078	-0,0833	0,1375
1,917	0,0312	0,5294	0,0957	0,5613	0,0637	-0,0833	0,0813
2,000	0,0289	0,4167	0,0753	0,4730	0,1127	-0,0833	0,1437
2,083	0,0272	0,3333	0,0602	0,3750	0,0833	-0,0833	0,1063
2,167	0,0265	0,2990	0,0540	0,3162	0,0343	-0,0833	0,0437
2,250	0,0258	0,2647	0,0478	0,2819	0,0343	-0,0833	0,0438
2,333	0,0241	0,1814	0,0328	0,2230	0,0833	-0,0833	0,1063
2,417	0,0231	0,1324	0,0239	0,1569	0,0490	-0,0833	0,0625
2,500	0,022	0,0784	0,0142	0,1054	0,0539	-0,0833	0,0687
2,583	0,021	0,0294	0,0053	0,0539	0,0490	-0,0833	0,0625

FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

Gráfico 3.2.2.2-1

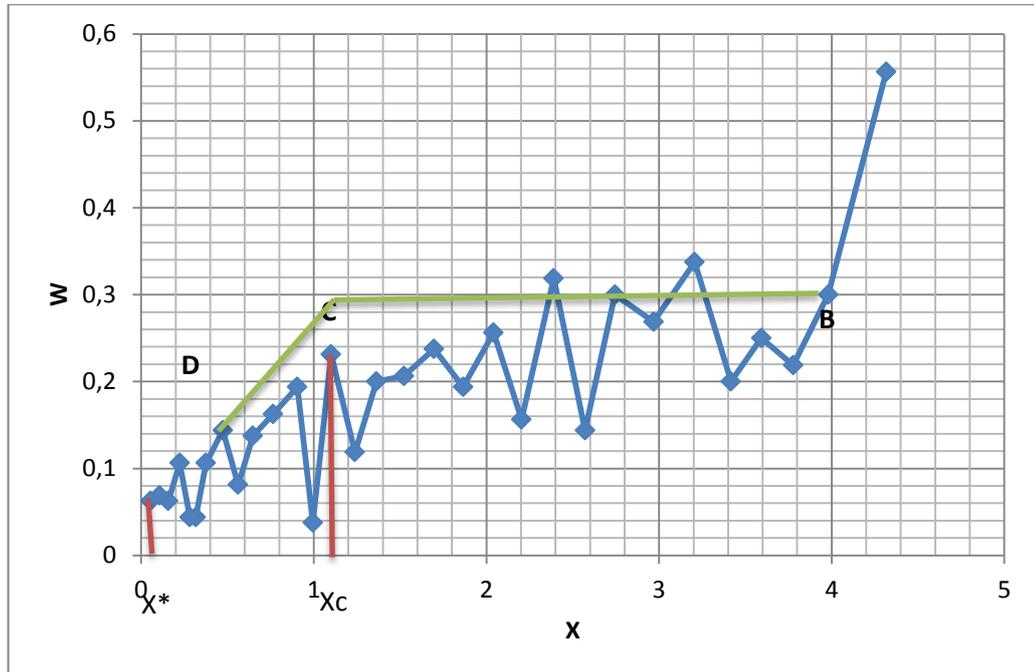
CURVA DE HUMEDAD DE ESPINACA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO EN EL SECADOR DE BANDEJAS



FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

En esta gráfica se observa que el tiempo de secado para las dos muestras es el mismo a diferencia en la pérdida de la humedad, en las hojas cortadas el secado se hace más uniforme y permite que se seque toda la superficie, en cambio en las hojas enteras presentan un secado con gotas adheridas, por lo que para análisis y cálculos se tomó en consideración la muestra de hojas cortadas

Gráfico 3.2.2.2-2
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE
HOJAS CORTADAS DE ESPINACA EN EL SECADOR DE BANDEJAS



FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

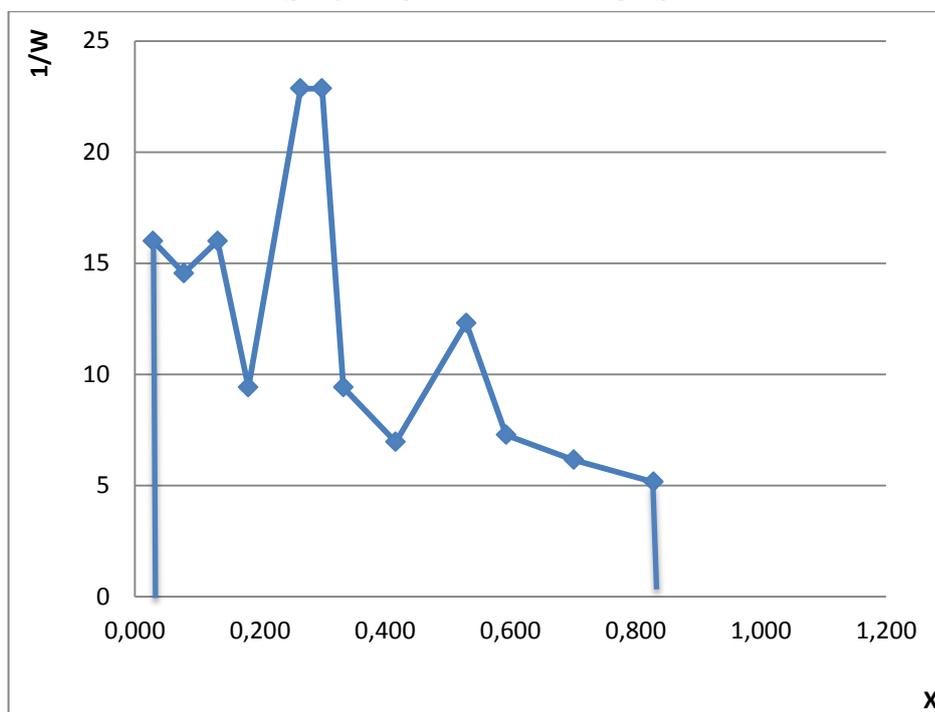
Mediante este gráfico se verifica el transcurso de la velocidad de secado y se determina la humedad de equilibrio y la humedad crítica.

TABLA 3.2.2.2-3
DATOS PARA GRAFICAR 1/W EN FUNCIÓN DE HUMEDAD DE ESPINACA
EN EL SECADOR DE BANDEJAS

X bs	1/W (m²°C/kg)
1,0098	4,3243
0,9803	26,6666
0,8284	5,1612
0,7009	6,1538
0,5931	7,2727
0,5294	12,3076
0,4166	6,9565
0,3333	9,4117
0,2990	22,8571
0,2647	22,8571
0,1813	9,4117
0,1323	16
0,0784	14,5454
0,0294	16

FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

Gráfico 3.2.2.2-3
CURVA DE 1/W EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE ESPINACA EN EL
SECADOR DE BANDEJAS



FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

Mediante este gráfico se obtiene el tiempo poscrítico mediante el método gráfico, estableciendo el área bajo la curva.

3.2.2.3 RESULTADOS DEL SECADOR DE BANDEJAS PARA LA ZANAHORIA

TABLA 3.2.2.3-1
RESULTADO DE PRUEBAS DE SECADO DE CUADRADOS DE ZANAHORIA
A 60 °C EN EL SECADOR DE BANDEJAS

Tiempo (horas)	P. Muestra (kg)	X bs (kg/kg)	X bh (Kg/Kg)	\bar{X}	dx	$\Delta\theta$	W (kg/hm ²)
0,000	0,479	6,805	0,872				
0,167	0,447	6,274	0,804	6,539	0,531	-0,167	1,019
0,333	0,406	5,604	0,718	5,939	0,669	-0,167	1,284
0,500	0,367	4,980	0,638	5,292	0,624	-0,167	1,197
0,667	0,326	4,316	0,553	4,648	0,664	-0,167	1,275
0,833	0,299	3,876	0,497	4,096	0,440	-0,167	0,844
1,000	0,270	3,396	0,435	3,636	0,480	-0,167	0,922
1,167	0,241	2,927	0,375	3,161	0,469	-0,167	0,900
1,333	0,212	2,454	0,315	2,691	0,472	-0,167	0,906

1,500	0,189	2,080	0,267	2,267	0,375	-0,167	0,719
1,667	0,164	1,663	0,213	1,871	0,417	-0,167	0,800
1,833	0,141	1,303	0,167	1,483	0,360	-0,167	0,691
2,000	0,124	1,011	0,130	1,157	0,292	-0,167	0,559
2,167	0,110	0,783	0,100	0,897	0,228	-0,167	0,438
2,333	0,100	0,622	0,080	0,703	0,161	-0,167	0,309
2,500	0,091	0,484	0,062	0,553	0,138	-0,167	0,266
2,667	0,084	0,365	0,047	0,424	0,119	-0,167	0,228
2,833	0,077	0,246	0,032	0,305	0,119	-0,167	0,228
3,083	0,073	0,184	0,024	0,215	0,062	-0,250	0,079
3,333	0,069	0,129	0,016	0,156	0,055	-0,250	0,071
3,583	0,067	0,098	0,013	0,113	0,031	-0,250	0,040
3,833	0,065	0,065	0,008	0,081	0,033	-0,250	0,0417
4,083	0,064	0,036	0,005	0,050	0,029	-0,250	0,037

FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

TABLA 3.2.2.3-2
RESULTADO DE PRUEBAS DE SECADO DE TIRAS FINAS DE ZANAHORIA
A 60 °C EN EL SECADOR DE BANDEJAS

Tiempo (horas)	P. muestra kg	X bs Kg/Kg	X bh Kg/Kg	\bar{X}	dx	$\Delta\theta$	W (kg/hm ²)
0,00	0,4843	5,9784	0,8567				
0,17	0,4493	5,4741	0,7844	5,7262	0,5043	-0,17	1,0938
0,33	0,4073	4,8689	0,6977	5,1715	0,6052	-0,17	1,3125
0,50	0,3752	4,4063	0,6314	4,6376	0,4625	-0,17	1,0031
0,67	0,3402	3,9020	0,5592	4,1542	0,5043	-0,17	1,0938
0,83	0,3106	3,4755	0,4980	3,6888	0,4265	-0,17	0,9250
1,00	0,2744	2,9539	0,4233	3,2147	0,5216	-0,17	1,1312
1,17	0,2583	2,7219	0,3900	2,8379	0,2320	-0,17	0,5031
1,33	0,2339	2,3703	0,3397	2,5461	0,3516	-0,17	0,7625
1,50	0,2116	2,0490	0,2936	2,2097	0,3213	-0,17	0,6969
1,67	0,1829	1,6354	0,2344	1,8422	0,4135	-0,17	0,8969
1,83	0,1694	1,4409	0,2065	1,5382	0,1945	-0,17	0,4219
2,00	0,1503	1,1657	0,1670	1,3033	0,2752	-0,17	0,5969
2,17	0,1361	0,9611	0,1377	1,0634	0,2046	-0,17	0,4438
2,33	0,1238	0,7839	0,1123	0,8725	0,1772	-0,17	0,3844
2,50	0,1142	0,6455	0,0925	0,7147	0,1383	-0,17	0,3000
2,67	0,1042	0,5014	0,0719	0,5735	0,1441	-0,17	0,3125
2,83	0,0962	0,3862	0,0553	0,4438	0,1153	-0,25	0,1667
3,08	0,0887	0,2781	0,0399	0,3321	0,1081	-0,25	0,1563
3,33	0,0838	0,2075	0,0297	0,2428	0,0706	-0,25	0,1021
3,58	0,0789	0,1369	0,0196	0,1722	0,0706	-0,25	0,1021
3,83	0,0765	0,1023	0,0147	0,1196	0,0346	-0,25	0,0500
4,08	0,0694	0,0000	0,0000	0,0512	0,1023	-0,25	0,1479

FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

TABLA 3.2.2.3-3
RESULTADO DE PRUEBAS DE SECADO DE RODAJAS FINAS DE
ZANAHORIA A 60 °C EN EL SECADOR DE BANDEJAS

Tiempo (horas)	P. muestra Kg	X bs Kg/Kg	X bh Kg/Kg	X	dx	Δθ	W (kg/hm²)
0,000	0,6575	6,7171	0,8704				
0,167	0,6065	6,1185	0,7929	6,4178	0,5986	-0,167	1,5938
0,333	0,5515	5,4730	0,7092	5,7958	0,6455	-0,167	1,7188
0,500	0,5068	4,9484	0,6412	5,2107	0,5246	-0,167	1,3969
0,667	0,4677	4,4894	0,5817	4,7189	0,4589	-0,167	1,2219
0,833	0,4194	3,9225	0,5083	4,2060	0,5669	-0,167	1,5094
1,000	0,3839	3,5059	0,4543	3,7142	0,4167	-0,167	1,1094
1,167	0,3471	3,0739	0,3983	3,2899	0,4319	-0,167	1,1500
1,333	0,3125	2,6678	0,3457	2,8709	0,4061	-0,167	1,0813
1,500	0,2819	2,3087	0,2992	2,4883	0,3592	-0,167	0,9562
1,667	0,2428	1,8498	0,2397	2,0792	0,4589	-0,167	1,2219
1,833	0,2233	1,6209	0,2100	1,7353	0,2289	-0,167	0,6094
2,000	0,1959	1,2993	0,1684	1,4601	0,3216	-0,167	0,8562
2,167	0,1765	1,0716	0,1389	1,1854	0,2277	-0,167	0,6063
2,333	0,1617	0,8979	0,1163	0,9847	0,1737	-0,167	0,4625
2,500	0,1473	0,7289	0,0944	0,8134	0,1690	-0,167	0,4500
2,667	0,1366	0,6033	0,0782	0,6661	0,1256	-0,167	0,3344
2,833	0,1252	0,4695	0,0608	0,5364	0,1338	-0,167	0,3563
3,083	0,1163	0,3650	0,0473	0,4173	0,1045	-0,250	0,1854
3,333	0,1115	0,3087	0,0400	0,3369	0,0563	-0,250	0,1000
3,583	0,1052	0,2347	0,0304	0,2717	0,0739	-0,250	0,1312
3,833	0,1032	0,2113	0,0274	0,2230	0,0235	-0,250	0,0417
4,083	0,0964	0,1315	0,0170	0,1714	0,0798	-0,250	0,1417
4,333	0,0936	0,0986	0,0128	0,1150	0,0329	-0,250	0,0583
4,583	0,0892	0,0469	0,0061	0,0728	0,0516	-0,250	0,0917
4,833	0,0873	0,0246	0,0032	0,0358	0,0223	-0,250	0,0396
5,167	0,0861	0,0106	0,0014	0,0176	0,0141	-0,333	0,0187

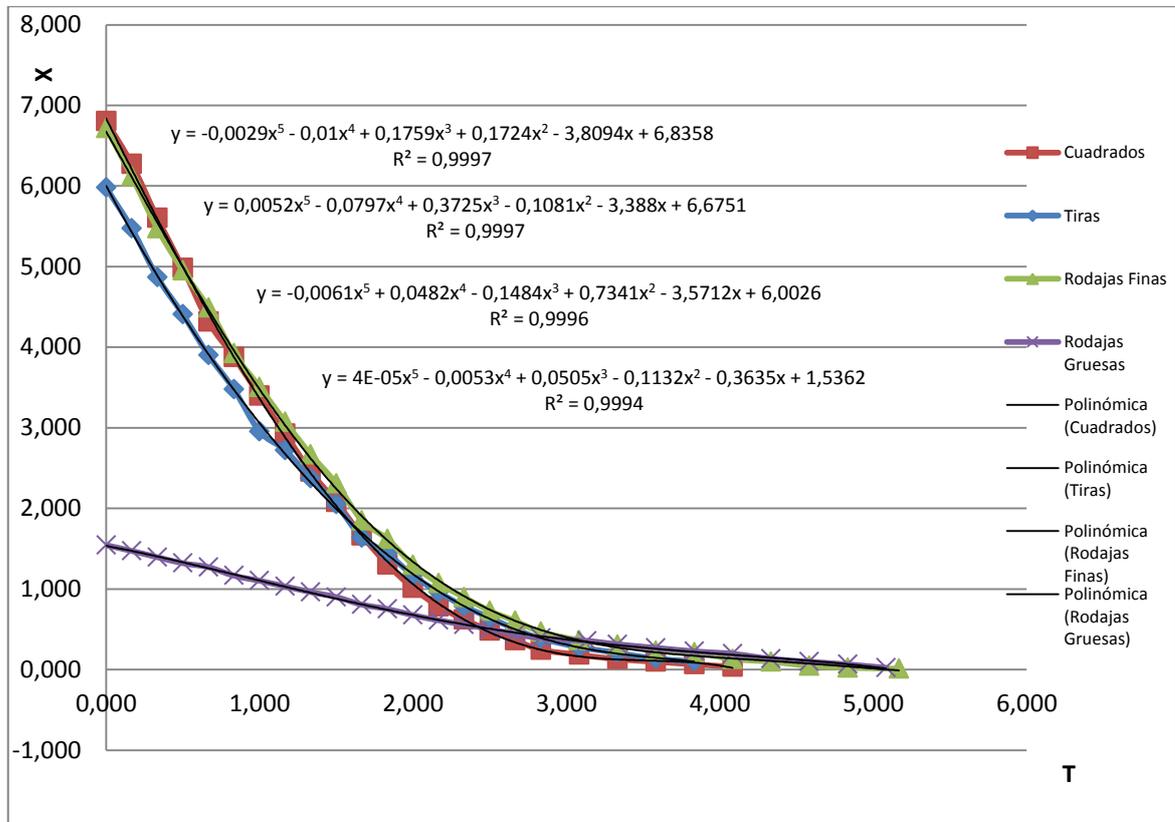
FUENTE: BELTRAN T. / VELOZ S. LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

TABLA 3.2.2.3-4
RESULTADO DE PRUEBAS DE SECADO DE RODAJAS GRUESAS DE
ZANAHORIA A 60 °C EN EL SECADOR DE BANDEJAS

Tiempo (horas)	Peso Muestra (kg)	X bs kg/kg	X bh Kg/Kg	X	dx	Δθ	W (kg/hm2)
0,000	1,340	1,544	0,607				
0,167	1,302	1,473	0,579	1,5085	0,0716	-0,1667	1,1781
0,333	1,261	1,395	0,548	1,4339	0,0777	-0,1667	1,2781
0,500	1,222	1,320	0,519	1,3577	0,0746	-0,1667	1,2281
0,667	1,196	1,271	0,499	1,2958	0,0492	-0,1667	0,8094
0,833	1,140	1,166	0,458	1,2184	0,1056	-0,1667	1,7375
1,000	1,107	1,103	0,433	1,1341	0,0631	-0,1667	1,0375
1,167	1,070	1,032	0,406	1,0673	0,0705	-0,1667	1,1594
1,333	1,033	0,962	0,378	0,9972	0,0697	-0,1667	1,1469
1,500	1,000	0,900	0,354	0,9311	0,0627	-0,1667	1,0313
1,667	0,951	0,807	0,317	0,8533	0,0929	-0,1667	1,5281
1,833	0,922	0,751	0,295	0,7791	0,0555	-0,1667	0,9125
2,000	0,882	0,676	0,266	0,7136	0,0756	-0,1667	1,2437
2,167	0,849	0,612	0,240	0,6437	0,0642	-0,1667	1,0563
2,333	0,821	0,559	0,220	0,5852	0,0528	-0,1667	0,8688
2,500	0,791	0,503	0,198	0,5309	0,0558	-0,1667	0,9187
2,667	0,758	0,440	0,173	0,4716	0,0627	-0,1667	1,0313
2,833	0,733	0,391	0,154	0,4159	0,0488	-0,1667	0,8031
3,133	0,714	0,357	0,140	0,3741	0,0348	-0,3000	0,3177
3,333	0,692	0,314	0,123	0,3351	0,0431	-0,2000	0,5911
3,583	0,669	0,270	0,106	0,2919	0,0433	-0,2500	0,4750
3,833	0,646	0,227	0,089	0,2487	0,0431	-0,2500	0,4729
4,083	0,630	0,196	0,077	0,2117	0,0310	-0,2500	0,3396
4,333	0,597	0,134	0,053	0,1652	0,0619	-0,2500	0,6792
4,583	0,578	0,098	0,039	0,1161	0,0363	-0,2500	0,3979
4,833	0,561	0,065	0,025	0,0814	0,0332	-0,2500	0,3646
5,083	0,538	0,022	0,009	0,0436	0,0424	-0,2500	0,4646

FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

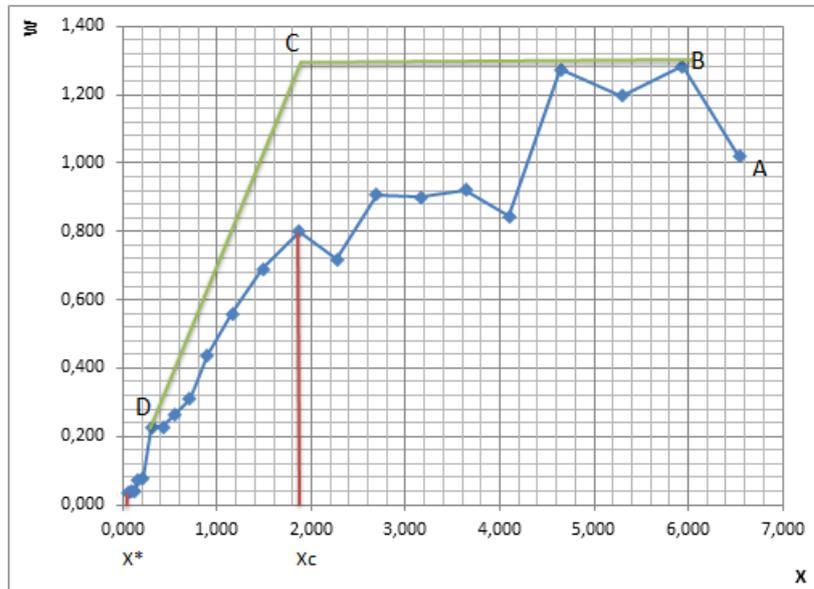
Gráfico 3.2.2.3-1
CURVA DE HUMEDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE ZANAHORIA EN EL
SECADOR DE BANDEJAS



FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

En esta gráfica se observa que cada una de las muestras presentan un comportamiento diferente tanto en disminución de la humedad como en el tiempo de secado, así la curva que presenta los cuadrados es uniforme y el tiempo de secado es menor que las otras, en el caso de las rodajas finas y gruesas emplean un tiempo de secado muy largo, y las tiras finas en cambio pierden propiedades organolépticas ya que no conservan su sabor natural, debido a estas características tomamos en consideración los cuadrados para los análisis y cálculos correspondientes.

Gráfico 3.2.2.3-2
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE CUADRADOS DE ZANAHORIA EN EL SECADOR DE BANDEJAS



FUENTE: BELTRAN T. VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

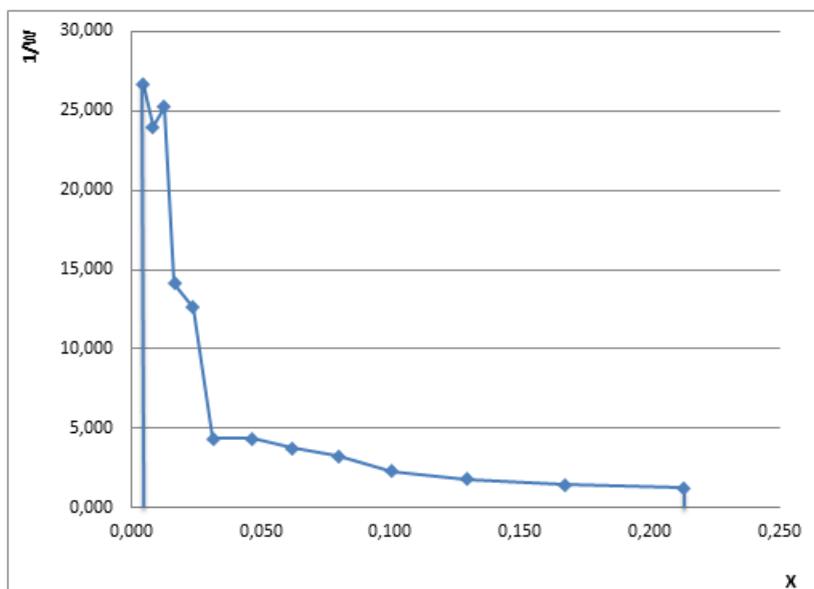
Mediante este gráfico se verifica el transcurso de la velocidad de secado y se determina la humedad de equilibrio y la humedad crítica.

TABLA 3.2.2.3-5
DATOS PARA GRAFICAR 1/W EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE ZANAHORIA EN EL SECADOR DE BANDEJAS

Xbs(kg/kg)	1/W (m²°C/kg)
1,663	1,250
1,303	1,448
1,011	1,788
0,783	2,286
0,622	3,232
0,484	3,765
0,365	4,384
0,246	4,384
0,184	12,632
0,129	14,118
0,098	25,263
0,065	24,000
0,036	26,667

FUENTE: BELTRAN T. VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

Gráfico 3.2.2.3-3
CURVA DE 1/W EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE ZANAHORIA EN EL SECADOR DE BANDEJAS



FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

Mediante este gráfico se obtiene el tiempo poscrítico mediante el método gráfico, estableciendo el área bajo la curva.

3.2.3 RESULTADOS DEL SECADOR TIPO ARMARIO.

3.2.3.1 RESULTADOS DEL SECADOR TIPO ARMARIO PARA EL BERRO

TABLA 3.2.3.1-1
RESULTADOS DE PRUEBAS DE SECADO DE HOJAS DE BERRO A 50°C EN EL SECADOR TIPO ARMARIO

Tiempo (horas)	P. muestra Kg	X total	X bs	X bh	Valor medio	dx	$\Delta\theta$	W (kg/hm ²)
0	0,0194	0,0181	13,9231	0,9330				
0,083	0,0179	0,0166	12,7692	0,8557	13,3462	1,1538	-0,0833	0,1146
0,167	0,0144	0,0131	10,0769	0,6753	11,4231	2,6923	-0,0833	0,2675
0,250	0,0121	0,0108	8,3077	0,5567	9,1923	1,7692	-0,0833	0,1758
0,333	0,01	0,0087	6,6923	0,4485	7,5000	1,6154	-0,0833	0,1605
0,417	0,0081	0,0068	5,2308	0,3505	5,9615	1,4615	-0,0833	0,1452
0,500	0,0069	0,0056	4,3077	0,2887	4,7692	0,9231	-0,0833	0,0917
0,583	0,0058	0,0045	3,4615	0,2320	3,8846	0,8462	-0,0833	0,0841
0,667	0,0044	0,0031	2,3846	0,1598	2,9231	1,0769	-0,0833	0,1070
0,750	0,0028	0,0015	1,1538	0,0773	1,7692	1,2308	-0,0833	0,1223
0,833	0,0014	0,0001	0,0769	0,0052	0,6154	1,0769	-0,0833	0,1070

FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

TABLA 3.2.3.1-2
RESULTADOS DE PRUEBAS DE SECADO DE HOJAS DE BERRO A 55°C EN
EL SECADOR TIPO ARMARIO

Tiempo (horas)	P. muestra Kg	X total	X bs	X bh	Valor medio	dx	Δθ	W (kg/hm²)
0	0,0178	0,0150	5,357	0,8380				
0,083	0,0146	0,0118	4,214	0,6592	4,786	1,143	-0,083	0,245
0,167	0,013	0,0102	3,643	0,5698	3,929	0,571	-0,083	0,122
0,250	0,0108	0,0080	2,857	0,4469	3,250	0,786	-0,083	0,168
0,333	0,0086	0,0058	2,071	0,3240	2,464	0,786	-0,083	0,168
0,417	0,0074	0,0046	1,643	0,2570	1,857	0,429	-0,083	0,092
0,500	0,0058	0,0030	1,071	0,1676	1,357	0,571	-0,083	0,122
0,583	0,0046	0,0018	0,643	0,1006	0,857	0,429	-0,083	0,092
0,667	0,0031	0,0003	0,107	0,0168	0,375	0,536	-0,083	0,115

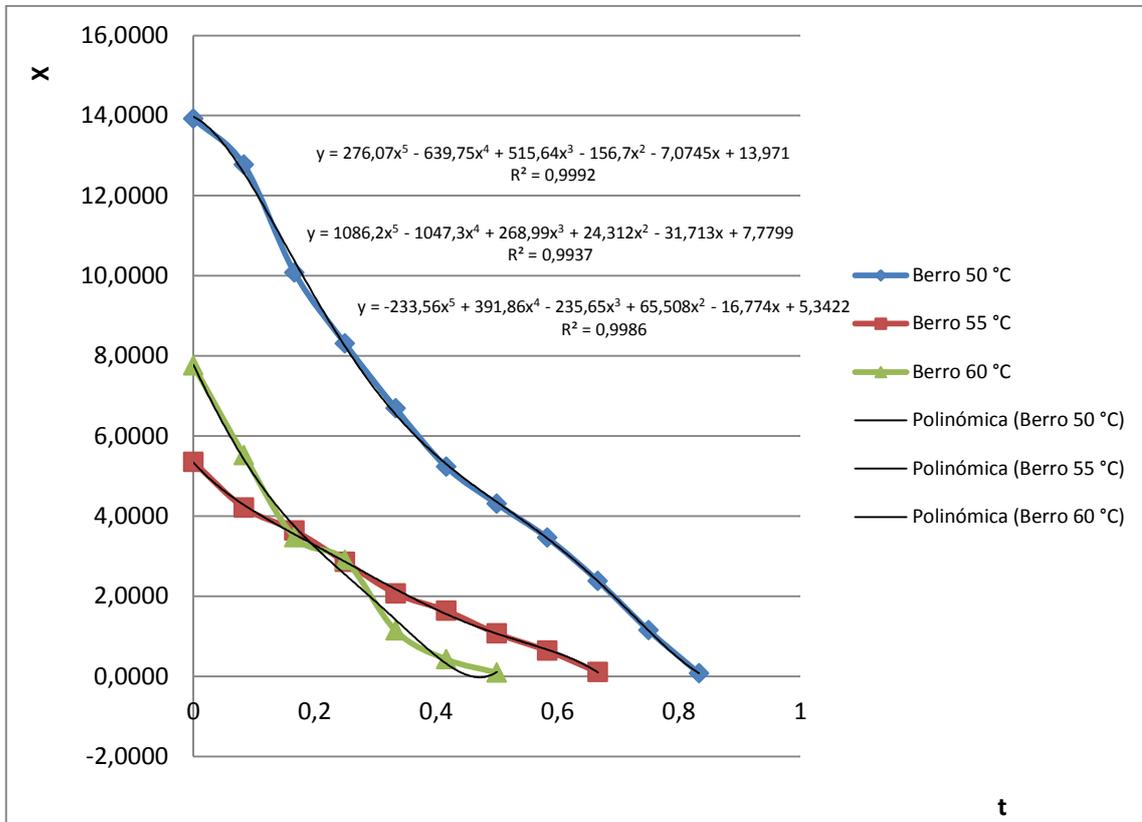
FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

TABLA 3.2.3.1-3
RESULTADOS DE PRUEBAS DE SECADO DE HOJAS DE BERRO A 60°C EN
EL SECADOR TIPO ARMARIO

Tiempo (horas)	P. muestra Kg	X total	X bs	X bh	Valor medio	Dx	Δθ	W (kg/hm²)
0	0,0184	0,0163	7,7619	0,8859				
0,083	0,0137	0,0116	5,5238	0,6304	6,6429	2,2381	-0,083	0,3592
0,167	0,0094	0,0073	3,4762	0,3967	4,5000	2,0476	-0,083	0,3287
0,250	0,0082	0,0061	2,9048	0,3315	3,1905	0,5714	-0,083	0,0917
0,333	0,0045	0,0024	1,1429	0,1304	2,0238	1,7619	-0,083	0,2828
0,417	0,003	0,0009	0,4286	0,0489	0,7857	0,7143	-0,083	0,1146
0,500	0,0023	0,0002	0,0952	0,0109	0,2619	0,3333	-0,083	0,0535

FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

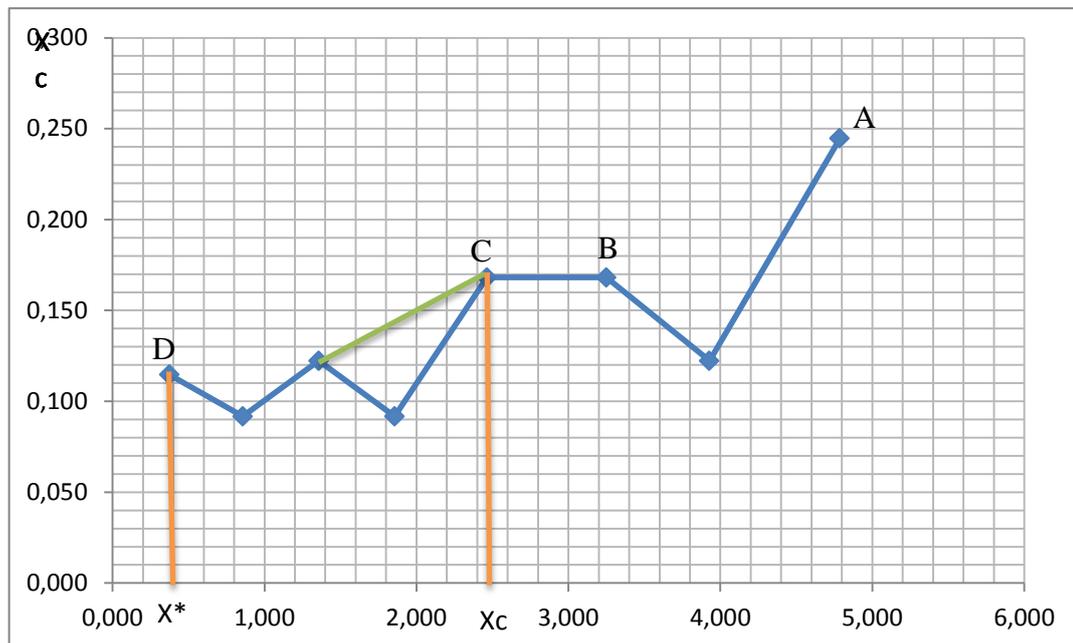
Gráfico 3.2.3.1-1
CURVA DE HUMEDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DEL BERRO EN EL
SECADOR TIPO ARMARIO



FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

En el presente gráfico se observa el comportamiento de la humedad de las muestras de berro a varias temperaturas teniendo como conclusión que la temperatura más óptima para el tratamiento de las muestras es de 55 °C, ya que esta permite preservar el producto conservándose éste por un mayor tiempo.

Gráfica 3.2.3.1-2
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DEL BERRO EN EL SECADOR TIPO ARMARIO



FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

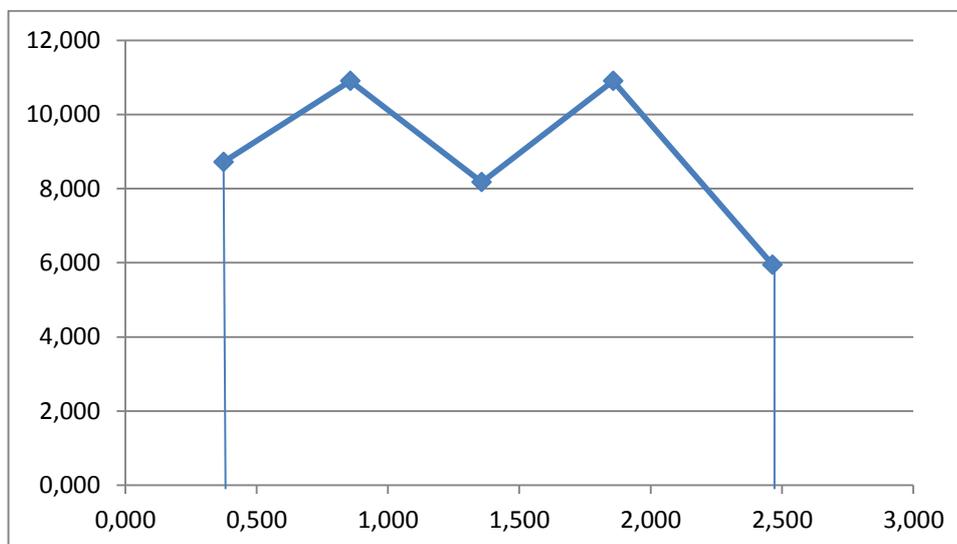
Mediante este gráfico se verifica el transcurso de la velocidad de secado y se determina la humedad de equilibrio y la humedad crítica.

TABLA 3.2.3.1-3
DATOS PARA GRAFICAR 1/W EN FUNCIÓN DE HUMEDAD DEL BERRO EN EL SECADOR TIPO ARMARIO

X	1/W (m²°C/kg)
2,464	5,947
1,857	10,903
1,357	8,177
0,857	10,903
0,375	8,722

FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

Gráfica 3.2.3.1-3
CURVA DE 1/W EN FUNCIÓN DE HUMEDAD DE BERRO EN EL SECADOR TIPO ARMARIO



FUENTE: BELTRAN T. VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

Mediante este gráfico se obtiene el tiempo poscrítico mediante el método gráfico, estableciendo el área bajo la curva.

3.2.3.2 RESULTADOS DEL SECADOR TIPO ARMARIO PARA LA ESPINACA.

TABLA 3.2.3.2-1
RESULTADOS DE PRUEBAS DE SECADO DE ESPINACA A 50°C EN EL SECADOR TIPO ARMARIO

Tiempo (horas)	P. muestra Kg	X total	X bs	X bh	Valor medio	dx	$\Delta\theta$	W (kg/hm ²)
0,000	0,082	0,069	5,441	0,845				
0,167	0,077	0,065	5,087	0,790	5,264	0,354	-0,167	0,172
0,333	0,073	0,061	4,764	0,740	4,925	0,323	-0,167	0,243
0,500	0,071	0,058	4,567	0,709	4,665	0,197	-0,167	0,148
0,667	0,068	0,055	4,362	0,677	4,465	0,205	-0,167	0,154
0,833	0,064	0,051	4,000	0,621	4,181	0,362	-0,167	0,273
1,000	0,061	0,049	3,835	0,595	3,917	0,165	-0,167	0,125
1,167	0,057	0,045	3,504	0,544	3,669	0,331	-0,167	0,249
1,333	0,052	0,039	3,055	0,474	3,280	0,449	-0,167	0,338
1,500	0,047	0,035	2,724	0,423	2,890	0,331	-0,167	0,249
1,667	0,043	0,030	2,378	0,369	2,551	0,346	-0,167	0,261
1,833	0,037	0,024	1,921	0,298	2,150	0,457	-0,167	0,344
2,000	0,033	0,020	1,567	0,243	1,744	0,354	-0,167	0,267
2,167	0,029	0,017	1,315	0,204	1,441	0,252	-0,167	0,190

2,333	0,027	0,015	1,150	0,178	1,232	0,165	-0,167	0,125
2,500	0,024	0,012	0,913	0,142	1,031	0,236	-0,167	0,178
2,667	0,022	0,010	0,748	0,116	0,831	0,165	-0,167	0,125
2,833	0,019	0,006	0,504	0,078	0,626	0,244	-0,167	0,184
3,000	0,019	0,006	0,480	0,075	0,492	0,024	-0,167	0,018
3,167	0,017	0,005	0,362	0,056	0,421	0,118	-0,167	0,089
3,333	0,017	0,004	0,331	0,051	0,346	0,031	-0,167	0,024
3,500	0,016	0,003	0,220	0,034	0,276	0,110	-0,167	0,083
3,667	0,015	0,002	0,181	0,028	0,201	0,039	-0,167	0,030
3,833	0,014	0,001	0,063	0,010	0,122	0,118	-0,167	0,089
4,000	0,013	0,001	0,039	0,006	0,051	0,024	-0,167	0,018

FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

TABLA 3.2.3.2-2
RESULTADOS DE PRUEBAS DE SECADO DE ESPINACA A 55°C EN EL
SECADOR TIPO ARMARIO

Tiempo (horas)	P. muestra Kg	X total	X bs	X bh	Valor medio	dx	$\Delta\theta$	W (kg/hm ²)
0	0,0606	0,0528	6,769	0,871				
0,167	0,0522	0,0444	5,692	0,733	6,231	1,077	-0,167	0,321
0,333	0,0463	0,0385	4,936	0,635	5,314	0,756	-0,167	0,225
0,500	0,042	0,0342	4,385	0,564	4,660	0,551	-0,167	0,164
0,667	0,0374	0,0296	3,795	0,488	4,090	0,590	-0,167	0,176
0,833	0,0337	0,0259	3,321	0,427	3,558	0,474	-0,167	0,141
1,000	0,0297	0,0219	2,808	0,361	3,064	0,513	-0,167	0,153
1,167	0,0269	0,0191	2,449	0,315	2,628	0,359	-0,167	0,107
1,333	0,0225	0,0147	1,885	0,243	2,167	0,564	-0,167	0,168
1,500	0,0199	0,0121	1,551	0,200	1,718	0,333	-0,167	0,099
1,667	0,018	0,0102	1,308	0,168	1,429	0,244	-0,167	0,073
1,833	0,0168	0,009	1,154	0,149	1,231	0,154	-0,167	0,046
2,000	0,0148	0,007	0,897	0,116	1,026	0,256	-0,167	0,076
2,167	0,0136	0,0058	0,744	0,096	0,821	0,154	-0,167	0,046
2,333	0,013	0,0052	0,667	0,086	0,705	0,077	-0,167	0,023
2,500	0,0116	0,0038	0,487	0,063	0,577	0,179	-0,167	0,054
2,667	0,0098	0,002	0,256	0,033	0,372	0,231	-0,167	0,069
2,833	0,009	0,0012	0,154	0,020	0,205	0,103	-0,167	0,031
3,000	0,0084	0,0006	0,077	0,010	0,115	0,077	-0,167	0,023

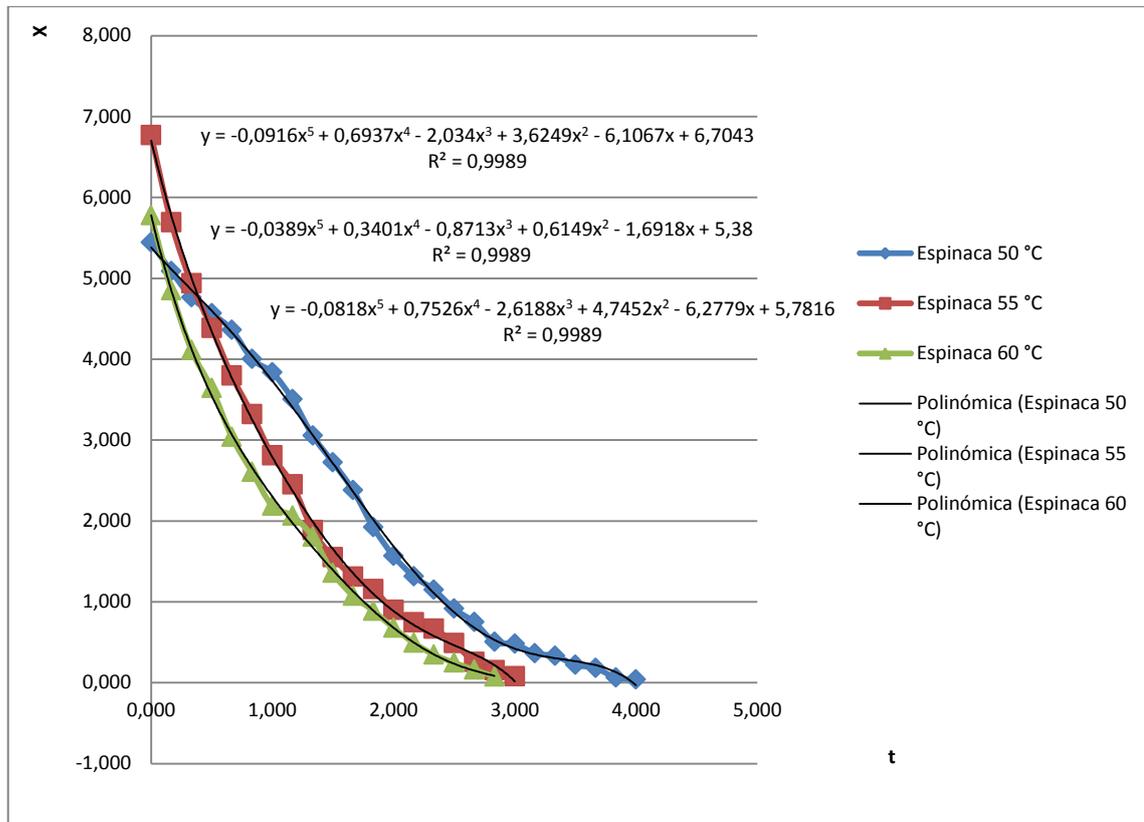
FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

TABLA 3.2.3.2-3
RESULTADOS DE PRUEBAS DE SECADO DE ESPINACA A 60°C EN EL
SECADOR TIPO ARMARIO

Tiempo (horas)	P. muestra Kg	X total	X bs	X bh	Valor medio	dx	Δθ	W (kg/hm²)
0	0,0549	0,047	5,778	0,852				
0,167	0,0474	0,039	4,852	0,716	5,315	0,926	-0,167	0,697
0,333	0,0414	0,033	4,111	0,607	4,481	0,741	-0,167	0,558
0,500	0,0376	0,029	3,642	0,537	3,877	0,469	-0,167	0,353
0,667	0,0327	0,025	3,037	0,448	3,340	0,605	-0,167	0,456
0,833	0,0292	0,021	2,605	0,384	2,821	0,432	-0,167	0,325
1,000	0,0258	0,018	2,185	0,322	2,395	0,420	-0,167	0,316
1,167	0,0248	0,017	2,062	0,304	2,123	0,123	-0,167	0,093
1,333	0,0227	0,015	1,802	0,266	1,932	0,259	-0,167	0,195
1,500	0,0191	0,011	1,358	0,200	1,580	0,444	-0,167	0,335
1,667	0,0168	0,009	1,074	0,158	1,216	0,284	-0,167	0,214
1,833	0,0153	0,007	0,889	0,131	0,981	0,185	-0,167	0,139
2,000	0,0136	0,005	0,679	0,100	0,784	0,210	-0,167	0,158
2,167	0,0121	0,004	0,494	0,073	0,586	0,185	-0,167	0,139
2,333	0,0109	0,003	0,346	0,051	0,420	0,148	-0,167	0,112
2,500	0,0101	0,002	0,247	0,036	0,296	0,099	-0,167	0,074
2,667	0,0094	0,001	0,160	0,024	0,204	0,086	-0,167	0,065
2,833	0,0087	0,001	0,074	0,011	0,117	0,086	-0,167	0,065

FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

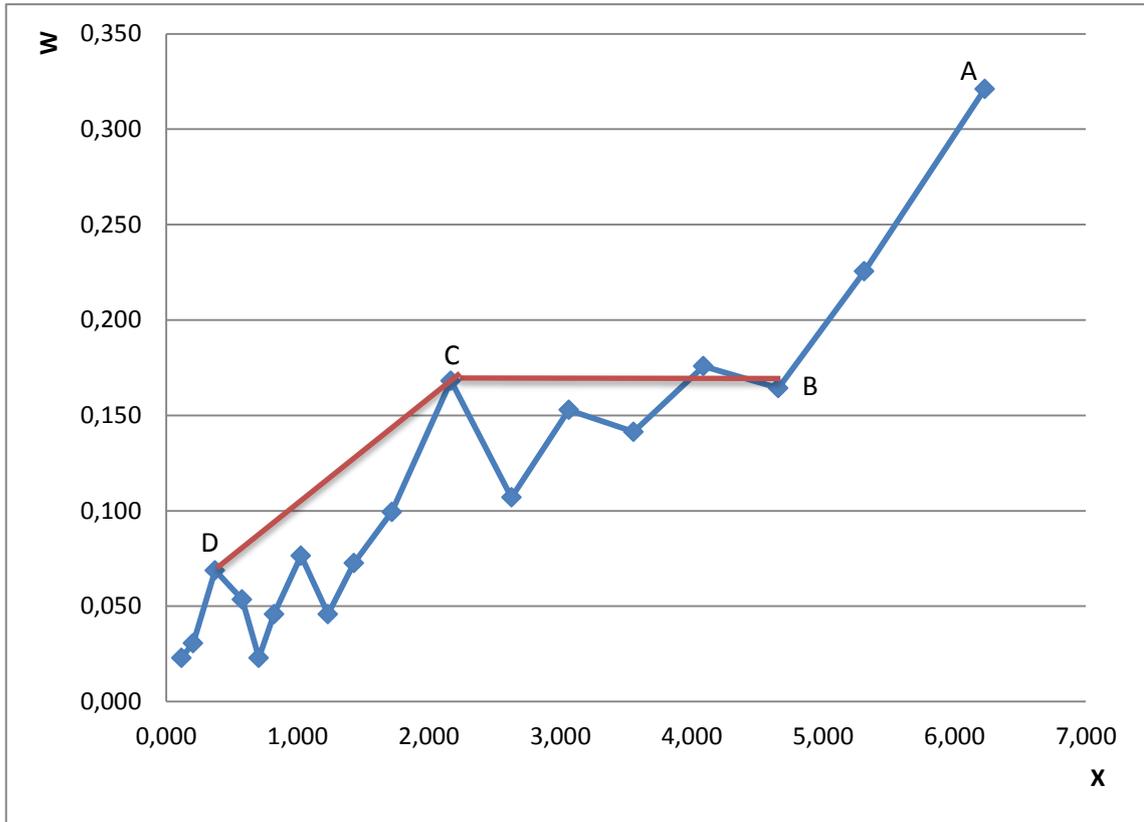
Gráfica 3.2.3.2-1
CURVA DE HUMEDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE LA ESPINACA EN
EL SECADOR TIPO ARMARIO



FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

En el presente gráfico se observa el comportamiento de la humedad de las muestras de espinaca a varias temperaturas teniendo como conclusión que la temperatura más óptima para el tratamiento de las muestras es de 55 °C, ya que esta permite preservar el producto conservándose éste por un mayor tiempo.

Gráfica 3.2.3.2-2
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE LA ESPINACA EN EL SECADOR TIPO ARMARIO



FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

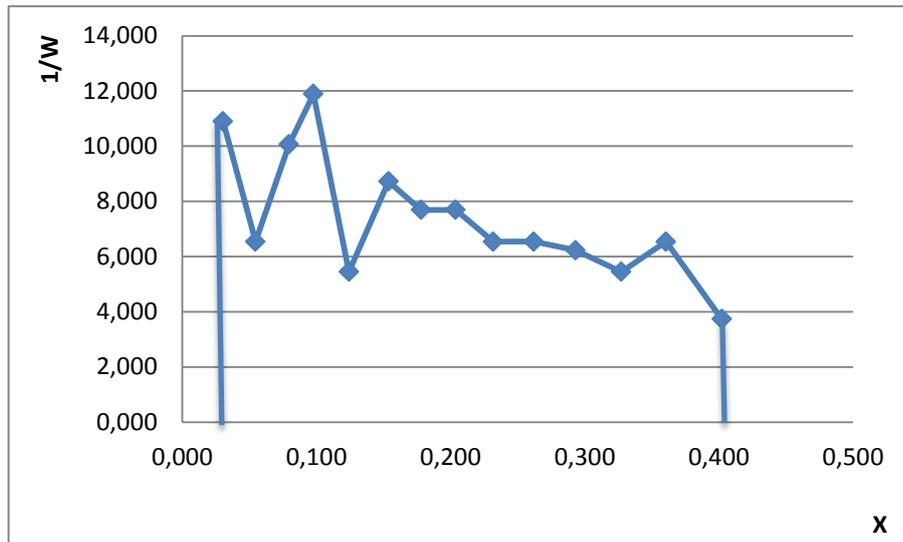
Mediante este gráfico se verifica el transcurso de la velocidad de secado y se determina la humedad de equilibrio y la humedad crítica.

TABLA 3.2.3.2-4
DATOS PARA GRAFICAR 1/W EN FUNCIÓN DE HUMEDAD DE LA ESPINACA EN EL SECADOR TIPO ARMARIO

dx	1/W (m²°C/kg)
0,564	5,947
0,333	10,064
0,244	13,772
0,154	21,806
0,256	13,083
0,154	21,806
0,077	43,611
0,179	18,690
0,231	14,537
0,103	32,708
0,077	43,611

FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

Gráfica 3.2.3.2-3
CURVA DE 1/W EN FUNCIÓN DE HUMEDAD DE ESPINACA EN EL
SECADOR TIPO ARMARIO



FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

Mediante este gráfico se obtiene el tiempo poscrítico mediante el método gráfico, estableciendo el área bajo la curva.

3.2.3.3 RESULTADOS DEL SECADOR TIPO ARMARIO PARA LA ZANAHORIA.

TABLA 3.2.3.3-1
RESULTADOS DE PRUEBAS DE SECADO DE ZANAHORIA A 50°C EN EL
SECADOR TIPO ARMARIO

Tiempo (horas)	P. Muestra (kg)	X _T (kg)	X _{bs} (Kg/Kg)	X _{bh} (Kg/Kg)	Valor medio	dx	Δθ	W (kg/hm ²)
0,000	0,450	0,3245	2,596	0,721				
0,167	0,439	0,3137	2,510	0,697	2,553	0,086	-0,167	0,413
0,333	0,432	0,3066	2,453	0,681	2,481	0,057	-0,167	0,271
0,500	0,422	0,2967	2,374	0,659	2,413	0,079	-0,167	0,378
0,667	0,411	0,2859	2,287	0,635	2,330	0,086	-0,167	0,413
0,833	0,400	0,2747	2,198	0,610	2,242	0,090	-0,167	0,428
1,000	0,392	0,2666	2,133	0,592	2,165	0,065	-0,167	0,310
1,167	0,381	0,2557	2,046	0,568	2,089	0,087	-0,167	0,417
1,333	0,369	0,2444	1,955	0,543	2,000	0,090	-0,167	0,432
1,500	0,364	0,2392	1,914	0,532	1,934	0,042	-0,167	0,199
1,667	0,358	0,2331	1,865	0,518	1,889	0,049	-0,167	0,233
1,833	0,349	0,2235	1,788	0,497	1,826	0,077	-0,167	0,367
2,000	0,339	0,2144	1,715	0,476	1,752	0,073	-0,167	0,348
2,167	0,333	0,2076	1,661	0,461	1,688	0,054	-0,167	0,260
2,333	0,325	0,1998	1,598	0,444	1,630	0,062	-0,167	0,298

2,500	0,317	0,1915	1,532	0,426	1,565	0,066	-0,167	0,317
2,667	0,311	0,1855	1,484	0,412	1,508	0,048	-0,167	0,229
2,833	0,302	0,1771	1,417	0,394	1,450	0,067	-0,167	0,321
3,000	0,295	0,1699	1,359	0,378	1,388	0,058	-0,167	0,275
3,167	0,287	0,1622	1,298	0,360	1,328	0,062	-0,167	0,294
3,333	0,278	0,1531	1,225	0,340	1,261	0,073	-0,167	0,348
3,500	0,271	0,1456	1,165	0,324	1,195	0,060	-0,167	0,287
3,667	0,265	0,1396	1,117	0,310	1,141	0,048	-0,167	0,229
3,833	0,2572	0,1322	1,058	0,294	1,087	0,059	-0,167	0,283
4,000	0,2485	0,1235	0,988	0,274	1,023	0,070	-0,167	0,332
4,167	0,238	0,1129	0,903	0,251	0,946	0,085	-0,167	0,405
4,333	0,229	0,1041	0,833	0,231	0,868	0,070	-0,167	0,336
4,500	0,221	0,0957	0,766	0,213	0,799	0,067	-0,167	0,321
4,667	0,212	0,0869	0,695	0,193	0,730	0,070	-0,167	0,336
4,833	0,204	0,0790	0,632	0,176	0,664	0,063	-0,167	0,302
5,000	0,191	0,0660	0,528	0,147	0,580	0,104	-0,167	0,497
5,167	0,178	0,0531	0,425	0,118	0,476	0,103	-0,167	0,493
5,333	0,169	0,0440	0,352	0,098	0,388	0,073	-0,167	0,348
5,500	0,160	0,0350	0,280	0,078	0,316	0,072	-0,167	0,344
5,667	0,149	0,0242	0,194	0,054	0,237	0,086	-0,167	0,413
5,833	0,139	0,0140	0,112	0,031	0,153	0,082	-0,167	0,390
6,000	0,131	0,0059	0,047	0,013	0,080	0,065	-0,167	0,310
6,167	0,127	0,0022	0,018	0,005	0,032	0,030	-0,167	0,141

FUENTE: BELTRAN T. VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

TABLA 3.2.3.3-2
RESULTADOS DE PRUEBAS DE SECADO DE ZANAHORIA A 55°C EN EL
SECADOR TIPO ARMARIO

Tiempo (horas)	P. muestra kg	X total	X bs	X bh	Valor medio	Dx	Δθ	W (kg/hm2)
0,000	0,589	0,2775	0,892	0,471				
0,167	0,559	0,2478	0,797	0,421	0,845	0,095	-0,167	1,135
0,333	0,539	0,2284	0,734	0,388	0,766	0,062	-0,167	0,741
0,500	0,525	0,2141	0,688	0,363	0,711	0,046	-0,167	0,546
0,667	0,515	0,2038	0,655	0,346	0,672	0,033	-0,167	0,394
0,833	0,497	0,1857	0,597	0,315	0,626	0,058	-0,167	0,692
1,000	0,485	0,1735	0,558	0,295	0,577	0,039	-0,167	0,466
1,167	0,469	0,1582	0,509	0,269	0,533	0,049	-0,167	0,585
1,333	0,454	0,1428	0,459	0,242	0,484	0,050	-0,167	0,589
1,500	0,437	0,1259	0,405	0,214	0,432	0,054	-0,167	0,646
1,667	0,417	0,1055	0,339	0,179	0,372	0,066	-0,167	0,780
1,833	0,402	0,0913	0,294	0,155	0,316	0,046	-0,167	0,543
2,000	0,388	0,0769	0,247	0,131	0,270	0,046	-0,167	0,550
2,167	0,375	0,0644	0,207	0,109	0,227	0,040	-0,167	0,478

2,333	0,368	0,0566	0,182	0,096	0,195	0,025	-0,167	0,298
2,500	0,357	0,0464	0,149	0,079	0,166	0,033	-0,167	0,390
2,667	0,348	0,0371	0,119	0,063	0,134	0,030	-0,167	0,355
2,833	0,338	0,0265	0,085	0,045	0,102	0,034	-0,167	0,405
3,000	0,332	0,0208	0,067	0,035	0,076	0,018	-0,167	0,218
3,167	0,327	0,0155	0,050	0,026	0,058	0,017	-0,167	0,203
3,333	0,318	0,0074	0,024	0,013	0,037	0,026	-0,167	0,310
3,500	0,316	0,0053	0,017	0,009	0,020	0,007	-0,167	0,080
3,667	0,315	0,0037	0,012	0,006	0,014	0,005	-0,167	0,061
3,833	0,3126	0,0016	0,005	0,003	0,009	0,007	-0,167	0,080

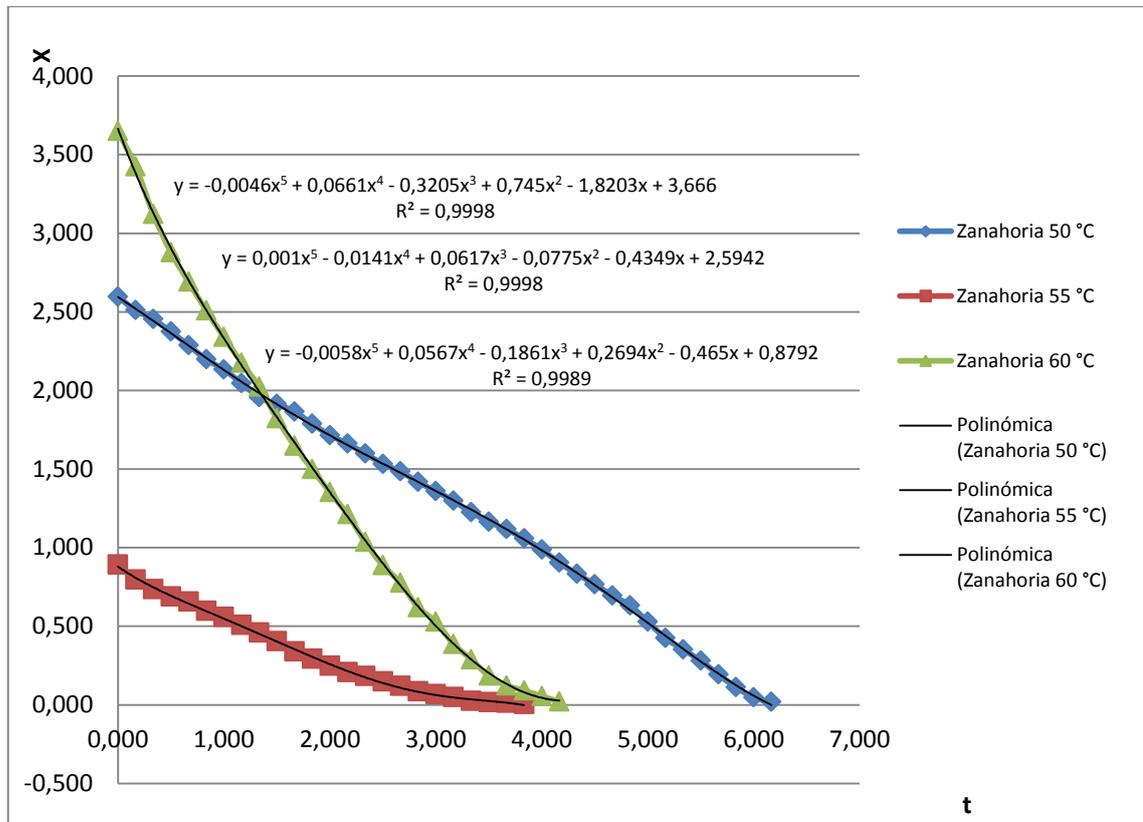
FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

TABLA 3.2.3.3-3
RESULTADOS DE PRUEBAS DE SECADO DE ZANAHORIA A 60°C EN EL
SECADOR TIPO ARMARIO

Tiempo (horas)	P. muestra Kg	X total	X bs	X bh	Valor medio	Dx	$\Delta\theta$	W (kg/hm ²)
0,000	0,265	0,208	3,649	0,784				
0,167	0,252	0,195	3,424	0,736	3,5368	0,224	-0,167	0,489
0,333	0,235	0,178	3,122	0,671	3,2737	0,301	-0,167	0,657
0,500	0,221	0,164	2,878	0,619	3,0009	0,243	-0,167	0,531
0,667	0,210	0,153	2,691	0,578	2,7851	0,187	-0,167	0,408
0,833	0,200	0,143	2,508	0,539	2,6000	0,182	-0,167	0,397
1,000	0,190	0,133	2,340	0,503	2,4246	0,168	-0,167	0,366
1,167	0,181	0,124	2,175	0,467	2,2579	0,164	-0,167	0,359
1,333	0,172	0,115	2,022	0,435	2,0991	0,152	-0,167	0,332
1,500	0,160	0,103	1,821	0,391	1,9219	0,201	-0,167	0,439
1,667	0,150	0,093	1,647	0,354	1,7342	0,173	-0,167	0,378
1,833	0,142	0,085	1,498	0,322	1,5728	0,149	-0,167	0,324
2,000	0,134	0,077	1,352	0,290	1,4254	0,145	-0,167	0,317
2,167	0,126	0,069	1,212	0,260	1,2825	0,140	-0,167	0,305
2,333	0,116	0,059	1,035	0,222	1,1237	0,177	-0,167	0,386
2,500	0,107	0,050	0,887	0,190	0,9614	0,147	-0,167	0,321
2,667	0,101	0,044	0,775	0,166	0,8316	0,112	-0,167	0,244
2,833	0,092	0,035	0,619	0,133	0,6974	0,156	-0,167	0,340
3,000	0,087	0,030	0,528	0,113	0,5737	0,091	-0,167	0,198
3,167	0,079	0,022	0,386	0,083	0,4570	0,142	-0,167	0,309
3,333	0,073	0,016	0,289	0,062	0,3377	0,096	-0,167	0,210
3,500	0,067	0,010	0,184	0,039	0,2368	0,105	-0,167	0,229
3,667	0,064	0,007	0,122	0,026	0,1535	0,061	-0,167	0,133
3,833	0,062	0,005	0,091	0,019	0,1070	0,031	-0,167	0,068
4,000	0,060	0,003	0,054	0,011	0,0728	0,036	-0,167	0,080
4,167	0,058	0,001	0,021	0,004	0,0377	0,033	-0,167	0,072

FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

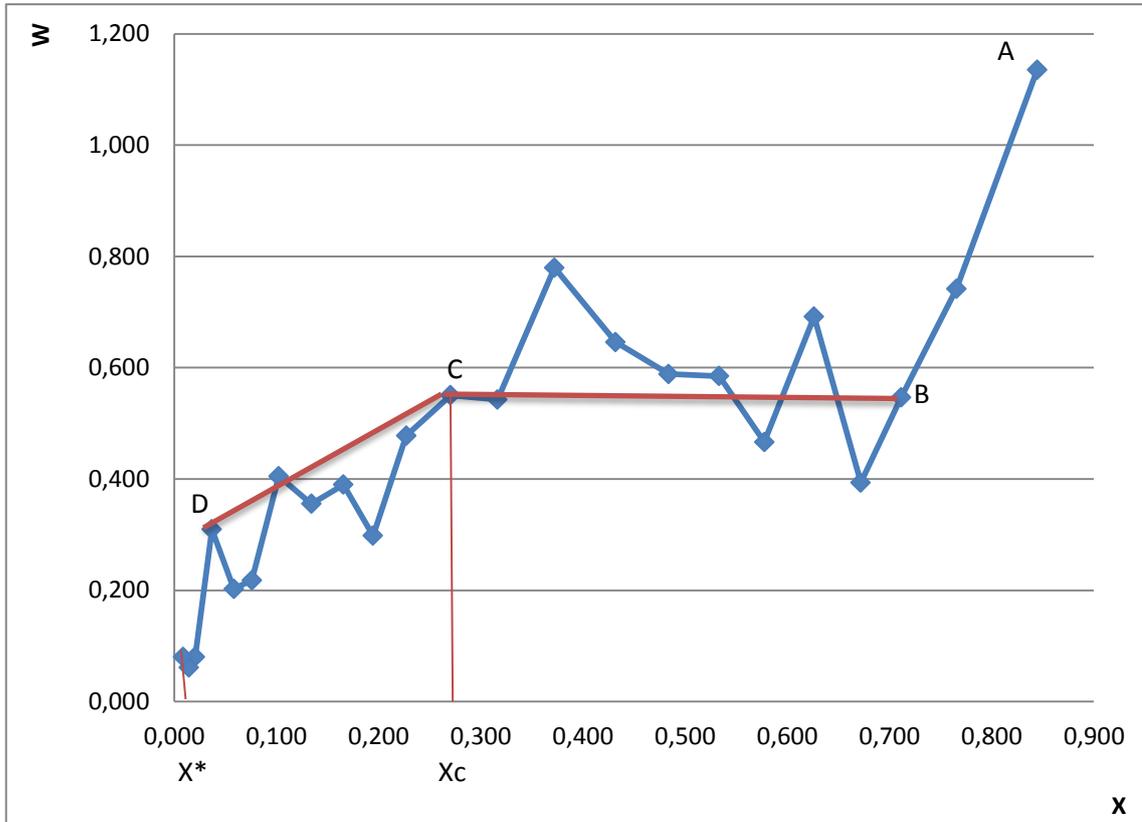
Gráfica 3.2.3.3-1
CURVA DE HUMEDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE ZANAHORIA EN EL
SECADOR TIPO ARMARIO



FUENTE: BELTRAN T. VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

En el presente gráfico se observa el comportamiento de la humedad de las muestras de Zanahoria a varias temperaturas teniendo como conclusión que la temperatura más óptima para el tratamiento de las muestras es de 55 °C, ya que esta permite preservar el producto conservándose éste por un mayor tiempo.

Gráfica 3.2.3.3-2
CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD DE LA ZANAHORIA EN EL SECADOR TIPO ARMARIO



FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

Mediante este gráfico se verifica el transcurso de la velocidad de secado y se determina la humedad de equilibrio y la humedad crítica.

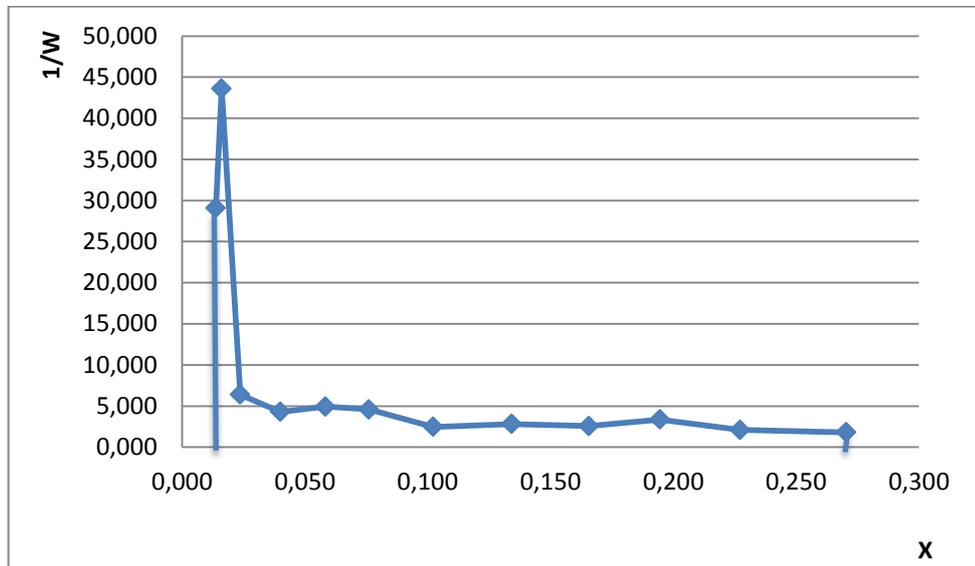
TABLA 3.2.3.3-4
DATOS PARA GRAFICAR 1/W EN FUNCIÓN DE HUMEDAD DE ZANAHORIA EN EL SECADOR TIPO ARMARIO

X	1/W (m²°C/kg)
0,270	1,817
0,227	2,093
0,195	3,355
0,166	2,565
0,134	2,814
0,102	2,469
0,076	4,591
0,058	4,937
0,040	4,290
0,024	6,382
0,016	43,611

0,014	29,074
-------	--------

FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

Gráfica 3.2.3.3-3
CURVA DE 1/W EN FUNCIÓN DE HUMEDAD DE ZANAHORIA EN EL SECADOR TIPO ARMARIO



FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

Mediante este gráfico se obtiene el tiempo poscrítico mediante el método gráfico, estableciendo el área bajo la curva.

TABLA 3.2.4-1
VALORES FLUJO MÁSSICO, VELOCIDAD Y TIEMPO DE SECADO PARA EL SECADOR DE BANDEJAS Y TIPO ARMARIO

SECADOR DE BANDEJAS		SECADOR TIPO ARMARIO	
CANTIDAD DE FLUJO DE AIRE		CANTIDAD DE FLUJO DE AIRE	
G=34,01 kg/h		G = 6938,81 kg/h	
HUMEDAD DEL AIRE		HUMEDAD EL AIRE	
Entrada	Salida	Entrada	Salida
Y ₂ = 0,009 kg de agua/kg aire seco	Y ₁ = 0,007 kg de agua/kg aire seco	Y ₂ = 0,0133 kg de agua/kg aire seco	Y ₁ = 0,0107 kg de agua/kg aire seco
CANTIDAD DE CALOR PERDIDO		CANTIDAD DE CALOR PERDIDO	
qp = 68.088 kcal/h		qp = 14903.87 kcal/h	
NÚMERO DE ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN NOT		NÚMERO DE ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN NOT	
0,168		0,091	
CALOR NECESARIO PARA CALENTAR EL SÓLIDO		CALOR NESCESARIO PARA CALENTAR EL SÓLIDO	
Q = 4,046 kcal		Q = 15963,4 kcal	

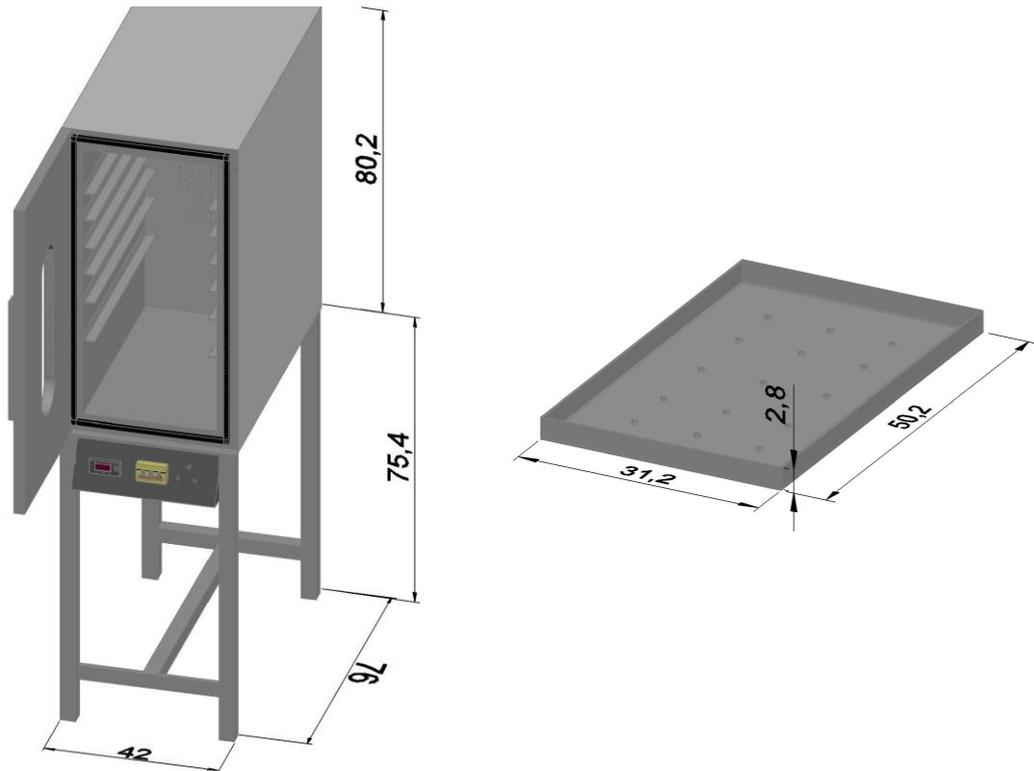
FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

3.3 PROPUESTA DE DISEÑO

**TABLA 3.3-1
DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR TIPO ARMARIO**

NÚMERO DE BANDEJAS		6	
CAPACIDAD POR BANDEJA		5 kg	
CAPACIDAD TOTAL		30 kg	
MATERIAL AISLANTE		LANA DE VIDRIO	
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN		ACERO INOXIDABLE AISI 304	
DIMENSIONES			
ELEMENTOS DIMENSIONES	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)
CÁMARA EXTERIOR	76	42	80,2
CÁMARA INTERIOR	67	34,4	74,8
BANDEJAS	50,2	31,2	2,8
CONTROLADOR			
- Controlador completo de alta temperatura tipo PID (sensor, controlador, actuador e indicador), calibrado ± 1 °C			
FUENTE DE CALOR			
- Resistencia eléctrica de 3200 watts, conectado a una corriente de 220 voltios			
VENTILADOR			
- De 5 aletas con una potencia de 1700 rpm			

FUENTE: BELTRÁN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014



FUENTE: BELTRÁN T. / VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

Graf. 3.3-1 SECADOR TIPO ARMARIO

3.3.1 ANÁLISIS DE COSTOS

3.3.1.1 COSTOS DE INVERSIÓN

3.3.1.1.1 RECURSOS MATERIALES

**TABLA 3.3.1.1.1-1
RECURSOS MATERIALES**

DENOMINACIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL (\$)
Plancha de acero Inoxidable AISI 304	5	250,00	1250,00
Resistencia eléctrica	1	150,00	150,00
Enchufe (trifásico) + cable	1	45,00	45,00
Controlador	1	250,00	250,00
Break de encendido	1	18,00	18,00
Ventilador 5 aletas	1	75,00	75,00
Vidrio templado	1	20,00	20,00
Pernos y tuercas	8	0,75	6,00

Lija	4	0,90	3,60
Tubos de acero inoxidable	2	75,00	150,00
Plancha Lana de vidrio	2	35,00	70,00
TOTAL			2037,60

FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

3.3.1.1.2 RECURSOS HUMANOS

**TABLA 3.3.1.1.2-1
RECURSOS HUMANOS**

DENOMINACIÓN	COSTO (\$)
Mano de obra para la construcción del equipo	632,40
Mano de obra de instalación del controlador	180,00
TOTAL	812,40

FUENTE: BELTRAN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

3.3.1.1.3 COSTOS DE INSUMOS

**TABLA 3.3.1.1.3-1
COSTOS DE INSUMOS**

DENOMINACION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL (\$)
Berro (kg)	30	0,50	15,00
Espinaca (kg)	30	1,00	30,00
Zanahoria (Kg)	30	3,00	90,00
Energía total (kw)	7,28	0,25	1,82
Varios	----	-----	260,75
TOTAL			397,57

FUENTE: BELTRÁN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

3.3.1.1.4 RECURSOS TOTALES

**TABLA 3.3.1.1.4-1
RECURSOS TOTALES**

ACTIVIDAD	TOTAL (\$)
Recursos materiales	2037,60
Recursos humanos	812,40
Costos de insumos	397,57
TOTAL	3247,57

FUENTE: BELTRÁN T. /VELOZ S, LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, ESPOCH, 2014

3.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Una vez identificadas las variables de proceso de secado de berro, espinaca y zanahoria, se realizaron los cálculos para dimensionar el Secador Tipo Armario obteniendo una capacidad total de 30 kg distribuidas en seis bandejas de 5 kg cada una, y consta de una resistencia eléctrica de 3200 watts, la cual, genera calor que es esparcida en la cámara interior del secador a través de un ventilador que está ubicado en la parte posterior central del equipo debido a que la circulación del aire por las bandejas permite un secado uniforme a una temperatura óptima la misma que ayuda a que los alimentos se conserven por un período más largo de tiempo manteniendo sus propiedades organolépticas como color, olor y sabor.

La construcción del equipo es de acero inoxidable AISI 304, debido a que éste es un material muy resistente y tiene un tiempo de vida útil prolongado, y es muy utilizado para el secado de verduras y hortalizas cuyo procedimiento se rige a la norma INEN 0382:2012.

Mediante cálculos de ingeniería se determinó que el proceso requiere de 6938,81 kg/h de aire al interior de la cámara para poder secar 30 kg de muestra, siendo 55 °C temperatura óptima de secado para tratar estas verduras u hortalizas, debido a que las pérdidas de calor en el equipo son mínimas y la distribución del aire caliente a través de las bandejas es uniforme, obteniendo un rendimiento de 52,80 % y una eficiencia de 93,36 %, para el proceso de secado ya que las muestras presentan un elevada cantidad de humedad.

En comparación al secador de bandejas los tiempos de secado fueron mayores siendo estos para el berro 0,67 horas, en la espinaca 3 horas y en la zanahoria 4,08 horas; en cambio en el secador tipo armario se obtuvieron tiempos menores así, para el berro 0,67 hora, en la espinaca 2,67 horas y para la zanahoria 3,83 horas, con lo que se verificó a través de análisis bromatológicos que los nutrientes de las muestras tratadas se mantienen, conservándose éstos por más tiempo, además que este equipo es mas eficiente.

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y
RESULTADOS

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se determinó las características del berro, espinaca y zanahoria mediante un análisis bromatológico teniendo 91,60% de humedad, 2,31% de fibra en el berro; 92,62% de humedad, 0,86% de fibra en la espinaca y 86,67% de humedad y 0,82% de fibra en la zanahoria en muestra húmeda. En muestra seca tratada a 55 °C se tiene 10,90% de humedad, 10,82% de fibra en el berro; 7,92% de humedad, 4,03 % de fibra en la espinaca y 0,90% de humedad, 6,60% de fibra en la zanahoria.
- Se utilizó los valores del análisis bromatológicos aplicando la fórmula de la capacidad calorífica obteniéndose para el berro 0,936 kcal/kg°C, para la espinaca 0,947 kcal/kg°C, y para la zanahoria 0,925 kcal/kg°C.
- Se estableció que las variables del proceso para el secado de las tres muestras son humedad, de 0,005 kg de agua/kg de sólido seco para la zanahoria, 0,107 kg de agua/kg de sólido seco para el berro y 0,077 kg de agua/kg de sólido seco para la espinaca; el tiempo de secado para la zanahoria fue de 3,83 horas (230 minutos), para el berro 0,67 horas (40 minutos), y para la espinaca 3 horas (180 minutos), y una velocidad constante de secado de 0,598 kg/m²h para la zanahoria, 0,145 kg/m²h para el berro y 0,161 kg/m²h para la espinaca, con una temperatura ambiente de 20 °C.
- Se efectuó los cálculos de ingeniería obteniendo el secador tipo armario con una capacidad de 30 kg distribuidos en seis bandejas perforadas conteniendo cada una 5 kg, con una área de 0,157 m², una resistencia eléctrica de 3200 watts conectada a una corriente de 220 voltios, y un controlador de temperatura.
- En base al tiempo de secado en el secador tipo armario, empleó 3,83 horas para secar zanahoria, 0,67 horas en el berro y 3 horas en la espinaca, mientras que en el secador de bandejas se empleó 0,75 horas en el berro, 2,67 horas en la espinaca y 4,33 horas en la zanahoria.

- El secador tipo armario se validó con un rendimiento del 52,80 % y una eficiencia del 93,36 %, se obtuvieron estos datos debido a que las muestras presentan una elevada cantidad de humedad y el peso obtenido luego del proceso de secado es inferior en comparación al que entra.
- El dimensionamiento del equipo es de 80,2 cm de alto, 42 cm de ancho, 76 cm de largo, construido en acero inoxidable AISI 304.

4.2 RECOMENDACIONES

- Antes y después de utilizar el equipo se debe realizar la limpieza adecuada del mismo ya que se va a procesar alimentos dentro de ella.
- Verificar que la conexión sea de 220 V para el funcionamiento del equipo, teniendo cuidado al momento de enchufarlo.
- Al encender el equipo dejar por unos minutos para que llegue a la temperatura preestablecida y se distribuya en toda la cámara de secado.
- Antes de manipular el equipo conocer el manejo adecuado de operación para evitar malas regulaciones de temperatura.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

BRITO MOINA, Hannibal Lorenzo. Texto Básico de Operaciones Unitarias III, Riobamba-Ecuador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2006, pp. 35-38.

GEANKOPLIS, Christie. J. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. 3 ed. México, CECSA, 1998, pp. 625; 626.

MARCILLA GOMIS, A. Introducción a las Operaciones de Separación, Contacto Continuo. Murcia-España, Publicaciones de la Universidad de Alicante, 1999. pp. 18.

OCÓN GARCIA, Joaquín y TOJO BARREIRO, Gabriel. Problemas de Ingeniería Química. Operaciones básicas. 2 ed, Madrid-España, Ediciones Aguilar, 1980. Vol. 2, pp. 243; 244 - 245; 262-263; 284-285

PRODUCCION DE VERDURAS Y HORTALIZAS. SINAGAP. 2014
<http://sinagap.agricultura.gob.ec/>
2014-08-11

PROPIEDADES DE LA ZANAHORIA. BOTANICA ON-LINE SL. 2002
<http://www.botanical-online.com/zanahorias.htm>
2013-11-18

SECADO. INAES. 2014
http://www.inaes.gob.mx/doctos/pdf/guia_empresarial/deshidratados_de_frutas.pdf
2014-08-11

SECADOR DE BANDEJAS. SCRIBD. 2014
<http://es.scribd.com/doc/18030474/secado>
2014-02-18

TREYBAL, Robert E. Operaciones de Transferencia de Masa, 2 ed, México D.F, McGraw-Hill. 2011, pp. 729-773; 730-732.

VALOR NUTRICIONAL DEL BERRO. Juan Antonio Villanueva. 2013

<http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=s1&s2=s2&s3=Berro>

2013-11-18

VALOR NUTRITIVO DE LA ESPINACA. EROSKI. 2003

<http://verduras.consumer.es/documentos/hortalizas/espinacas/salud.php>

2013-11-18

VALOR NUTRITIVO DE LA ZANAHORIA. Juan Antonio Villanueva 2013

<http://www.saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=s1&s2=s2&s3=Zanahori>

a

2013-11-18

ANEXOS

ANEXO I ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS DEL BERRO MUESTRA FRESCA

 LABCESTTA Tecnología & Soluciones SGC	LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN Panamericana Sur Km. 1 1/2 Telef: (05) 2998232 ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS RIOBANIRA - ECUADOR
--	---

INFORME DE ENSAYO No: 342
ST: 14 - 013 ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Nombre Peticionario: NA
Atm: Sabina Alejandra Veloz Gavilánez
Dirección: Cda. Fausto Molina Mz 14Cs
FECHA: 17 de Marzo del 2014

NUMERO DE MUESTRAS: 2014 / 03 / 06 - 16:00
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2014 / 03 / 06 - 11:50
FECHA DE MUESTREO: 2014 / 03 / 06 - 2014 / 03 / 17
FECHA DE ANÁLISIS: Berro
TIPO DE MUESTRA: LAB-Alm 031-14
CÓDIGO LABCESTTA: NA
CÓDIGO DE LA EMPRESA: Mercado Mayorista
PUNTO DE MUESTREO: Fisico- Químico
ANÁLISIS SOLICITADO: Sabina Alejandra Veloz Gavilánez
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: T máx.: 25,0 °C. T mín.: 15,0 °C
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:

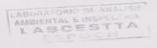
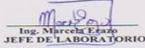
RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETRO	MÉTODO (NORMA)	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE
Humedad	PEE/LABCESTTA/152 AOAC 925.10	%	91,60	-
Grasa	PEE/LABCESTTA/154 AOAC 920.85	%	0,92	-
Cenizas	PEE/LABCESTTA/153 AOAC 923.03	%	1,76	-
Fibra	PEE/LABCESTTA/103 INEN 542	%	2,31	-
Proteína	PEE/LABCESTTA/151 AOAC 984.13A	%	3,12	-

OBSERVACIONES:
 • Muestra recibida en laboratorio.

RESPONSABLES DEL INFORME:

 Ing. Verónica Bravo
 RESPONSABLE TÉCNICO



 Ing. Mirceche Erazo
 JEFE DE LABORATORIO

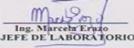
Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensajados.

Página 1 de 1
 Edición 1

(a)

NOTAS		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	SECADOR TIPO ARMARIO		
a) Análisis bromatológicos del berro muestra fresca	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA o Certificado o Para Información o Por Aprobar o Por calificar o Aprobado	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: TANIA BELTRAN SABINA VELOZ	Lámina	Escala	Fecha
			1	x: y:	2014-09-22

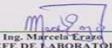
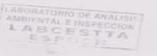
ANEXO II ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS DE LA ESPINACA MUESTRA FRESCA

 LABCESTTA Tecnología & Soluciones SGC	LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN Panamericana Sur Km. 1 ½ Telef: (03)2998232 ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS RIOBAMBA - ECUADOR																																	
INFORME DE ENSAYO No: 345 ST: 14 - 013 ANÁLISIS DE ALIMENTOS																																		
Nombre Peticionario: NA Atn: Sábina Alejandra Veloz Gavilánez Dirección: Cdla. Fausto Molina Mz 14Cs FECHA: 17 de Marzo del 2014																																		
NUMERO DE MUESTRAS: 1 FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2014 / 03 / 06 - 16:00 FECHA DE MUESTREO: 2014 / 03 / 06 - 11:40 FECHA DE ANÁLISIS: 2014 / 03 / 06 - 2014 / 03 / 17 TIPO DE MUESTRA: Espinaca CÓDIGO LABCESTTA: LAB-Alm 030-14 CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA PUNTO DE MUESTREO: Mercado Mayorista ANÁLISIS SOLICITADO: Físico-Químico PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Sábina Alejandra Veloz Gavilánez CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.: 25.0 °C. T mín.: 15.0 °C																																		
RESULTADOS ANALÍTICOS:																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>PARÁMETRO</th> <th>MÉTODO / NORMA</th> <th>UNIDAD</th> <th>RESULTADO</th> <th>VALOR LIMITE PERMISIBLE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Humedad</td> <td>PEE/LABCESTTA/152 AOAC 925.10</td> <td>%</td> <td>92.62</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Grasa</td> <td>PEE/LABCESTTA/154 AOAC 920.85</td> <td>%</td> <td>1.05</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Cenizas</td> <td>PEE/LABCESTTA/153 AOAC 923.03</td> <td>%</td> <td>2.08</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Fibra</td> <td>PEE/LABCESTTA/103 INEN 842</td> <td>%</td> <td>0.86</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Proteína</td> <td>PEE/LABCESTTA/151 AOAC 984.13A</td> <td>%</td> <td>3.34</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	PARÁMETRO	MÉTODO / NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE	Humedad	PEE/LABCESTTA/152 AOAC 925.10	%	92.62	-	Grasa	PEE/LABCESTTA/154 AOAC 920.85	%	1.05	-	Cenizas	PEE/LABCESTTA/153 AOAC 923.03	%	2.08	-	Fibra	PEE/LABCESTTA/103 INEN 842	%	0.86	-	Proteína	PEE/LABCESTTA/151 AOAC 984.13A	%	3.34	-				
PARÁMETRO	MÉTODO / NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE																														
Humedad	PEE/LABCESTTA/152 AOAC 925.10	%	92.62	-																														
Grasa	PEE/LABCESTTA/154 AOAC 920.85	%	1.05	-																														
Cenizas	PEE/LABCESTTA/153 AOAC 923.03	%	2.08	-																														
Fibra	PEE/LABCESTTA/103 INEN 842	%	0.86	-																														
Proteína	PEE/LABCESTTA/151 AOAC 984.13A	%	3.34	-																														
OBSERVACIONES: <ul style="list-style-type: none"> Muestra receptada en laboratorio. 																																		
RESPONSABLES DEL INFORME:																																		
 Ing. Verónica Bravo RESPONSABLE TÉCNICO				 Ing. Marcela Erazo JEFE DE LABORATORIO																														
<small>Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio. Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados.</small>																																		
					<small>Página 1 de 1 Edición 1</small>																													

(b)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	SECADOR TIPO ARMARIO		
b) Análisis bromatológicos de la espinaca muestra fresca	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS	Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA			
	<input type="checkbox"/> Aprobado	REALIZADO POR: TANIA BELTRAN SABINA VELOZ	2	x: y:	2014-09-22

ANEXO III ANÁLISIS BROMATÓLOGICOS DE LA ZANAHORIA MUESTRA FRESCA

 LABCESTTA Tecnología & Soluciones SGC	LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN Panamericana Sur Km. 1 ½ Telef.: (03)2998232 ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS RIOBAMBA - ECUADOR																														
INFORME DE ENSAYO No: 345 ST: 14 - 013 ANÁLISIS DE ALIMENTOS																															
Nombre Peticionario: NA Asn: Sabina Alejandra Veloz Gavilánez Dirección: Cda. Fausto Molina Mz 14Cs 17 de Marzo del 2014 FECHA: NÚMERO DE MUESTRAS: 1 FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2014/03/06 - 16:00 FECHA DE MUESTREO: 2014/03/06 - 11:30 FECHA DE ANÁLISIS: 2014/03/06 - 2014/03/17 TIPO DE MUESTRA: Zanahoria CÓDIGO LABCESTTA: LAB-Alm 029-14 CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA PUNTO DE MUESTREO: Mercado Mayorista ANÁLISIS SOLICITADO: Físico- Químico PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Sabina Alejandra Veloz Gavilánez CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.: 25.0 °C. T mín.: 15.0 °C																															
RESULTADOS ANALÍTICOS:																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>PARÁMETRO</th> <th>MÉTODO /NORMA</th> <th>UNIDAD</th> <th>RESULTADO</th> <th>VALOR LIMITE PERMISIBLE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Humedad</td> <td>PEE/LABCESTTA/152 AOAC 925.10</td> <td>%</td> <td>89.67</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Grasa</td> <td>PEE/LABCESTTA/154 AOAC 920.85</td> <td>%</td> <td>0.38</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Cenizas</td> <td>PEE/LABCESTTA/153 AOAC 921.03</td> <td>%</td> <td>0.82</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Fibra</td> <td>PEE/LABCESTTA/103 INEN 542</td> <td>%</td> <td>1.41</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Proteína</td> <td>PEE/LABCESTTA/151 AOAC 984.13A</td> <td>%</td> <td>1.57</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	PARÁMETRO	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE	Humedad	PEE/LABCESTTA/152 AOAC 925.10	%	89.67	-	Grasa	PEE/LABCESTTA/154 AOAC 920.85	%	0.38	-	Cenizas	PEE/LABCESTTA/153 AOAC 921.03	%	0.82	-	Fibra	PEE/LABCESTTA/103 INEN 542	%	1.41	-	Proteína	PEE/LABCESTTA/151 AOAC 984.13A	%	1.57	-	
PARÁMETRO	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE																											
Humedad	PEE/LABCESTTA/152 AOAC 925.10	%	89.67	-																											
Grasa	PEE/LABCESTTA/154 AOAC 920.85	%	0.38	-																											
Cenizas	PEE/LABCESTTA/153 AOAC 921.03	%	0.82	-																											
Fibra	PEE/LABCESTTA/103 INEN 542	%	1.41	-																											
Proteína	PEE/LABCESTTA/151 AOAC 984.13A	%	1.57	-																											
OBSERVACIONES: • Muestra recibida en laboratorio.																															
RESPONSABLES DEL INFORME:																															
 Ing. Verónica Bravo RESPONSABLE TÉCNICO	 Ing. Marcelo López JEFE DE LABORATORIO																														
																															
<small>Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio. Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados. MC01-16</small>																															
<small>Página 1 de 1 Edición 1</small>																															

(c)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: TANIA BELTRAN SABINA VELOZ	SECADOR TIPO ARMARIO		
c) Análisis bromatológicos de la zanahoria muestra fresca	o Certificado o Para Información		Lámina	Escala	Fecha
	o Por Aprobar o Por calificar				
	o Aprobado		3	x: y:	2014-09-22

ANEXO IV ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS DEL BERRO MUESTRA SECA



LABCESTTA
Tecnología & Soluciones
SGC

**LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN**

Panamericana Sur Km. 1 1/2
Teléfono: (03)2998232
ESPOCH
FACULTAD DE CIENCIAS
RIOBAMBA - ECUADOR

INFORME DE ENSAYO No: 345
ST: 14 - 013 ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Nombre Peticionario: NA
Atm: Sabina Alejandra Veloz Gavilánez
Dirección: Cda. Fajoso Molina Mz 14C
FECHA: 17 de Marzo del 2014

FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2014-03-05 - 17:00
FECHA DE MUESTREO: 2014-03-05 - 16:00
TIPO DE MUESTRA: 2014-03-05 - 2014-03-18
BERRO: Berro
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-Alm 042-14
CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA
PUNTO DE MUESTREO: Mercado Mayorista
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico-Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Sabina Alejandra Veloz Gavilánez
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.: 25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETRO	MÉTODO / NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE
Humedad	PEE LABCESTTA/152 AOAC 925.10	%	10.90	-
Grasa	PEE LABCESTTA/154 AOAC 920.85	%	1.23	-
Cenizas	PEE LABCESTTA/153 AOAC 923.03	%	4.12	-
Fibra	PEE LABCESTTA/103 INEN 542	%	10.32	-
Proteína	PEE LABCESTTA/151 AOAC 984.13A	%	11.69	-

OBSERVACIONES:
• Muestra receptada en laboratorio.

RESPONSABLES DEL INFORME:


Ing. Verónica Bravo
RESPONSABLE TÉCNICO


LABORATORIO DE ANÁLISIS
AMBIENTAL E INSPECCIÓN
LABCESTTA


Ing. Mirceles Estrella
JEFE DE LABORATORIO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados solo están relacionados con los objetos ensayados.

Página 1 de 1
Edición 1

(d)

NOTAS			SECADOR TIPO ARMARIO		
d) Análisis bromatológicos del berro muestra seca	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO			
	o Certificado o Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS	Lámina	Escala	Fecha
	o Por Aprobar o Por calificar	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA			
o Aprobado	REALIZADO POR: TANIA BELTRAN SABINA VELOZ	4	x: y:	2014-09-22	

ANEXO V ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS DE LA ESPINACA MUESTRA SECA



LABCESTIA
Tecnología & Soluciones
SGC

**LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN**

Panamericana Sur Km. 1 ½
Teléfono: (03)2998232
ESPOCH
FACULTAD DE CIENCIAS
ROBAMBA - ECUADOR

INFORME DE ENSAYO No: 345
ST: 14 - 013 ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Nombre Peticionario: NA
Atm: Sabina Alejandra Veloz Gavilánez
Dirección: Cda. Fausto Molina Mz. 14Cs
FECHA: 17 de Marzo del 2014

NÚMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2014 / 03 / 06 - 16:00

FECHA DE MUESTREO: 2014 / 03 / 06 - 11:40
FECHA DE ANÁLISIS: 2014 / 03 / 06 - 2014 / 03 / 17

TIPO DE MUESTRA: Espinaca
CÓDIGO LABCESTIA: LAB-Alm 030-14
CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA

PUNTO DE MUESTREO: Mercado Mayorista
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico-Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Sabina Alejandra Veloz Gavilánez
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.: 25.0 °C - T mín.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

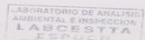
PARÁMETRO	MÉTODO / NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
Humedad	PEE/LABCESTIA/152 AOAC 925.10	%	92.62	-
Grasa	PEE/LABCESTIA/154 AOAC 920.85	%	1.05	-
Cenizas	PEE/LABCESTIA/153 AOAC 923.03	%	2.08	-
Fibra	PEE/LABCESTIA/103 DIN 542	%	0.86	-
Proteína	PEE/LABCESTIA/151 AOAC 984.13A	%	3.34	-

OBSERVACIONES:

- Muestra recibida en laboratorio.

RESPONSABLES DEL INFORME:


Ing. Verónica Bravo
RESPONSABLE TÉCNICO


Ing. Mircey Loyola
JEFE DE LABORATORIO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados. Página 1 de 1
Edición 1

(e)

NOTAS		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	SECADOR TIPO ARMARIO		
e) Análisis bromatológicos de la espinaca muestra seca	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	FACULTAD DE CIENCIAS	Lámina	Escala	Fecha
	o Certificado o Para Información	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA			
	o Por Aprobar o Por calificar	REALIZADO POR: TANIA BELTRAN SABINA VELOZ	5	x: y:	2014-09-22
o Aprobado					

ANEXO VI ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS DE LA ZANAHORIA MUESTRA SECA

 LABCESTTA Tecnología & Soluciones SGC	LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN Panamericana Sur Km. 1 ½ Telef: (03)2998232 ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS RIOBAMBA - ECUADOR
--	---

INFORME DE ENSAYO No: 345
ST: 14 - 013 ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Nombre Peticionario: NA
Atm: Sabina Alejandra Veloz Gavilánez
Dirección: Cda. Fausto Molina Mz. H02,
 17 de Marzo del 2014

FECHA: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2014 / 03 / 06 - 16:00
FECHA DE MUESTREO: 2014 / 03 / 06 - 11:30
FECHA DE ANÁLISIS: 2014 / 03 / 06 - 2014 / 03 / 17
TIPO DE MUESTRA: Zanahoria
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-Alm 029-14
CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA
PUNTO DE MUESTREO: Mercado Mayorista
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico- Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Sabina Alejandra Veloz Gavilánez
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

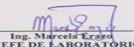
RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETRO	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LIMITE PERMISIBLE
Humedad	PEE/LABCESTTA/152 AOAC 925.10	%	89.67	-
Grasa	PEE/LABCESTTA/154 AOAC 920.85	%	0.38	-
Cenizas	PEE/LABCESTTA/153 AOAC 923.03	%	0.82	-
Fibra	PEE/LABCESTTA/103 INEN 542	%	1.41	-
Proteína	PEE/LABCESTTA/151 AOAC 984.13A	%	1.57	-

OBSERVACIONES:
 • Muestra receptada en laboratorio.

RESPONSABLES DEL INFORME:


 Ing. Verónica Bravo
 RESPONSABLE TÉCNICO


 Ing. Marcelo Eraso
 JEFE DE LABORATORIO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados.

Página 1 de 1
Edición 1

(f)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	SECADOR TIPO ARMARIO		
f) Análisis bromatológicos de la zanahoria muestra seca	o Certificado	o Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS		
	o Por Aprobar	o Por calificar	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA		
	o Aprobado		REALIZADO POR:TANIA BELTRAN SABINA VELOZ		
			Lámina	Escala	Fecha
			6	x: y:	2014-09-22

ANEXO VII CÁLCULOS PSICROMÉTRICOS

← → C www.scehu.es/nmwimgaj/CartaPsy.htm ☆

• **Cálculos Psicrométricos**

Este software permite realizar cálculos *on-line* sobre aire húmedo. Introduce los datos conocidos en el sistema de unidades que prefieras, y pulsa **Calcular**.

Psicrometría

Datos			Resultados		
Unidades:	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> Ing.	Presión Atmosférica	0.724366902510	bar
Parámetros	Valor	Unidad	Pv sat	23.38797752964	mbar
Temperatura:	20	C	Pv	15.20218539427	mbar
Temp. b. húmedo:	<input type="radio"/> 15.26464066885	C	Humedad absoluta	0.013333657311	kg/kg
Humedad relativa:	<input checked="" type="radio"/> 65	%	Entalpía	53.94075219072	kJ/kg
Punto de rocío:	<input type="radio"/> 13.26102562102	C	Volumen específico	1.185283812592	m3/kg
Altitud SNM	2743	m	<input type="button" value="Calcular"/>		

Cálculos basados en ASHRAE Fundamentals Handbook 1989, que proporcionan la precisión suficiente para la mayoría de los cálculos técnicos. Página de apoyo a la docencia. No nos hacemos responsables de los resultados derivados de otros usos de esta página.
Adaptado por José A. Millán.

(g)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	SECADOR TIPO ARMARIO		
g) Cálculos psicrométricos	o Certificado	o Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS		
	o Por Aprobar	o Por calificar	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA		
	o Aprobado		REALIZADO POR: TANIA BELTRAN SABINA VELOZ		
			Lámina	Escala	Fecha
			7	x: y:	2014-09-22

**ANEXO VIII
PROPIEDADES DEL VAPOR DE AGUA, HUMEDADES Y ENTALPÍAS**

TABLA A. 3
Tensiones de vapor del agua, y humedades y entalpías de saturación de la mezcla aire-agua (p = 760 mm Hg)

(t, °C, temperatura del aire; p_s, mm Hg, presión de saturación del vapor de agua; Y_s, Kg agua/Kg aire, humedad absoluta del aire saturado con agua; h_s, Kcal/Kg, entalpía del aire saturado con vapor de agua.)

T	P _{ws}	10 ³ Y _s	h _s	T _w	P _{ws}	10 ³ Y _s	h _s
0	4,58	3,78	2,25	35	42,18	36,6	30,8
1	4,93	4,07	2,66	36	44,56	38,8	32,4
2	5,29	4,37	3,08	37	47,07	41,1	34,0
3	5,69	4,70	3,52	38	49,69	43,5	35,7
4	6,10	5,03	3,96	39	52,44	46,0	37,6
5	6,54	5,40	4,42	40	55,32	48,8	39,6
6	7,01	5,79	4,90	41	58,34	51,7	41,6
7	7,51	6,21	5,40	42	61,50	54,8	43,7
8	8,05	6,65	5,90	43	64,80	58,0	45,9
9	8,61	7,13	6,43	44	68,26	61,3	48,3
10	9,21	7,63	6,97	45	71,88	65,0	50,8
11	9,84	8,15	7,53	46	75,65	68,9	53,4
12	10,52	8,75	8,14	47	79,60	72,8	56,2
13	11,23	9,35	8,74	48	83,71	77,0	59,0
14	11,99	9,97	9,36	49	88,02	81,5	62,1
15	12,79	10,6	9,98	50	92,51	86,2	65,3
16	13,63	11,4	10,7	51	97,20	91,3	68,6
17	14,53	12,1	11,4	52	102,1	96,6	72,3
18	15,48	12,9	12,1	53	107,2	102	75,9
19	16,48	13,8	12,9	54	112,5	108	80,0
20	17,53	14,7	13,8	55	118,0	114	84,1
21	18,65	15,6	14,6	56	123,8	121	88,6
22	19,83	16,6	15,3	57	129,8	128	93,2
23	21,07	17,7	16,2	58	136,1	136	98,5
24	22,38	18,8	17,2	59	142,6	144	104
25	23,76	20,0	18,1	60	149,4	152	109
26	25,21	21,4	19,2	61	156,4	161	115
27	26,74	22,6	20,2	62	163,8	171	121
28	28,35	24,0	21,3	63	171,4	181	128
29	30,04	25,6	22,5	64	179,3	192	135
30	31,82	27,2	23,8	65	187,5	204	143
31	33,70	28,8	25,0	66	196,1	216	151
32	35,66	30,6	26,3	67	205,0	230	160
33	37,73	32,5	27,7	68	214,2	244	169
34	39,90	34,4	29,2	69	223,7	259	179

(h)

NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO		SECADOR TIPO ARMARIO		
h) Propiedades del vapor de agua, humedades y entalpías.	o Certificado	o Para Información	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA		FACULTAD DE CIENCIAS			
	o Por Aprobar	o Por calificar	REALIZADO POR: TANIA BELTRAN		Lámina			
	o Aprobado		SABINA VELOZ		Escala			
					Fecha			
					8 x: y: 2014-09-22			

ANEXO IX
PROPIEDADES FÍSICAS DEL AIRE, AGUA Y VAPOR DE AGUA A 1 at

$t, ^\circ\text{C}$	ρ Kg/m ³	μ 10 ⁻³ Kg/ m·seg	C_p Kcal/ Kg·°C	k Kcal/ mh·°C	β 10 ⁻⁴ °C ⁻¹	λ Kcal/Kg	ν 10 ⁻⁴ m ² /seg	α 10 ⁻⁷ m ² /seg	$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$	$\frac{g}{\alpha \nu}$ 10 ¹² m ⁻³
0	999,8	1,794	1,008	0,491	—	596,4	1,794	1,35	12,2	40,4
10	999,7	1,310	1,002	0,504	0,88	590,9	1,310	1,40	9,4	53,5
20	998,2	1,009	0,9995	0,517	2,07	585,5	1,011	1,44	7,02	67,4
30	995,7	0,800	0,9986	0,530	3,04	580,0	0,803	1,48	5,43	82,4
40	992,2	0,654	0,9987	0,543	3,85	574,5	0,659	1,52	4,33	97,7
50	988,1	0,549	0,9982	0,555	4,60	568,9	0,556	1,56	3,56	113,0
60	983,2	0,470	1,000	0,567	5,21	563,2	0,478	1,60	2,98	228,1
70	977,8	0,407	1,001	0,580	5,86	557,3	0,416	1,65	2,53	143,2
80	971,8	0,357	1,003	0,592	6,41	551,3	0,367	1,69	2,18	158,2
90	965,3	0,317	1,005	0,604	7,00	545,3	0,328	1,73	1,90	172,6
100	958,4	0,284	1,008	0,616	7,48	539,0	0,296	1,77	1,67	186,9
110	951,0	0,256	1,011	0,628	7,9	532,6	0,269	1,81	1,48	201
120	943,4	0,232	1,014	0,640	8,4	525,9	0,246	1,86	1,32	215
130	935,2	0,212	1,017	0,652	9,0	519,0	0,227	1,90	1,19	227
140	926,4	0,196	1,020	0,664	9,7	511,9	0,212	1,95	1,08	236
150	917,3	0,184	1,024	0,676	10,4	504,5	0,201	2,00	1,00	245
160	907,5	0,174	1,027	0,688	11,0	496,9	0,192	2,05	0,935	250

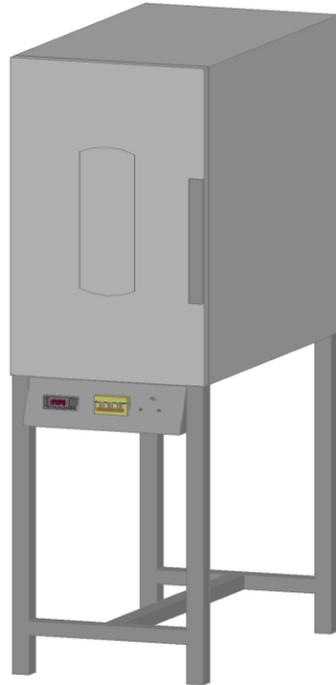
(i)

$t, ^\circ\text{C}$	ρ Kg/m ³	ν 10 ⁻⁴ Kg/ m·seg	C_p Kcal/ Kg·°C	k Kcal/ mh·°C	β 10 ⁻⁴ °C ⁻¹	ν 10 ⁻⁴ m ² /seg	α 10 ⁻⁷ m ² /seg	$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$	$\frac{g}{\alpha \nu}$ 10 ¹² m ⁻³
0	1,293	1,709	0,238	0,0208	3,66	1,32	1,88	0,702	39,5
50	1,093	1,951	—	0,0240	3,10	1,78	2,57	0,695	21,4
100	0,946	2,175	0,237	0,0272	2,68	2,30	3,37	0,681	12,65
150	0,834	2,385	—	0,0304	2,36	2,86	4,28	0,668	8,02
200	0,746	2,582	0,236	0,0336	2,11	3,46	5,30	0,652	5,35
250	0,675	2,770	—	0,0366	1,97	4,10	6,40	0,640	3,74
300	0,616	2,946	0,235	0,0394	1,74	4,78	7,57	0,632	2,71

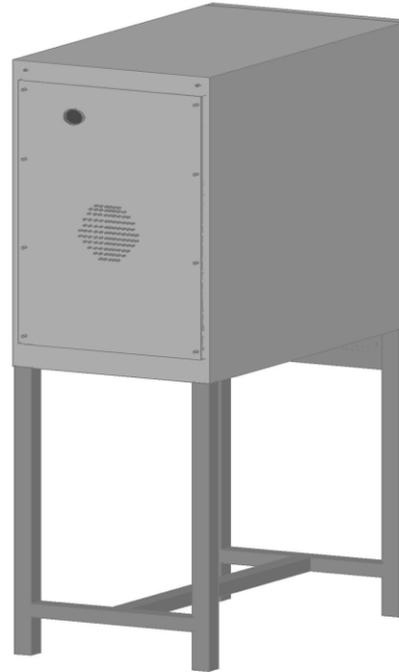
(j)

NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	SECADOR TIPO ARMARIO		
				FACULTAD DE CIENCIAS	Lámina	Escala
i) Propiedades físicas del agua y vapor de agua a 1 at.		<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Para Información	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA			
j) Propiedades físicas del aire a 1 at.		<input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar				
		<input type="checkbox"/> Aprobado	REALIZADO POR: TANIA BELTRÁN SABINA VELOZ	9	x: y:	2014-09-22

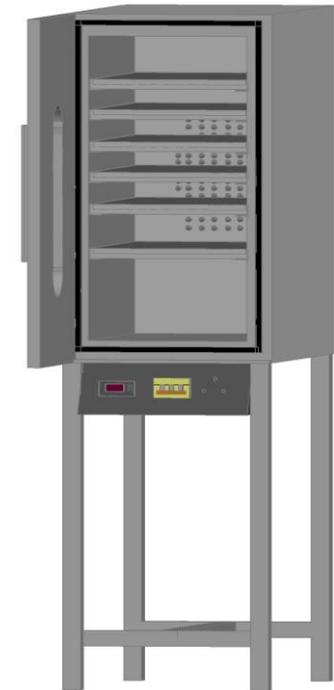
**ANEXO X
SIMULACIÓN DEL SECADOR TIPO ARMARIO**



(k)



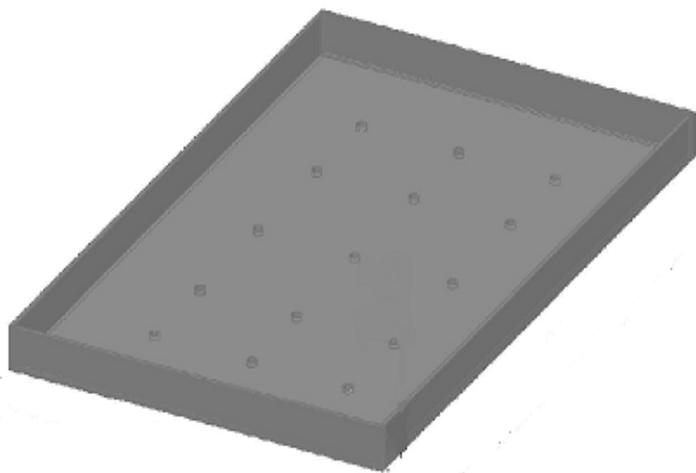
(l)



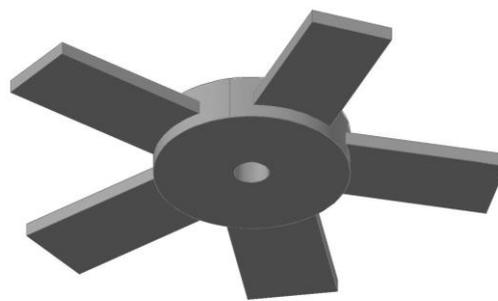
(m)

NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: TANIA BELTRÁN SABINA VELOZ	SECADOR TIPO ARMARIO		
k) Vista frontal del secador tipo armario l) Vista posterior del secador tipo armario m) Vista frontal interna del secador tipo armario				o Certificado o Para Información o Por Aprobar o Por calificar o Aprobado	Lámina	Escala
				10	x: y:	2014-09-22

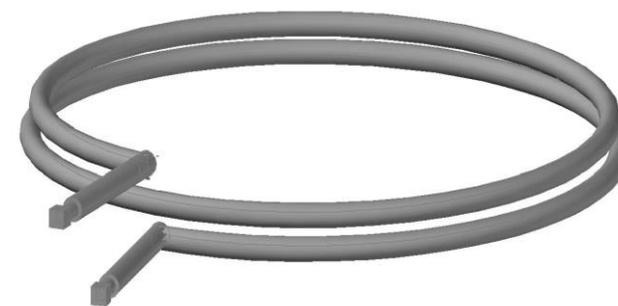
**ANEXO XI
SIMULACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SECADOR TIPO ARMARIO**



(n)



(o)



(p)

NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		SECADOR TIPO ARMARIO				
n) Vista de las bandejas o) Vista del ventilador p) Vista de la resistencia eléctrica	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Para Información	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: TANIA BELTRÁN SABINA VELOZ			Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Por Aprobar	<input type="checkbox"/> Por calificar	11	x: y:	2014-09-22			
	<input type="checkbox"/> Aprobado							

**ANEXO XII
SECADOR TIPO ARMARIO**



(q)



(r)

NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: TANIA BELTRÁN SABINA VELOZ	SECADOR TIPO ARMARIO		
q) Vista exterior del secador tipo armario. r) Vista interior del secador tipo armario.	o Certificado o Por Aprobar o Aprobado			o Para Información o Por calificar	Lámina	Escala
				12	x: y:	2014-09-22

**ANEXO XIII
BANDEJA Y RESISTENCIA DEL SECADOR TIPO ARMARIO.**



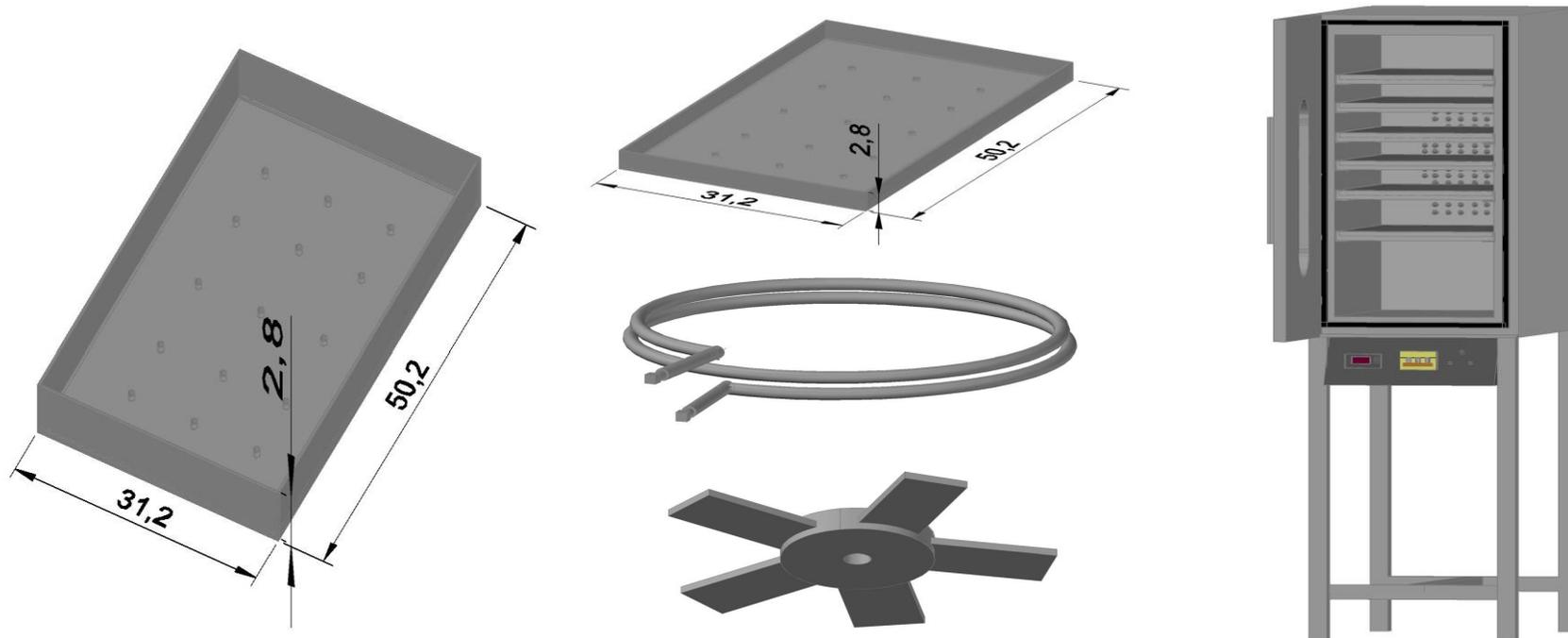
(s)



(t)

NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO		
s) Bandejas. t) Resistencia eléctrica.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Para Información <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Aprobado		FACULTAD DE CIENCIAS		
			ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA		
			SECADOR TIPO ARMARIO		
			Lámina	Escala	Fecha
			13	x: y:	2014-09-22

**ANEXO XIV
DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR TIPO ARMARIO**



(u)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	SECADOR TIPO ARMARIO		
u) Dimensionamiento del secador tipo armario	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: TANIA BELTRÁN SABINA VELOZ	Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar		14	x: y:	2014-09-22
	<input type="checkbox"/> Aprobado				

**ANEXO XV
SECADO DE BERRO, ESPINACA Y ZANAHORIA**



(v)



(w)



(x)

NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: TANIA BELTRÁN SABINA VELOZ	SECADOR TIPO ARMARIO		
v) Secado de berro w) Secado de espinaca x) Secado de zanahoria				<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Para Información <input type="checkbox"/> Por calificar	Lámina
				15	x: y:	2014-09-22

