

"Año del deber ciudadano"

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ



FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

“DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE DIFUSIVIDAD DE TRANSFERENCIA DE MASA, A TEMPERATURA DE TRATAMIENTO TÉRMICO, DE FONDOS DE ALCACHOFA (*Cynara scolymus*) EN ALMÍBAR”

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

PRESENTADO POR:

Bach. ENMA ELEA EGAS PEÑA

**HUANCAYO – PERÚ
2007**

INDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION BIBLIOGRAFICA	
2.1 La Alcachofa	3
2.1.1 Origen e historia	3
2.1.2 Características de la alcachofa	4
2.1.3 Valor nutritivo y propiedades medicinales	4
2.1.4 Especificación botánica de la alcachofa	5
2.1.5 Composición químico proximal de la alcachofa	5
2.1.6 Producción del departamento de Junín	6
2.1.7 Jarabe	8
2.2 Transferencia de Masa	8
2.2.1 Fundamentos teóricos de difusividad	9
2.2.2 Ley de Fick para la difusión	10
2.2.3 Difusión en estado no estacionario	11
2.2.4 Modelos de transferencia unidireccionales	
-Transferencia a través de una placa plana	11
2.2.5 Difusividad en líquidos	13
III.MATERIALES Y METODOS	
3.1 Lugar de Ejecución	14
3.2 Materia Prima e Insumos	14
a. Hortaliza	14
b. Insumos	14
3.3 Equipos y Materiales	14

3.3.1 Equipos	14
3.3.2 Materiales de vidrio y utensilios.	14
3.4 Métodos de Análisis	15
3.5 Metodología Experimental	15
3.5.1 Diagrama de Flujo	15
3.5.2 Esquema Experimental	17
a. Sólidos solubles en los fondos	17
b. Sólidos solubles en el almíbar	18
c. Humedad en los fondos de alcachofa	18
d. Determinación del coeficiente la difusividad efectiva (ϵ_{Cm})	19
3.5.3 Diseño Estadístico	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	
4.1 Características de la materia prima	21
4.2 Características del almíbar	21
4.3 Tratamiento térmico	21
4.4 Ganancia de sólidos solubles en los fondos de alcachofa	21
4.5 Pérdida de sólidos solubles en el almíbar	26
4.6 Pérdida de humedad en los fondos de alcachofa	30
4.7 Ganancia de humedad en el almíbar	33
4.8 Determinación de la difusividad de sólidos solubles hacia los fondos de alcachofa en almíbar	37
4.9 Determinación de la difusividad del agua de los fondos de alcachofa hacia el almíbar	42
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
VI. BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXOS	

INDICE DE CUADROS

Cuadro N°		Página
1	Composición química de la alcachofa (en 100 g de parte comestible)	5
2	Composición química de dos variedades de alcachofa (100 g de materia prima)	6
3	Producción en TM de alcachofas	6
4	Producción en TM de alcachofas en las provincias del departamento de Junín – 2005	8
5	Difusividades de sólidos en alimentos	12
6	Evolución de los sólidos solubles en los fondos de alcachofa en almíbar a 45 °Brix (T ₁)	22
7	Evolución de los sólidos solubles en los fondos de alcachofa en almíbar a 50 °Brix (T ₂)	23
8	Evolución de los sólidos solubles en los fondos de alcachofa en almíbar a 55 °Brix (T ₃)	23
9	Resumen de promedios de datos originales y datos ajustados en la evolución de sólidos solubles en los fondos de alcachofa en almíbar a 45, 50 y 55 ^a Brix	24
10	Pérdida de los sólidos solubles en el almíbar de 45 °Brix (T ₁)	26
11	Pérdida de los sólidos solubles en el almíbar de 50 °Brix (T ₂)	27
12	Pérdida de los sólidos solubles en el almíbar de 55 °Brix (T ₃)	27
13	Resumen de promedios de datos originales y datos ajustados en la pérdida de sólidos solubles en el almíbar a 45, 50 y 55 ^a Brix	28
14	Evolución de la humedad de los fondos de alcachofa en almíbar a 45°Brix (T ₁)	30
15	Evolución de la humedad de los fondos de alcachofa en almíbar a 50°Brix (T ₂)	31

16	Evolución de la humedad de los fondos de alcachofa en almíbar a 55°Brix (T₃)	31
17	Resumen de promedios de datos originales y datos ajustados en la evolución de la humedad en los fondos de alcachofa a 45, 50 y 55 °Brix	32
18	Ganancia de humedad del almíbar a 45°Brix (T₁)	34
19	Ganancia de humedad del almíbar a 50°Brix (T₂)	34
20	Ganancia de humedad del almíbar a 55°Brix (T₃)	35
21	Resumen de promedios de datos originales y datos ajustados en la ganancia de la humedad en el almíbar a 45, 50 y 55 ° Brix	35
22	Valores de las repeticiones del tratamiento (T₁) en la difusividad de sólidos solubles	38
23	Determinación del coeficiente de difusividad de los sólidos solubles en el fondo de alcachofa (almíbar a 45° Brix - promedio)	39
24	Valores de las repeticiones del tratamiento (T₂) en la difusividad de sólidos solubles	39
25	Determinación del coeficiente de difusividad de los sólidos Solubles en el fondo de alcachofa (almíbar a 50 °Brix – Promedio)	40
26	Valores de las repeticiones del tratamiento (T₃) en la difusividad de sólidos solubles	40
27	Determinación del coeficiente de difusividad de los sólidos solubles en el fondo de alcachofa (almíbar a 55° Brix – promedio)	41
28	Valores de las repeticiones del tratamiento (T₁) en la difusividad del agua	43
29	Determinación del coeficiente de difusividad del agua en los	

	fondos de alcachofa (almíbar 45° Brix – Promedio)	43
30	Valores de las repeticiones del tratamiento (T₂) en la difusividad del agua	44
31	Determinación del coeficiente de difusividad del agua en los fondos de alcachofa (almíbar 50° Brix – Promedio)	44
32	Valores de las repeticiones del tratamiento (T₃) en la difusividad del agua	45
33	Determinación del coeficiente de difusividad del agua en los fondos de alcachofa (almíbar 55° Brix – Promedio)	46

INDICE DE FIGURAS

Figura N°		Página
1	Cultivo de alcachofa en el valle del Mantaro	3
2	Alcachofa criolla con espinas	7
3	Diagrama de flujo utilizado en el procesamiento de fondos de alcachofa en almíbar	16
4	Evolución de los sólidos solubles en los fondos de alcachofa	24
5	Ajuste matemático para la ganancia de sólidos solubles en los fondos de alcachofa	25
6	Evolución de los sólidos solubles en almíbar	29
7	Ajuste matemático para la pérdida de sólidos solubles en los almíbares	30
8	Evolución de la humedad de fondos de alcachofa en almíbar	32
9	Ajuste matemático para la pérdida de humedad de fondos de alcachofa en almíbar	33
10	Evolución de la humedad en el almíbar	36
11	Ajuste matemático a la ganancia de humedad del almíbar	37
12	Variación del LnE en función al tiempo para fondos de alcachofa en almíbar a 45, 50 y 55°Brix (promedio), en la determinación del coeficiente de difusión de sólidos solubles	42
13	Variación del LnE en función al tiempo para fondos de alcachofa en almíbar a 45, 50 y 55°Brix (promedio), en la determinación del coeficiente de difusividad de la humedad	47

RESUMEN

Con el objetivo de explicar el proceso de transferencia de masa que se produce en los fondos de alcachofa en almíbar, se determinaron los coeficientes de difusividad para sólidos solubles y para el agua del fondo hacia el almíbar, a temperatura de tratamiento térmico de 90 °C, para ello se utilizó el modelo matemático de la Segunda Ley de Fick para una lámina, para los tratamientos **T₁**, **T₂** y **T₃**; los tiempos utilizados para la determinación de ganancia de sólidos solubles y pérdida de agua fueron: 2, 4, 8, 12, 16, 32, 48, 56, 80, 120 y 160 minutos durante la temperatura de tratamiento térmico, cada tratamiento tuvo 5 repeticiones. Con los datos experimentales y mediante el análisis de regresión se ajustó al modelo matemático de una recta para una relación semilogarítmica entre las variables: °Brix - tiempo y % de humedad – tiempo. Determinándose los valores de los coeficientes de difusividad para **Sólidos solubles: T₁: 8,19067E-11 m²/s, T₂: 1,41294E-10 m²/s, T₃: 1,70019E-10 m²/s** y para el **Agua: T₁: 1,10444E-10 m²/s, T₂: 1,4863E-10 m²/s, T₃: 2,33108E-10 m²/s**. Se aplicó el diseño experimental completamente al azar para los coeficientes de difusión, encontrándose diferencias significativas al 5 y 1% , demostrándonos que la velocidad de difusión de sólidos solubles y del agua en los fondos en almíbar son mayores a concentraciones de 55°Brix, luego a 50°Brix y 45°Brix respectivamente. Con la finalidad de saber si el modelo matemático usado se ajusta al trabajo se determinó los coeficientes de correlación (r^2) y se obtuvo para **Sólidos solubles: T₁: 0,9165291, T₂: 0,9502884, T₃: 0,8496553** y para **Humedad: T₁: 0,7670150, T₂: 0,7733514, T₃: 0,7942549**.

I. INTRODUCCION

El trabajo explica el fenómeno de transferencia de masa, mediante la difusión de la sacarosa a través de los fondos de alcachofa. Recientemente el tema de la difusión está siendo estudiada por algunos investigadores existiendo pocos trabajos sobre éste tema.

En muchos procesos de producción de alimentos nos encontramos con el fenómeno de difusión, tal es el caso de las conservas de fondos de alcachofa en almíbar, producto innovador del cual nos interesa conocer los coeficientes de difusividad, es decir, cual es la velocidad de difusión del almíbar hacia los fondos y del agua hacia el almíbar cuando las concentraciones del almíbar varían (45°, 50° y 55°Brix).

Se han realizado estudios sobre la velocidad de difusión en algunos productos alimenticios como: capulí, kiwi, ananás, durazno, mango y manzana, donde se utilizó como solución osmótica la sacarosa, otros trabajos se realizaron utilizando salmuera para evaluar su difusividad durante la salazón de quesos, embutidos y pescado. No existen trabajos sobre el comportamiento del fenómeno de difusión en hortalizas, como es el caso de los fondos de alcachofa en almíbar.

La importancia de este trabajo radica en el conocimiento de la velocidad con que se difunde el almíbar en los fondos de alcachofa cuando los frascos cerrados son sometidos a temperatura de tratamiento térmico de 90 °C y a presión atmosférica de Huancayo.

La segunda Ley de Fick, es el modelo matemático que explica la transferencia de masa (agua y sólidos solubles) para un estado no estacionario, que se produce en los fondos de alcachofa en almíbar.

El objetivo general que se alcanzó con la realización del trabajo de investigación fue:

- Explicar el fenómeno de transferencia de masa de fondos de alcachofa en almíbar, a temperatura de tratamiento térmico, utilizando la segunda ley de Fick.

Los objetivos específicos planteados fueron:

- Determinar el modelo matemático que se ajusta a la evolución de sólidos solubles y a la evolución del agua.
- Aplicar el modelo matemático de la segunda ley de Fick, para obtener los valores de los coeficientes de difusión en conservas de fondos de alcachofa en almíbar.
- Determinar las constantes de difusividad de sólidos solubles a las concentraciones de almíbar de 45°, 50° y 55° Brix a través de los fondos de alcachofa.
- Determinar las constantes de difusividad del agua a las concentraciones de almíbar de 45°, 50° y 55° Brix de los fondos de alcachofa.

II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

2.1 LA ALCACHOFA:

2.1.1 ORIGEN E HISTORIA.- Su centro de origen se ubica en una amplia zona que cubre el Asia Menor y el norte de África, formando parte de la cuenca del Mediterráneo e incluye a las islas Canarias, las Egeas y el sur de Turquía y Siria, donde aún crecen al estado silvestre tres subespecies primitivas que consumían unos 2 000 años antes de Cristo, aunque las variedades que hoy conocemos parecen derivarse de una desarrollada en Italia. Es posible que al principio sólo se comieran las nervaduras carnosas de las hojas, como ocurre con el cardo, porque las inflorescencias eran muy pequeñas, espinosas y de sabor desagradable, pero que con el tiempo y cierta selección empírica fueron evolucionando a lo que son las alcachofas actuales (*Robles, 2000*).

Figura 1: CULTIVO DE ALCACHOFA EN EL VALLE DEL MANTARO



Es introducida en nuestro continente por los españoles más o menos en el siglo XVI, sembrándose solamente en la costa para el consumo de la nobleza y la clase alta, llegando al Valle del Mantaro aproximadamente hace 50 años procedentes de las familias italianas de la costa. Por las características de clima, suelo y agua de la zona, se adaptó en la cuenca del río Achamayo en Concepción; A partir de la década del 80, este cultivo fue incrementando su extensión, convirtiéndose en una especie cuya rentabilidad supera a los cultivos tradicionales (*Ministerio de Agricultura, 1999*).

2.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ALCACHOFA.- La alcachofa es una hortaliza cuyo nombre científico es *Cynara scolymus L.*, pertenece a la familia compositae. (*PROMPEX, 1999*).

La alcachofa es una planta de estructura herbácea, originalmente de tipo semiperenne, aunque por selección genética se han obtenido recientemente variedades anuales (*Robles, 2000*).

La parte comestible es el receptáculo carnoso de las cabezuelas y la parte tierna y gruesa de las brácteas tipo escamas, que presenta la flor de la alcachofa. Es considerada como uno de los productos hortícola con mayor valor energético (*Vásquez V, Alza A., 1997; y Catacora, 1999*).

2.1.3 VALOR NUTRITIVO Y PROPIEDADES MEDICINALES.- Debido a su bajo contenido calórico y alta proporción de fibra, la alcachofa puede ser considerada una hortaliza light. Si a esto se agrega un exquisito sabor y alto precio, entra por derecho propio a la categoría de “**hortalizas especiales**” o “**de banquete**”, como lo es también el espárrago. Obviamente nunca ha sido ni será de consumo masivo, especialmente en países pobres como el nuestro, donde es dramática la pobreza en calorías y proteínas de la dieta popular.

De acuerdo a su composición, la alcachofa no sólo es una hortaliza nutritiva, sino altamente protectora de la salud, además de adecuada para regímenes de conservación de la figura. Por su contenido de fibra, vitamina C y flavonoides antioxidantes, previene la formación de tumores, cáncer del colon, senos y próstata, además de problemas cardiovasculares. Su alta proporción de magnesio le confiere efectos antidepresivos y refuerza el sistema reproductivo. Sumado al folato reduce en las mujeres el riesgo de ciertos defectos cerebrales o espinales del feto durante la gestación.

La alcachofa contiene un alcaloide llamado cinarina, que es estimulante del hígado y reduce los cálculos biliares así como el colesterol y la formación de ácido úrico. Por contener también inulina, es conveniente que forme parte de la dieta de los diabéticos. Todas estas propiedades- únicas en una hortaliza – debieran ser mencionadas en cualquier programa dirigido a la promoción de su consumo (*Robles, 2000*).

2.1.4 ESPECIFICACIÓN BOTÁNICA DE LA ALCACHOFA.- La alcachofa

tiene la siguiente clasificación taxonómica:

DIVISIÓN	:	Fanerógamas o Espermatofitos
SUB DIVISIÓN	:	Angiosperma
CLASE	:	Dicotiledóneas
SUB CLASE	:	Simpétalas
ORDEN	:	Sinandralas
FAMILIA	:	Compositaceas
GRUPO	:	Ateridas
GENERO	:	Cynara
ESPECIE	:	Scolymus
NOMBRE CIENTÍFICO	:	<u>Cynara scolymus</u> L.

Fuente: *Carhuallanqui (1999)*.

2.1.5 COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL DE LA ALCACHOFA.- En su

composición la alcachofa tiene un componente muy especial que es la INULINA, el cual es un polisacárido muy parecido al almidón, no tiene sabor dulce, pero no se colorea con yodo. Este hidrato de carbono se hidroliza y produce fructuosa en vez de glucosa. (*Rafael, 1995*).

Cuadro 1: COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ALCACHOFA (en 100 g de parte comestible)

COMPONENTES	Cantidad*	Cantidad**
Agua	82,675 g	92,90 g
Proteínas	2,965 g	2,80 g
Grasa	0,370 g	-
Fibra bruta	2,500 g	1,40 g
Carbohidratos	10,245 g	2,90 g
Ceniza	1,245 g	1,20 g
Calcio	46,500 mg	42,00 mg
Fósforo	69,500 mg	51,00 mg
Hierro	0,950 mg	1,10 mg
Tiamina	-	0,07 mg
Caroteno	-	0,04 mg
Niacina	-	0,85 mg
Calorías	-	19,00 Kcal.

Fuente: **Araujo (1985)*.

***Collazos (1996)*

Cuadro 2: COMPOSICIÓN QUÍMICA DE DOS VARIEDADES DE ALCACHOFA (100 g de materia prima)

COMPONENTES	VARIEDADES	
	CRIOLLA SERRANA	CRIOLLA COSTEÑA
Agua	82,675 g	81,82 g
Materia seca	17,325 g	18,18 g
Proteína	2,965 g	2,85 g
Grasa bruta	0,370 g	0,859 g
Fibra bruta	2,500 g	2,633 g
Carbohidratos	10,245 g	10,557 g
Cenizas	1,245 g	1,256 g
Fierro	0,950 mg	0,961 mg
Calcio	46,500 mg	46,300 mg
Fósforo	69,500 mg	69,400 mg
Acidez cítrica anhidra	0,0634 mg	0,0629 mg
pH	6,2	6,2

Fuente: Araujo (1985).

En el Cuadro 1, se presenta la composición química de la alcachofa en 100 g. de parte comestible citado por (Collazos, 1996 y Araujo, 1985). En el Cuadro 2, se presenta la composición química de dos variedades de alcachofa fresca criolla serrana y criolla costeña mencionado por (Araujo, 1985).

2.1.6 PRODUCCION DEL DEPARTAMENTO DE JUNIN.- Según la Oficina de Información Agraria, DIA-Junín, reporta lo siguiente:

Cuadro 3: PRODUCCIÓN EN TM. DE ALCACHOFAS

MESES / AÑOS	2001	2002	2003	2004	2005
ENERO	334	436	353	389	751
FEBRERO	400	516	373	485	647
MARZO	471	598	427	484	783
ABRIL	500	563	459	557	581
MAYO	452	519	496	539	535
JUNIO	391	461	433	512	430
JULIO	307	345	379	399	398
AGOSTO	186	197	271	263	342
SETIEMBRE	135	212	263	262	400
OCTUBRE	226	301	269	381	543
NOVIEMBRE	274	335	292	494	685
DICIEMBRE	365	359	340	597	820
TOTAL	4 041	4 842	4 355	5 362	6 915

Fuente: DIA- JUNIN (2006)

Elaboración: Propia.

En el departamento de Junín existen 442,70 hectáreas de alcachofa con y sin espinas.

La cadena productiva de alcachofa viene manejando 248 hectáreas, 170 con espinas y 78 sin espinas, y tiene como ámbito de acción el valle del Mantaro con las Provincias de Huancayo (San Jerónimo de Tunán, Hualhuas, El Tambo, Pucará, Pilcomayo, Sicaya y Quichuay), Concepción (Concepción, 9 de Julio, Santa Rosa, Matahuasi y Orcotuna), Jauja (Muqui, Muquiyauyo, Xauxa, El Mantaro) y Huancavelica (Tayacaja -Tongos) lugares en los que se instaló 87 hectáreas.

Figura 2: ALCACHOFA CRIOLLA CON ESPINAS



La alcachofa criolla o con espinas tiene un rendimiento promedio de 20 TM por hectárea, su comercialización es en fresco y tiene un precio de S/. 1,40 la docena, en cambio para procesamiento oscila entre S/. 1,80 – 2,00 la docena. (*Agro Junín – 2005*).

Cuadro 4: PRODUCCIÓN EN TM. DE ALCACHOFAS EN LAS PROVINCIAS DEL DEPARTAMENTO DE JUNIN - 2005

MESES / PROVINCIAS	HUAN-CAYO	CHU-PACA	CONCEPCION	JAUJA	TARMA
ENERO	55	13	642	41	-
FEBRERO	77	22	509	39	-
MARZO	95	28	619	41	-
ABRIL	74	30	449	27	1
MAYO	71	26	406	24	8
JUNIO	52	19	330	21	8
JULIO	43	19	310	16	10
AGOSTO	31	10	281	15	6
SETIEMBRE	33	14	330	19	4
OCTUBRE	57	25	402	32	26
NOVIEMBRE	74	29	447	38	97
DICIEMBRE	89	33	606	49	44
TOTAL	751	268	5 330	362	204

Fuente: DIA- JUNIN (2006)

Elaboración: Propia.

2.1.7 JARABE.- Según *Baduí (1988)*, jarabe es el nombre genérico de las soluciones viscosas de azúcares en agua o en algún otro disolvente.

Rauch (1980), afirma que la concentración de azúcar tiene una unidad tomada casi en forma universal que es el Grado Brix. 1° Brix, corresponde a un gramo de azúcar en 100 gramos de solución azucarada (es decir el peso de la solución una vez hecha la mezcla), a este tipo de relación se le conoce como peso en peso). Cualquier valor que se refiera a azúcares que se encuentre enmarcado en porcentaje se debe leer como °Brix. Lo importante en la preparación de cualquier tipo de jarabe, es tener la concentración de azúcar, por ejemplo al mezclar 1 kilogramo de azúcar con un litro de agua, se obtiene un volumen de jarabe de 1,628 litros, ésta solución tendrá según tablas, una concentración de 50 °Brix.

2.2 TRANSFERENCIA DE MASA:

La transferencia de materia en un sistema o entre sistemas consiste en el transporte de masa de un componente en el espacio y/o en el tiempo debido al fenómeno de difusión y si existe movimiento a la aportación como consecuencia del mismo. (*Hermida, 2000*).

Para *Doran (1998)*, la transferencia de materia se produce en mezclas que contienen diferentes concentraciones locales.

Muchos fenómenos comunes implican una transferencia o transporte de solutos, mecanismo que se verifica cuando el componente de una mezcla emigra de una fase a otra a causa de la diferencia de concentración entre dos puntos. La transferencia de masa puede considerarse de forma similar a la aplicación de la ley de conducción de Fourier a la transferencia de calor. Sin embargo, una de las diferencias importantes es que en la transferencia molecular de masa, uno o más de los componentes del medio se está moviendo. En la transferencia de calor por conducción, el medio suele ser estacionario y solo se transporta energía en forma de calor (*Geankoplis, 1998*).

Para *Treybal (1980)*, la rapidez con la cual un componente se transfiere de una fase a otra depende de un coeficiente llamado de transferencia de masa, o de rapidez, y del grado de desviación del sistema del equilibrio. La transferencia termina cuando se llega al equilibrio.

Ejemplos:

- Evaporación de un líquido (diferencia de concentraciones del vapor del agua y del aire).
- Trozo de azúcar en el agua.

2.2.1 FUNDAMENTOS TEORICOS DE DIFUSIVIDAD.- La difusión molecular es el movimiento de las moléculas de los componentes de una mezcla debido a la diferencia de concentración existente en el sistema. La difusión de las moléculas se produce en la dirección necesaria para eliminar el gradiente de concentración (*Doran, 2000*).

Si una solución es completamente uniforme con respecto a la concentración de sus componentes, no ocurre ninguna alteración, en cambio, si no es uniforme, la solución alcanzará espontáneamente la uniformidad por difusión, ya que las sustancias se moverán de un punto de concentración elevada a otro de baja concentración. La rapidez con la cual un soluto se mueve en cualquier punto y en cualquier dirección, dependerá, por tanto, del gradiente de concentración en ese punto y en esa dirección. Para describir

cuantitativamente este proceso, se necesita una medida apropiada de la rapidez de transferencia (*Treybal, 1980*).

Debido a que los alimentos presentan una estructura heterogénea, es difícil tener una idea precisa del mecanismo de difusión (*Djerlveh y Col., 1989; mencionado por Huamán 2000*). Esta estructura heterogénea en alimentos se debe a un sistema celular de múltiples capas, razón por la cual normalmente se asume que la difusión es unidireccional, corrigiéndose esta suposición mediante una difusividad aparente o efectiva capaz de determinarse experimentalmente (*Loncin, 1979; mencionado por Huamán 2000*).

Teóricamente, existe una gran variedad de solutos que pueden difundirse en un medio y en el interior de una fruta, sin embargo, es necesario que el soluto sea compatible con las características organolépticas de aquella; por esta razón los azúcares son los agentes por excelencia que se utilizan cuando se consideran a las frutas (*Chirife, 1986; mencionado por Huamán, 2000*).

(*Fernández, 1992; mencionado por Huamán, 2000*), señala que otros factores que afectan la difusividad son la concentración, temperatura y viscosidad, éstos últimos íntimamente relacionados; mientras que otros como la agitación y adición de solutos pueden ser tratados independientemente.

2.2.2 LEY DE FICK PARA LA DIFUSIÓN.- La teoría de la difusión, en sistemas de una fase, la velocidad de transferencia de materia debida a la difusión molecular viene expresado por la *ley de difusión de Fick*, que establece que el flujo másico es proporcional al gradiente de concentración:

$$J_A = \frac{N_A}{a} = -D_{AB} \frac{dC_A}{dy}$$

J_A = Es el *flujo másico* del componente A. ($\text{mol.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$)

N_A = La *velocidad de transferencia de materia* del componente A. (mol.s^{-1})

a = El área a través de la cual se produce la transferencia de materia.

D_{AB} = El *coeficiente de difusión binario o Difusividad* del componente A en una mezcla A y B. ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$)

C_A = La concentración del componente A. (mol.m^{-3})

y = La distancia.

$\frac{dC_A}{dy}$ = Es el gradiente de concentración o variación en la concentración de A con la distancia.

El signo negativo de la ecuación, indica que la dirección de la transferencia de materia siempre va desde regiones de alta concentración hacia regiones de baja concentración; es decir opuesta a la del gradiente de concentración.

D_{AB} refleja la facilidad con la que se produce la difusión, su valor depende de los componentes de la mezcla y de la temperatura (*Doran, 2000*).

2.2.3 DIFUSIÓN EN ESTADO NO ESTACIONARIO.- La ecuación general de Fick para la transferencia de materia por difusión en las tres direcciones del espacio viene dada por la expresión:

$$\frac{\partial C_m}{\partial t} = \varepsilon_{C_m} \cdot \nabla^2 C_m$$

Luego de ser integrada en su forma completa cuando la concentración de cualquier punto dependa de su posición y del tiempo, es decir en régimen no estacionario:

$$\frac{\partial C_m}{\partial t} = \varepsilon_{C_m} \left(\frac{\partial^2 C_m}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_m}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_m}{\partial z^2} \right) \text{ (Hermida, 2000).}$$

En función del tiempo de deshidratación, y de la geometría del alimento a deshidratar, se aplican diferentes soluciones de la segunda ley de Fick.

2.2.4 MODELO DE TRANSFERENCIA UNIDIRECCIONAL – TRANSFERENCIA A TRAVÉS DE PLACA PLANA.- Considerando una placa de dimensiones infinitas en las dos direcciones perpendiculares al espesor o con barrera difusional, la solución de la ecuación:

$$\frac{\partial C_m}{\partial t} = \varepsilon_{C_m} \cdot \frac{\partial^2 C_m}{\partial x^2},$$

La solución de la Ley de Fick, modificada para una lámina es:

$$\frac{\Delta C_m}{\Delta C_{m_0}} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \cdot e^{-\left[\frac{(2n-1)^2 \cdot \pi^2 \cdot \varepsilon_{C_m} \cdot t}{4L^2} \right]}$$

(*Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado, 2000*).

y en la que:

$$E = \frac{\Delta C_m}{\Delta C_{m_0}} = \frac{C_{m_1} - C_m}{C_{m_1} - C_{m_0}}$$

siendo: t = Tiempo.

ε_{C_m} = Coeficiente de difusión

C_{m_1} = la concentración inicial de las caras de la placa.

C_m = la concentración problema en el punto x y tiempo t.

C_{m_0} = la concentración inicial en cualquier punto interior de la placa.

El coeficiente de difusión efectivo se determina experimentalmente a partir de datos de secado, al representar gráficamente el término Ln E frente al tiempo, la pendiente del tramo lineal da el valor del coeficiente de difusividad (*Okos et. al., 1992*; mencionado por *Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado, 2000*).

Para formas sólidas en la cual la difusión sucede desde una cara, más que desde las dos caras opuestas, las funciones se calculan como si el espesor fuese el doble del valor real. Por ejemplo, si la difusión sucede a través de sólo una de las caras de la placa plana de espesor 2L, con los lados sellados, el cálculo se hace con $Dt/4L^2$ (*Carslaw, H.S. y J.C.Jaeger 1959*; mencionado por *Treybal, 1980*).

Cuadro 5: DIFUSIVIDADES DE SÓLIDOS EN ALIMENTOS.

Alimento	Soluto/Disolvente	Temperatura (°C)	D. 10 ⁻¹⁰ (m ² /s)
Rodajas de manzana	Azúcares/agua	75	11.8 ⁽¹⁾
Remolacha	Sacarosa	75	7.2 ⁽¹⁾
Café molido	Sólidos de café/agua	70-80	0,8-1.1 ⁽¹⁾
Rodajas de manzana	Azúcares/agua	40-60	5 ⁽²⁾
Café tostado	Sólidos de café/agua	97-100	3.05 ⁽¹⁾
Pepinillos	NaCl	25	11.1 ⁽¹⁾
Acido acético	Pescado	20	23 ⁽³⁾
Carne de res	Nitritos	5	18 ⁽⁴⁾
Soja	Aceite	69	1.13-0.13 ⁽¹⁾

⁽¹⁾Schwartzberg y Chao (1982). ⁽²⁾ Leach y colaboradores (1995), ⁽³⁾ Rodger y colaboradores (1984). ⁽⁴⁾ Fox

Fuente: Aguilera y Alvarado (2001).

2.2.5 DIFUSIVIDAD EN LÍQUIDOS

El movimiento de un líquido a través del alimento sólido debido al gradiente de humedad entre la superficie y el centro del producto describe el proceso de difusión líquida (*Álvarez, 1986* mencionado por *Huamán, 2000*).

La difusividad efectiva de la humedad, estimada de los datos de secado, representa sobretodo una propiedad de transporte de masa de agua en el material, la cual puede incluir difusión líquida, difusión de vapor, flujo hidrodinámico y otro posible mecanismo de transferencia de masa (*Maurisis 1990*, mencionado por *Huamán, 2000*)

Para la difusividad en líquidos las dimensiones son las mismas que para la difusividad en gases, longitud²/tiempo. Sin embargo, a diferencia del caso de los gases, la difusividad varía apreciablemente con la concentración.

Como no existe una teoría válida completa sobre la estructura de los líquidos, en ausencia de datos, no pueden hacerse cálculos exactos de la difusividad, los cuales si eran posibles respecto a los gases (*Treybal, 1980*).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN:

El trabajo experimental de la tesis fue realizada en los laboratorios de Análisis Instrumental de Alimentos y Microbiología de Alimentos, de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

3.2 MATERIA PRIMA E INSUMOS

a. Hortaliza

La materia prima del trabajo experimental fue la alcachofa, variedad criolla con espinas (*Cynara scolymus*), procedente del anexo de Uñas distrito de Huancayo. Para el trabajo se usó los fondos de la alcachofa con un diámetro de 5 cm.

b. Insumos

- **Sacarosa.**- Azúcar blanca refinada, fue utilizada para la preparación del almíbar, la sacarosa actúa como el compuesto que se difunde en los fondos.
- **Ácido cítrico.**-Actúa en la solución como regulador del pH.
- **Agua potable.**-Utilizado para preparación del almíbar.

3.3 EQUIPOS Y MATERIALES:

3.3.1 EQUIPOS

- Refractómetro de mesa: PZO WARZAWA, RL1 made in Poland, modelo: 6527, escala de 0 a 95 °Brix.
- Balanza analítica electrónica, modelo BP-121S, capacidad máxima 1 200 g, marca Sartorius – Germany, con precisión 0,01 mg.
- Estufa, modelo WSU 200, marca MLW - Germany, con rango de 30 - 300 °C.
- Balanza con capacidad máxima de 4 kg , con un precisión de 2,5 g

3.3.2 MATERIALES DE VIDRIO Y UTENSILIOS

- Envases de vidrio con tapa hermética de 250 mL.
- Placas petri.
- Varillas de vidrio.
- Termómetro rango de 0°C a 110°C.

- Gasas de tela.
- Papel aluminio.
- Cucharas, cucharitas, vasos descartables, algodón y papel secante.
- Ralladores de metal.

3.4 METODOS DE ANÁLISIS

a. Materia Prima

- **% de humedad:** Se determinó mediante el método de la *A.O.A.C 1995*.
- **% de sólidos solubles:** Mediante el método refractométrico (*Meyer, 1986*)

b. Durante el Proceso

- **pH:** Se determinó mediante el método potenciométrico (*Norma Técnica Peruana 203.001, 1987*).
- **% de sólidos solubles:** Mediante el método refractométrico a 20 °C (*Meyer, 1986*)

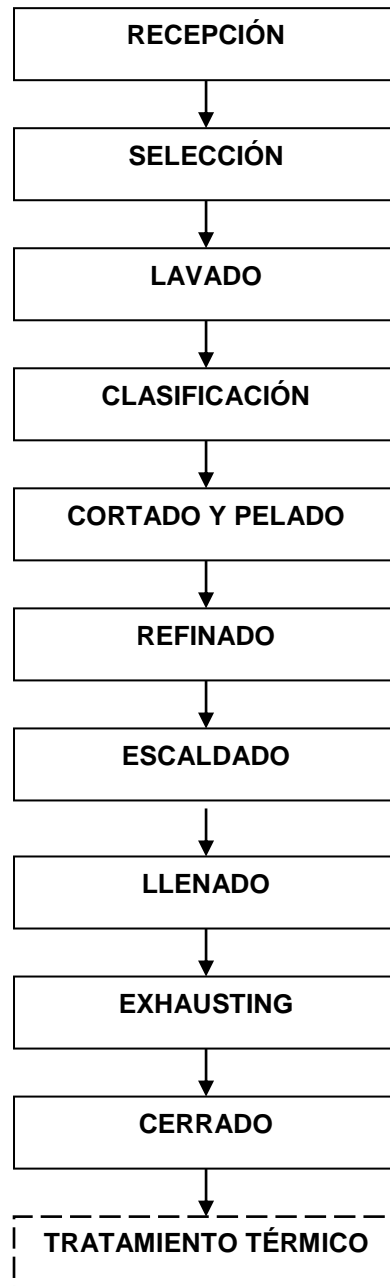
3.5 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.5.1 DIAGRAMA DE FLUJO

En la Figura 3 se observa el diagrama de flujo previo para la preparación de conservas de fondos de alcachofa en almíbar, el mismo se describe a continuación:

- **Recepción.-** Para la recepción de la materia prima se tuvo en cuenta el peso promedio de 140g para cada cabezuela.
- **Selección.-** Se realizó la selección de la materia prima eliminando toda aquella alcachofa en estado de descomposición o no apta para su proceso.
- **Lavado.-** Se realizó con agua corriente para quitar los contaminantes más frecuentes adheridos al producto.
- **Clasificación.-** Se clasificó de acuerdo al diámetro (7,5 a 8,0 cm.) de tal manera que se obtuvo fondos de diámetro uniforme.

Figura 3: DIAGRAMA DE FLUJO UTILIZADO EN EL PROCESAMIENTO DE FONDOS DE ALCACHOFA EN ALMÍBAR



- **Cortado y pelado.**- Se cortó el pedúnculo y las brácteas externas de manera transversal más o menos las $\frac{3}{4}$ partes del extremo superior de las cabezuelas.

- **Refinado.-** En esta operación se utilizó un cuchillo y una cuchara en forma alternada para eliminar las brácteas pequeñas, la lignina, la inflorescencia y finalmente se le afinó la forma.
- **Escaldado.-** El escaldado se hizo con la finalidad de inactivar enzimas como la catalasa y peroxidasa que son las causantes del oscurecimiento en los fondos. Se realizó sumergiendo los fondos en una solución de ácido cítrico al 1%, luego a esta solución conteniendo los fondos se le suministró energía hasta ebullición. Alcanzada esta condición se mantuvieron los fondos por 1 minuto.
- **Llenado.-** El llenado se hizo en envases de vidrio, en las cuales se llenó primero los fondos y luego el almíbar preparado previamente, a 45, 50 y 55 °Brix.
- **Exhausting.-** Se realizó con la finalidad de eliminar el oxígeno del interior de la conserva, el tiempo utilizado fue de 5 minutos.
- **Cerrado.-** Se hizo el cerrado con tapas de metal herméticas, inmediatamente después del evacuado del aire.
- **Tratamiento térmico.-** Se realizó 90 °C y a presión atmosférica de Huancayo por un tiempo de 160 minutos. Luego los fondos fueron extraídos cada cierto tiempo para determinar la difusión.

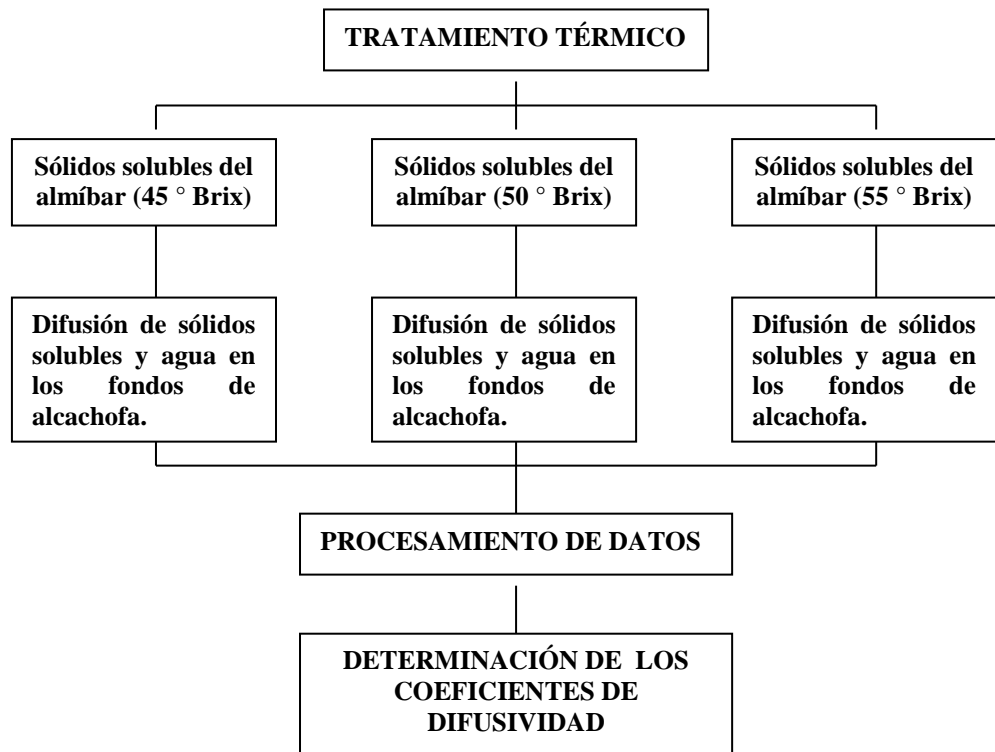
3.5.2 ESQUEMA EXPERIMENTAL

a. SÓLIDOS SOLUBLES EN LOS FONDOS

Para la determinación de los coeficientes de difusividad se siguió los siguientes pasos:

- Se midió los sólidos solubles de los fondos de alcachofa antes del tratamiento térmico, considerando este dato como valor inicial.
- Durante el tratamiento térmico a 90 °C y a presión atmosférica de Huancayo se fueron extrayendo los frascos de conservas preparados a 45, 50 y 55 °Brix, en los siguientes tiempos: 2, 4, 8, 12, 16, 32, 48, 56, 80, 120 y 160 minutos, cada frasco contenía 5 fondos de alcachofa que luego fueron secadas y ralladas uno por uno.

- Seguidamente se extrajo el jugo de cada fondo rallado utilizando una gasa, luego se determinó los sólidos solubles con el refractómetro de mesa. Esta prueba se repitió 5 veces por cada muestra.



b. SÓLIDOS SOLUBLES EN EL ALMÍBAR

Para la determinación de los grados Brix en el almíbar se extrajo una muestra de cada frasco y se midió directamente en el refractómetro, en los tiempos mencionados, para cada muestra.

c. HUMEDAD EN LOS FONDOS DE ALCACHOFA

Para la determinación de la humedad, se sacó muestras durante el tratamiento térmico (tal como se hizo en la determinación de sólidos solubles en los fondos) a 90° C (2, 4, 8, 12, 16, 32, 48, 56, 80, 120 y 160 minutos) de los frascos conteniendo los fondos a 45, 50 y 55 °Brix, luego se realizó la determinación de humedad con cinco repeticiones por cada muestra.

Para la determinación de la humedad se hizo uso del método oficial A.O.A.C. 925.10 – método de horno ventilado.

d. DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD EFECTIVA (ϵ_{cm})

Para esta determinación se utilizó la ecuación de la segunda ley de Fick, modificada para una lámina, según (*Barbosa-Cánovas - Vega-Mercado, 2000* y *Aguilera R., J. M. - Alvarado, J. de D., 2001*), que expresada, para un solo término ($n=1$), se tiene:

$$\frac{C_{m_1} - C_m}{C_{m_1} - C_{m_0}} = \frac{8}{\pi^2} e^{-[ft]}$$

Donde: $f = \frac{\epsilon_{cm} \pi^2}{L^2}$

t = Tiempo (segundos).

ϵ_{cm} = Coeficiente de Difusividad de la sacarosa del almíbar al fondo de alcachofa (m^2/s).

C_{m_1} = Concentración de sacarosa ($^{\circ}$ Brix) del almíbar.

C_m = Concentración de sacarosa ($^{\circ}$ Brix) en un tiempo θ , en el fondo de alcachofa.

C_{m_0} = Concentración inicial ($^{\circ}$ Brix), en el fondo de alcachofa.

L = Espesor del fondo de alcachofa (m)

Para el análisis de regresión semi-logarítmico, la ecuación llegó a la siguiente expresión:

$$\ln E = \ln \left[\frac{C_{m_1} - C_m}{C_{m_1} - C_{m_0}} \right] = \ln \frac{8}{\pi^2} - ft$$

A partir de las diferentes pendientes f , se determinó el coeficiente de difusividad para los fondos de alcachofa.

3.5.3 DISEÑO ESTADÍSTICO.- En la investigación se utilizó el DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR con cinco repeticiones, para determinar si existe diferencias significativas entre los coeficientes de difusividad de los tratamientos.

El modelo aditivo lineal para el Diseño será:

$$X_{ij} = u + a_i + r_j + e$$

En donde:

X_{ij} = Es la observación de la unidad experimental en la i -ésima concentración de almíbar, y en la j -ésima repetición.

u = Es el promedio general de las observaciones.

a_i = Efecto de la i -ésima concentración de almíbar, variando i de 1 a 3.

r_j = Efecto de la j -ésima repetición, variando j de 1 a 5.

e = Error experimental.

Por lo tanto para la aplicación del Diseño experimental, se tuvo 3 tratamientos con cinco repeticiones cada uno, y fue ideado con los siguientes códigos:

<i>DISEÑO EXPERIMENTAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</i>		CONCENTRACIÓN DEL ALMIBAR (° Brix)		
		T₁ = 45°	T₂ = 50°	T₃ = 55°
REPETICIONES	I	<i>T₁₁</i>	<i>T₂₁</i>	<i>T₃₁</i>
	II	<i>T₁₂</i>	<i>T₂₂</i>	<i>T₃₂</i>
	III	<i>T₁₃</i>	<i>T₂₃</i>	<i>T₃₃</i>
	IV	<i>T₁₄</i>	<i>T₂₄</i>	<i>T₃₄</i>
	V	<i>T₁₅</i>	<i>T₂₅</i>	<i>T₃₅</i>

Variable Independiente:

- Concentración inicial del almíbar (° Brix).

Variable dependiente

- Coeficientes de difusión de sólidos solubles.
- Coeficientes de difusión del agua.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA

Se utilizó cabezuelas tiernas de alcachofas que presentaban brácteas cerradas, de las cuales se obtuvieron fondos con las siguientes características:

- **Peso promedio de cada fondo** = 25 g
- **Diámetro promedio de cada fondo** = 5,0 cm.
- **Sólidos solubles** = 15 °Brix.
- **% Humedad** = 82,5.

4.2 CARACTERÍSTICAS DEL ALMIBAR

- **Sólidos solubles:**

$$T_1 = 45^\circ\text{Brix}$$

$$T_2 = 50^\circ\text{Brix}$$

$$T_3 = 55^\circ\text{Brix}$$

- **pH** = 3,5

4.3 TRATAMIENTO TERMICO

El experimento se realizó a 90°C, temperatura de tratamiento térmico, a presión atmosférica en Huancayo.

Tschevschner (2001), hace referencia que a pH menores de 4 se adopta tratamiento térmico moderado de 85° a 90°C.

El tiempo de 160 minutos usado, no es el tiempo óptimo de tratamiento térmico, este tiempo se adoptó con la finalidad de obtener puntos para graficar y determinar los coeficientes de difusividad de transferencia de masa a esa temperatura.

Los intervalos de tiempo usados se deben a que al principio existe mayor difusión y en intervalos de tiempos cortos es notorio, y a medida que el tiempo transcurre la difusividad se hace menor y se necesita mayor intervalo de tiempo para que esta sea notoria.

4.4 GANANCIA DE SÓLIDOS SOLUBLES EN LOS FONDOS DE ALCACHOFA:

En los Cuadros 6, 7 y 8, se muestran los resultados de los tres tratamientos experimentales, cada uno con sus cinco repeticiones y sus respectivos promedios, las

cuales se obtuvieron durante la evolución de sólidos solubles en las conservas de fondos de alcachofa en almíbar sometidos a tratamiento térmico, a medida que transcurría el tiempo.

Al comparar los resultados del Cuadro resumen 9, observamos que hay mayor ganancia de sólidos solubles en los fondos sumergidos en almíbar a 55 °Brix (T_3), luego a 50 ° Brix (T_2) y finalmente a 45 °Brix (T_1). Estos resultados muestran que existe una relación directamente proporcional entre la concentración del almíbar en la que están sumergidos los fondos de alcachofa, y la ganancia de sólidos solubles en un determinado tiempo.

Cuadro 6: EVOLUCIÓN DE LOS SÓLIDOS SOLUBLES EN LOS FONDOS DE ALCACHOFA EN ALMÍBAR A 45 °Brix (T_1)

TIEMPO (Minutos)	Repeticiones					Promedio
	I	II	III	IV	V	
0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
2	20,5	21,0	21,0	18,5	20,5	20,3
4	21,5	21,5	20,5	20,5	20,5	20,9
8	21,0	20,5	21,5	20,5	21,0	20,9
12	22,0	21,5	21,5	21,5	20,5	21,4
16	23,0	22,5	21,5	23,0	23,0	22,6
32	23,0	23,0	22,0	23,0	22,5	22,7
48	23,0	22,5	24,0	23,0	21,5	22,8
56	25,0	23,5	24,5	24,5	25,0	24,6
80	23,5	25,0	25,5	24,5	25,0	24,7
120	27,0	27,0	26,5	25,5	26,5	26,6
160	25,5	28,5	26,0	27,0	26,5	26,7

Si observamos los cuadros 6, 7 y 8 cada tratamiento inicia con almíbares de alta concentración (45 °, 50 ° y 55 ° Brix), mientras que los fondos de alcachofa tienen inicialmente 15° Brix, lo que hace que exista un significativo gradiente de concentración, ($T_1 = \Delta 30$ °Brix, $T_2 = \Delta 35$ °Brix y $T_3 = \Delta 40$ °Brix).

En la Figura 4, se muestran las tres curvas que dibujan los datos experimentales obtenidos para los tres tratamientos. Para la obtención de estas curvas se trabajó con los promedios de las repeticiones para cada tratamiento, las que se muestran en el Cuadro 9.

En esta figura se observa también que al principio las curvas muestran pendientes más acentuadas y luego éstas se van haciendo menos pronunciadas, lo cual nos indica que

inicialmente la ganancia de sólidos solubles es mayor, y luego va decreciendo a medida que transcurre el tiempo hasta llegar a la fase de equilibrio.

Cuadro 7: EVOLUCIÓN DE LOS SÓLIDOS SOLUBLES EN LOS FONDOS DE ALCACHOFA EN ALMÍBAR A 50 °Brix (T₂)

TIEMPO (Minutos)	Repeticiones					Promedio
	I	II	III	IV	V	
0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
2	20,5	20,5	20,5	22,5	22,0	21,2
4	21,5	22,5	22,5	21,5	23,5	22,3
8	22,5	22,5	23,0	21,0	22,5	22,3
12	22,5	22,5	21,5	22,5	23,5	22,6
16	22,5	23,5	22,0	22,0	22,5	22,5
32	23,0	24,5	26,0	23,0	24,0	24,1
48	25,0	27,0	26,0	26,5	26,5	26,2
56	27,5	27,5	28,0	27,5	27,0	27,6
80	28,0	29,0	28,5	27,5	28,5	28,3
120	33,5	32,5	31,5	32,5	32,0	32,4
160	32,0	32,2	33,0	32,5	31,0	32,2

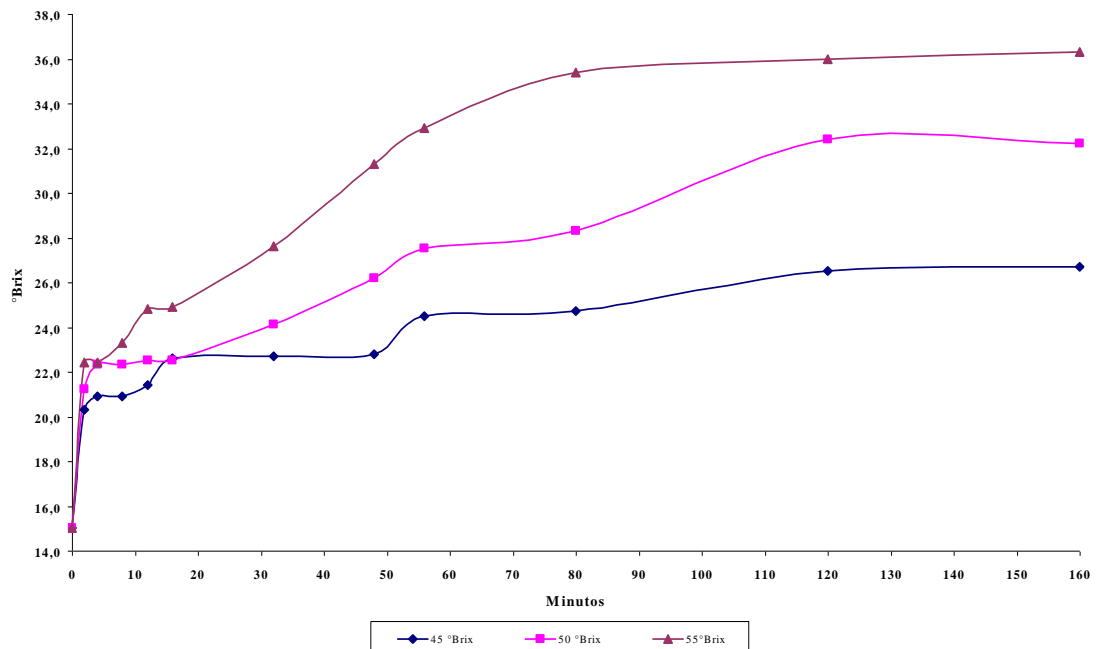
Cuadro 8: EVOLUCIÓN DE LOS SÓLIDOS SOLUBLES EN LOS FONDOS DE ALCACHOFA EN ALMÍBAR A 55 °Brix (T₃)

TIEMPO (Minutos)	Repeticiones					Promedio
	I	II	III	IV	V	
0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
2	23,0	21,5	23,0	22,0	22,5	22,4
4	23,0	23,5	22,5	22,5	20,5	22,4
8	23,5	24,5	23,0	22,5	23,0	23,3
12	24,5	25,5	24,5	25,0	24,5	24,8
16	25,5	23,0	25,0	25,0	26,0	24,9
32	27,5	27,5	28,0	27,0	28,0	27,6
48	31,5	31,5	31,5	31,5	30,5	31,3
56	33,0	33,0	32,5	32,5	33,5	32,9
80	34,5	35,5	35,5	36,5	35,0	35,4
120	36,0	35,5	36,5	36,0	36,0	36,0
160	36,5	36,0	36,5	36,5	36,0	36,3

Cuadro 9: RESUMEN DE PROMEDIOS DE DATOS ORIGINALES Y DATOS AJUSTADOS EN LA EVOLUCIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES EN LOS FONDOS DE ALCACHOFA A 45, 50 y 55 °Brix.

TIEMPO (Minutos)	Datos originales			Datos ajustados		
	45°Brix	50°Brix	55°Brix	45°Brix	50°Brix	55°Brix
0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
2	20,3	21,2	22,4	19,9	19,8	20,4
4	20,9	22,3	22,4	20,3	21,2	22,3
8	20,9	22,3	23,3	21,8	22,7	24,5
12	21,4	22,6	24,8	22,3	23,6	25,8
16	22,6	22,5	24,9	22,7	24,3	26,8
32	22,7	24,1	27,6	23,8	26,0	29,4
48	22,8	26,2	31,3	24,4	27,1	31,1
56	24,6	27,6	32,9	24,6	27,5	31,7
80	24,7	28,3	35,4	25,2	28,5	33,2
120	26,6	32,4	36,0	25,8	29,7	35,1
160	26,7	32,2	36,3	26,3	30,5	36,4

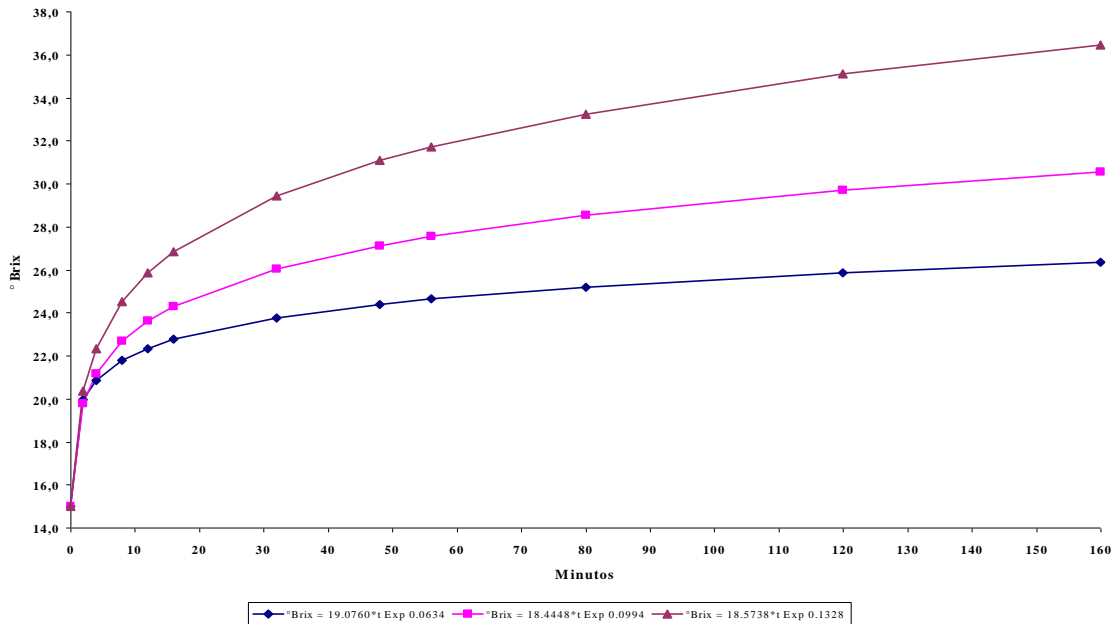
Figura 4: EVOLUCION DE LOS SOLIDOS SOLUBLES EN LOS FONDOS DE ALCACHOFA



Geankoplis (1998), hace referencia que la transferencia de masa se verifica cuando el componente de una mezcla emigra de una misma fase o de una fase a otra, a causa de la diferencia de concentraciones entre dos puntos.

Para que se pueda producir un intercambio de moléculas entre el almíbar y los fondos de alcachofa es necesario que exista una fuerza impulsora llamada “gradiente de concentración”.

Figura 5: AJUSTE MATEMATICO PARA LA GANANCIA DE SOLIDOS SOLUBLES EN LOS FONDOS DE ALCACHOFA



En la figura 5 se muestran los ajustes realizados a los datos experimentales, para la cual se utilizó la ecuación de ajuste de potencia: $^{\circ}\text{Brix} = \text{A}t^{\text{B}}$, siendo éste el modelo matemático que mejor describe la ganancia de sólidos solubles en los fondos de alcachofa, para los tres tratamientos.

- $T_1 : ^{\circ}\text{Brix} = 19,0760 t^{0,0634} \quad r^2 = 0,9537$
 - $T_2 : ^{\circ}\text{Brix} = 18,4448 t^{0,0994} \quad r^2 = 0,8552$
 - $T_3 : ^{\circ}\text{Brix} = 18,5738 t^{0,1328} \quad r^2 = 0,9244$
- } I

Como se puede observar los exponentes de cada modelo matemático, representa la velocidad de la ganancia de sólidos solubles en los fondos de alcachofa, existiendo mayor velocidad, cuando el almíbar tiene mayor concentración de sólidos solubles respecto al tiempo de tratamiento térmico. Además las dos variables en estudio ($^{\circ}\text{Brix}$ y tiempo) son directamente proporcionales y se encuentran relacionados logarítmicamente. En el bloque de ecuaciones I, se observa el coeficiente de correlación para cada tratamiento, el cual nos explica el grado de ajuste que nos

proporciona el modelo matemático, quiere decir que cuanto más se acerque a 1 el coeficiente de correlación, el ajuste será mayor con respecto a los datos experimentales, también se explica que en el bloque de ecuaciones I, T_1 es el que se ajusta mejor al modelo matemático de potencia, luego T_3 y T_2 .

4.5 PÉRDIDA DE SÓLIDOS SOLUBLES EN EL ALMÍBAR:

A diferencia de lo explicado anteriormente, aquí sucede lo contrario que en los fondos de alcachofa, el almíbar en este caso es la fase que pierde sólidos solubles debido a que estos se transfieren hacia los fondos de alcachofa y se produce también por la salida de agua desde los fondos de alcachofa hacia el almíbar.

Cuadro 10: PÉRDIDA DE SÓLIDOS SOLUBLES EN EL ALMÍBAR DE 45 °Brix (T_1)

TIEMPO (Minutos)	Repeticiones		Promedio
	I	II	
0	45,0	45,0	45,0
2	36,5	37,0	36,8
4	36,0	36,5	36,3
8	36,0	36,0	36,0
12	36,0	35,5	35,8
16	35,5	35,5	35,5
32	35,0	35,5	35,3
48	35,0	35,0	35,0
56	35,0	34,5	34,8
80	34,5	34,5	34,5
120	34,0	34,0	34,0
160	33,5	33,5	33,5

En los Cuadros 10, 11 y 12 se muestran los resultados de los tres tratamientos (T_1 , T_2 y T_3) durante la pérdida de sólidos solubles en el almíbar, a medida que el tiempo transcurre. Al hacer la comparación de los resultados del Cuadro resumen 13, observamos que hay mayor pérdida de sólidos solubles en el almíbar cuya concentración es de 55 °Brix (T_3) y menor pérdida de sólidos solubles en el de 50 y 45 °Brix (T_2 y T_1) respectivamente. De igual manera se observa que cuanto mayor es la concentración del almíbar a la que es sumergido el fondo de alcachofa, mayor es la pérdida de sólidos solubles en el almíbar en un determinado tiempo.

**Cuadro 11: PERDIDA DE SÓLIDOS SOLUBLES EN EL ALMÍBAR DE
50 °Brix (T₂)**

TIEMPO (Minutos)	Repeticiones		Promedio
	I	II	
0	50,0	50,0	50,0
2	40,0	40,0	40,0
4	40,0	40,0	40,0
8	39,5	40,0	39,8
12	39,0	39,5	39,3
16	39,5	39,5	39,5
32	38,5	39,5	39,0
48	38,5	38,0	38,3
56	37,5	38,0	37,8
80	37,5	37,5	37,5
120	38,0	37,0	37,5
160	37,5	37,5	37,5

**Cuadro 12: PERDIDA DE SÓLIDOS SOLUBLES EN EL ALMÍBAR DE
55 °Brix (T₃)**

TIEMPO (Minutos)	Repeticiones		Promedio
	I	II	
0	55,0	55,0	55,0
2	45,5	45,5	45,5
4	44,5	43,5	44,0
8	44,5	43,5	44,0
12	43,5	43,5	43,5
16	43,0	43,5	43,3
32	43,5	43,0	43,3
48	44,0	43,0	43,5
56	43,5	42,5	43,0
80	42,5	41,5	42,0
120	41,5	41,0	41,3
160	41,5	40,5	41,0

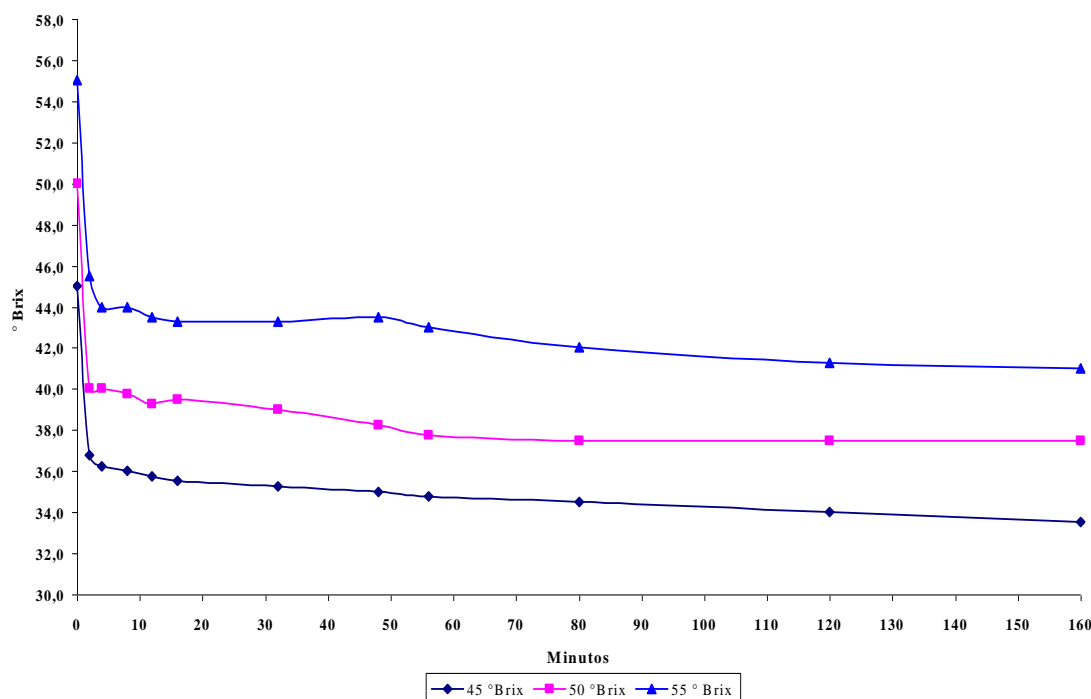
Cuadro 13: RESUMEN DE PROMEDIOS DE DATOS ORIGINALES Y DATOS AJUSTADOS EN LA PÉRDIDA DE SÓLIDOS SOLUBLES EN EL ALMÍBAR A 45, 50 y 55 °Brix.

TIEMPO (Minutos)	Datos originales			Datos ajustados		
	45°Brix	50°Brix	55°Brix	45°Brix	50°Brix	55°Brix
0	45,0	50,0	55,0	45,0	50,0	55,0
2	36,8	40,0	45,5	36,9	40,6	45,2
4	36,3	40,0	44,0	36,5	40,1	44,6
8	36,0	39,8	44,0	36,0	39,6	44,1
12	35,8	39,3	43,5	35,7	39,3	43,7
16	35,5	39,5	43,3	35,5	39,1	43,5
32	35,3	39,0	43,3	35,0	38,6	42,9
48	35,0	38,3	43,5	34,8	38,3	42,6
56	34,8	37,8	43,0	34,7	38,2	42,4
80	34,5	37,5	42,0	34,4	37,9	42,1
120	34,0	37,5	41,3	34,1	37,6	41,8
160	33,5	37,5	41,0	33,9	37,4	41,5

En la Figura 6 se muestran las curvas que dibujan los datos de los tres tratamientos (T_1 , T_2 , y T_3) para la pérdida de sólidos solubles en el almíbar. Para la obtención de éstas se trabajó con los promedios de las dos repeticiones para cada tratamiento. En esta figura observamos que las curvas al inicio muestran pendientes acentuadas en los primeros minutos, debido a que inicialmente la concentración de sólidos solubles del almíbar es mayor que en los fondos de de alcachofa, es decir que inicialmente existe una significativa pérdida de sólidos solubles en el almíbar y a medida que transcurre el tiempo las pendientes de estas curvas se van haciendo constantes, es decir que el gradiente de concentración existente va decreciendo.

Esto nos muestra cuan importante es la existencia de un gradiente de concentración para que se pueda producir un intercambio de moléculas.

Figura 6: EVOLUCION DE SOLIDOS SOLUBLES EN EL ALMIBAR



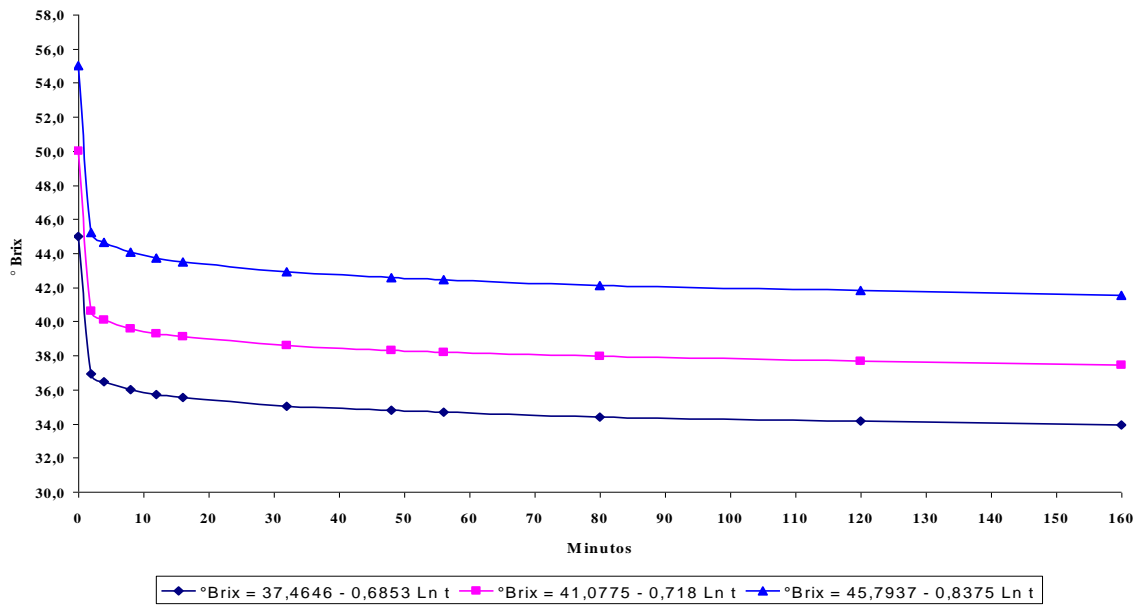
En la figura 7 se muestran los ajustes realizados a los datos experimentales, para lo cual se utilizó la ecuación de ajuste logarítmico: $^{\circ}\text{Brix} = A + B \ln t$, siendo éste el modelo matemático que mejor describe la pérdida de sólidos solubles en el almíbar para los tres tratamientos.

- $T_1 : ^{\circ}\text{Brix} = 37,4646 - 0,6853 \ln t \quad r^2 = 0,9579$
 - $T_2 : ^{\circ}\text{Brix} = 41,0775 - 0,7180 \ln t \quad r^2 = 0,8875$
 - $T_3 : ^{\circ}\text{Brix} = 45,7937 - 0,8375 \ln t \quad r^2 = 0,8495$
- } II

Se puede observar que la pérdida de humedad aumenta a medida que las concentraciones del almíbar se incrementan de 45 a 50 y a 55 °Brix, lo que pone de manifiesto mayor velocidad de transferencia de sólidos solubles hacia los fondos de alcachofa, habiendo una relación directa entre concentración del almíbar y transferencia de sólidos en los fondos.

En el bloque de ecuaciones II, se observa el coeficiente de correlación para cada tratamiento, podemos explicar que el tratamiento T_1 es el que se ajusta mejor al modelo matemático logarítmico, luego T_2 y T_3 .

Figura 7: AJUSTE MATEMATICO PARA LA PERDIDA DE SOLIDOS SOLUBLES EN LOS ALMIBARES



4.6 PERDIDA DE HUMEDAD EN LOS FONDOS DE ALCACHOFA:

La pérdida de humedad en los fondos de alcachofa ocurre debido a que durante la inmersión de estos en el almíbar, se produce un intercambio osmótico, es decir que a medida que los sólidos solubles van ingresando al fondo de alcachofa, se produce la salida simultánea de agua hacia el almíbar. Esta pérdida de humedad es mayor en los fondos inmersos en almíbar de concentración mayor, siendo en este caso el T₃ (55°Brix) en comparación a los tratamientos T₂ y T₁ (50 y 45 °Brix).

Cuadro 14: EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD DE LOS FONDOS DE ALCACHOFA EN ALMIBAR A 45°Brix (T₁)

TIEMPO (Minutos)	Repeticiones					Promedio
	I	II	III	IV	V	
0	82,6	82,1	82,6	82,7	82,6	82,5
2	78,1	78,4	78,4	78,9	78,9	78,5
4	76,6	77,8	77,1	76,3	77,9	77,2
8	74,8	74,8	75,5	74,5	76,0	75,1
12	74,5	73,8	74,2	73,8	74,5	74,2
16	72,9	72,7	73,9	73,0	72,9	73,1
32	70,6	69,9	70,5	69,8	70,4	70,2
48	70,3	69,8	70,6	69,6	69,8	70,0
56	69,7	68,9	69,8	68,5	68,9	69,1
80	67,8	68,0	68,3	67,3	68,0	67,9
120	67,2	66,6	67,7	67,2	67,6	67,2
160	66,7	65,9	66,9	66,0	66,9	66,5

En los Cuadros 14, 15 y 16, se muestran los resultados de la evolución de la humedad (pérdida) en los fondos de alcachofas con sus respectivas repeticiones, en el Cuadro resumen 17 se puede observar el contenido inicial de humedad de la muestra y como van decreciendo a medida que pasa el tiempo.

Cuadro 15: EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD DE LOS FONDOS DE ALCACHOFA EN ALMIBAR A 50°Brix (T₂)

TIEMPO (Minutos)	Repeticiones					Promedio
	I	II	III	IV	V	
0	82,7	82,6	82,6	82,0	82,7	82,5
2	77,9	78,6	78,2	78,1	77,7	78,1
4	75,8	76,2	76,5	75,8	76,7	76,2
8	74,8	73,8	74,8	75,0	73,1	74,3
12	72,4	73,3	72,8	73,3	72,8	72,9
16	71,4	72,7	71,6	72,0	71,8	71,9
32	70,0	70,8	70,5	71,0	69,0	70,2
48	67,7	68,1	68,9	68,9	68,4	68,4
56	67,0	67,5	68,5	68,2	67,8	67,8
80	66,3	67,2	66,4	66,9	66,9	66,7
120	65,6	66,9	65,9	65,6	65,6	65,9
160	65,0	66,0	65,6	65,2	65,5	65,5

En la Figura 8 se muestran las curvas que dibujan los promedios de los datos experimentales obtenidos en cada muestra. Aquí observamos que la mayor pérdida de agua se da en los primeros minutos, luego esta va disminuyendo.

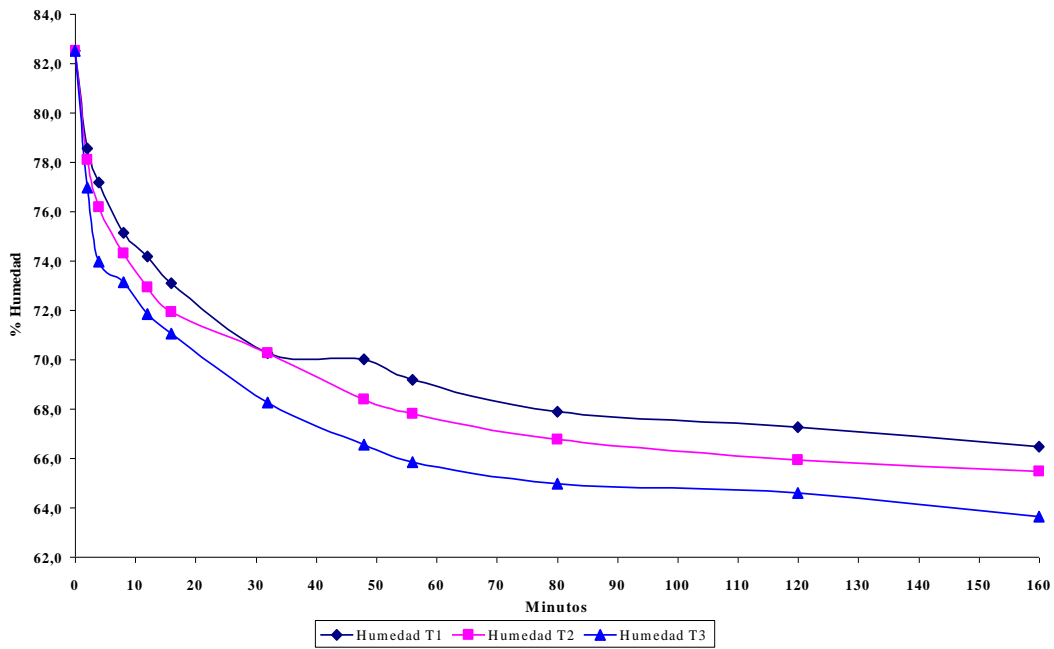
Cuadro 16: EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD DE LOS FONDOS DE ALCACHOFA EN ALMIBAR A 55°Brix (T₃)

TIEMPO (Minutos)	Repeticiones					Promedio
	I	II	III	IV	V	
0	82,5	82,7	82,4	82,6	82,5	82,5
2	76,3	76,0	77,2	77,7	77,7	77,0
4	74,3	74,5	73,1	73,9	74,0	74,0
8	73,5	74,0	72,5	72,9	72,8	73,1
12	71,9	71,7	71,5	71,6	72,6	71,8
16	71,8	71,6	70,3	70,5	71,0	71,1
32	68,6	67,5	68,9	68,9	67,5	68,3
48	66,3	66,5	66,6	67,0	66,4	66,5
56	65,9	65,8	65,8	65,7	65,9	65,8
80	65,0	65,0	64,2	64,8	65,8	64,9
120	64,8	64,5	64,1	65,2	64,4	64,6
160	64,1	63,6	63,0	64,3	63,2	63,6

Cuadro 17: RESUMEN DE PROMEDIOS DE DATOS ORIGINALES Y DATOS AJUSTADOS EN LA EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD EN LOS FONDOS DE ALCACHOFA A 45, 55 y 55 °Brix.

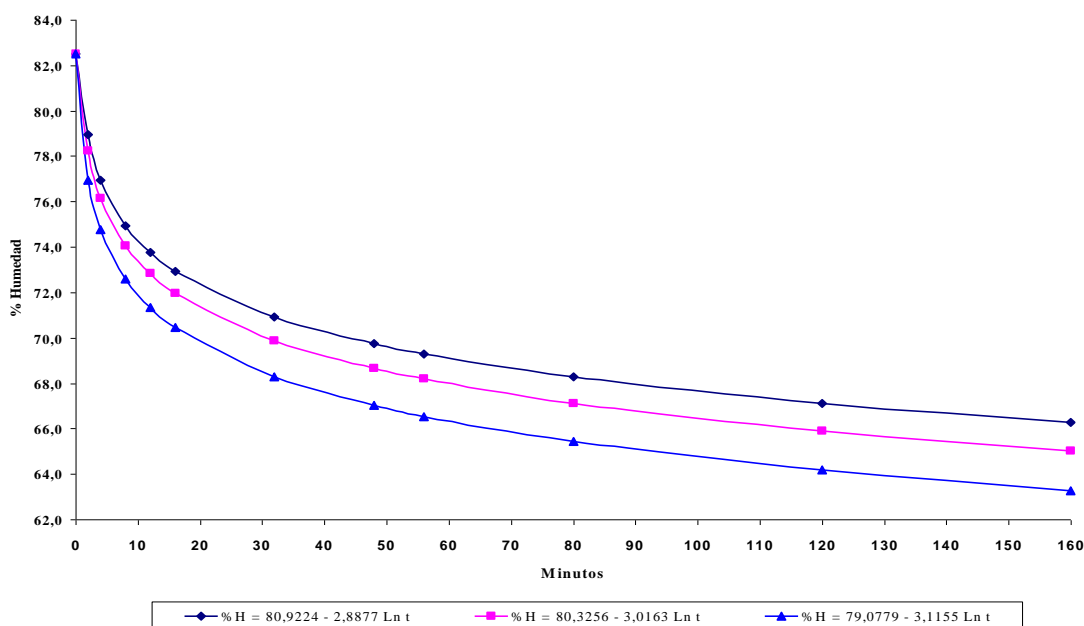
TIEMPO (Minutos)	Datos originales			Datos ajustados *		
	45°Brix	50°Brix	55°Brix	45°Brix	50°Brix	55°Brix
0	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5	82,5
2	78,5	78,1	77,0	78,9	78,2	76,9
4	77,2	76,2	74,0	76,9	76,1	74,8
8	75,1	74,3	73,1	74,9	74,1	72,6
12	74,2	72,9	71,8	73,7	72,8	71,3
16	73,1	71,9	71,1	72,9	72,0	70,4
32	70,2	70,2	68,3	70,9	69,9	68,3
48	70,0	68,4	66,5	69,7	68,6	67,0
56	69,1	67,8	65,8	69,3	68,2	66,5
80	67,9	66,7	64,9	68,3	67,1	65,4
120	67,2	65,9	64,6	67,1	65,9	64,2
160	66,5	65,5	63,6	66,3	65,0	63,3

Figura 8: Evolución de la humedad de fondos de alcachofa



Si observamos las Figuras 4 y 8, notamos que la pérdida de humedad se produce a medida que ingresan los sólidos solubles, podemos decir que hay una relación directamente proporcional entre la ganancia de sólidos solubles y la pérdida de humedad de los fondos de alcachofa.

Figura 9: AJUSTE MATEMATICO PARA LA PERDIDA DE HUMEDAD DE FONDOS DE ALCACHOFA



En la Figura 9 se muestran los ajustes realizados, en los cuales se puede observar que la ecuación: $\%H=A+BLnt$ de ajuste logarítmico, es el que mejor describe la pérdida de humedad de los fondos de alcachofa para los tres tratamientos.

- T₁ : % H = 80,9224 – 2,8877 Ln t $r^2 = 0,9930$
 - T₂ : % H = 80,3256 – 3,0163 Ln t $r^2 = 0,9957$
 - T₃ : % H = 79,0779 – 3,1155 Ln t $r^2 = 0,9856$
- } III

Los tres modelos matemáticos muestran pendientes crecientes, según aumenta la concentración de sólidos solubles de los almíbares, esto permite indicar que al haber mayor velocidad de ingreso de sólidos solubles hacia los fondos, también la velocidad de salida de agua en los fondos es mayor. En el bloque de ecuaciones III, se observa el coeficiente de correlación para cada tratamiento, el tratamiento T₂ es el que se ajusta mejor al modelo matemático logarítmico, luego T₁ y T₃.

4.7 GANANCIA DE HUMEDAD EN EL ALMÍBAR:

En los cuadros 18, 19 y 20 se muestra los resultados de ganancia de humedad en el almíbar con sus respectivas repeticiones. En el Cuadro resumen 21 se observa el contenido inicial de humedad que hay en los almíbares de los tres tratamientos y como estos van ganando la humedad que pierden los fondos de alcachofa a medida que transcurre el tiempo.

Cuadro 18: GANANCIA DE HUMEDAD EN EL ALMÍBAR A 45°Brix (T₁)

TIEMPO Minutos	REPETICIONES		Promedio
	I	II	
0	55,0	55,0	55,0
2	63,5	63,0	63,3
4	64,0	63,5	63,8
8	64,0	64,0	64,0
12	64,0	64,5	64,3
16	64,5	64,5	64,5
32	65,0	64,5	64,8
48	65,0	65,0	65,0
56	65,0	65,5	65,3
80	65,5	65,5	65,5
120	66,0	66,0	66,0
160	66,5	66,5	66,5

Se puede observar que los almíbares con mayor humedad, tienen menor gradiente de humedad respecto a los fondos de alcachofa, por lo tanto el incremento de humedad será menor a medida que transcurre el tiempo durante el tratamiento térmico como se muestra: T₁ = (ganancia 11,5 %H), T₂ = (ganancia 13,3 %H) y T₃ = (ganancia 14,0 %H).

Cuadro 19: GANANCIA DE HUMEDAD EN EL ALMÍBAR A 50°Brix (T₂)

TIEMPO Minutos	Repeticiones		Promedio
	I	II	
0	50,0	50,0	50,0
2	59,0	59,5	59,3
4	60,0	59,5	59,8
8	61,0	60,5	60,8
12	60,5	61,0	60,8
16	61,5	60,5	61,0
32	62,0	61,5	61,8
48	61,5	62,5	62,0
56	62,0	62,5	62,3
80	62,0	63,0	62,5
120	63,0	63,0	63,0
160	63,0	63,5	63,3

Cuadro 20: GANANCIA DE HUMEDAD EN EL ALMIBAR A 55°Brix (T₃)

TIEMPO Minutos	Repeticiones		Promedio
	I	II	
0	45,0	45,0	45,0
2	54,5	54,5	54,5
4	55,5	56,5	56,0

8	55,5	56,5	56,0
12	56,5	56,5	56,5
16	57,0	56,5	56,8
32	56,5	57,0	56,8
48	56,0	57,0	56,5
56	56,5	57,5	57,0
80	57,5	58,5	58,0
120	58,5	59,0	58,8
160	58,5	59,5	59,0

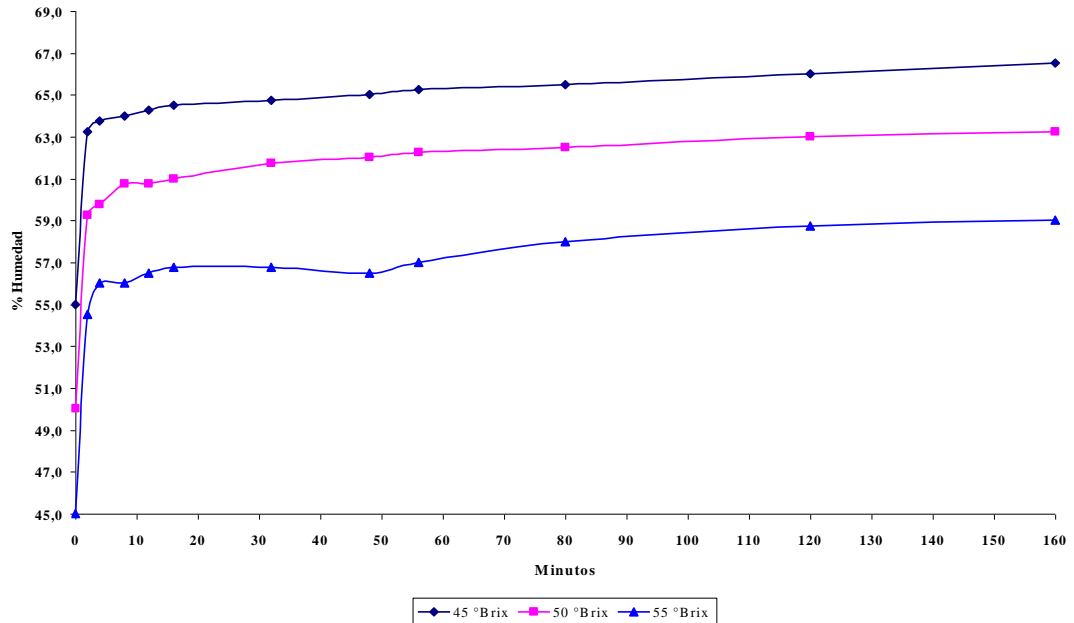
En la Figura 10 se muestra la ganancia de humedad del almíbar proveniente de la difusividad de los fondos, como se puede observar hay una marcada ganancia en los primeros minutos, para luego mantener una ganancia menor durante el tiempo del tratamiento térmico.

Se puede observar que existe una relación directa entre la concentración del almíbar con la ganancia de humedad, esto se debe a que el almíbar con mayor concentración de sólidos solubles, tiene menos contenido de humedad y por lo tanto la ganancia de humedad es mayor.

Cuadro 21: RESUMEN DE PROMEDIOS DE DATOS ORIGINALES Y DATOS AJUSTADOS EN LA GANANCIA DE LA HUMEDAD EN EL ALMIBAR A 45, 50 y 55 °Brix.

TIEMPO (Minutos)	Datos originales			Datos ajustados		
	45°Brix	50°Brix	55°Brix	45°Brix	50°Brix	55°Brix
0	55,0	50,0	45,0	55,0	50,0	45,0
2	63,3	59,3	54,5	63,2	59,3	54,8
4	63,8	59,8	56,0	63,6	59,9	55,4
8	64,0	60,8	56,0	64,1	60,5	56,0
12	64,3	60,8	56,5	64,3	60,9	56,3
16	64,5	61,0	56,8	64,5	61,1	56,5
32	64,8	61,8	56,8	65,0	61,8	57,1
48	65,0	62,0	56,5	65,3	62,1	57,5
56	65,3	62,3	57,0	65,4	62,3	57,6
80	65,5	62,5	58,0	65,6	62,6	57,9
120	66,0	63,0	58,8	65,9	63,0	58,3
160	66,5	63,3	59,0	66,1	63,2	58,5

Figuran 10: EVOLUCION DE LA HUMEDAD EN EL ALMIBAR

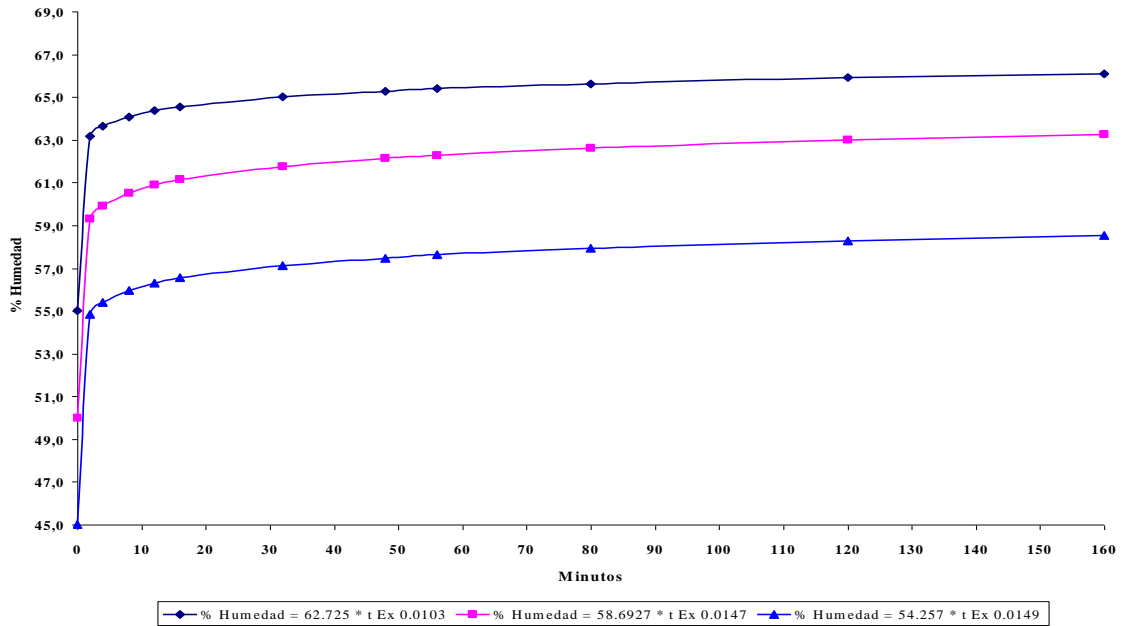


En la Figura 11 se muestran los ajustes realizados, en los cuales se puede observar que la ecuación de ajuste de potencia: $\%H = At^B$ es la que mejor describe la ganancia de humedad del almíbar para los tres tratamientos.

- $T_1 : \% H = 62,725 t^{0,0103} \quad r^2 = 0,9606$
 - $T_2 : \% H = 58,6927 t^{0,0147} \quad r^2 = 0,9910$
 - $T_3 : \% H = 54,2574 t^{0,0149} \quad r^2 = 0,8507$
- } **IV**

Como se puede observar los exponentes de cada modelo matemático, representa la velocidad de la ganancia de humedad en el almíbar, existiendo mayor velocidad, cuando el almíbar tiene mayor concentración de sólidos solubles respecto al tiempo de tratamiento térmico. Además las dos variables en estudio (°Brix y tiempo) son directamente proporcionales y se encuentran relacionados logarítmicamente. En el bloque de ecuaciones IV, se observa el coeficiente de correlación para cada tratamiento, el tratamiento T_2 es el que se ajusta mejor al modelo matemático de potencia, luego T_1 y T_3 .

Figura 11: AJUSTE MATEMATICO A LA GANANCIA DE HUMEDAD DEL ALMIBAR



4.8 DETERMINACION DE LA DIFUSIVIDAD DE SÓLIDOS SOLUBLES HACIA LOS FONDOS DE ALCACHOFA EN ALMIBAR:

El fenómeno de difusión en los fondos de alcachofa en almíbar se produce en estado no estacionario debido a que ésta se produce en función al tiempo.

Para la determinación de la difusividad de sólidos solubles de fondos de alcachofa en almíbar se siguieron 2 pasos. Primero se realizó la recopilación de datos que fue el resultado de la medición refractométrica de las muestras y sus respectivas repeticiones expresadas en porcentaje de sólidos solubles, y como segundo paso se hizo el procesamiento de datos utilizando la ecuación de Fick hasta obtener la difusividad.

La difusividad másica de los sólidos solubles hacia los fondos de alcachofa fue calculada para cada tratamiento (45°, 50° y 55 °Brix) asumiendo el modelo matemático de Fick modificado para una lámina mostrado en la ecuación V.

Los datos obtenidos durante el proceso experimental (ganancia de sólidos solubles en función del tiempo) fueron ajustados a la segunda ley de Fick, para dicho análisis sólo se considera el primer término de la serie, para ello se usó la ecuación:

$$\ln E = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\mathcal{E}_{C_m} \cdot \pi^2}{L^2} \cdot t \dots\dots\dots V$$

$$f = \frac{\varepsilon_{c_m} \pi^2}{L^2}$$

Al realizar el análisis de regresión semilogarítmica se hallan los valores $\ln \frac{8}{\pi^2}$ y f (punto de corte y pendiente).

Cuadro 22: VALORES DE LAS REPETICIONES DEL TRATAMIENTO (T₁) EN LA DIFUSIVIDAD DE SÓLIDOS SOLUBLES

REPETICIONES	Pendiente (f)	Coficiente de difusividad (ε_m) m ² /s	Promedio (ε_m)	Desviación Estándar (ε_m)
T₁₁	-0,001563	6,600537E-11	8,190675E-11	1,22588E-11
T₁₂	-0,002367	9,992702E-11		
T₁₃	-0,001841	7,774081E-11		
T₁₄	-0,001996	8,427151E-11		
T₁₅	-0,001963	8,285833E-11		

En los anexos 6; 7; 8; 9; 10 y en el Cuadro 22, se muestran las repeticiones del tratamiento T₁.

Como se puede observar la variabilidad de las repeticiones es de 15%, respecto a la media aritmética, tomando el valor de la desviación estándar.

Seguil y otros (2004), reportan coeficientes de difusividad de **9,475E-12 m²/s** y **8,375E-12 m²/s**, en fondos de alcachofas sumergidas en almíbar a 45° Brix y a temperaturas de 15 y 30°C, lo que pone de manifiesto con los resultados obtenidos en este trabajo, que a la temperatura de 90°C, la velocidad de difusividad se incrementa por efecto de la temperatura.

Cuadro 23: DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD DE LOS SÓLIDOS SOLUBLES EN EL FONDO DE ALCACHOFA (Almíbar 45°Brix – Promedio)

Diámetro del fondo de la alcachofa 5 cm.

Espesor del fondo: L= 0,005 m.

pi = 3,141592654

Almíbar = 45 °Brix

TIEMPO		° Brix	LnE	LnE'
Minutos	Segundos			
0	0	15,0	0,000000	-0,210000
2	120	20,3	-0,194394	-0,213880
4	240	20,9	-0,218986	-0,217761
8	480	20,9	-0,218986	-0,225521
12	720	21,4	-0,239951	-0,233282
16	960	22,6	-0,292136	-0,241042
32	1920	22,7	-0,296611	-0,272084
48	2880	22,8	-0,301105	-0,303126
56	3360	24,5	-0,380772	-0,318647
80	4800	24,7	-0,390576	-0,365210
120	7200	26,5	-0,483427	-0,442816
160	9600	26,7	-0,494296	-0,520421

$$\text{LnE} = -0,21 - 0,001940129 t$$

$$\text{Coeficiente de difusividad} = 4,9144051\text{E-}09 \text{ m}^2/\text{min}$$

$$8,1906752\text{E-}11 \text{ m}^2/\text{s}$$

En los anexos 16; 17; 18; 19; 20 y en el Cuadro 24, se muestran las repeticiones del tratamiento T₂.

Cuadro 24: VALORES DE LAS REPETICIONES DEL TRATAMIENTO (T₂) EN LA DIFUSIVIDAD DE SÓLIDOS SOLUBLES

REPETICIONES	Pendiente (f)	Coeficiente de difusividad (\mathcal{E}_m) m ² /s	Promedio (\mathcal{E}_m)	Desviación Estándar (\mathcal{E}_m)
T ₂₁	-0,003560	1,503145E-10	1,412937E-10	1,21491E-11
T ₂₂	-0,003432	1,448919E-10		
T ₂₃	-0,003435	1,450336E-10		
T ₂₄	-0,003474	1,466667E-10		
T ₂₅	-0,002842	1,200038E-10		

Como se puede observar la variabilidad de las repeticiones es de 9%, respecto a la media aritmética, tomando el valor de la desviación estándar.

Seguil y otros (2004), reportan coeficientes de difusividad de 1,3425E-11 m²/s y 1,3675E-11 m²/s, en fondos de alcachofas sumergidas en almíbar a 50° Brix y a temperaturas de 15 y 30°C. Seguil y Egas (2005), determinaron un coeficiente de

difusividad de $7,9888E-10 \text{ m}^2/\text{s}$, a una temperatura de 60°C , confirmándose la relación directa entre la temperatura y la velocidad de difusión.

Cuadro 25: DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD DE LOS SÓLIDOS SOLUBLES EN EL FONDO DE ALCACHOFA (Almíbar 50°Brix – Promedio)

Diámetro del fondo de la alcachofa 5 cm
 Espesor del fondo: $L=$ 0,005 m
 $\pi = 3,141592654$
 Almíbar = 50°Brix

TIEMPO		° Brix	Ln E	LNE'
Minutos	Segundos			
0	0	15,0	0,000000	-0,210000
2	120	21,2	-0,194973	-0,216694
4	240	22,3	-0,233916	-0,223387
8	480	22,3	-0,233916	-0,236775
12	720	22,5	-0,241162	-0,250162
16	960	22,5	-0,241162	-0,263549
32	1920	24,1	-0,301105	-0,317099
48	2880	26,2	-0,385662	-0,370648
56	3360	27,5	-0,441833	-0,397423
80	4800	28,3	-0,478036	-0,477747
120	7200	32,4	-0,687449	-0,611620
160	9600	32,2	-0,676150	-0,745493

$$\text{LnE}' = -0,21 - 0,003346832 t$$

$$\text{Coeficiente de difusividad} = 8,4776251E-09 \text{ m}^2/\text{min}$$

$$1,4129375E-10 \text{ m}^2/\text{s}$$

En los anexos 26; 27; 28; 29; 30 y en el Cuadro 26, se muestran las repeticiones del tratamiento T_3 .

Cuadro 26: VALORES DE LAS REPETICIONES DEL TRATAMIENTO (T_3) EN LA DIFUSIVIDAD DE SÓLIDOS SOLUBLES

REPETICIONES	Pendiente (f)	Coeficiente de difusividad (\mathcal{E}_m) m^2/s	Promedio (\mathcal{E}_m)	Desviación Estándar (\mathcal{E}_m)
T_{31}	-0,003939	1,663066E-10	1,7002E-10	5,37047E-11
T_{32}	-0,003877	1,636740E-10		
T_{33}	-0,004120	1,739190E-10		
T_{34}	-0,004187	1,767664E-10		
T_{35}	-0,004009	1,692470E-10		

Como se puede observar la variabilidad de las repeticiones es de 3%, respecto a la media aritmética, tomando el valor de la desviación estándar.

Seguil y otros (2004), reportan coeficientes de difusividad de $1,6094E-11 \text{ m}^2/\text{s}$ y $1,6263E-11 \text{ m}^2/\text{s}$, en fondos de alcachofas sumergidas en almíbar a 55° Brix y a temperaturas de 15 y 30°C .

Cuadro 27: DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD DE LOS SÓLIDOS SOLUBLES EN EL FONDO DE ALCACHOFA (Almíbar 55°Brix – Promedio)

Diámetro del fondo de la alcachofa 5 cm .

Espesor del fondo: $L= 0,005 \text{ m}$.

$\pi = 3,141592654$

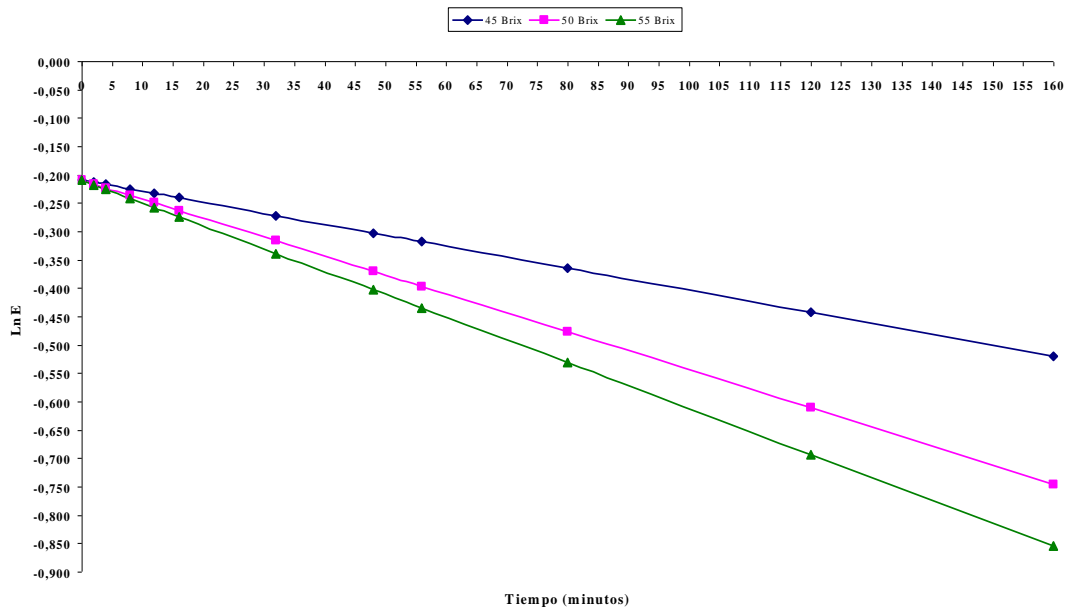
Almíbar = 55°Brix

TIEMPO		° Brix	Ln E	LNE'
Minutos	Segundos			
0	0	15,0	0,000000	-0,210000
2	120	22,4	-0,204567	-0,218055
4	240	22,4	-0,204567	-0,226109
8	480	23,3	-0,232563	-0,242218
12	720	24,8	-0,281038	-0,258327
16	960	24,9	-0,284354	-0,274436
32	1920	27,6	-0,378336	-0,338872
48	2880	31,3	-0,523404	-0,403308
56	3360	32,9	-0,593302	-0,435527
80	4800	35,4	-0,713350	-0,532181
120	7200	36,0	-0,744440	-0,693271
160	9600	36,3	-0,760356	-0,854361

$\text{LnE} = -0,21 - 0,004027259 t$

Coefficiente de difusividad = $1,0E-08 \text{ m}^2/\text{min}$
 $1,7002E-10 \text{ m}^2/\text{s}$

Figura 12: VARACIÓN DEL $\ln E$ EN FUNCIÓN AL TIEMPO PARA FONDOS DE ALCACHOFA EN ALMÍBAR A 45°, 50° Y 55° Brix (Promedios), EN LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIFUSIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES



En la Figura 12 se muestra los perfiles de la difusividad de los sólidos solubles para los tres tratamientos, se puede observar que el tratamiento T_3 tiene mayor pendiente, luego el tratamiento T_2 y finalmente el tratamiento T_1 con la menor pendiente; poniendo de manifiesto que en T_3 existe mayor velocidad de transferencia de sólidos solubles del almíbar al fondo de alcachofa y menor velocidad de transferencia en T_1 .

Aplicando el Diseño Estadístico se encuentra que existe diferencias significativas al 5 y 1%, entre los tratamientos, confirmando que la velocidad de transferencia de sólidos solubles hacia los fondos es mayor cuando la concentración de sólidos solubles en almíbar es de 55° Brix, luego el de 50° Brix y menor en el de 45° Brix, corroborado con la prueba de diferencias de Duncan al 1%.

4.9 DETERMINACION DE LA DIFUSIVIDAD DEL AGUA DE LOS FONDOS DE ALCACHOFA HACIA EL ALMIBAR:

En los anexos 36; 37; 38; 39; 40 y en el Cuadro 28, se muestran las repeticiones del tratamiento T_1 .

Cuadro 28: VALORES DE LAS REPETICIONES DEL TRATAMIENTO (T₁) EN LA DIFUSIVIDAD DEL AGUA

REPETICIONES	Pendiente (f)	Coficiente de difusividad (\mathcal{E}_m) m ² /s	Promedio (\mathcal{E}_m)	Desviación Estándar (\mathcal{E}_m)
<i>T₁₁</i>	-0,002520	1,064058E-10	1,104443E-10	4,47536E-11
<i>T₁₂</i>	-0,002767	1,168202E-10		
<i>T₁₃</i>	-0,002512	1,060624E-10		
<i>T₁₄</i>	-0,002662	1,123764E-10		
<i>T₁₅</i>	-0,002603	1,098883E-10		

Elaboración: Propia

Se puede observar que este tratamiento tiene una variabilidad entre sus repeticiones de 4%, tomando en cuenta la desviación estándar.

Cuadro 29: DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD DEL AGUA EN LOS FONDOS DE ALCACHOFA (Almíbar 45°Brix-Promedio)

Diámetro del fondo de la alcachofa 5 cm
 Espesor del fondo: L= 0,005 m
 pi = 3,141592654

TIEMPO		%H	Ln E	Ln E'
Minutos	Segundos			
0	0	82,50	0,0000000	-0,210000000
2	120	78,50	-0,1127955	-0,215232201
4	240	77,20	-0,1523745	-0,220464401
8	480	75,20	-0,2164990	-0,230928802
12	720	74,20	-0,2501722	-0,241393203
16	960	73,10	-0,2885714	-0,251857604
32	1920	70,20	-0,3974969	-0,293715208
48	2880	70,00	-0,4054651	-0,335572813
56	3360	69,10	-0,4421291	-0,356501615
80	4800	67,90	-0,4932040	-0,419288021
120	7200	67,20	-0,5242486	-0,523932031
160	9600	66,50	-0,5562880	-0,628576042

Ln E = -0,21 -0,0026161 t

Coficiente de difusividad = $6,626659E-09$ m²/min
 $1,104443E-10$ m²/s

En el cuadro 30 y en los anexos 46; 47; 48; 49 y 50 se reportan los resultados de la difusividad del agua de los fondos hacia el almíbar para el tratamiento T₂.

Cuadro 30: VALORES DE LAS REPETICIONES DEL TRATAMIENTO (T₂) EN LA DIFUSIVIDAD DEL AGUA

REPETICIONES	Pendiente (f)	Coficiente de difusividad (\mathcal{E}_m) m ² /s	Promedio (\mathcal{E}_m)	Desviación Estándar (\mathcal{E}_m)
T ₂₁	-0,003668	1,548426E-10	1,486299E-10	7,42874E-11
T ₂₂	-0,003274	1,382153E-10		
T ₂₃	-0,003556	1,501171E-10		
T ₂₄	-0,003699	1,561800E-10		
T ₂₅	-0,003430	1,447998E-10		

Elaboración: Propia

Como se puede observar la variabilidad de las repeticiones es de 5%, respecto a la media aritmética, tomando el valor de la desviación estándar.

Cuadro 31: DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD DEL AGUA EN LOS FONDOS DE ALCACHOFA (Almíbar 50°Brix – Promedio)

Diámetro del fondo de la alcachofa 5 cm
 Espesor del fondo: L= 0,005 m
 pi = 3,141592654

Almíbar= 50 °Brix

TIEMPO		%H	Ln E	Ln E'
Minutos	Segundos			
0	0	82,50	0,0000000	-0,210000000
2	120	78,10	-0,1454705	-0,217041209
4	240	76,20	-0,2154807	-0,224082419
8	480	74,30	-0,2907637	-0,238164838
12	720	72,90	-0,3501032	-0,252247257
16	960	71,90	-0,3947535	-0,266329675
32	1920	70,20	-0,4755575	-0,322659351
48	2880	68,40	-0,5688894	-0,378989026
56	3360	67,80	-0,6020416	-0,407153864
80	4800	66,70	-0,6658314	-0,491648377
120	7200	65,90	-0,7149210	-0,632472566
160	9600	65,50	-0,7404001	-0,773296755

$$\ln E = -0,21 - 0,003520605 t$$

$$\text{Coficiente de difusividad} = 8,917796E-09 \text{ m}^2/\text{min}$$

$$1,486299E-10 \text{ m}^2/\text{s}$$

En el cuadro 32 y en los anexos 56; 57; 58; 59 y 60 se reportan los resultados de la difusividad del agua de los fondos hacia el almíbar para el tratamiento T₃.

Cuadro 32: VALORES DE LAS REPETICIONES DEL TRATAMIENTO (T₃) EN LA DIFUSIVIDAD DEL AGUA

REPETICIONES	Pendiente (f)	Coefficiente de difusividad (ϵ_m) m ² /s	Promedio (ϵ_m)	Desviación Estándar (ϵ_m)
<i>T₃₁</i>	-0,005290	2,233104E-10	2,331080E-10	1,38174E-11
<i>T₃₂</i>	-0,005570	2,351540E-10		
<i>T₃₃</i>	-0,005858	2,472949E-10		
<i>T₃₄</i>	-0,005055	2,133911E-10		
<i>T₃₅</i>	-0,005736	2,419111E-10		

Elaboración: Propia

Como se puede observar la variabilidad de las repeticiones es de 6%, respecto a la media aritmética, tomando el valor de la desviación estándar.

Huamán (2000), trabajo en la deshidratación de capulí, obteniendo resultados de sus tratamientos como sigue: **50°C y 60°Brix**, $\epsilon_m = 1,5821E-10$ m²/s; **50°C y 70°Brix**, $\epsilon_m = 1,7884E-10$ m²/s; **50°C y 80°Brix**, $\epsilon_m = 1,8913E-10$ m²/s.

Para **60°C y 60°Brix**, $\epsilon_m = 2,6327E-10$ m²/s; **60°C y 70°Brix**, $\epsilon_m = 2,8164E-10$ m²/s; **60°C y 80°Brix**, $\epsilon_m = 2,8675E-10$ m²/s.

Finalmente **70°C y 60°Brix**, $\epsilon_m = 2,9466E-10$ m²/s, **70°C y 70°Brix**, $\epsilon_m = 3,0417E-10$ m²/s, **70°C y 80°Brix**, $\epsilon_m = 3,2861E-10$ m²/s. En comparación al trabajo se puede observar que existe mayor difusividad de agua de los fondos de alcachofa hacia el almíbar, en comparación al de capulí, esto se puede deber a el tipo de tejido de cada vegetal (presencia de cáscara en el capulí), a la forma geométrica, el diámetro del capulí que fue de 1,3 cm, mientras que el espesor de los fondos de alcachofa fue de 1 cm.; y finalmente a la diferencia entre las temperaturas de trabajo y concentraciones del almíbar.

Dávila y López (2005) en el trabajo de secado osmótico de rodajas de piña al vacío, llegó a la conclusión que la variable que más incide en el secado es la temperatura, lo que corrobora el trabajo realizado que a 90°C hay mayor difusividad inclusive a una concentración de 45° Brix; estos autores determinaron $\epsilon_m = 3,691E-10$ m²/s, para el tratamiento a 65°Brix – 40°C a presión atmosférica, que es menor al tratamiento **T₁**.

Cuadro 33: DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD DEL AGUA EN LOS FONDOS DE ALCACHOFA (Almíbar 55°Brix – Promedio)

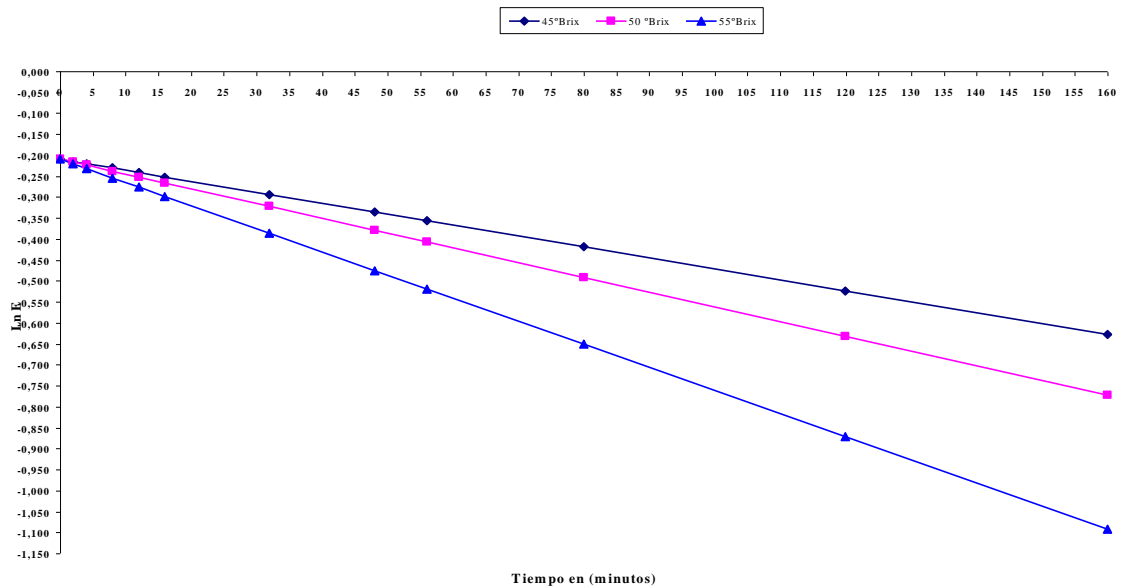
Diámetro del fondo de la alcachofa 5 cm.
 Espesor del fondo: L= 0,005 m.
 pi = 3,141592654

TIEMPO		Almíbar=	55	°Brix
Minutos	Segundos	%H	Ln E	Ln E'
0	0	82,50	0,0000000	-0,210000000
2	120	77,00	-0,2231436	-0,221043281
4	240	74,00	-0,3697470	-0,232086561
8	480	73,10	-0,4182741	-0,254173122
12	720	71,80	-0,4928071	-0,276259684
16	960	71,10	-0,5353667	-0,298346245
32	1920	68,30	-0,7264220	-0,38669249
48	2880	66,50	-0,8718390	-0,475038734
56	3360	65,80	-0,9346399	-0,519211857
80	4800	64,90	-1,0216512	-0,651731224
120	7200	64,60	-1,0524229	-0,872596836
160	9600	63,60	-1,1624238	-1,093462448

Ln E = -0,21 - 0,00552164 t

Coefficiente de difusividad = $1,398648E-08 \text{ m}^2/\text{min}$
 $2,331080E-10 \text{ m}^2/\text{s}$

Figura 13: VARIACION DEL Ln E EN FUNCION AL TIEMPO PARA LA VARIACION DE LA HUMEDAD EN FONDOS DE ALCACHOFA EN ALMIBAR A 45°,50,Y 55° Brix (promedios) EN LA DETERMINACION DE COEFICIENTES DE DIFUSIVIDAD DE LA HUMEDAD.



En la figura 13 se muestran los perfiles de la difusividad del agua para los tres tratamientos, se puede observar que el tratamiento T_3 tiene mayor pendiente, luego el tratamiento T_2 y finalmente el tratamiento T_1 con la menor pendiente; poniendo de manifiesto que en T_3 existe mayor velocidad de transferencia de sólidos solubles del almíbar al fondo de alcachofa y menor velocidad de transferencia en T_1 .

Aplicando el Diseño Estadístico se encuentra que existe diferencias significativas al 5 y 1%, lo que pone de manifiesto que la velocidad de transferencia del agua de los fondos hacia el almíbar es mayor cuando la concentración de sólidos solubles en almíbar es de 55° Brix, luego el de 50° Brix y finalmente menor en el de 45° Brix, corroborado con la prueba de diferencias de Duncan al 1%.

V. CONCLUSIONES

1. La ganancia de sólidos solubles en los fondos es directamente proporcional a la concentración del almíbar.

T₁ = 11,7 % de sólidos solubles ganados.

T₂ = 17,2 % de sólidos solubles ganados.

T₃ = 21,3 % de sólidos solubles ganados.

2. La función potencia es la que mejor se ajusta a los datos obtenidos de ganancia de sólidos solubles para los tres tratamientos.

T₁: ° Brix = 19,0760 t^{0,0634} r² = 0,9537

T₂: ° Brix = 18,4448 t^{0,0994} r² = 0,8552

T₃: ° Brix = 18,5738 t^{0,1328} r² = 0,9244.

3. La pérdida de humedad en los fondos de alcachofa es directamente proporcional a la concentración del almíbar.

T₁ = 16,0 % de humedad que pierde.

T₂ = 17,0 % de humedad que pierde.

T₃ = 18,9 % de humedad que pierde.

4. La función logarítmica es la que mejor se ajusta a los datos de la pérdida de humedad en los fondos de alcachofa.

T₁: % H = 80,9224 – 2,8877 Ln t r² = 0,9930

T₂: % H = 80,3256 – 3,0163 Ln t r² = 0,9957

T₃: % H = 79,0779 – 3,1155 Ln t r² = 0,9856

5. La pérdida de sólidos solubles del almíbar es directamente proporcional a la concentración del almíbar.

T₁ = 33,5 % de sólidos solubles perdidos.

T₂ = 37,8 % de sólidos solubles perdidos.

T₃ = 41,0 % de sólidos solubles perdidos.

6. Para la pérdida de sólidos solubles en el almíbar, la función que mejor ajusta a los tres tratamientos es la logarítmica.

$$T_1: \text{° Brix} = 37,4646 - 0,6853 \text{ Ln } t \quad r^2 = 0,9579$$

$$T_2: \text{° Brix} = 41,0775 - 0,7180 \text{ Ln } t \quad r^2 = 0,8875$$

$$T_3: \text{° Brix} = 45,7937 - 0,8375 \text{ Ln } t \quad r^2 = 0,8495$$

7. La ganancia de humedad en el almíbar es directamente proporcional a la concentración de sólidos del almíbar:

$$T_1 = 11,5 \text{ \% de humedad ganados.}$$

$$T_2 = 13,3 \text{ \% de humedad ganados.}$$

$$T_3 = 14,0 \text{ \% de humedad ganados.}$$

8. La función de potencia es la que mejor se ajusta a los datos de ganancia de humedad en el almíbar para los tres tratamientos.

$$T_1: \% H = 62,725 t^{0,0103} \quad r^2 = 0,9606$$

$$T_2: \% H = 58,6924 t^{0,0147} \quad r^2 = 0,9910$$

$$T_3: \% H = 54,2574 t^{0,0149} \quad r^2 = 0,8507$$

9. Los coeficientes de difusión de sólidos solubles son:

$$T_1: 3,27627E-10 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T_2: 5,65175E-10 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T_3: 6,80078E-10 \text{ m}^2/\text{s}$$

10. Los coeficientes de difusión del agua son:

$$T_1: 4,41777E-10 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T_2: 5,94520E-10 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T_3: 9,32432E-10 \text{ m}^2/\text{s}$$

11. El proceso de transferencia de masa de sólidos solubles que tiene lugar en los fondos de alcachofa en almíbar se debe a la existencia de los siguientes gradientes iniciales de concentración entre fondos y almíbar: $T_1 = \Delta 30 \text{ °Brix}$, $T_2 = \Delta 35 \text{ °Brix}$ y $T_3 = \Delta 40 \text{ °Brix}$.

12. El proceso de transferencia de agua que tiene lugar en los fondos de alcachofa se debe a la existencia de los siguientes gradientes iniciales de concentración entre fondos y almíbar: $T_1 = \Delta 27,5 \%H$, $T_2 = \Delta 32,5 \%H$ y $T_3 = \Delta 37,5 \%H$

13. Para el ajuste lineal que se realizó en el cálculo de los coeficientes de difusión, aplicando la segunda Ley de Fick para una placa, se obtuvieron los siguientes coeficientes de correlación:

Sólidos solubles:

T_1 : 0,9165291

T_2 : 0,9502884

T_3 : 0,8496553

Humedad:

T_1 : 0,7670150

T_2 : 0,7733514

T_3 : 0,7942549

14. El diseño estadístico realizado nos muestra que existe diferencia significativa al 1% y 5% entre los coeficientes de difusividad de los 3 tratamientos, tanto para sólidos solubles y para humedad.

VI. RECOMENDACIONES

- 1.** Realizar trabajos de investigación para hallar coeficientes de difusividad de aditivos usados en alimentos.
- 2.** Realizar trabajos de investigación sobre difusión utilizando otros modelos matemáticos.
- 3.** Elaborar un software y aplicarlo en este trabajo para corroborar los resultados.

VI. BIBLIOGRAFIA

1. AGRO JUNÍN (2005) “**Alcachofa**”, Revista especializada del sector agrario – Junín; año II - N° 003. Huancayo – Perú.
2. AGUILERA, José Miguel y ALVARADO Juan de Dios (2001) “**Métodos para medir Propiedades Físicas en Industrias de Alimentos**”, Editorial Acribia S.A.; Zaragoza – España.
3. ARAUJO VARGAS, Juan Miguel (1985) “**Estudio técnico para el envasado de la alcachofa**”, Tesis UNALM; FAIIA. Lima – Perú.
4. ASSOCIATION OF OFICIAL ANALYTICAL CHEMIST (A.O.A.C.) (1995) “**Official Methods of Analysis**”, 15° Edición; U.S.A.
5. BAUDI DERGAL, Salvador (1988) “**Diccionario de Tecnología de Alimentos**”, Editorial Alambra, S.A. España –Madrid.
6. BARBOSA-CANOVAS, G. y VEGA-MERCADO, H. (2000) “**Deshidratación de Alimentos**”, Editorial Acribia S.A.; Zaragoza – España.
7. CARHUALLANQUI AVILA, Shalin (1999) “**Estudio del Comportamiento Reológico del Carboximetilcelulosa (CMC) en la Formulación Óptima de la Salsa de Alcachofa (Cynara scolymus)**”, Tesis U.N.C.P.; FAIIA. Huancayo – Perú.
8. CATACTORA PINAZO, Edmundo (1999) “**Manejo de almácigos y sistemas de propagación de alcachofa**”, Curso taller de producción de alcachofa sin espinas para la exportación; Huaraz – Perú.
9. COLLAZOS Ch., Carlos y otros (1996) “**Tablas Peruanas de Composición de Alimentos**”, Ministerio de Salud – Instituto Nacional de Salud – Centro Nacional de Alimentación y Nutrición; séptima edición. Editorial Acuario. Lima – Perú.
10. DÁVILA SOLAR, Luis y LÓPEZ RÁEZ, Luz (2005) “**Transferencia de masa en la deshidratación Osmótica a vacío de rodajas de *Ananas comosus* L Mer (Piña)**”, Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial; Vol. (8) 1 pp 7-12 U.N.M.S.M. – ISSN: 1580-9146. Lima – Perú.
11. D.I.A. – JUNÍN (2006) “**Superficie sembrada, cosechada, producción y rendimiento de principales cultivos**”, Agencias Agrarias; Perú.

12. DORAN M. Pauline (1998) **“Principios de Ingeniería de los Bioprocesos “**, editorial Acribia, S.A.; Zaragoza - España.
13. GEANKOPLIS, Christie J. (1998) **“Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias”**, tercera edición; University of Minnesota. Compañía Editorial Continental S.A., Méjico.
14. HERMIDA BUN, José Ramón (2000) **“Fundamentos de Ingeniería de Procesos Agroalimentarios”**, Ediciones Mundi-prensa; Madrid – España.
15. HUAMÁN ILDEFONSO, Maribel (2000) **“Determinación de los Coeficientes de Difusión de Transferencia de Masa en el Proceso de Deshidratación Osmótica del Capulí (Physalis peruviana)”**, Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias; F.A.I.I.A. – U.N.C.P. Huancayo - Perú.
16. INDECOPI (1987), **“Norma Técnica Peruana 203.001”**
17. MINISTERIO DE AGRICULTURA (1999) **“I Conferencia Internacional y Festival de la Alcachofa”**, campo ferial de Yauris; Huancayo – Perú.
18. MONTGOMERY, Douglas C. (1991) **“Diseño y Análisis de Experimentos”**, Grupo Editorial Iberoamérica; Méjico.
19. MEYER M. (1986) **“Control de Calidad de Productos Agropecuarios”**, Editorial Trillas. Méjico
20. PROMPEX (1999) **“Perfil de Mercado para la Alcachofa “**, Gerencia de Servicios de Información de PROMPEX; Lima - Perú.
21. RAFAEL RIVAS, María Isabel (1995) **“Deshidratado de Alcachofa (Cynara scolymus) por Secado Solar “**, Tesis U.N.C.P.; FAIIA. Huancayo – Perú.
22. RAUCH G. (1980) **“Preparation of Syrups with Different Sugary Products”**. Jam Manufacture. National Bureau of Standards, Department of Commerce. New York-U.S.A.
23. ROBLES RODRIGUEZ, Fausto (2000) **“Alcachofa – Nueva Alternativa para la Agricultura Peruana “**, Revista Agro enfoque; Abril: Lima – Perú.

24. ROBLES RODRIGUEZ, Fausto (2000) **“La alcachofa – nueva alternativa para la agricultura peruana – orientaciones técnicas para su cultivo, empaque, proceso y exportación “**, Prompex y CESEM Lima – Perú.
25. SEGUIL MIRONES, Carlos G. y EGAS PEÑA, Enma E. (2002) **“Determinación de Parámetros Óptimos en la Elaboración de Conservas de fondos de Alcachofa (*Cynara scolymus*) en Almíbar”**, F.A.I.I.A. – U.N.C.P. Huancayo-Perú.
26. SEGUIL MIRONES, Carlos G. y EGAS PEÑA, Enma E.; HUAMÁN MARTINEZ, Jackie C. y UGARTE MELENDEZ; Yesenia (2004) **“Determinación de los coeficientes de Difusividad de Transferencia de Masa, Durante el Almacenaje de Conservas de Fondos de Alcachofa”**, U.N.C.P., Instituto de Investigación; FAIIA. Huancayo – Perú.
27. SEGUIL MIRONES, Carlos G y EGAS PEÑA, Enma E (2005) **“Evaluación de los Coeficientes de Difusividad de Transferencia de Masa, en Diferentes Tejidos Vegetales (Zanahoria, Papa y Alcachofa), en Almíbar”** U.N.C.P., Instituto de Investigación; FAIIA Huancayo – Perú.
28. TREYBAL, Robert E.(1980) **“Operaciones de Transferencia de Masa”** ,Editorial Hispanoamericana. Buenos Aires Argentina.
29. TSCHEVSCHNER, H. D. (2001). **“Fundamentos de Tecnología de los Alimentos”**, Editorial Acribía Zaragoza (España).
30. VÁSQUEZ VILLANUEVA, Víctor y ALZA ARAUJO, Miguel (1997) **“Agro exportación”**, Proyecto de Fomento de la Transferencia de Tecnología a las Comunidades Campesinas de la Sierra; Ministerio de Agricultura.