

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE  
HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA  
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AGROINDUSTRIAL**



**“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS EN LA  
OBTENCIÓN DE SLIDES DE CARAMBOLA (*Averrhoa  
carambola L.*) POR OSMODESHIDRATADO”.**

**TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERA AGROINDUSTRIAL**

**PRESENTADO POR:  
Bach. Mirtha Felicita CAYHUALLA YAUYO**

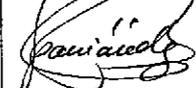
**AYACUCHO – PERÚ**

**2015**

Tesis  
Ai 152  
Cay  
ej. 1

**ACTA DE CONFORMIDAD DEL TRABAJO FINAL DE TESIS**  
**CORREGIDO**

Los que suscribimos, miembros del jurado designado para el acto público de sustentación de tesis titulado **“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS EN LA OBTENCIÓN DE SLIDES DE CARAMBOLA (*Averrhoa carambola* L) POR OSMODESHIDRATADO”** presentado por la Bachiller **Mirtha Felicita CAYHUALLA YAUYO**, el cual fue sustentado el día 19 de diciembre del 2014, en mérito a la Resolución Decanal N° 108-2014-FIQM-D, damos la conformidad al trabajo final corregido, aceptando la publicación final de la mencionada tesis y declaramos el documento APTO, para que pueda iniciar sus gestiones administrativas, que conduzcan a la expedición y entrega del Título Profesional de **Ingeniera Agroindustrial**.

<b>Miembros del Jurado</b>	<b>DNI</b>	<b>Firma</b>
Ing° Jack Edson HERNÁNDEZ MAVILA	41866792	
Ing° Percy Fermín VELASQUEZ CCOSI	01345293	
Ing° Joaquín Basael HERNANDEZ GARCIA	21518252	

## DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy.

Para mis padres Guillermo y Susana por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles.

## AGRADECIMIENTO

- A mi alma mater Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a mis docentes de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, de manera especial a los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Agroindustrial por su empeño que me brindaron durante mis estudios.
- Al Ing. Saul R. CHUQUI DIESTRA asesor de la tesis por su apoyo para la culminación de este trabajo.
- A mis hermanos, amigos y a todos quienes contribuyeron de otra forma en mi formación profesional.

# INDICE GENERAL

	PAG.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
INDICE GENERAL	
RESUMEN	
I. INTRODUCCION	4
II. REVISION BIBLIOGRAFICA:	6
2.1. LA CARAMBOLA ( <i>Averrhoa carambola</i> L.)	6
2.1.1. Generalidades	6
2.1.2. Clasificación botánica y características morfológicas	7
2.1.3. Composición química	10
2.1.4. Valor nutricional	11
2.1.5. Características y perspectivas del mercado	12
2.1.6. Cosecha	12
2.1.7. Manejo poscosecha y transporte	13
2.2. Sacarosa	14
2.2.1. Estructuras y propiedades principales	15
2.2.2. Azúcar invertido	16
2.2.3. Utilización de la sacarosa y del azúcar invertido	16
2.3. Disponibilidad de agua en los alimentos	16
2.4. Influencia de la composición y estado físico del alimento sobre la fijación del agua	20
2.4.1. Influencia de la composición del alimento	20
2.4.2. Estado físico de los alimentos	22

2.5.	Isotermas de adsorción	24
2.5.1.	Importancia de las isotermas de adsorción	26
2.5.2.	Descripción matemática de las isotermas	27
2.5.3.	Modelos de isotermas	29
2.6.	Aspectos generales del secado	30
2.7.	Deshidratación osmótica	34
2.7.1.	Ventajas y desventajas de la DO	35
2.7.2.	Variables que afectan el proceso	37
2.8.	Estabilidad de los alimentos	40
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	43
3.4	Materiales y equipos	43
3.4.1	Materia prima	43
3.4.2	Insumos	43
3.4.3	Reactivos	43
3.4.4	Materiales de vidrio y otros	44
3.4.5	Equipos	45
3.5	Métodos de análisis realizados	46
3.5.1	Análisis físico-químicos de la materia prima y producto terminado	46
3.5.1.1	Determinación de humedad	46
3.5.1.2	Determinación de proteína	46
3.5.1.3	Determinación de grasa	46
3.5.1.4	Determinación de cenizas	46
3.5.1.5	Determinación de carbohidratos	46
3.5.1.6	Determinación de acidez	47
3.5.1.7	Determinación de pH	47
3.5.1.8	Determinación de sólidos solubles	47

3.5.1.9	Determinación color	47
3.5.1.10	Determinación de vitamina C	47
3.5.2	Métodos de control en el proceso	47
3.6	Metodología para la obtención del producto	47
3.6.1	Proceso de obtención de las carambola osmodeshidratada	48
3.3. 2.	Construcción de isoterma	55
3.3. 3.	Diseño experimental para las isoterma de adsorción y evaluación de los modelos matemáticos	55
3.3. 4.	Modelo estadístico	55
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSION</b>	<b>60</b>
4.1.	Obtención del producto	60
4.2.	Obtención y evaluación de isoterma de adsorción	67
4.2.1.	Isoterma de adsorción para los productos	67
4.3.	Efecto del procesamiento en las características de las slides osmodeshidratada de carambola	73
4.3.1.	En la humedad	73
4.3.2.	En el pH	75
4.3.3.	En la acidez	78
4.3.4.	En la actividad de agua ( $a_w$ )	82
4.3.5.	En la vitamina C	85
4.3.6.	En el color	88
4.4.	Análisis sensorial del producto final	97
4.4.1.	Evaluación sensorial del color	101
4.4.2.	Evaluación del olor	101
4.4.3.	Evaluación de la textura	102
4.4.4.	Evaluación del sabor	103
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>105</b>

<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>106</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	<b>103</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>133</b>

## INDICE DE FIGURAS

	PAG.
Figura 1: Hojas de carambola	8
Figura 2: Panícula de carambola.	8
Figura 3: Flor de carambola.	9
Figura 4: Fruto de carambola.	9
Figura 5: Sección transversal de carambola.	10
Figura 6: Estructura molecular de la sacarosa	15
Figura 7: Isotherma general de adsorción de agua en un alimento	24
Figura 8: Isotherma de adsorción de agua de un alimento con bajo contenido de humedad	25
Figura 9: Representación de un ajuste de isoterma BET	29
Figura 11. recepción de carambola.	49
Figura 12. Carambolas seleccionados	49
Figura 13. Desinfectado de los frutos de carambola	50
Figura 14. Pelado de manual de la carambola.	50
Figura 15. Cortado en rodajas de la pulpa de carambola.	51
Figura 16. Preparación de jarabe	51
Figura 17. Inmersión de carambola.	52
Figura 18. drenado de carambola.	52
Figura 19. Enjuagado de carambola.	53
Figura 20. Secado de carambola.	53
Figura 21. Empacado de carambola osmodeshidratada.	54
Figura 22. Almacenamiento de carambola osmodeshidratada.	54
Figura 23: Diseño experimental del proceso de deshidratación osmótica	56
Figura 24: Proceso de deshidratación osmótica de trozos de carambola.	62
Figura 25: Rendimiento del proceso para los tres tipos de jarabes de azúcar	63

- Figura 26: Eficiencia para los tres tipos de jarabes de azúcar. 67
- Figura 27: Isotermas de las slides osmodeshidratado de carambola cuando se utilizó jarabe de azúcar blanca a 50 °Brix. 68
- Figura 28: ISOTERMA de las slides osmodeshidratado de carambola cuando se utilizó jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix. 68
- Figura 29: ISOTERMA de las slides osmodeshidratado de carambola cuando se utilizó jarabe de azúcar blanca a 70 °Brix. 68
- Figura 30: ISOTERMA de las slides osmodeshidratado de carambola cuando se utilizó jarabe de azúcar rubia a 50 °Brix. 69
- Figura 31: ISOTERMA de las slides osmodeshidratado de carambola cuando se utilizó jarabe de azúcar rubia a 60 °Brix. 69
- Figura 32: ISOTERMA de las slide osmodeshidratado de carambola cuando se usa jarabe de azúcar rubia a 70 °Brix 70
- Figura 33: ISOTERMA de las slide osmodeshidratado de carambola cuando se utilizó jarabe de azúcar invertido a 50 °Brix. 71
- Figura 34: ISOTERMA de las slides osmodeshidratado de carambola usando jarabe de azúcar invertido a 60 °Brix. 71
- Figura 35: ISOTERMA de las slides osmodeshidratado de carambola cuando se utilizó jarabe de azúcar invertido a 70 °Brix 72
- Figura 36: Gráfica comparativa de la humedad versus concentración para los tres tipos jarabes de azúcar. 75
- Figura 37: Gráfica comparativa del pH versus concentración para los tres tipos de jarabe de azúcar. 78
- Figura 38: Gráfica comparativa de la acidez de las slides osmodeshidratado de carambola versus concentración para los tres tipos de jarabe de azúcar. 81
- Figura 39: Gráfica comparativa de la actividad de agua de las slides osmodeshidratado de carambola versus concentración para los tres tipos de jarabe de azúcar. 84
- Figura 40: Gráfica comparativa de la Vitamina C de las slide osmodeshidratado de carambola versus concentración para los tres tipos de jarabe de azúcar. 87

- Figura 41: Gráfica comparativa de las tonalidades de las slides osmodeshidratado de carambola versus concentración para los tres tipos de jarabe de azúcar. 91
- Figura 42: Gráfica comparativa de la saturación de las slide osmodeshidratado de carambola versus concentración para los tres tipos de jarabe de azúcar. 94
- Figura 43: Gráfica comparativa de la luminosidad las slide osmodeshidratado de carambola versus concentración para los tres tipos jarabe de azúcar. 97
- Figura 44: Carambola osmodeshidratada con jarabe de azúcar rubia a 50 °Brix. 98
- Figura 45: Carambola osmodeshidratada con jarabe de azúcar rubia a 60 °Brix. 98
- Figura 46: Carambola osmodeshidratada con jarabe de azúcar rubia a 70 °Brix. 98
- Figura 47: Carambola osmodeshidratada con jarabe de azúcar blanca a 50 °Brix. 99
- Figura 48: Carambola osmodeshidratada con jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix. 99
- Figura 49: Carambola osmodeshidratada con jarabe de azúcar blanca a 70 °Brix. 99
- Figura 50: Carambola osmodeshidratada con jarabe de azúcar invertido a 50 °Brix. 100
- Figura 51: Carambola osmodeshidratada con jarabe de azúcar invertido a 60 °Brix. 100
- Figura 52: Carambola osmodeshidratada con jarabe de azúcar invertido a 70 °Brix. 100

## INDICE DE TABLAS

	PAG.
TABLA 1: Composición química de la carambola en base a 100 g de la parte comestible	10
TABLA 2: Características fisicoquímicas de la carambola.	12
TABLA 3: Controles realizados en la recepción de la carambola.	48
TABLA 4: características fisicoquímicas de la materia prima	63
TABLA 5: Tabla de rendimiento, eficiencia de sólidos, sólidos ganados, y tiempos de operación.	64
TABLA 6: Resultados de los análisis de humedad de las slides osmodeshidratada de carambola.	73
TABLA 7: Análisis univariado de varianza para la humedad.	74
TABLA 8: Resultados de los análisis de pH de las slides osmodeshidratada de carambola.	75
TABLA 9: Análisis univariado de varianza para el pH	76
TABLA 10: cuadro de comparación de medias de Tukey <sup>a,b</sup> para pH del agente osmodeshidratante.	77
TABLA 11: cuadro de comparación de medias de Tukey <sup>a,b</sup> para pH del líquido de gobierno	77
TABLA 12: Resultados de los análisis de acidez de las slides osmodeshidratada de carambola	79
TABLA 13: Análisis univariado de varianza para el acidez	80
TABLA 13: cuadro de comparación de medias de Tukey <sup>a,b</sup> para acidez del agente osmodeshidratante.	80
TABLA 14: cuadro de comparación de medias de Tukey <sup>a,b</sup> para acidez del líquido de gobierno	81
TABLA 15: Resultados de los análisis de $a_w$ de las slide osmodeshidratado de carambola.	82
TABLA 16: Análisis univariado de varianza para la $a_w$	83
TABLA 17: cuadro de comparación de medias de Tukey <sup>a,b</sup> para $a_w$ del agente osmodeshidratante.	83

TABLA 18: cuadro de comparación de medias de Tukey <sup>a,b</sup> para $a_w$ del líquido de gobierno	84
TABLA 19: Resultados de los análisis de vitamina C de las slides osmodeshidratado de carambola.	85
TABLA 20: Análisis univariado de varianza para vitamina C	86
TABLA 21: cuadro de comparación de medias de Tukey <sup>a,b</sup> para vitamina C del agente osmodeshidratante.	86
TABLA 22: cuadro de comparación de medias de Tukey <sup>a,b</sup> para vitamina C del líquido de gobierno	87
TABLA 23: Resultados de los análisis de la tonalidad de las slides osmodeshidratado de carambola.	88
TABLA 24: Análisis univariado de varianza para la tonalidad	89
TABLA 25: cuadro de comparación de medias de Tukey <sup>a,b</sup> para tonalidad del agente osmodeshidratante.	90
TABLA 26: cuadro de comparación de medias de Tukey <sup>a,b</sup> para la tonalidad del líquido de gobierno	90
TABLA 27: Resultados de los análisis de la saturación de las slides osmodeshidratado de carambola.	91
TABLA 28: Análisis univariado de varianza para la saturación	92
TABLA 29: cuadro de comparación de medias de Tukey <sup>a,b</sup> para saturación del agente osmodeshidratante.	93
TABLA 30: cuadro de comparación de medias de Tukey <sup>a,b</sup> para la saturación del líquido de gobierno	93
TABLA 31: Resultados de los análisis de la luminosidad de las slide osmodeshidratado de carambola.	95
TABLA 32: Análisis univariado de varianza para la luminosidad	96
TABLA 33: cuadro de comparación de medias de Tukey <sup>a,b</sup> para luminosidad del agente osmodeshidratante.	96
TABLA 34: cuadro de comparación de medias de Tukey <sup>a,b</sup> para la luminosidad del líquido de gobierno	97
TABLA 35: Resultados de la evaluación sensorial del color de las slide osmodeshidratado de carambola.	101

TABLA 36: Resultados de la evaluación sensorial del olor de las slides osmodeshidratada de carambola. 102

TABLA 37: Resultados de los análisis de evaluación sensorial de la textura de las slides osmodeshidratado de carambola. 103

TABLA 38: Resultados de la evaluación sensorial del sabor de las slide osmodeshidratado de carambola. 103

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I: Método para la determinación cuantitativa de vitamina C	115
ANEXO II: Análisis sensorial de la carambola osmodeshidratada (Escala hedónica)	116
ANEXO III: Construcción de isotermas	117
ANEXO IV: Resultados experimentales de los análisis a la Carambola (Avehrroa Carambola)	118
ANEXO V: Fórmulas utilizadas para balance de materia del proceso de la carambola osmodeshidrata	122
ANEXO VI: Determinación de isotermas de las slides osmodeshidratada de carambola.	123
ANEXO VII: Resultados experimentales de los análisis de las slides osmodeshidratada de carambola obtenidas de la deshidratación.	130
ANEXO VIII: Resultados experimentales de los análisis de las slides osmodeshidratada de carambola obtenidas de la deshidratación.	132

## RESUMEN

La investigación tuvo como finalidad evaluar el efecto de la osmodeshidratación en las características físico químicas de slides de carambola (*Averrhoa Carambola L*) de manera que se obtenga un producto que tenga osmodeshidratado. En la primera parte de la investigación se caracterizó la materia prima (carambola) fisicoquímicamente. En la segunda parte se realizó el diseño experimental del proceso tecnológico; de la siguiente manera: Selección y clasificación, lavado y desinfectado, pelado, cortado y despepitado, preparación de jarabe, inmersión en jarabe, drenado, enjuagado, secado, empaçado y almacenamiento.

Los agentes osmóticos utilizados fueron el azúcar rubia, el azúcar blanca y el azúcar invertido de manera que se obtuvo 9 tratamientos: T1 (50 % azúcar rubia), T2 (60 % azúcar rubia), T3 (70 % azúcar rubia), T4 (50 % azúcar blanca), T5 (60 % azúcar blanca), T6 (70 % azúcar rubia), T7 (50 % azúcar invertido), T8 (60 % azúcar invertido) y T9 (70 % azúcar invertido).

En la tercera etapa de la investigación se evaluó las características físico químicas tales como humedad, acidez, vitamina C, pH, actividad de agua y color (saturación, luminosidad y tono). Además se evaluó las características sensoriales de los productos obtenidos aplicando los tratamientos señalados anteriormente y determino las isotermas de adsorción para las slides osmodeshidratado de carambola. Para el análisis de los resultados se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con un arreglo factorial tres factores (azúcar rubia, azúcar blanca y azúcar invertido) por tres factores (concentraciones 50 %, 60 % y 70 %) para determinar el mejor tratamiento.

Obteniéndose los siguientes resultados para las características físico químicas para el mejor tratamiento con azúcar blanca a 60 °Brix de concentración humedad 10.12 %, aw 0.62, pH 3.11, acidez 0.49 %, vitamina C 34.88 mg, tonalidad de color 40.62, saturación de color 33.38 y luminosidad 61.39. Además los resultados de la evaluación sensorial son: color con 7, olor con 5,6 texturas con 7,3 sabor con 8.

## I. INTRODUCCION:

El presente investigación tiene como objetivo determinar los parámetros óptimos en la obtención de slide de la carambola (*Averrhoa carambola L*) por osmodeshidratación y evaluar sus características fisicoquímicas, la calidad durante su almacenamiento, a fin de proponer una alternativa de industrialización para esta materia prima.

La deshidratación osmótica, es una técnica por la cual la materia prima se sumerge en una solución hipertónica (de solutos como sacarosa o cloruro de sodio). Este proceso busca preservar los alimentos disminuyendo el contenido de agua. Por lo cual en estos tiempos se busca desarrollar procesos tecnológicos que sean eficientes y produzcan mayores volúmenes de mejor calidad.

La carambola (*Averrhoa carambola L.*) Es una fruta exótica originaria de Asia Tropical, tiene forma de copa, como una estrella de cinco puntas, son bayas gruesas indehiscente. De color verde amarillento, que luego se hace amarillo anaranjado cuando está madura, la pulpa tiene pocas o ninguna semilla, es abundante, jugosa y con un fino sabor agridulce. (Ácido oxálico).

Este trabajo de investigación se desarrolló y evaluó el efecto de los agentes osmóticos (azúcar rubia, azúcar blanca y azúcar invertido) y la concentración del agente osmótico en el jarabe (50, 60 y 70 °Brix) en el proceso de deshidratación osmótica y características fisicoquímicas y sensoriales de rodajas secas de carambola (*Averrhoa Carambola L*)”

En éste trabajo de investigación se usó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con un arreglo factorial de 3Ax3C con 3R es decir 9 tratamientos con 27 experimentos, cuyos resultados fueron evaluados estadísticamente a fin de determinar las diferencias significativas entre ellos.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

- Determinar los parámetros óptimos en la obtención de las slide de carambola (*Averrhoa carambola l*) por osmodeshidratación.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar cuál de los agentes osmóticos utilizados mejora la efectividad del proceso de ósmosis.
- Determinar la composición química proximal y características de la carambola (*Averrhoa Carambola L*) humedad, proteína, grasa, cenizas, carbohidratos, acidez, pH, sólidos solubles, vitaminas.
- Evaluar el efecto de la aplicación del osmodeshidratación en los parámetros de calidad organoléptico: color, olor textura y sabor de la carambola osmodeshidratada.
- Determinar las características fisicoquímicas del producto final óptimo.

## II. REVISION BIBLIOGRAFICA:

### 2.1. LA CARAMBOLA (*Averrhoa carambola L.*)

#### 2.1.1. Generalidades:

La carambola (*Averrhoa Carambolà L*), pertenece a la familia Oxalidaceae y es originaria de Asia tropical. Actualmente esta fruta se encuentra en numerosos lugares de los trópicos y subtrópicos, en países tales como: Australia, Brasil, China, Estados Unidos, Francia, Haití, Indochina, Malasia, México y Tailandia. (Nakasone y Paull, 1998).

En el Perú, esta fruta se desarrolla en zonas sub-tropicales, en lugares como Chanchamayo y Satipo (Junín), Tingo María (Huánuco) e Iquitos, en los centros de productos agropecuarios y en otras zonas sub-tropicales. (Calzada, 1980).

También se encuentra en Pichari, Santa Rosa y San Francisco.

Son diversos y numerosos los nombres bajo cual se le conoce a la fruta del árbol *Averrhoa Carambola Linn*, en el mundo: "carambolo", "carambola" y "tiriguro" en Costa Rica; "cornichón" en las Antillas francesas; "limas de cayena" en Brasil; "tamarindo chino" y "tamarindo culi" en Venezuela; "fruta estrella" (star fruit) en los Estados Unidos; "fruta de cinco esquinas" (five

corner fruit) en Australia y como "durazno exótico" en la provincia china de Fukien.

Se supone que fue introducida en América a finales del siglo XVIII. Desde entonces, se le sigue cultivando en el continente a nivel de "patio" mayormente.

### 2.1.2. Clasificación botánica y características morfológicas:

La carambola tiene la siguiente clasificación botánica:

División	: Angiosperma
Clase	: Dicotiledónea
Orden	: Cruinales
Familia	: Oxalídacea
Género	: <i>Averrhoa</i>
Especie	: <i>Carambola</i>
Nombre científico	: <u><i>Averrhoa Carambola</i> L</u>
Nombre común	: Carambola (Calzada, 1980).

El árbol de carambola exhibe un follaje denso con hojas compuestas, alternas, pecioladas, imparipinadas, de color bronceado cuando jóvenes y color verde en la madurez (Figura 1). Las hojas poseen entre 9 y 13 folíolos pubescentes en el envés y en la zona central del haz, los folíolos se encuentran más o menos inclinados. Los árboles poseen estructuras reproductivas en diferentes estados de desarrollo. (González, 2000).



Figura 1: Hojas de carambola. (Gonzales, 2000).

Las inflorescencias de la carambola se desarrollan en las axilas de las hojas, concentrándose hacia la periferia del árbol; estas se caracterizan por ser panículas de tonalidades rojas y púrpuras (Figura 2). Las panículas se desarrollan por un período de 4 a 6 semanas, presentan longitudes entre 1.8 y 8 cm y exhiben desde muy pocas hasta cerca de 80 estructuras en diferente grado de desarrollo.

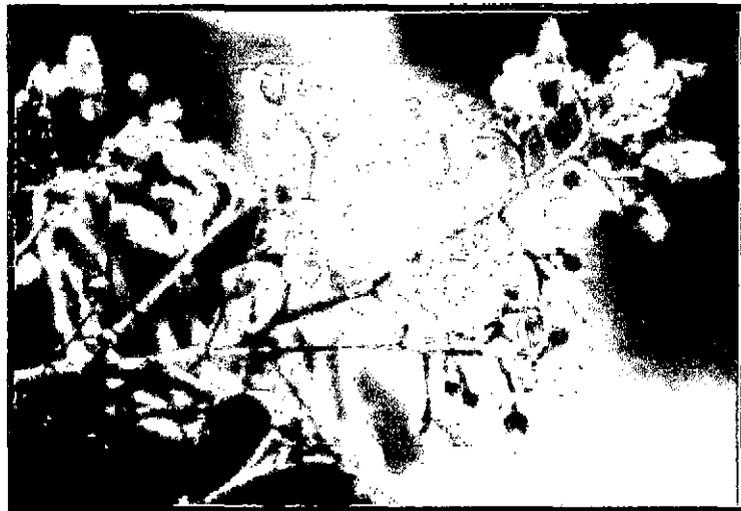


Figura 2: Panícula de carambola. (Gonzales, 2000).

Las flores de la carambola son completas (Figura 3) y de estilo largo (*longistilia*), están conformadas por cinco sépalos, cinco pétalos, cinco

estambres, cinco estaminodios y un ovario súpero con cinco estilos.  
González, (2000).



Figura 3: Flor de carambola. (Gonzales, 2000)

El fruto de la carambola es una baya carnosa de forma ovoide a elipsoidal variada (Figura 4), con cuatro a seis aristas longitudinales y redondeadas que lo dotan de una típica sección en forma de estrella (Figura 5), algunas veces modificada.

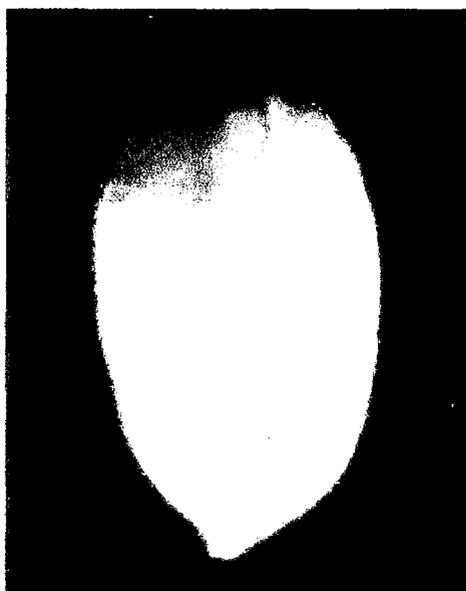


Figura 4: Fruto de carambola. (González, 2000)



Figura 5: Sección transversal de carambola. (Gonzales, 2000)

### 2.1.3. Composición química:

En la Tabla 1 se registran los datos concernientes a las determinaciones bromatológicas y de minerales realizadas a frutos de carambola:

Tabla 1: Composición química de la carambola en base a 100 g de la parte comestible

<b>Composición</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
Humedad, (g)	89,70	92
Calorías, (cal)	36	24
Proteína, (g)	0,38	0,7
Grasa, (g)	0,3	0,1
Carbohidratos, (g)	9,0	5,0
Fibra, (g)	0,63	1,8
Ceniza, (g)	0,49	0,4
Vitamina A, (mg)	90	155
Vitamina B1, (mg)	0,04	0,1
Vitamina B2, (mg)	0,02	0,1
Vitamina B6, (mg)	0,02	-
Vitamina C, (mg)	35,0	25,8
Ca, (mg)	5,0	7,0
P, (mg)	18,0	-
Fe, (mg)	0,40	0,4

Fuente: A: Tello et al (2002). B: The Packer (2000).

En el ámbito mundial se reporta que la carambola es un fruto bajo en calorías, buena fuente de potasio y vitamina A, y una fuente moderada de vitamina C. Asimismo, se registra que las variedades extremadamente ácidas son ricas en ácido oxálico y el fruto de carambola puede contener hasta 14 aminoácidos (Galán, (1991); Holman, (1998); Morton, (1987).

#### **2.1.4. Valor nutricional:**

La carambola es muy rica en agua (90%) y bastante pobre en glúcidos; es muy poco calórica, y puede consumirse sin restricciones. Bien provista de vitamina C (entre 25 y 35 mg/100g), es muy conveniente comprarla en invierno, ya que esta tiene un papel importante en la lucha contra las infecciones que suelen producirse durante la estación fría.

Hasta hace poco tiempo la carambola se ha considerado un fruto ácido de relativamente alto contenido de ácido oxálico y en consecuencia de escaso interés comercial, sin embargo Galán, (1991) manifiesta que el contenido en ácido oxálico encontrados en carambola no llega a la mitad de los reseñados para un producto tan conocido y consumido como la espinaca.

Su aporte de carotenos es también destacado (protección celular por neutralización de los radicales libres) y contribuyen a cubrir nuestras necesidades. Su contenido en minerales es, al contrario, bastante bajo, salvo en fosforo.

La carambola es muy tónica, lo cual representa un buen complemento de vitamina C; se puede mezclar con frutas menos ricas en esta vitamina para completar su aporte: plátano, uva, piña, etcétera. Muy poco dulce, esta fruta es perfecta para los regímenes hipocalóricos, gracias a su amplio contenido mineral y vitamínico.

En la Tabla 2, se observa algunas características fisicoquímicas de la carambola.

Tabla 2: Características fisicoquímicas de la carambola.

Característica	Limites
Acido oxálico, (g/100 g de jugo)	0,04-0,7
Acidez (mg / 100 g de jugo)	1,90-13,1
pH	2,4-2,5
Grados Brix	5,0-13,0
Azúcares totales (%)	3,5-11,09
Contenido de jugo (%)	60,0-75,0

**Fuente:** Keller, (1990) citado por Villa Alarcón, María Pía. (n.d.).

### 2.1.5. Características y perspectivas del mercado:

Las características de los mercados según Mendoza, (1997) son las siguientes:

- **Mercado nacional.** El mercado nacional de carambola es muy restringido, actualmente la demanda se encuentra satisfecha con pocos volúmenes de producto, lo que implica una limitante para incrementar los volúmenes y expandir mercados. Otra limitante, es que los compradores de carambola encarecen fuertemente el precio de venta al consumidor final.
- **Mercado internacional.** Los mercados de exportación son muy exigentes, de cada 20 frutos sólo uno califica para exportación. Entre las causas están las rozaduras que se presentan en el fruto por crecer en racimos, más no por la falta de características cualitativas idóneas, ya que la fruta es competitiva en el ámbito internacional.

La carambola es una fruta que está empezando a abrirse mercado en los países industrializados, todavía es poco conocida por el público, por eso el consumo no es tan grande. Sin embargo, poco a poco se van ampliando los mercados de exportación. En los meses de junio a diciembre, cuando madura la carambola, los países como Estados Unidos, Japón, Canadá y Europa están saturados de fruta convencional (manzanas, peras, ciruelas), por lo tanto no se compran frutas exóticas; solamente en el periodo de marzo a mayo cuando la carambola escasea en los mercados. En la actualidad no existen muchos canales comerciales abiertos los países mencionados antes, pero indudablemente presentan una opción que vale la pena explorar. (Mendoza, 1997).

#### **2.1.6. Cosecha**

Las características y calidad de la carambola dependen en gran medida de la forma en que ha sido cultivada. El tamaño, color y textura del fruto van a depender principalmente de la variedad.

La cosecha de la carambola se realiza a mano, mediante arranque o con una hoz, Para la cosecha de la carambola se toma en consideración el color de la cáscara. La fruta puede ser cosechada desde el estado verde-maduro, en este estado de madurez la fruta ha alcanzado su máximo desarrollo, la cáscara es dura, de color verde claro y se encuentra bien adherida a la pulpa que cambia de color blanco a ligeramente amarilla o rojiza, dependiendo de la variedad.

Para fines de exportación la carambola se cosecha generalmente al estado pintón en el cual la cáscara es de color verde claro con un ligero desarrollo de color amarillo (menos de 1/4 de la superficie del fruto). A medida que se incrementa el color de la cáscara, la pulpa se vuelve más colorida y se torna más suave y aromática (Mendoza, 1997)

#### **2.1.7. Manejo poscosecha y transporte**

Debido a la fragilidad de la cáscara y del fruto en general, la carambola debe ser manejada con mucho cuidado para evitar cualquier daño físico. Los golpes, magulladuras, abrasiones y cortes incrementan el

ritmo de maduración y deterioro fisiológico y patológico del producto cosechado disminuyendo su calidad comercial.

Es común observar en frutos recién cosechados, la presencia de hormigas que dejan manchas blancas en el pedúnculo, de esta forma, el ataque de insectos y la incidencia de enfermedades precosecha afectan sensiblemente la calidad y presentación de la fruta. La obtención de frutos de tamaño y calidad adecuados para los mercados nacionales y de exportación es el resultado de un buen manejo del cultivo (Schwartz, 1994).

La fruta cosechada debe ser transportada lo más rápido posible al centro de selección y empaque o a los centros de distribución y consumo, evitando exponerlos directamente a los rayos del sol y protegiéndolos de las inclemencias del tiempo, antes y durante su transporte.

Si bien la cosecha al estado verde-maduro asegura una mayor vida útil de poscosecha del producto, existe la dificultad en la práctica, para diferenciar entre un fruto verde- maduro de uno inmaduro (Barbosa, 2000).

Frutas cosechadas inmaduras no maduran normalmente con posterioridad, no desarrollan aroma ni dulzor normales, se deshidratan fácilmente y presentan mal aspecto, todo lo cual hace que pierda su valor comercial. Frutas cosechadas más maduras (1/4, 1/2 y 3/4 de amarillo) tienen una vida poscosecha menor por lo que sólo pueden ser comercializadas en el mercado interno

## **2.2. Sacarosa:**

La sacarosa es con mucho el más difundido de los glúcidos simples elaborados por la naturaleza y así es como el término azúcar, en singular, designa a este diholósido. (Linden et al., 1994).

La sacarosa existe en todas las plantas que contienen clorofila. Ya sea extraída de la caña o de la remolacha, la fabricación del azúcar no recurre más que a procedimientos de extracción y de purificación muy simples, sin utilización de aditivo alguno, ni de productos de síntesis.

### 2.2.1. Estructuras y propiedades principales:

La sacarosa es un alimento glucídico muy importante para los individuos de los países desarrollados; es por otra parte el único alimento puro y cristalizado que consume el hombre.

Está compuesto por una molécula de glucosa y una de fructosa. Su nombre científico lo precisa:  $\alpha$ -D-glucopiranosil-(1 $\rightarrow$ 2)- $\beta$ -D-frutofuranósido y su estructura se muestra en la Figura 6. Es un diholósido no reductor. La sacarosa del comercio se presenta en forma de una materia cristalina blanca y brillante (prismas romboidales) que no es higroscópica.

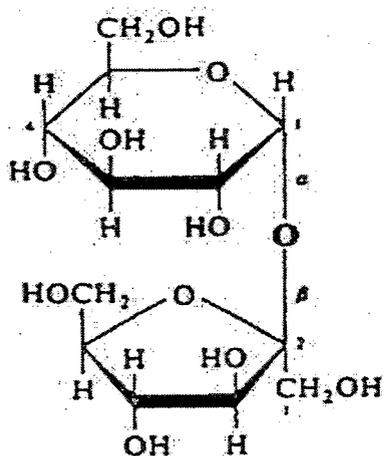


Figura 6: Estructura molecular de la sacarosa (Linden et al., 1994).

La sacarosa es inodora y de sabor característico. Su humedad es muy baja (del orden del 0,05 %) y su estabilidad durante el almacenamiento es muy grande. Distribuidas en formas granulométricas diferentes adaptadas a las múltiples necesidades de las industrias utilizadoras, la sacarosa es muy soluble en agua y tanto más cuanto más elevada sea la temperatura de ésta; a 20 °C, la solubilidad es de 67g por 100 g de solución. (Linden et al., 1994).

### **2.2.2. Azúcar invertido:**

La sacarosa se hidroliza fácilmente en medio ácido. La hidrólisis enzimática es realizada por dos oxidasas: la  $\alpha$ -glucosidasa y la  $\alpha$ -fructosidasa; esta última ha sido llamada invertasa pues la mezcla de las monosas, debido al fuerte carácter levógiro de la fructosa, guarda esta propiedad (20 °C). Se llama además siempre a esta mezcla "azúcar invertido". La invertasa está ampliamente difundida; se la encuentra sobre todo en el intestino humano.

En el plano industrial, el azúcar invertido se produce bien por catálisis enzimática, o por catálisis ácida. La catálisis enzimática está particularmente adaptada a la producción de azúcar invertido con un alto grado de hidrólisis. La catálisis ácida libre, utilizada tradicionalmente, conduce a jarabes fuertemente mineralizados (tras neutralización del ácido) y muy coloreados (coloración debida a las condiciones drásticas de la reacción). (Linden et al., 1994).

### **2.2.3. Utilización de la sacarosa y del azúcar invertido:**

El azúcar invertido en solución es netamente más fluido que la sacarosa líquida (a 20 °C una solución de sacarosa tiene una viscosidad tres veces más elevada que una solución equivalente de azúcar invertido). Desciende más intensamente la  $a_w$  que la sacarosa; dicho de otra forma, aumenta el poder de retención de agua. Esta propiedad es utilizada para mejorar la conservación de los productos tanto en el terreno de la textura como en el terreno microbiológico. Además el poder azucarante es superior.

El azúcar invertido se emplea, sobre todo debido a sus propiedades humectantes, en confitería húmeda (artículos con gelatina, cremas de fruta, etc.), y pastelería industrial (pan de especias, bizcochos, recubrimientos, etc.). Debido a sus propiedades físicas (poder azucarante, descenso de la temperatura de congelación, etc.) se utiliza en las natas heladas, los sorbetes, los productos lácteos frescos, las bebidas (licores de grosella, etc.).

La sacarosa entra en la composición de los caramelos aromatizados. A este respecto, es interesante señalar que como para otros glúcidos al sumarse en las soluciones mixtas las solubilidades parciales de la glucosa y de la sacarosa, es posible obtener concentraciones totales que van hasta el 75 %, muy superiores a las de uno solo de los glúcidos; se puede así fabricar jarabes protegidos contra la cristalización y contra la fermentación.

Las aplicaciones clásicas son muy importantes en tonelaje en el sector de las confituras, jarabes, etc. Del mismo modo, en pastelería, la sacarosa al fijar agua contribuye a incrementar la vida útil de los productos. La sacarosa presenta propiedades de texturización, de lubricación y de dar cuerpo (papel de la viscosidad), de modificación y homogenización de los aromas (y esto a dosis bajas permitiendo "borrar" los gustos ácidos, amargos, etc.), de agente dispersante, de caramelización, etc. (Linden et al., 1994).

### **2.3. Disponibilidad de agua en los alimentos:**

El contenido de agua de un alimento tiene importancia desde el punto de vista nutricional. Prácticamente todo el agua es liberada durante la digestión y absorbida en los intestinos, independientemente de que en el alimento el agua este libre o ligada otras moléculas mediante enlaces más o menos estables. En este sentido, la excepción se da en el agua retenida en sustancias que no pueden ser digeridas y absorbidas en el intestino delgado ni fermentadas en el intestino grueso por la flora bacteriana.

La ingesta de agua como tal suele ser la principal fuente de hidratación del organismo, aunque el aporte de agua por parte de los demás alimentos de la dieta es muy importante. Entre los productos que más agua aportan en una dieta convencional estarían las bebidas y alimentos líquidos (zumos, leche, caldos, sopas, infusiones, refrescos, cerveza, etc.), las frutas, verduras y hortalizas frescas, los pescados, y algo menos la carne y los huevos. Los alimentos con un menor contenido de agua; son generalmente aquellos que han sido de una u otra manera deshidratados (derivados de cereales, legumbres, frutas desecadas, leche en polvo, productos cárnicos curados, quesos curados), o aquellos que en su composición contienen muy

pequeñas cantidades de agua (frutos secos, grasas, aceites, miel, etc.). De todas formas, es necesario tener en cuenta que algunos alimentos con un bajo contenido en agua son una importante fuente de este elemento una vez cocinados, debido a su gran capacidad de hidratación (arroz, legumbres, pasta).

Cuando se habla de contenido de agua de un alimento no se hace referencia, a como está presente dicha agua en el alimento, ni cuál es su disponibilidad. En efecto, como ya se ha explicado, el agua puede estar ligada a las diversas moléculas e iones presentes en los alimentos de una forma más o menos intensa en función del tipo de interacción establecido.

La disponibilidad de agua, y no tanto el contenido total en agua, va a determinar la vida útil de un alimento. De hecho, dos alimentos con un mismo contenido de agua pueden presentar una alterabilidad diferente debido a que tengan

Para "cuantificar" la disponibilidad de agua se utiliza el concepto de actividad de agua,  $a_w$ , que está definida por la siguiente fórmula:

$$a_w = \frac{P}{P_v}$$

Donde  $p$  es la presión parcial del vapor de agua por encima de la muestra y  $p_v$  es la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura (que debería ser especificada, ya que la  $a_w$  varía para una misma muestra en función de la temperatura). La  $a_w$  del agua pura sería 1, por lo que la  $a_w$  de cualquier alimento va ser siempre menor que 1.

La  $a_w$  está también relacionada con la humedad relativa de equilibrio (HRE) mediante la fórmula:

$$a_w = \frac{HRE}{100} \text{ (en \%)}$$

De forma que, en un recinto cerrado y una vez que se ha llegado al equilibrio (cuando la transferencia de agua del alimento al aire y del aire al alimento es

de la misma cantidad), la actividad del agua en el alimento equivaldría a la humedad relativa del aire. Conociendo la  $a_w$  de un alimento y la humedad relativa de la atmosfera en la que se mantendrá dicho alimento es posible predecir si este ganara o perderá agua.

Diversas variables fisicoquímicas tales como el pH y la fuerza iónica también tienen una influencia sobre la  $a_w$  ya que van a determinar, entre otros factores, el grado de ionización (y por tanto la carga) de las moléculas, además de la forma en que se estructuren (formas cristalinas y amorfas). Los geles de proteína, las jaleas y mermeladas elaboradas utilizando pectinas o la retención/pérdida de agua de la carne fresca al variar el pH son algunos de los ejemplos de la importancia de estas variables. (Rodríguez, 2008).

En un alimento el agua está presente de tres formas:

- **Agua fuertemente ligada:** se corresponde con una  $a_w$  entre 0 y 0,20 – 0,25 y suele representar un 3 – 5 % del agua total del alimento. Constituiría la capa monomolecular de agua unida a los grupos polares de moléculas orgánicas (especialmente los grupos  $\text{COO}^-$  y  $\text{NH}_3^+$  de las proteínas y los grupos  $\text{OH}^-$  de los almidones), así como el agua de hidratación de sales (interacción agua-ion) y azúcares simples. Esta agua se comporta en la práctica como parte integrante del sólido y, aunque puede ser en cierta medida retirada mediante algunas técnicas de desecación, no puede ser congelada, no puede participar en reacciones químicas y tampoco puede ser utilizada por solutos próximos como disolvente.
- **Agua débilmente ligada:** Se corresponde con una  $a_w$  desde 0,20-0,25 hasta 0,75-0,80. Supondría una multicapa de moléculas de agua unidas por enlaces por puentes de hidrogeno a la monocapa en contacto directo con los constituyentes no acuosos. Esta agua supone la mayor parte de la esfera de hidratación de las proteínas, azúcares, sales, no pudiendo definirse con exactitud el grosor de esta capa (cuándo deja de ser agua débilmente ligada). Aunque la entalpia de vaporización es mayor que la

del agua libre, el agua débilmente ligada puede ser utilizada como disolvente y puede participar en reacciones químicas. A pesar de ello, a -40 °C gran parte del agua débilmente ligada no estaría congelada.

- **Agua libre:** Se corresponde con una  $a_w$  desde 0,75-0,80 hasta casi 1. Se trataría del agua condensada en los poros y capilares del alimento, atrapada en geles (por ejemplo en un flan) y en diversos sistemas celulares (por ejemplo en una manzana), así como de la mayor parte del agua de soluciones acuosas. El agua libre tiene mayor movilidad que el agua débilmente ligada y supone la mayor parte del contenido de agua en los alimentos frescos y de alto contenido de agua. El agua libre se puede intercambiar rápidamente con el agua débilmente ligada no pudiendo establecerse con precisión el límite entre ambas. El agua libre puede retirarse fácilmente por calentamiento, siendo su entalpia de vaporización muy similar a la del agua pura. También puede ser congelada, está disponible como disolvente y puede participar en reacciones químicas, siendo el principal responsable de la estabilidad y vida útil del alimento.

A pesar de que puedan existir algunas excepciones, los alimentos con alto contenido de agua suelen tener una  $a_w$  alta, mientras que los alimentos desecados presentan una baja  $a_w$ . (Rodríguez et al., 2008).

## **2.4. Influencia de la composición y estado físico del alimento sobre la fijación del agua:**

### **2.4.1. Influencia de la composición del alimento:**

La fijación de agua en los alimentos varía de modo considerable en función del comportamiento de los distintos componentes químicos frente a las moléculas de agua. Así, por ejemplo en las zonas inferiores de las isothermas las proteínas y los almidones retienen agua con más fuerza que los lípidos y los azúcares cristalizados. Las frutas ricas en azúcares son particularmente

higroscópicas en estado deshidratado, pero solamente por encima de una cierta actividad de agua.

La retención de agua es un proceso notablemente influido por el estado físico, cristalino o amorfo, bajo el que se encuentran las redes moleculares, que por otra parte va a depender de los tratamientos tecnológicos a los que se someten los alimentos: operaciones de deshidratación, liofilización, etc. Así, el pretratamiento que suelen recibir los almidones modificados influye de modo intenso en la adsorción de agua, pues el fenómeno de gelatinización transforma la red cristalina, que en estado amorfo suele ser bastante impermeable al agua (Bello, 2000).

También los cambios de pH y la fuerza iónica pueden modificar la retención de moléculas de agua en los alimentos proteicos. Las interacciones electrostáticas entre las cadenas de proteínas permiten la formación de geles hinchados acuosos. Pero cuando se modifican estos puntos de enlaces, el agua retenida resulta expulsada y acaba por evaporarse. Este fenómeno tiene particular relevancia cuando se alcanza el pH correspondiente el punto isoeléctrico de las proteínas.

Los azúcares también pueden ser responsables de alteraciones reológicas en la textura de los alimentos, porque el paso de las formas amorfas, generalmente higroscópicas, a las formas cristalinas da lugar a una situación con menor capacidad de enlazar agua. De esta forma, el agua expulsada puede ser fijada por otros componentes, dando lugar a problemas de conservación difíciles de solucionar, ya que suelen formar una masa pegajosa poco soluble, como ocurre con los cafés deshidratados, los zumos de naranja pulverizados, la leche en polvo, etc. (Bello, 2000).

En relación con su contenido acuoso, los alimentos que se manejan pueden corresponder a tres tipos con características y consecuencias bien diferentes:

- a) Alimentos con contenido acuoso superior al 40 %. Pueden ser tanto naturales como transformados.

- b) Alimentos cuyos contenidos en humedad son bastantes bajos. En su mayor parte son industriales y sólo unos pocos naturales.
- c) Alimentos en los que sus contenidos acuosos oscilan entre 10 y 40 %, y que de modo convencional son considerados como alimentos de humedades intermedias. A este grupo corresponden los quesos de masa dura, los frutos secos, algunos derivados cárnicos, productos de pastelerías, etc. En la práctica se fabrican pocos alimentos con humedades intermedias por la dificultad que entraña su estabilidad, que depende más de la disponibilidad de agua que de su nivel acuoso.

#### **2.4.2. Estado físico de los alimentos:**

En la práctica, los valores de la actividad de agua afectan con fuerza la tendencia de un alimento a sufrir alteraciones de origen microbiano, enzimático o químico. Los niveles de  $a_w$  que contribuyen a la alteración del alimento varían de acuerdo con el tipo de alimento, la concentración de solutos, temperatura, pH, presencia de aditivos humectantes y otros muchos factores.

Se ha observado que los alimentos desecados, cuyo contenido acuoso se sitúa entre el 5 y el 10 %, tienen actividades de agua situadas en la zona más baja de las isoterma, que se suponen corresponden al agua enlazada como monocapas y multicapas. En este rango de actividades ( $< 0,2$ ), los alimentos requieren un mínimo de procesado o de conservación para ofrecer una buena estabilidad durante su almacenamiento. (Bello, 2000).

Sin embargo, dentro de esta zona de muy baja  $a_w$ , se puede presentar la oxidación de lípidos, conocida como enranciamiento de las grasas. Se trata de una alteración que se comporta de modo diferente según sean los valores de la disponibilidad para las moléculas de agua, como se ha podido comprobar en la estabilidad de cereales y derivados:

- Cuando los valores de la actividad son muy débiles, el agua presente en las interfaces lipídicas queda fijada a los peróxidos formados mediante

enlaces de hidrógeno, por lo que se retrasa la actividad y descomposición de estos compuestos.

- En cambio, la acción de las moléculas de agua sobre los radicales libres comienza cuando la  $a_w$  alcanza valores de 0,5, momento en que facilita la reacción entre ellos, que al ser muy reactivos reducen su número.
- También dentro de esta zona de  $a_w$ , las moléculas de agua pueden ejercer una acción frente a los vestigios de metales catalizadores de la oxidación, aunque de acuerdo con dos mecanismos diferentes: una hidratación del metal con reducción de su actividad catalítica y la formación de un hidróxido soluble, que desaparece de la fase de reacción.

Como consecuencia de todo ello, los valores bajos de actividad de agua producen cierta acción antioxidante del agua, capaz de reducir la velocidad de enranciamiento, pero para valores superiores a 0,5 la reacción comienza de nuevo a ser acelerada y la alteración puede alcanzar toda su magnitud.

En esta zona, además de la oxidación de los lípidos puede ocurrir el pardeamiento no enzimático o las alteraciones debidas a la acción de enzimas. El primero tiene lugar entre grupos amino y grupos carbonilos, con una velocidad que aumenta de modo rápido con la  $a_w$  y alcanza sus valores máximos entre 0,5 y 0,7. Sin embargo, por encima de este nivel la reacción se hace cada vez más lenta.

De igual forma, la  $a_w$  tiene su efecto positivo sobre la actividad de las enzimas presentes, de tal modo que la mayor parte de las reacciones enzimáticas están condicionadas por la actividad de agua. En diversos casos de hidrólisis, la actividad enzimática ya comienza a manifestarse por encima de 0,1 y se incrementa de modo considerable cuando la actividad alcanza el valor de 0,7. Parece que el agua resulta necesaria porque además de disolvente, el agua actúa como medio de difusión para las sustancias reaccionantes.

Por último, los alimentos cuya actividad de agua queda por encima de 0,65 reúnen las condiciones adecuadas para el desarrollo de microorganismos,

aunque en la zona entre 0,65 y 0,75 sólo crecen los microorganismos halófilos y osmófilos. (Bello, 2000).

## 2.5. Isotermas de adsorción:

Las isotermas de adsorción de agua son gráficas que relacionan el contenido de agua de un alimento con su actividad de agua, o lo que es lo mismo, en función de la humedad relativa de la atmósfera que rodea al alimento, una vez alcanzado el equilibrio a una temperatura constante. (Ordoñez, 1998). (Figura 7).

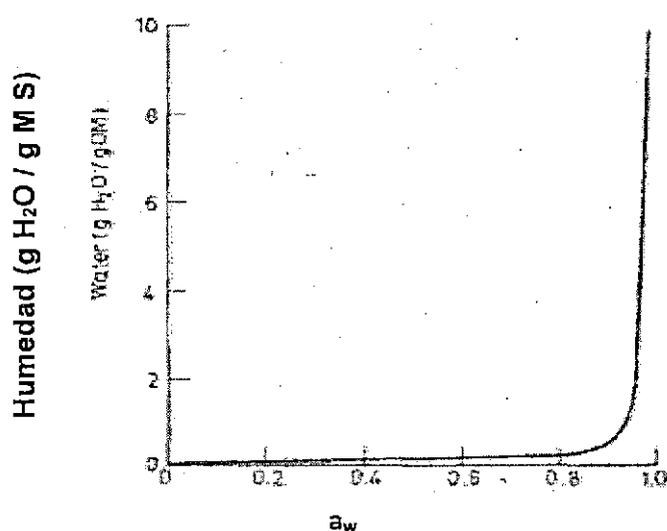


Figura 7: Isoterma general de adsorción de agua en un alimento (Fennema, 2000).

La grafica predice claramente que ligeras variaciones en la humedad de un alimento con un alto contenido de agua influye muy poco en su  $a_w$ . Sin embargo, a contenidos de agua más bajos, lo hace de una forma significativa. Aumentando la escala (Figura 8) se puede ver lo que ocurre en alimentos muy secos: pequeñas variaciones en la humedad provocan grandes cambios en la  $a_w$ .

La mayoría de las isotermas de adsorción de agua de los alimentos presentan una forma sigmoidea con pequeñas variaciones según la estructura física, composición química, temperatura y capacidad de

retención de agua del alimento. Sin embargo, hay alimentos que presentan en la primera parte de la curva una zona más plana; estas curvas, en forma de J, son típicas de alimentos con un gran contenido en azúcar y solutos, que presentan poca adsorción por capilaridad, como las frutas y confituras. (Ordoñez, 1998).

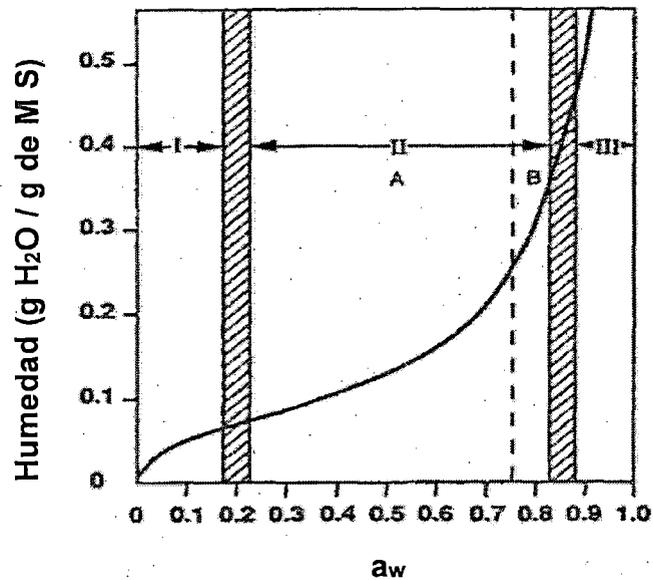


Figura 8: Isoterma de adsorción de agua de un alimento con bajo contenido de humedad (Fennema, 2000).

En las isotermas de adsorción de agua se pueden distinguir tres zonas poco delimitadas que indican la forma en que el agua se encuentra ligada a los alimentos (Figura 8):

- **Zona I:** Es el agua más fuertemente ligada y menos móvil. Se corresponde con el agua de la capa monomolecular fija a los grupos polares de ciertos compuestos, especialmente a  $\text{NH}_3^+$  y  $\text{COO}^-$  de las proteínas y los grupos  $\text{OH}^-$  de los almidones, así como el agua de cristalización de azúcares y sales. Es muy difícil extraer, no es congelable y no se encuentra disponible para actuar como disolvente o reactivo. Constituye una cantidad muy pequeña del agua total de un alimento y

corresponde a una  $a_w$  inferior a 0,2-0,3. El límite entre las zonas I y II es la denominada monocapa BET.

- **Zona II:** Comprende el agua correspondiente a las capas de hidratación de los constituyentes solubles, es decir, proteínas, sales, azúcares, etc. Está ligada por puentes de hidrógeno e interacciones dipolo-dipolo o retenida físicamente en microcapilares de diámetro inferior a 1  $\mu\text{m}$ . El punto de congelación y la capacidad solvente se encuentran muy reducidos. La  $a_w$  está comprendida entre 0,20 -0,3 y 0,8, aproximadamente.
- **Zona III:** Representa la mayor parte del agua de los tejidos frescos. Es el agua menos ligada y más móvil de los alimentos aunque el punto de congelación está algo disminuido. Se encuentra retenida físicamente en membranas, capilares (diámetro superior a 1  $\mu\text{m}$ ), geles, etc., por lo que se puede eliminar fácilmente por diversos procedimientos. Su retención está determinada por el pH y las fuerzas iónicas. Es la responsable de la alteración de los alimentos ya que está disponible para el desarrollo de los microorganismos y las reacciones químicas. Equivale a una  $a_w$  de 0,80-0,99. (Ordoñez, 1998).

### **2.5.1. Importancia de las isotermas de adsorción:**

Las isotermas de adsorción de agua de los alimentos son de gran utilidad en diferentes aspectos:

- Permiten evaluar la estabilidad de los alimentos. La disminución de la  $a_w$  frena el crecimiento de los microorganismos (en este orden: bacterias, levaduras y mohos) de tal forma que se detiene totalmente a valores de 0,6 o inferiores. Igualmente, la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar en un alimento; tanto enzimáticas como no enzimáticas, está en función de la cantidad de agua disponible. A medida que disminuye la  $a_w$ , la velocidad de reacción se va haciendo más lenta. A valores comprendidos entre 0,2-0,3 cesan completamente. La excepción la constituye la oxidación lipídica, que es mínima a estos valores pero

aumenta a medida que sigue descendiendo la  $a_w$ . Por tanto, la máxima estabilidad de los alimentos se da en estos valores. El efecto de la  $a_w$  en la viabilidad de los microorganismos y las reacciones de deterioro.

- Permiten prever la  $a_w$  de mezclas de diversos ingredientes. Siempre existe un intercambio de agua de un componente a otro de un alimento para llegar al equilibrio. Las isotermas permiten conocer la  $a_w$  de los componentes de la mezcla y, por tanto, la estabilidad de cada uno de ellos y, por lo tanto, de la mezcla.
- Permiten estimar el tiempo máximo de almacenamiento de un producto en un envase, con una permeabilidad al vapor de agua conocida, en función de la cantidad de agua absorbida. Igualmente, se puede establecer el comportamiento de un alimento en distintas condiciones de almacenamiento.
- Permiten mejorar los procesos de conservación basados en la reducción del contenido de agua, puesto que mediante las isotermas de adsorción podemos determinar cuál es el contenido de humedad residual óptima para un alimento determinado. Si la humedad es demasiado elevada el producto presentará menor estabilidad, mientras que si la humedad final es muy baja representa un gasto adicional en la operación. La facilidad o dificultad para eliminar agua de un alimento está relacionada con la  $a_w$ .
- Permiten determinar la temperatura óptima de almacenamiento de productos congelados, estableciendo una relación entre ésta y la  $a_w$ . La inmovilización del agua en forma de hielo y el consiguiente aumento de la concentración de solutos en el agua no congelada disminuye la actividad de agua del alimento. (Ordoñez, 1998).

### **2.5.2. Descripción matemática de las isotermas:**

La relación entre el contenido total de humedad y la correspondiente actividad de agua en el intervalo de valores a temperatura constante da como resultado una isoterma de adsorción de humedad. Las isotermas de

adsorción se aplican normalmente en secado, mezcla, envasado y almacenamiento.

La predicción de las isotermas de adsorción de agua se basa en la ecuación de Langmuir:

$$\frac{a_w}{X_e} = \frac{k}{bX_m} + \frac{a_w}{X_m}$$

En la que  $X_e$  es el contenido de agua en el equilibrio,  $X_m$  es el valor de la monocapa,  $k$  es la inversa de la presión de vapor de agua pura a la temperatura del sistema, y  $b$  es una constante. Desgraciadamente, esta ecuación no es satisfactoria para alimentos, ya que el calor de adsorción no es constante en toda la superficie; existe una gran interacción entre las moléculas adsorbidas y la máxima cantidad de agua adsorbida en la superficie es mayor que en una monocapa (Vega-Mercado et al, 1993).

Una forma eficaz para estimar la contribución de los puntos efectivos a la adsorción del total de agua ligada es utilizar la ecuación de Brunauer-Emmett-Teller (BET). Esta ecuación se puede expresar como:

$$\frac{X_e}{X_m} = \frac{C a_w}{(1 - a_w)(1 + a_w(C - 1))}$$

$$C = K e^{\frac{Q}{RT}}$$

Donde  $X_e$  es el contenido de agua absorbida,  $X_m$  es el valor de la monocapa absorbida,  $a_w$  es la actividad de agua,  $Q$  es el calor de absorción,  $T$  es la temperatura, y  $K$  es una constante. Esta ecuación se puede aplicar para actividades de agua comprendidas entre 0,1 y 0,5, ya que las hipótesis consideradas para materiales húmedos no son ciertas por completo (Labuza, 1984; Karel, 1975). La Figura 9 muestra un ajuste de la isoterma de BET. La pendiente y ordenada en el origen de  $a_w / X (1 - a_w)$  frente  $a_w$  se utiliza para determinar la constante  $C$  y el valor de la monocapa  $X_m$ :

$$\text{pendiente} = \frac{(C - 1)}{(X_m C)}$$

$$\text{ordenada origen} = \frac{1}{(X_m C)}$$

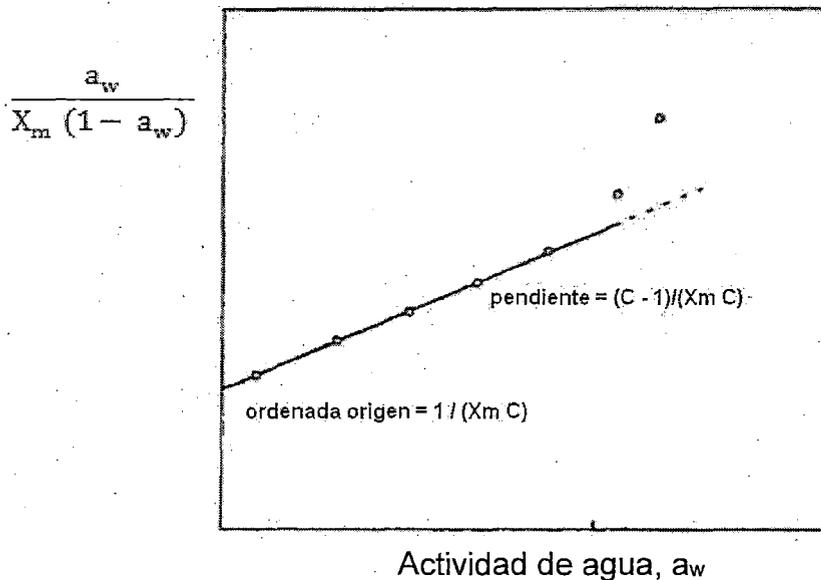


Figura 9: Representación de un ajuste de isoterma BET (Karel, 1975).

### 2.5.3. Modelos de isotermas:

Van den Berg y Bruin, (1981) han informado que para materiales biológicos se han propuesto más de 200 ecuaciones de isotermas. Las ecuaciones varían de los modelos empíricos con dos o tres parámetros de ajuste, a la de los modelos termodinámicos rigurosos, y a la de las ecuaciones derivadas del modelo de BET (Boquet et al, 1980). Las isotermas se utilizan en la predicción de la vida media de los productos alimentarios. A continuación se describen las ecuaciones de las isotermas de adsorción de alimentos más relevantes:

### a. Modelo de Henderson:

En 1952 Henderson presento una ecuación que representa datos de la humedad del equilibrio convencionales:

$$a_w = 1 - \exp(-k X_g^n)$$

Donde  $n$  y  $k$  son constantes del modelo. Si se consideran los efectos de la temperatura, la ecuación anterior se puede expresar como sigue (Henderson, 1952):

$$a_w = 1 - \exp(-k' T X_g^n)$$

En la que  $k''$  es otra constante del modelo. La ecuación permite la extrapolación de datos de adsorción limitados y la determinación del efecto de la temperatura en la adsorción (Henderson, 1952). Lima et al, (1983) aplicaron el modelo de Henderson para ajustar los datos de adsorción de plátano congelado y secado, y Vega-Mercado et al, (1993) representaron los datos de adsorción de pulpa de piña congelada y deshidratada

### b. Modelo de Iglesias-Chirife:

Iglesias y Chirife (1978) trabajaron en un modelo empírico para describir el comportamiento de adsorción de agua en frutos y productos con alto contenido en azúcar. El modelo se expresa según la ecuación:

$$\ln(X_g + (X_g^2 + X_{in})^{0,5}) = b a_w + p$$

Donde  $X_{in}$  es el contenido de humedad en equilibrio a una  $a_w$  igual a 0,5 y,  $b$  y  $p$  son los parámetros de ajuste del modelo.

### c. Modelo de Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB):

El modelo de GAB es una extensión de la ecuación de BET teniendo en cuenta las propiedades modificadas del agua adsorbida en la región multicapa (Kapsalis, 1987). El modelo es el que mejor ajusta los datos de isothermas de adsorción para la mayoría de los alimentos (Kapsalis, 1987);

Vega-Mercado et al, 1993a). El modelo de GAB es muy utilizado para predecir datos de niveles de actividad de agua de aproximadamente 0,9, y da mejores ajustes que la ecuación de BET en un amplio intervalo de contenido de humedad. El modelo de GAB se expresa como:

$$\frac{X_g}{X_m} = \frac{CK a_w}{(1 - Ka_w)(1 - Ka_w + CK a_w)}$$

$$C = c \exp\left(\frac{H_m - H_n}{RT}\right)$$

$$K = k \exp\left(\frac{H_p - H_n}{RT}\right)$$

Donde c y k son los factores de acomodación entrópica,  $H_m$  es la entalpía molar de adsorción de la monocapa,  $H_n$  es la entalpía molar de adsorción de la multicapa,  $H_p$  es la entalpía molar de evaporación del agua líquida. El valor de monocapa obtenido con el modelo de GAB es generalmente más alto que el obtenido con el modelo de BET.

#### d. Modelo de Smith:

La ecuación de Smith (Smith, 1947) se ha aplicado usualmente en actividades de agua de 0,3 a 0,5. La ecuación se expresa como:

$$m = A - B \ln(1 - a_w)$$

Donde A y B son constantes del modelo. La ecuación de Smith ha sido aplicada por Lang et al, (1981) para predecir el efecto de compuestos no solutos (como almidón, caseína, harina de soya) en la actividad de agua. El modelo se puede aplicar con datos de adsorción para actividades de agua por encima de 0,5.

## 2.6. Aspectos generales del secado:

En general, el secado significa la remoción de cantidades de agua relativamente pequeñas de cierto material. La evaporación se refiere a la eliminación de cantidades de agua bastante grandes; además, ahí el agua

se elimina en forma de vapor a su punto de ebullición. En el secado, el agua casi siempre se elimina en forma de vapor con aire. En algunos casos, el agua se puede eliminar de los materiales sólidos por medios mecánicos, utilizando prensas, centrifugas y otros métodos. Esto resulta más económico que el secado por medios térmicos para la eliminación de agua. El contenido de humedad del producto seco final varía, ya que depende del tipo del producto.

El secado o deshidratación de materiales biológicos (en especial los alimentos), se usa también como técnica de preservación. Los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua. Además, muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en alimentos y otros materiales biológicos no pueden funcionar sin agua. Los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% en peso. Sin embargo, generalmente es necesario reducir este contenido de humedad por debajo del 5% en peso en los alimentos, para preservar su sabor y su valor nutritivo. Los alimentos secos pueden almacenarse durante periodos bastante largos. (Geankoplis, 1983).

El contenido en humedad del producto se define como la relación entre la cantidad de agua en el alimento y la cantidad de sólidos secos, y se expresa como:

$$X_t = \frac{(W_t - F_s)}{F_s}$$

En la que  $W_t$  es el peso total de material en un tiempo determinado, siendo  $F_s$  el peso de los sólidos secos, y  $X_t$  es la humedad expresada como peso de agua/peso de sólido seco. En los procesos de secado una variable muy importante es la denominada contenido de humedad libre,  $X$ . El contenido de humedad libre se puede evaluar si se considera el contenido de humedad de equilibrio:

$$X = X_t - X_{sq}$$

El proceso de secado de un material puede describirse por una serie de etapas en las que la velocidad de secado juega un papel determinante. La Figura 12 muestra una típica curva de velocidad de secado, en la que los puntos A y A' representan el inicio de secado para un material frío y caliente, respectivamente. El punto B representa la condición de temperatura de equilibrio de la superficie del producto. El tiempo transcurrido para pasar de A o A' a B suele ser bajo y a menudo se desprecia en los cálculos de tiempo de secado.

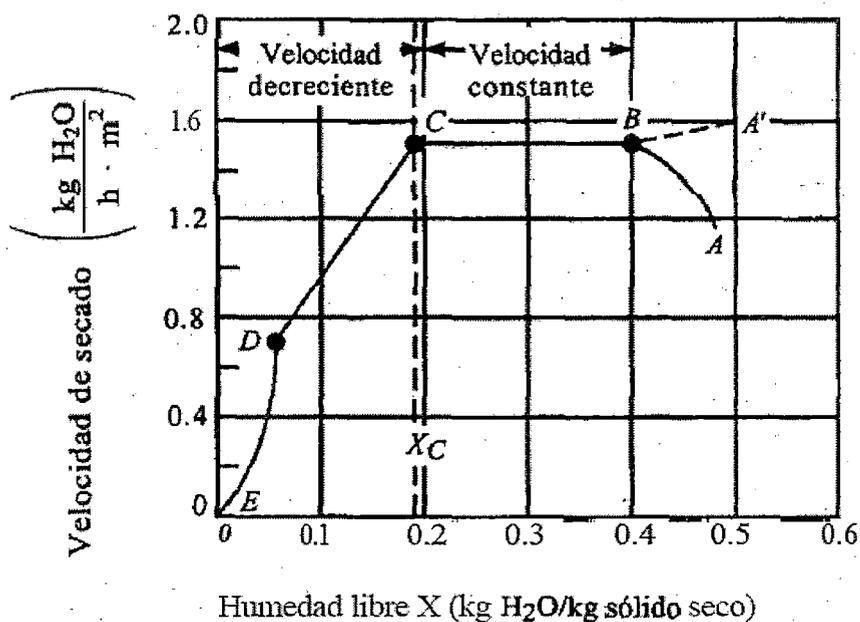


Figura 10: Curva de velocidad de secado (Geankoplis, 1983)

El tramo de B-C es conocido como período de velocidad constante de secado y está asociado a la eliminación del agua no ligada del producto, en este caso el agua se comporta como si el sólido no estuviera presente. Al inicio la superficie del producto se encuentra muy húmeda, presentando una actividad de agua cercana a la unidad. En los sólidos porosos el agua eliminada en la superficie es compensada por el flujo de agua desde el interior del sólido. El período de velocidad constante continúa mientras que el agua evaporada en la superficie pueda ser compensada por la que se encuentra en el interior (Geankoplis, 1983).

El período de velocidad decreciente se da cuando la velocidad de secado ya no se mantiene constante y empieza a disminuir, además, la actividad de agua en la superficie se hace menor que la unidad. En este caso, la velocidad de secado está gobernada por el flujo interno del agua y vapor (Chen et al, 1969). El punto C de la Figura 12 representa el inicio del período de velocidad decreciente. En este punto no hay suficiente agua en la superficie para mantener el valor de la actividad de agua en 1. El período de velocidad decreciente se puede dividir en dos etapas. La primera de ellas se da cuando los puntos húmedos en la superficie disminuyen continuamente hasta que la superficie está seca completamente (punto D), mientras que la segunda etapa del período de velocidad de secado decreciente se inicia en el punto D, cuando la superficie está completamente seca, y el plano de evaporación se traslada al interior del sólido. El calor requerido para eliminar la humedad es transferido a través del sólido hasta la superficie de evaporación y el vapor de agua producido se mueve a través del sólido en la corriente de aire que va hacia la superficie. A veces no existen diferencias importantes entre el primer y segundo período de velocidad decreciente (Geankoplis, 1983). La cantidad de agua eliminada en este período puede ser baja, mientras que el tiempo requerido puede ser elevado, ya que la velocidad de secado es baja.

## **2.7. Deshidratación osmótica:**

La remoción de agua a partir de trozos de alimento se realiza con el fin de disminuir su actividad de agua y así inhibir el desarrollo microbiano y las reacciones de deterioro. Una de las formas más eficientes para remover agua de los alimentos es a través de la osmosis, ya que no tiene que sufrir un cambio de estado (Bolin et al, 1983; Schwartz, 1994).

La deshidratación osmótica (DO) es una técnica de concentración de sólidos (o remoción de agua) que consiste en sumergir frutas o verduras, trozadas o enteras, en una solución hipertónica compuesta por azúcares, NaCl, maltodextrinas y otros solutos capaces de generar una presión osmótica alta.

A diferencia de otras técnicas como el curado de la carne y la salazón de queso, la deshidratación osmótica se basa en una remoción significativa de agua frente a una menor entrada de solutos al alimento (Lerici et al, 1985; Heng et al, 1990; Torreggiani, 1993; Raoult-Wack et al, 1992; Schwartz et al, 1994b).

Es así como durante la DO se originan dos flujos principales y un tercero poco apreciable:

- Una importante salida de agua desde el producto hacia la solución,
- Una entrada de soluto(s) desde la solución hacia el alimento y,
- Una mínima pérdida de solutos propios del alimento (azúcares, sales minerales, ácidos orgánicos, otros) que aunque cuantitativamente es insignificante, puede tener alguna importancia a nivel nutricional y organoléptico.

Se ha sugerido que estos flujos ocurren a través de una membrana que posee permeabilidad diferencial y regula en cierto grado la entrada y salida de solutos (Raoult-Wack, 1994; Torreggiani, 1993; Guilbert et al, 1990; Raoult-Wack et al, 1992; Lerici et al, 1988). Sin embargo, se comprobó que no es necesaria la presencia de una membrana que posea permeabilidad diferencial para que ocurra la transferencia de masa mencionada en párrafos anteriores, por lo que se propuso un término más adecuado para estos procesos: Procesos de Empapado, Impregnación y Deshidratación, o procesos DIS ("dewatering and impregnation soaking processes"), (Raoult-Wack et al, 1992; Torreggiani, 1993).

### **2.7.1. Ventajas y desventajas de la DO**

Existe la posibilidad de formular un alimento valiéndose del proceso de impregnación, lo que permite obtener productos con características nutricionales y organolépticas superiores. La textura final mejora considerablemente ya que las células no colapsan al perder agua y, además, la incorporación de solutos tiene un efecto protector sobre la estructura

celular, haciendo al alimento más resistente a tratamientos posteriores (Raoult-Wack, 1994).

Se ahorra energía ya que como se dijo anteriormente la deshidratación ocurre por una osmosis y no a través de un cambio de fase del agua (Raoult-Wack, 1994; Farkas et al, 1969; Lerici et al, 1988; Biswal et al, 1989).

Al aplicar temperaturas moderadas durante el proceso, el daño que se produce sobre el sabor y el color es mínimo y hay una mayor retención de compuestos volátiles. Además, se inhibe el pardeamiento enzimático lo que evita el uso de sulfitos.

Pitotti et al (1989) demostraron que a medida que aumenta la concentración de NaCl en el alimento, disminuye la actividad de la polifenoloxidasas. Lo mismo ocurre con diferentes azúcares cuando las concentraciones son superiores a 0,5 M, siendo la sacarosa y la fructosa más efectivas que la glucosa.

La aplicación de esta técnica permitiría a los productores ofrecer la fruta para su procesamiento inmediato, o bien mantenerla durante varios meses como producto de humedad intermedia para su posterior industrialización cuando las condiciones de mercado lo aconsejen. Los ensayos realizados en kiwi, durazno, manzana, banana, peras asiáticas y europeas arrojan productos de buena aptitud para su posterior deshidratado, congelado, enlatado o transformación en pulpa (Schwartz, 1993).

Es importante destacar que una DO no genera productos estables en el tiempo, por lo que preferentemente se debe usar como un pretratamiento de otros procesos como secado, congelado, pasteurizado, enlatado y otros. Otra alternativa es combinar diferentes factores limitantes para el desarrollo microbiano o deterioro enzimático con una disminución de la actividad de agua (producida por una deshidratación osmótica). Estos factores serían pH, temperatura de almacenamiento, preservantes químicos, envasado al vacío, entre otros (Raoult-Wack, 1994).

La cantidad de solución osmótica diluida que queda en un proceso a gran escala, constituye una gran limitante ya que para que este proceso llegue a ser factible económicamente, la solución debería ser reconcentrada y reusada. El uso de evaporadores en serie para la reconcentración es un factor clave para que la remoción de agua por este sistema sea energéticamente eficiente (Bolin et al, 1983).

### **2.7.2. Variables que afectan el proceso**

Las variables que influyen sobre el proceso de DO son: características intrínsecas del alimento, tamaño de los trozos de éste, tipo de agente osmótico, concentración de la solución osmótica, temperatura, presión, agitación, la razón entre cantidad de alimento y cantidad de solución, tiempo.

#### **a. Características intrínsecas del alimento**

El grado de compactación del tejido, actividad enzimática (Giangiacoimo et al, 1987), el estado de madurez y el cultivar (Lerici et al, 1988; Schwartz, 1994a), el contenido inicial de sólidos solubles e insolubles (Lenart y Flink, 1984b), espacio intercelular, proporción entre las diferentes sustancias pécticas (Forra et al, 1987 citados por Torreggiani, 1993) y grado de gelificación de la pectina (Moy et al, 1978 citados por Torreggiani, 1993) son factores que afectan el grado de deshidratación.

#### **b. Tamaño de los trozos**

Al reducir el tamaño del trozo sometido a una DO aumenta la superficie específica y también la pérdida de agua. Sin embargo existe un límite de tamaño bajo el cual lo que se favorece en gran medida es la ganancia de sólidos (Islam et al, 1982; Lerici et al, 1985a citados por Torreggiani, 1993).

#### **c. Tipo de agente osmótico**

El agente osmótico debe tener una alta solubilidad, un alto poder depresor de la actividad de agua y características organolépticas compatibles con el alimento (Lerici et al, 1985). Un soluto de mayor peso molecular favorece la pérdida de agua en desmedro de la ganancia de sólidos, mientras que un

soluto de bajo peso molecular (como mono/disacáridos o NaCl), favorece la ganancia de sólidos con una consecuente menor pérdida de agua (Heng et al, 1990; Raoult-Wack, 1994). Los agentes más usados son el NaCl y la sacarosa, pero se puede usar cualquier soluto soluble (como dextrosa y jarabe de maíz) o solvente miscible con el agua, como etanol, entre otros (Raoult-Wack, 1994). El NaCl es un excelente agente osmótico para vegetales pero su uso está limitado por el gusto salado que imparte al alimento (Lerici et al, 1985). Hawkes et al (1978) determinaron que una solución de NaCl 25% es lejos el mejor agente osmótico, debido a la alta concentración molar. Esta solución se comparó con soluciones de azúcar y mezclas de azúcar con NaCl, en concentraciones desde un 25 hasta un 60%.

Por otro lado, el uso de mezclas, por ejemplo azúcar/NaCl (50/10 ó 45/15g de cada uno por 100g de solución) aporta las ventajas de cada soluto (Lenart et al, 1984b). Se observan interacciones de sinergismo o antagonismo. La adición de NaCl (hasta un 1%) a soluciones de azúcar aumenta la tasa de pérdida de agua y ganancia de sólidos (Lerici et al, 1985).

Los iones del NaCl pueden impedir la formación de una capa de azúcar alrededor del trozo de alimento, y el azúcar, a su vez, limita la entrada de iones (Lenart et al, 1984a). Si se aumenta levemente el peso molecular de los solutos (por ejemplo, reemplazando NaCl por azúcar), es posible disminuir la ganancia de sólidos para una misma pérdida de agua (Collignan et al, 1994; Lerici et al, 1985).

Otra posibilidad, es realizar la DO en dos etapas: primero, usando una solución con solutos de alto peso molecular y luego una solución con solutos de bajo peso molecular. Esto permite separar la deshidratación de la impregnación, lográndose un mejor control del proceso (Raoult-Wack et al, 1992).

#### **d. Concentración de la solución osmótica**

La transferencia de masa, principalmente la pérdida de agua, se ve favorecida por el uso de soluciones altamente concentradas (Pointing et al, 1966; Farkas et al, 1969; Heng et al, 1990; Raoult-Wack et al, 1992; Hawkes et al, 1978; Lenart et al, 1984a).

#### **e. Temperatura**

La temperatura tiene un efecto significativo sobre la deshidratación, afectando tanto la tasa osmótica como cambios bioquímicos (Liu, 1992; Shafiur, 1990).

Schwartz et al (1994a) deshidrataron por osmosis manzana var Granny Smith usando diferentes temperaturas, y determinaron que a medida que aumenta la temperatura, se producen una mayor pérdida de agua y peso.

A pesar de que la tasa de deshidratación aumenta con la temperatura, no conviene sobrepasar los 49 °C ya que se generan problemas por pardeamiento enzimático y se deteriora el sabor (Pointing et al, 1966; Schwartz et al, 1994c).

#### **f. Presión**

Bajo condiciones de vacío aumenta la ganancia de sólidos, posiblemente porque se liberan gases atrapados en el tejido, dejando el espacio libre para los solutos (Hawkes et al, 1978;).

#### **g. Agitación**

Como se esperaría, la deshidratación aumenta en el inicio cuando se agita la solución (Pointing et al, 1966; Bongirwar y Sreeniyasan, 1977); posteriormente, la difusión controla la velocidad de salida del agua.

#### **h. Razón alimento vs solución**

La tasa osmótica aumenta al aumentar la razón solución alimento, pero el efecto es pequeño (Bongirwar et al, 1977)

## **i. Tiempo**

En la medida en que aumenta el tiempo de procesamiento, se produce una mayor pérdida de agua y una mayor ganancia de sólidos, sin embargo, no conviene deshidratar más allá de una pérdida del 50% del peso pues la tasa osmótica disminuye en el tiempo. La principal pérdida de agua ocurre durante las dos primeras horas y la mayor ganancia de sólidos durante los primeros 30 minutos (Conway et al, 1983, Pointing et al, 1966; Raoult- Wack et al 1992).

### **2.8. Estabilidad de los alimentos:**

Una consecuencia de las diferencias climáticas entre las distintas zonas de la tierra y la irregular distribución de la población, ha sido el que existan zonas preferenciales dentro de la producción de alimentos con los que se han cubierto las necesidades de otras zonas muy pobladas y distantes.

El carácter estacional de la producción de materias primas empleadas en la elaboración de alimentos, además de las grandes distancias que separan las fábricas donde se procesan alimentos y las zonas habitadas donde se venden y consumen, hace que sea necesario el almacenamiento tanto de las materias primas obtenidas o recolectadas y los productos alimenticios elaborados o transformados.

Todos los alimentos que consumimos se elaboran a partir de materias primas que tienen un origen biológico. Responden a productos que proceden de tejidos animales o vegetales, cuyas estructuras celulares aportan sustancias enzimáticas residuales que pueden causar o dar origen a una serie de alteraciones en la composición química del alimento, alterando sus propiedades sensoriales y nutritivas. (Bello, 2000)

Durante su almacenamiento, los alimentos pueden sufrir deterioros en distintos grados, que conllevan a diferentes tipos de alteraciones: desarrollo de propiedades sensoriales no deseables; reducción de valor nutritivo; limitación en la garantía de seguridad, etc.

En la práctica, resultan bastantes numerosos aquellos factores que, relacionados con el medio ambiente donde se encuentra el alimento, son capaces de provocar el desequilibrio entre sus componentes químicos y afectar negativamente a las estructuras responsables de cualidades como la textura o la consistencia: humedad, sequedad, temperatura, radiaciones, oxígeno del aire, sistemas enzimáticos, microorganismos, etc.

Aparte de este amplio rango de factores potenciales, también tenemos una amplia variedad de productos alimenticios comercializados hoy día, donde la rapidez o lentitud de su degradación esta precisada por sus propias características: unos solo permanecen estables horas (carne, aves, pescados o leche fresca), mientras que otros permanecen inalterables muchos días (pobres en humedad, ricos en sal, azúcar o ácidos, etc.). (Bello, 2000)

De acuerdo con las características de su estabilidad, los alimentos comercializados se pueden reunir en dos grandes grupos:

- a. Productos de conservación más o menos prolongada, entre los que caben distinguir tipos diferentes:
  - Alimentos estables, cuando nunca se suelen alterar, a menos que se manipulen de modo descuidado (azúcar, legumbres, etc.)
  - Alimentos inestables, cuando necesitan de una manipulación adecuada de fabricación, envasado, y embalaje, para que mantengan estabilidad durante bastante tiempo (patatas, frutas, etc.).
- b. Los productos de conservación limitada, conocidos como alterables, que pueden ser frescos o semifrescos, y requieren el inmediato tratamiento tecnológico para evitar que se alteren en poco tiempo (carne, pescados, huevos, leche, etc.).

Debido a la gran cantidad de factores que pueden afectar la estabilidad, no resulta sencillo con ciertas garantías el tiempo de duración de la vida útil comercial de cualquier alimento: materias primas, composición química,

tratamientos tecnológicos, acondicionamiento, tipos de posibles alteraciones, etc.

Podemos considerar que la estabilidad del alimento exige cuidar determinados aspectos para poder controlar las alteraciones:

- a. Regular las condiciones ambientales, tales como humedad relativa y la temperatura.
- b. Prevenir, o retrasar, los mecanismos de reacciones que conducen a las alteraciones de tipo químico, bien destruyendo enzimas, bien evitando la oxidación de los lípidos.
- c. Inhibir el crecimiento microbiano, de modo especial mediante una asepsia del alimento.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS:**

El desarrollo del presente trabajo de investigación se llevó a cabo en los ambientes de los laboratorios de Biotecnología Agroindustrial, procesos Agroindustriales de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, desde el mes de diciembre del 2013 al mes de Enero del 2014.

#### **3.1. Materiales y equipos:**

##### **3.1.1. Materia prima:**

- carambola (*Averrhoa carambola* L.).

##### **3.1.2. Insumos:**

- Azúcar blanca.
- Azúcar rubia.
- Azúcar invertido.

##### **3.1.3. Reactivos:**

- Hidróxido de sodio 0,1 N NaOH
- Fenolftaleína ( $C_{20}H_{14}O_4$ ) al 1%.

- Agua destilada  $\text{H}_2\text{O}_{(d)}$
- Azul de metileno
- Ácido sulfúrico al 1,25%  $\text{H}_2\text{SO}_4$
- Hidróxido de sodio al 1,25%  $\text{NaOH}$
- Ácido oxálico al 0,4%
- Ácido ascórbico al 0,1%  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$
- 2,6-diclorofenolindfenol
- Éter etílico anhidro
- Ácido clorhídrico 0.1N
- Ácido sulfúrico concentrado
- Rojo de metilo
- Sulfato de Cobre (II)
- Ácido bórico
- Sulfato de Potasio
- Hidróxido de Sodio al 40%
- Verde de bromocresol
- Etanol absoluto
- Azul de metileno
- Alcohol etílico
- Éter etílico
- Ácido oxálico
- Ácido ascórbico

#### **3.1.4. Materiales de vidrio y otros:**

- Crisol de porcelana
- Embudo de vidrio
- Balón volumétrico
- Pinza metálica
- Pipeta 1, 5 y 10 ml
- Fiolas de 25, 100, ml
- Matraces Erlenmeyer de 100 ml
- Vaso de precipitado de 50, 100 y 250 ml

- Luna de reloj
- Varilla de vidrio
- Buretas de 25 y 50 ml
- Tubos de ensayo
- Gradilla
- Soporte universal
- Termómetro
- Bolsas de polietileno de alta densidad
- Cuchillos
- Ollas
- Cucharas de madera
- Recipientes plásticos (jarras, baldes, tinas, etc.)
- Colador
- Paletas de madera
- Guantes quirúrgicos
- Cofia
- Protector nasobucal.
- Cocina eléctrica.
- Placas Petri estériles.
- Cubetas del Espectrofotómetro

### **3.1.5. Equipos:**

- Equipo de titulación
- Refractómetro tipo Abbe, USA
- Potenciómetro digital, marca HANNA INSTRUMENTS USA.
- Espectrofotómetro, Marca UNICO
- Balanza analítica eléctrica marca Ohaus de capacidad de 200 g precisión 0,001 g
- Estufa marca Memmert con temperatura de 0-200 °C
- Mufra, Marca REFLES modelo ML/U5L
- Equipo extractor soxhlet
- Equipo de destilación

- Equipo de digestión marca labconco
- Equipo Kjeldahl de destilación para proteínas marca Labconco
- Bomba de vacío
- Licuadora
- Refrigeradora
- Baño María
- Centrifuga
- Colorímetro

### **3.2. Métodos de análisis realizados:**

#### **3.2.1. Análisis físico-químicos de la materia prima y producto terminado:**

##### **3.2.1.1. Determinación de humedad**

Se determinó mediante el método de secado en estufa a 100 °C, utilizando la metodología recomendada por AOAC, 930.15 (1990).

##### **3.2.1.2. Determinación de proteína**

Se determinó por el método Kjeldahl AOAC, (1998).

##### **3.2.1.3. Determinación de grasa**

Se determinó por el método Soxhlet (AOAC, 1984)

##### **3.2.1.4. Determinación de cenizas**

Se determinó utilizando la incineración en mufla, utilizando la metodología de la AOAC, 7009,14(1984).

##### **3.2.1.5. Determinación de carbohidratos**

Método: Se determinó algebraicamente. (Primero el porcentaje de humedad, proteína, grasa y cenizas. Luego por diferencia se determinó el porcentaje de carbohidratos totales).

#### **3.2.1.6. Determinación de acidez**

Se determinó por neutralización con NaOH, utilizando el método de la AOAC, (1975). (Domínguez C, 2010)

#### **3.2.1.7. Determinación de pH**

Se determinó por el método potenciométrico, utilizando la metodología de la AOAC Oficial of Methods of Análisis 15 th Edición (1990).

#### **3.2.1.8. Determinación de sólidos solubles**

Se determinó por refractometría.

#### **3.2.1.9. Determinación color**

Método: Por colorimetría. (Domínguez, et al, 2010)

#### **3.2.1.10. Determinación de vitamina C**

Se determinó mediante el método espectrofotométrico, utilizando el método de la AOAC, 7009, 14th edición (1984) N.T N° 204,022.

#### **3.2.2. Métodos de control en el proceso:**

- Control de sólidos solubles del jarabe (con refractómetro).
- Determinación del rendimiento (Para determinar el rendimiento del proceso, se debe se debe realizar los balances de materia)

(Lees, R. 1982).

#### **3.3. Metodología para la obtención del producto:**

Se empleó la carambola (*Averrhoa carambola L.*) de la variedad ácido que fue adquirida del mercado Nery García Zárate de Huamanga. Se usaron frutas sanas procesándolas en su estado de madurez pintón, realizándose una selección de la fruta y descartándose aquella golpeada y/o con manchas o deterioradas microbiológicamente.

### 3.3.1. Proceso de obtención de las carambola osmodeshidratada:

a. **Recepción:** Se empleó carambola (*Averrhoa carambola L.*) de la variedad ácido adquirido en el mercado Nery García Zárate de la Provincia de Huamanga, lo cual fue transportado al laboratorio de procesos de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. A continuación se muestra la tabla 3, se menciona los controles realizados durante este proceso.

Tabla 3: Controles realizados en la recepción de la carambola.

<b>Recepción de materia prima</b>	
Número de lote	3
Fecha de recepción	9/12/13
Producto	carambola
Variedad	ácida
Procedencia	La carambola proviene del distrito de Pichanaki, para lo cual el acopio se realizó en el mercado Nery García Zárate
Cantidad de producto	30 kg
Tamaño	Medianos
Grado de madurez	Fisiológica
Forma	Cilíndrica
Estado	91 % en buenas condiciones
Textura	Normal
Grado de limpieza	Ligeramente sucia

Fuente: Elaboración propia



Figura 11. recepción de carambola.

- b. **Selección y clasificación:** En la selección se eliminaron aquellos frutos que no presenten cualidades apropiadas para el procesamiento (picados, deteriorados, etc.). Inicialmente a la materia prima se le clasificara por tamaños, considerando un tamaño promedio de 9.0 cm como una fruta de primera categoría. Se seleccionaron en estado pintón de la fruta porque posee una estructura celular rígida o semi-rígida. Es decir que se puede cortar en trozos como rodajas o tiras.



Figura 12. Carambolas seleccionados

- c. **Lavado y desinfectado:** El lavado se hizo en forma manual, con agua potable y bajo fricción, con el fin de eliminar los residuos de tierra. Posteriormente se desinfectara con una solución de hipoclorito de sodio al 0.5 % por 15 minutos para inactivar la carga microbiana, según recomendación de Guevara y Cacho (1993).



Figura 13. Desinfectado de los frutos de carambola

- d. **Pelado:** Esta operación se realizó por el pelado manual el cual se utilizaron cuchillos de acero inoxidable, para lo cual se elimina la cáscara de la pulpa.



Figura 14. Pelado de manual de la carambola.

- e. **Cortado y despepitado:** Seguidamente se realiza el cortado de la pulpa en rodajas y despepitados. Se cortó y se despepitó la fruta con cuchillos de acero inoxidable y en forma manual. Las rodajas obtenidas fueron de 1 cm de espesor, las cuales se lavaron para eliminar restos de semillas y posibles partículas que acompañan a las rodajas



184922

Figura 15. Cortado en rodajas de la pulpa de carambola.

- f. **Preparación del jarabe:** Con el objeto de verificar el mejor comportamiento, se realizó pruebas con 3 jarabes de azúcar diferentes a saber: azúcar blanca, azúcar rubia y azúcar invertido. Se llevaron a cabo pruebas con jarabes a 50, 60 y 70°Brix, para cada agente osmótico (azúcar).

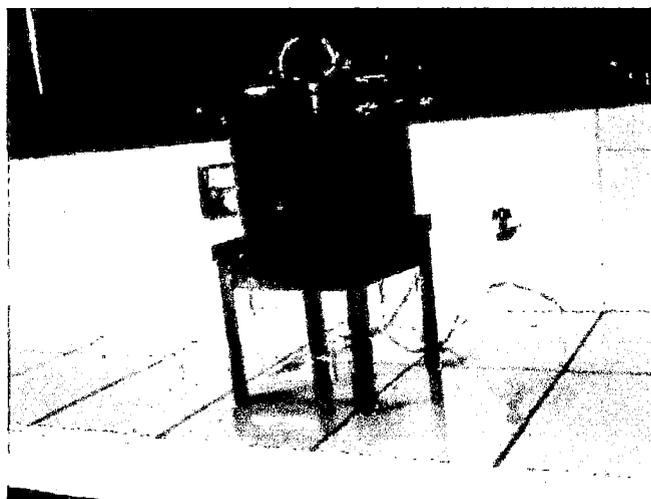


Figura 16. Preparación de jarabe

- g. **Inmersión en el jarabe:** Para llevar a cabo la inmersión, la relación de fruta/jarabe será de 1/1.5, para cada jarabe y los tiempos de inmersión de 24 horas en cada concentración (50, 60 y 70 °Brix) a temperatura del medio ambiente 20° C.



Figura 17. Inmersión de carambola.

- h. **Drenado:** El objetivo fue eliminar la mayor cantidad de jarabe que se encuentra en la superficie de la fruta. Se realizó en un colador por un tiempo aproximado de 5 minutos (Guevara y Cacho, 1990).



Figura 18. drenado de carambola.

- i. **Enjuagado:** Se llevó a cabo en agua caliente a 80 °C por un tiempo de 10 a 15 segundos, cuyo objeto fue eliminar el jarabe residual. Inmediatamente después se procedió a un drenado, similar al caso anterior. (Guevara y Cacho, 1993).

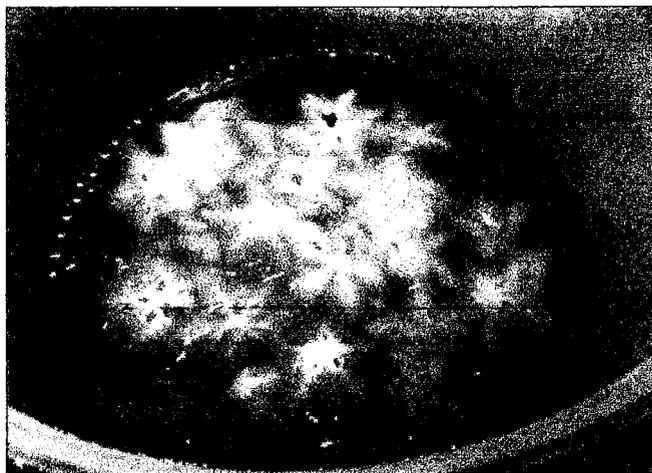


Figura 19. Enjuagado de carambola.

- j. **Secado:** Las rodajas fueron acondicionadas en mallas de acero inoxidable y estas en una mufla de aire caliente que operó a 60 °C, por un tiempo suficiente hasta obtener una humedad promedio de  $22 \pm 5 \%$ .



Figura 20. Secado de carambola.

- k. **Empacado:** La fruta una vez fría fue empacada en bolsas de polietileno de alta densidad, para ser evaluadas sensorialmente. La mejor muestra (agente osmótico-concentración de jarabe) servirá para continuar la investigación.



Figura 21. Empacado de carambola osmodeshidratada.

- l. **Almacenamiento:** Para evaluar el comportamiento en el tiempo, las mejores muestras fueron almacenadas a temperatura de ambiente (aproximadamente 20 °C) realizando los controles al inicio y final del período.



Figura 22. Almacenamiento de carambola osmodeshidratada.

### 3.3. 2. Construcción de isothermas:

Para la construcción de las isothermas de las slides osmodeshidratada de carambola se aplicó la metodología (Aguirre et al, 2010) que se muestra en el anexo III.

### 3.3. 3. Diseño experimental para las isothermas de adsorción y evaluación de los modelos matemáticos:

- **Modelo de Iglesias – Chirife:**

Para este caso se utilizó la ecuación dada para el modelo de Iglesias-Chirife realizando el ajuste entre las  $a_w$  de 0 a 0.9 de la isoterma de las rodajas secas de carambola obtenidas, para lo cual se utilizó las siguientes ecuaciones:

$$\ln(X_e + (X_e^2 + X_{in})^{0.5}) = b a_w + p$$

Donde:

$a_w$ : Actividad de agua.

$X_e$ : humedad en el equilibrio en base seca.

$X_{in}$ : humedad de equilibrio a una  $a_w$  de 0.5.

$b$  y  $p$ : parámetros de modelo de Iglesias-Chirife.

### 3.3. 4. Modelo estadístico:

El diseño estadístico que se utilizó consiste en un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con un arreglo factorial de 3Ax3C con 3R es decir 9 tratamientos con 27 experimentos, cuyos resultados son evaluados estadísticamente a fin de determinar las diferencias significativas entre ellos.

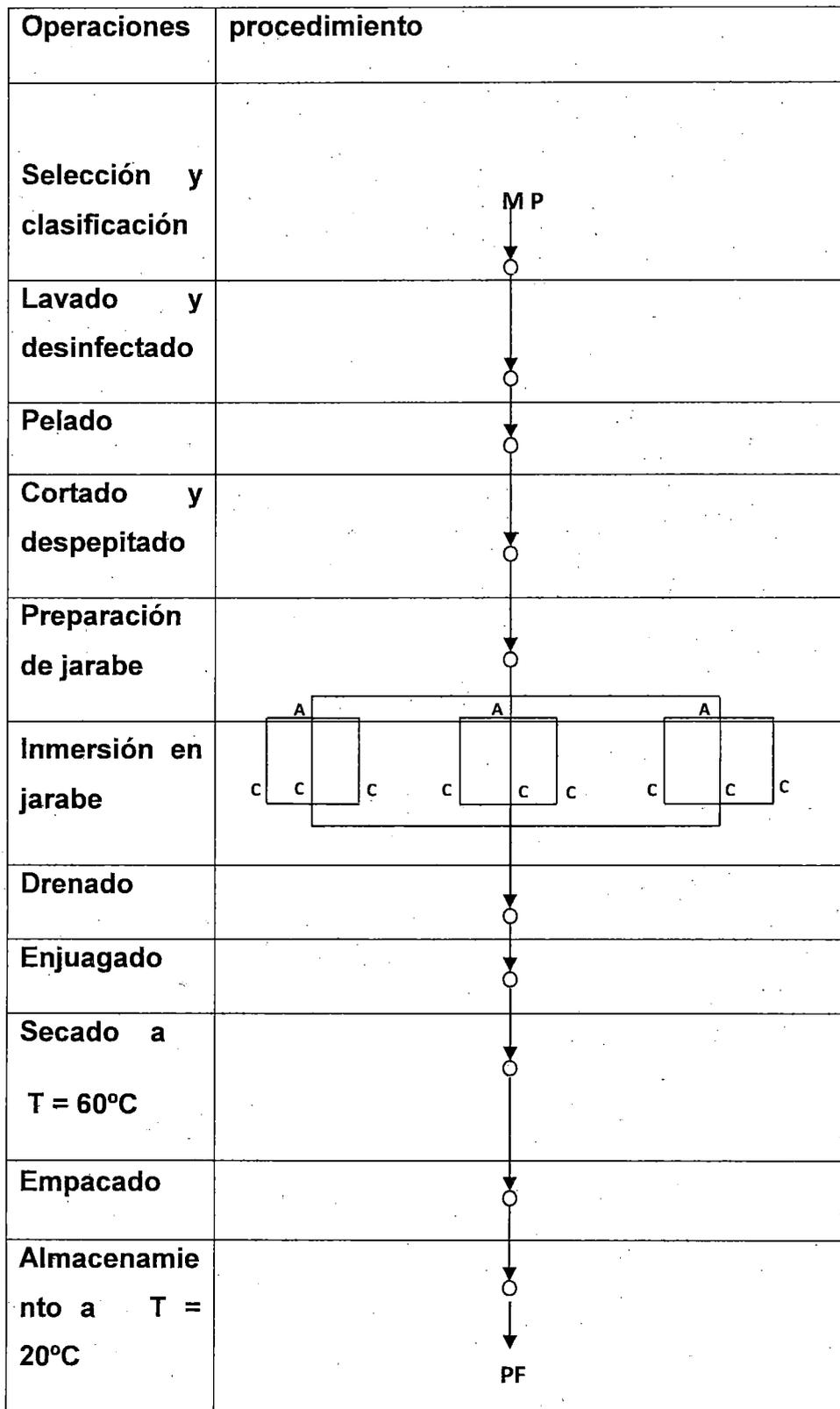


Figura 23: Diseño experimental del proceso de deshidratación osmótica.

A1: Jarabe de azúcar blanca

A2: Jarabe de azúcar rubia

A3: Jarabe de azúcar invertido

MP: Materia prima, carambola en madurez fisiológica.

C1: 50 °Brix

C2: 60 °Brix

C3: 70 °Brix

PF: Producto final

En la figura anterior se presenta el diseño experimental que se desarrolló durante el proyecto de investigación.

### **3.3. 5. evaluación sensorial:**

La evaluación sensorial se hizo con escala hedónica con 20 panelistas. Según Chan (2005), el análisis sensorial es una ciencia multidisciplinaria que utiliza seres humanos (panelistas o jueces) y sus sentidos de olfato, gusto, vista, tacto y oído para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones a características de los alimentos.

La evaluación sensorial es de vital importancia, ya que su contribución es evidente en la investigación y desarrollo de nuevos productos (definir características que lo hagan sobresalir o que reúnan los requisitos de aceptación del consumidor), para imitar un producto (verificar la similitud con un producto ya existente), para mejorar un producto (verificar el grado de aceptación), para reducción de costos y/o selección de un nuevo proveedor (sustituir una materia prima sin perder la calidad del producto) y para el control de calidad (dar seguimiento al producto) (Chan, 2005).

Según Chan (2005), existen diferentes pruebas que se utilizan para evaluar organolépticamente un alimento. Estas pruebas son utilizadas dependiendo de lo que se quiera evaluar (color, sabor, agrado general, preferencia con

otro producto entre otras). De acuerdo a lo anterior, se han desarrollado diferentes pruebas, a saber:

**Pruebas discriminatorias o de diferencia** (triángulo, dúo – trío, comparación pareada), la cual permite establecer si existe o no diferencia entre dos muestras.

**Pruebas de preferencia** (escala hedónica, ordenamiento), las cuales se basan en la expresión del agrado o preferencia de una muestra con respecto a otra, ordenamiento en cuanto al agrado o emitir opiniones con respecto al gusto o disgusto.

**Pruebas descriptivas** (ordenamiento), la cual establece no solamente si existe diferencia entre muestras, sino también la magnitud de la diferencia.

### **Prueba Hedónica**

Se entiende por prueba hedónica aquella en la que el juez catador expresa su reacción de preferencia o agrado por un producto, indicando si le gusta o disgusta, si acepta o rechaza, si lo prefiere o no. Según CDTA (El Centro de Difusión Tecnológica en el Sector de la Alimentación 2003), los estudios de naturaleza hedónica son esenciales para saber en qué medida un producto puede resultar agradable al consumidor o desagradable. Las pruebas hedónicas pueden ser aplicadas para conocer las primeras impresiones de un nuevo alimento o profundizar más y obtener información sobre su grado de aceptación o en qué momento puede producir sensación de cansancio en el consumidor. El término hedónico proviene del griego *hedond*, que significa placer, y hace referencia a la atracción subjetiva del individuo por el producto a evaluar. En consecuencia el objetivo de una prueba hedónica es obtener una respuesta personal, ya sea de aceptación o de preferencia, de un consumidor (potencial o real), sobre un producto o una determinada característica del producto.

CDTA (2003), indica que los principales objetivos de un análisis sensorial basado en la escala hedónica son:

**Controlar** la calidad de los productos ya existentes, permitiendo asegurar la uniformidad del producto, comparar un alimento contra sus potenciales

competidores o asegurar su vida útil, independientemente del punto de fabricación y del lugar de venta.

**Identificar** factores de especial importancia para el empresario.

**Conocer** la aceptación de un nuevo producto en el mercado. Resulta de gran interés saber qué opinión tienen los consumidores sobre él: la forma, el sabor, el tamaño, la relación calidad-precio o las características del envase. En este caso, los *test* afectivos son premisa esencial para evaluar las críticas de un consumidor que puede y debe mirar, tocar y degustar el alimento. Es fundamental que los catadores respondan a cuestionarios y evaluaciones que confirmen que las características del producto se ajustan o superan las expectativas creadas y por supuesto mejoran las cualidades del producto competidor. En los productos optimizados, el cuestionario que debe responder el juez, tras la ingesta del alimento, debe orientarse a la percepción de diferencias achacables a los cambios acometidos.

**Intentar** la mejora, la optimización de un producto, una búsqueda infatigable de las empresas. El término optimizar va unido a la manipulación del alimento: añadir, eliminar o modificar ingredientes y atributos. Obviamente si queremos que un producto tenga éxito la premisa esencial es ofrecer al consumidor lo que desea. Por tanto, si conocemos su opinión y qué aspectos deben mejorarse la tarea se facilita enormemente. Desde luego no sólo se trata de perfeccionar los aspectos deseables, sino de reducir los indeseables.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSION:

##### 4.1. Obtención del producto:

La materia prima utilizada fue carambola (*Averrhoa Carambola L*), proviene del distrito de Pichanaki, Provincia de Chanchamayo, ubicada en el Departamento de Junín, para lo cual el acopio se realizó en el mercado Nery García Zárate de Ayacucho

La elaboración del producto se realizó según el diagrama de flujo mostrado en la Figura 24 donde se puede observar los flujos de todo el proceso.

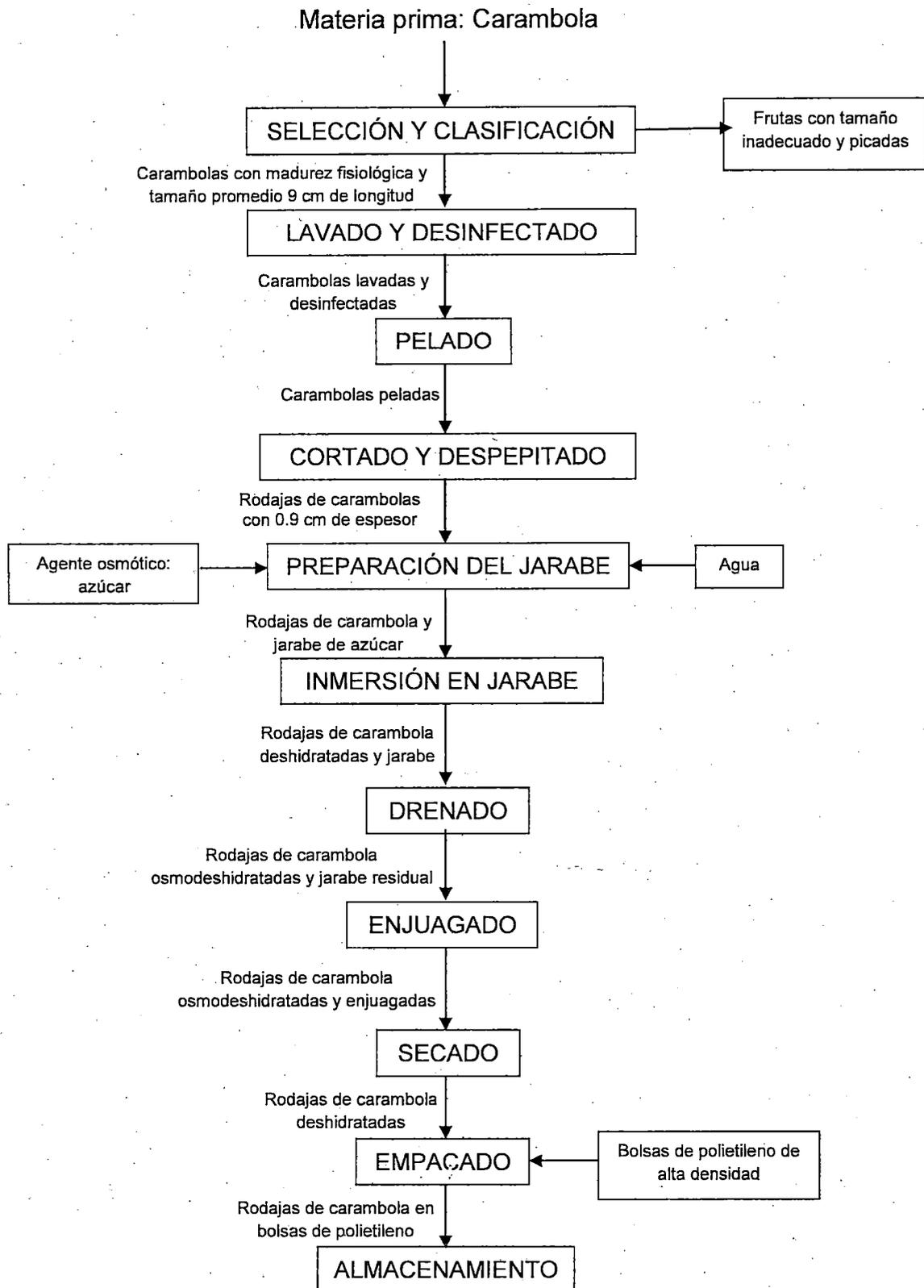


Figura 24: Proceso de deshidratación osmótica de trozos de carambola.  
(Fuente: elaboración propia)

Se determinó la composición de la materia prima después de realizar los análisis:

Tabla 4: Características fisicoquímicas de la materia prima

Composición	Cantidad (%)
Humedad	92,13
Proteína	0,53
Grasa	0,21
Cenizas	0,39
Carbohidratos	6,74
Vitamina C, mg	42,53
Acidez, ( ácido oxálico)	0,70
pH	2,11
Sólidos solubles, °Brix	7,40

En la tabla 4, se observa que los porcentajes de humedad y ceniza de la materia prima es similar al valor máximo que se reporta según The Packer, (2000); mientras que el % proteína es similar al reportado por Tello, (2002). Los % de grasa y % de carbohidratos, similares al reportado por The Packer, (2000); y el contenido de Vitamina C, se encuentran por encima de los valores reportados por Tello, (2002) y The Packer, (2000), acidez y el pH están por debajo del límite inferior reportado por Keller (1990), citado por Villa Alarcón, María Pía. (n.d.); mientras que los sólidos solubles o grados Brix están dentro del rango reportado por Keller (1990), citado por Villa Alarcón, María Pía. (n.d.). para la carambola utilizada en esta investigación.

Se determinó el balance de materia (el rendimiento, la eficiencia de sólidos, los sólidos ganados y el tiempo de operación), con las formulas mencionadas en el anexo 5 los cuales se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 5: Tabla de rendimiento, eficiencia de sólidos, sólidos ganados, y tiempos de operación.

Proceso		Rendimiento (%)	Eficiencia (sólidos) (%)	Tiempo de Operación (hr)	Sólidos Ganados (gr)
Jarabe de azúcar rubia	50 °Brix	9,99	167,54	32	66,37
	60 °Brix	13,08	231,04	56	128,77
	70 °Brix	14,58	257,22	80	154,49
Jarabe de azúcar blanca	50 °Brix	9,81	162,33	33	61,25
	60 °Brix	12,72	232,73	59	130,43
	70 °Brix	13,09	207,46	83	105,60
Jarabe de azúcar invertido	50 °Brix	10,15	169,12	32	67,92
	60 °Brix	12,68	243,27	55	140,78
	70 °Brix	14,44	265,97	80	163,10

En este caso se observa que los rendimientos del proceso con jarabe de azúcar rubia de 70 °Brix tiene el mayor porcentaje de rendimiento; mientras que el menor rendimiento lo tiene el jarabe de azúcar blanca de 50 °Brix. A su vez la mayor eficiencia lo tiene el jarabe azúcar invertido con 70 °Brix, mientras que la menor eficiencia lo tiene el jarabe de azúcar blanca de 50 °Brix; y también se aprecia que los sólidos ganados se encuentran en mayor cantidad en el jarabe de azúcar invertido de 70 °Brix, mientras que la menor

cantidad de sólidos ganados la tiene el jarabe de azúcar blanca de 50 °Brix. Además se observa que los tiempos de operación se incrementan con el aumento de la concentración del azúcar usado como agente osmótico esto debido a que se tiene que utilizar más tiempo de inmersión en el jarabe.

También se muestran las figuras donde se puede observar el resumen de los datos:

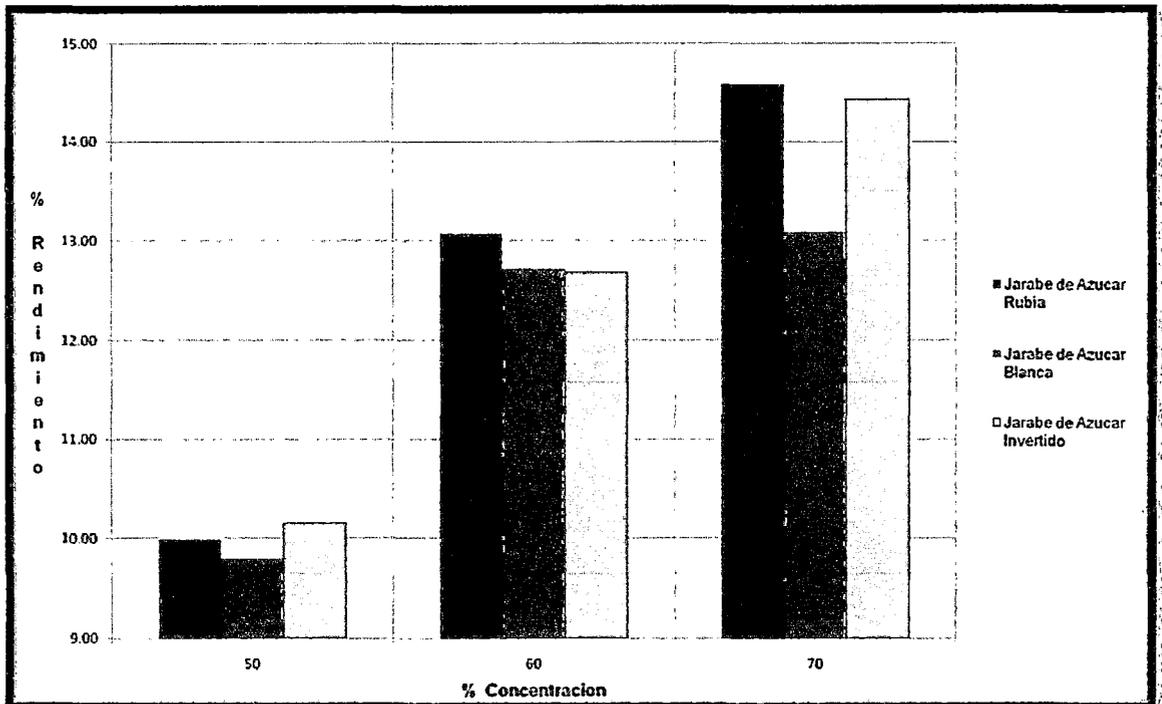


Figura 25: Rendimiento del proceso para los tres tipos de jarabes de azúcar.

En la figura 25 se observa que el rendimiento de los procesos se incrementan a medida que aumenta la concentración del agente osmótico en el jarabe (azúcar rubia, azúcar blanca y azúcar invertido), en el caso del jarabe de azúcar blanca, se observa poco aumento en el rendimiento para el caso de 70 °Brix de concentración en jarabe.

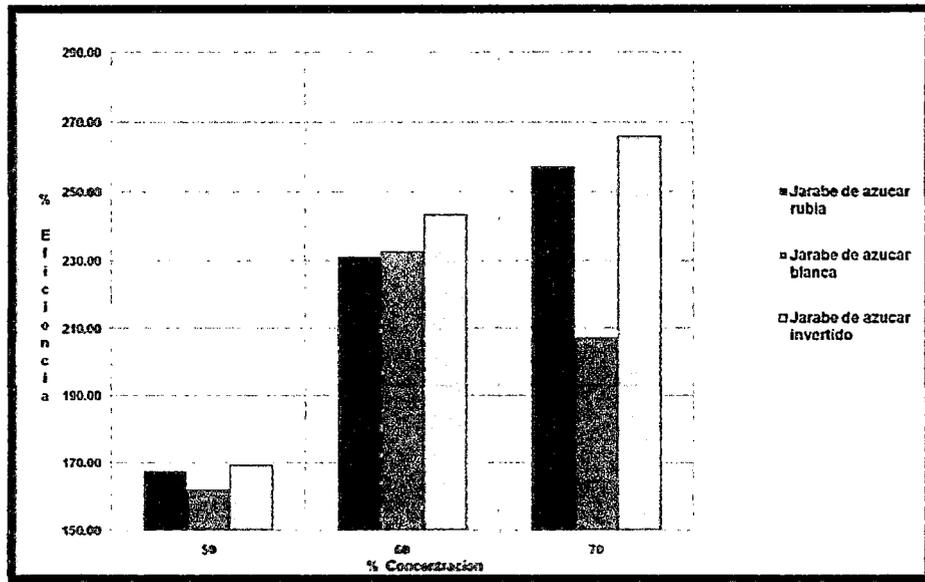


Figura 26: Eficiencia para los tres tipos de jarabes de azúcar.

Se observa en la figura 26, que la eficiencia del proceso para el caso del jarabe de azúcar rubia y azúcar invertido, aumenta con la concentración del agente osmótico, mientras que para el caso del jarabe de azúcar blanca la eficiencia disminuye cuando se utilizó un jarabe a 70 °Brix.

#### 4.2. Obtención y evaluación de isotermas de adsorción:

##### 4.2.1. Isotermas de adsorción para los productos:

Se obtuvo las isotermas de adsorción a una temperatura de 20 °C aproximadamente, con los datos obtenidos se determinó las isotermas de adsorción:

- **Para el azúcar blanca:**

Los datos obtenidos experimentalmente para construir las isotermas de adsorción de las slides osmodeshidratado de carambola cuando se utilizó jarabe de azúcar blanca se reportan en el ANEXO VI en la tabla AVI.1, tabla AVI.2, tabla AVI.3, tabla AVI.4, tabla AVI.5, tabla AVI.6, tabla AVI.7, tabla AVI.8 y tabla AVI.9.

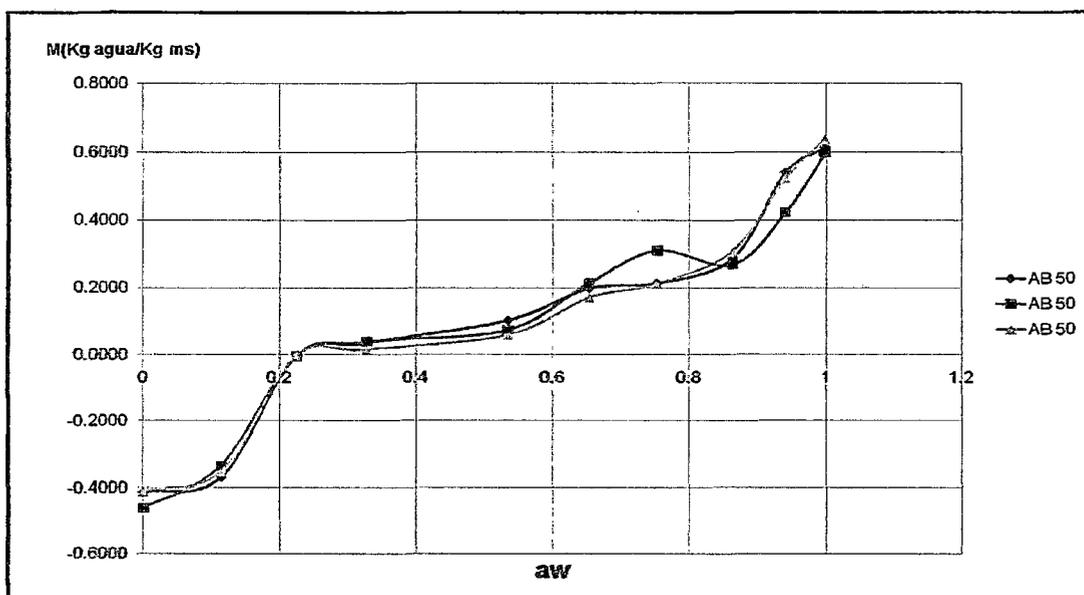


Figura 27: Isothermas de las slides osmodeshidratado de carambola cuando se utilizó jarabe de azúcar blanca a 50 °Brix.

En la Figura 27 se observa que las isothermas de las slides osmodeshidratado de carambola cuando se utiliza jarabe de azúcar blanca a 50 °Brix son iguales en el rango de aw de 0.2 a 0.6, para las tres repeticiones.

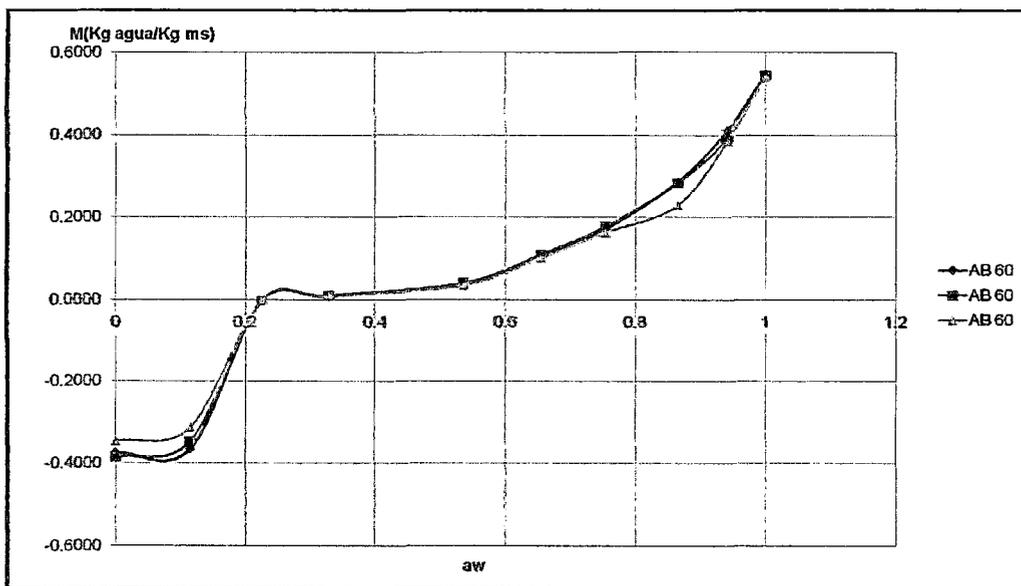


Figura 28: ISOTERMA de las slides osmodeshidratado de carambola cuando se utilizó jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix.

En la figura 28 se observa que las isoterms de las slides osmodeshidratado de carambola cuando se utilizó jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix son similares en el intervalo de  $a_w$  de 0.2 a 0.8.

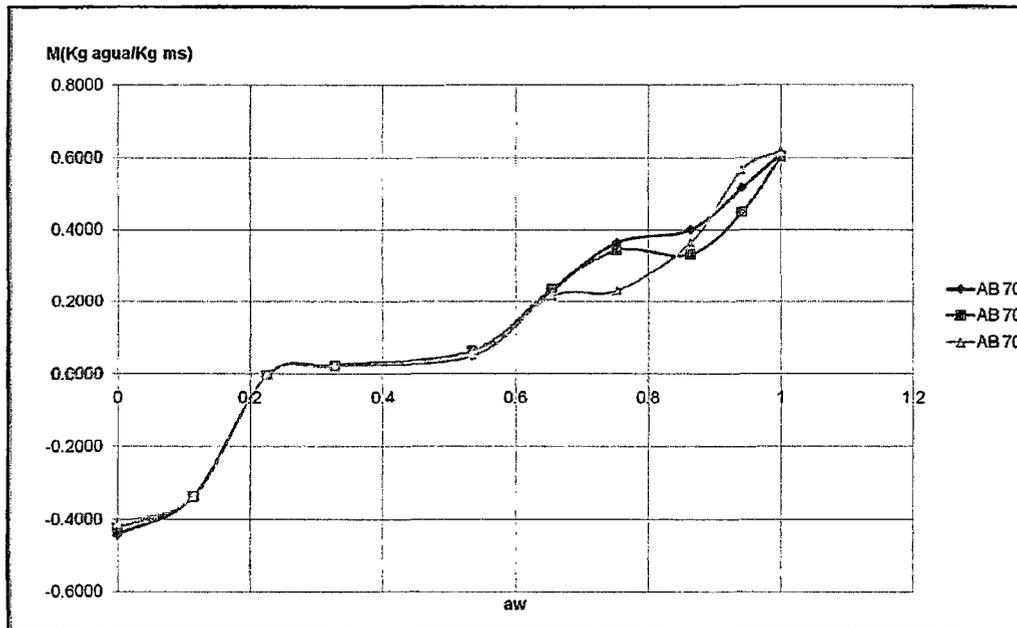


Figura 29: ISOTERMA de las slides osmodeshidratado de carambola cuando se utilizó jarabe de azúcar blanca a 70 °Brix.

Se observa en la figura 29 que las isoterms de las slides osmodeshidratado de carambola cuando se utilizó jarabe de azúcar blanca a 70 °Brix son similares en las tres corridas en el intervalo de  $a_w$  0.2 a 0.6.

- **Para el azúcar rubia:**

Los datos obtenidos experimentalmente para construir las isoterms de adsorción de las slides osmodeshidratado de carambola cuando se utilizó jarabe de azúcar rubia se reportan en al ANEXO VI en la tabla VI.10, tabla VI.11, tabla VI.12, tabla VI.13, tabla VI.14, tabla VI.15, tabla VI.16, tabla VI.17 y tabla VI.18.

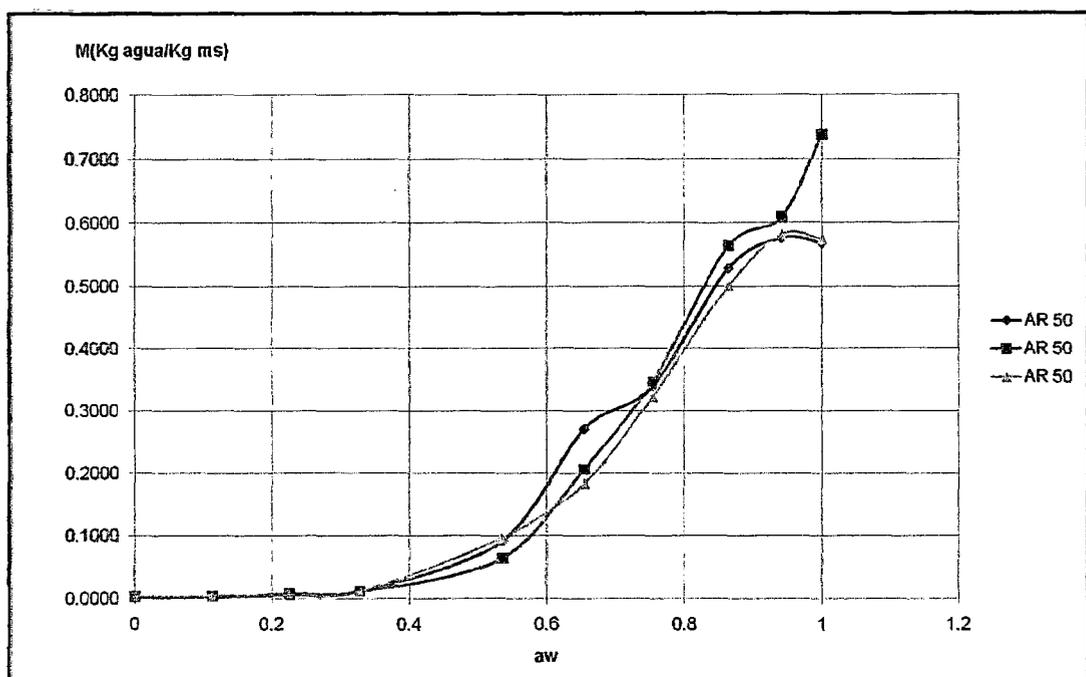


Figura 30: ISOTERMA de las slides osmodeshidratado de carambola cuando se utilizó jarabe de azúcar rubia a 50 °Brix.

En la figura 30 se observa que las isotermas de las slides osmodeshidratado de la carambola cuando se utilizó jarabe de azúcar rubia a 50 °Brix son similares en el intervalo de  $a_w$  0 a 0.6, siendo diferentes cuando la  $a_w$  es mayor a 0.6,

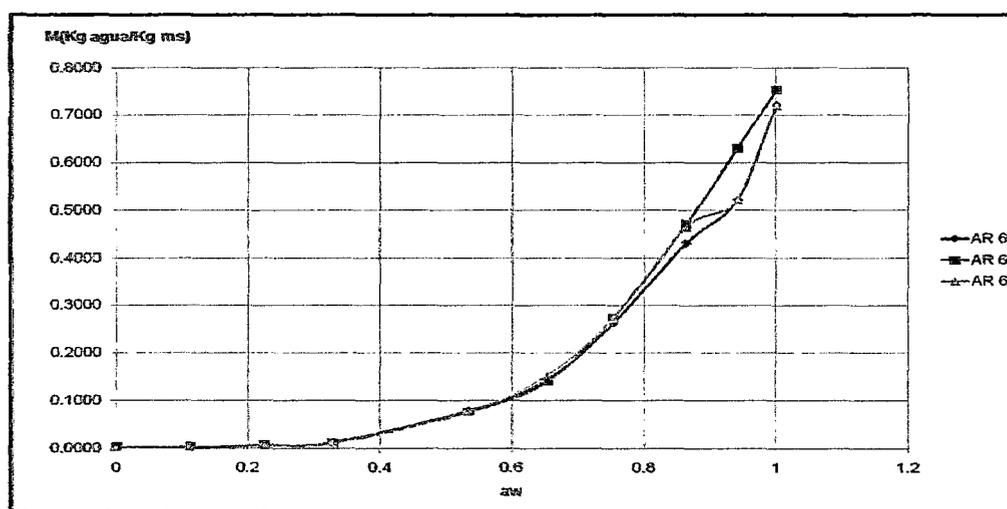


Figura 31: ISOTERMA de las slides osmodeshidratado de carambola cuando se utilizó jarabe de azúcar rubia a 60 °Brix.

En la figura 31 se observa que las isoterms de las slide osmodeshidratado de la carambola son similares hasta la  $a_w$  de 0.8, por encima de este valor existen diferencias para las tres repeticiones.

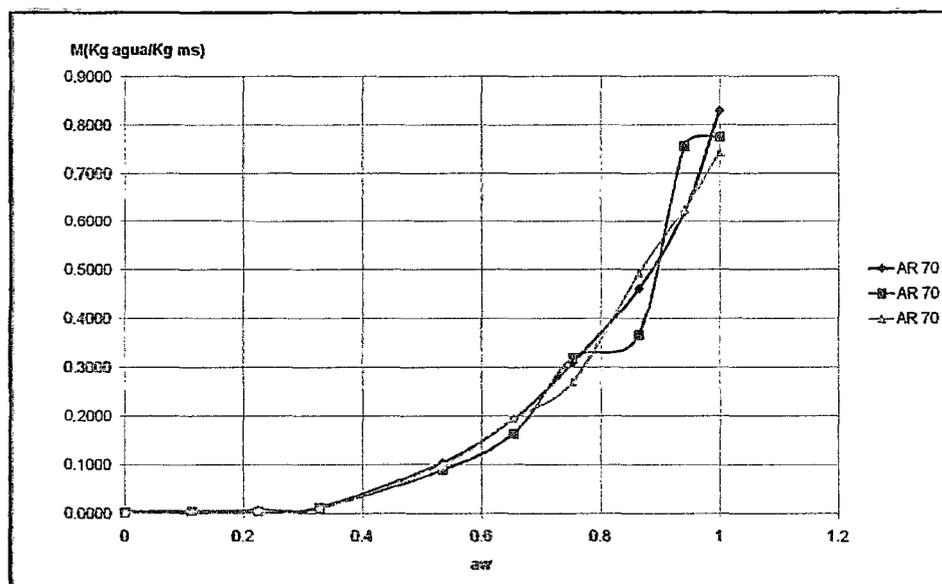


Figura 32: ISOTERMA de las slide osmodeshidratado de carambola cuando se usa jarabe de azúcar rubia a 70 °Brix

Se observa en la figura 32 que las isoterms de las slides osmodeshidratado de la carambola presentan mucha diferencia a partir de la  $a_w$  de 0.6, por debajo de este valor son muy similares para las tres repeticiones.

- **Para el azúcar invertido:**

Con los datos obtenidos experimentalmente que se encuentran en el ANEXO VI en la tabla AVI.19, tabla AVI.20, tabla AVI .21, tabla AVI.22, tabla AVI.23, tabla AVI.24, tabla AVI.25, tabla AVI.26 y tabla AVI.27, se construyó las isoterms de las rodajas secas de carambola.

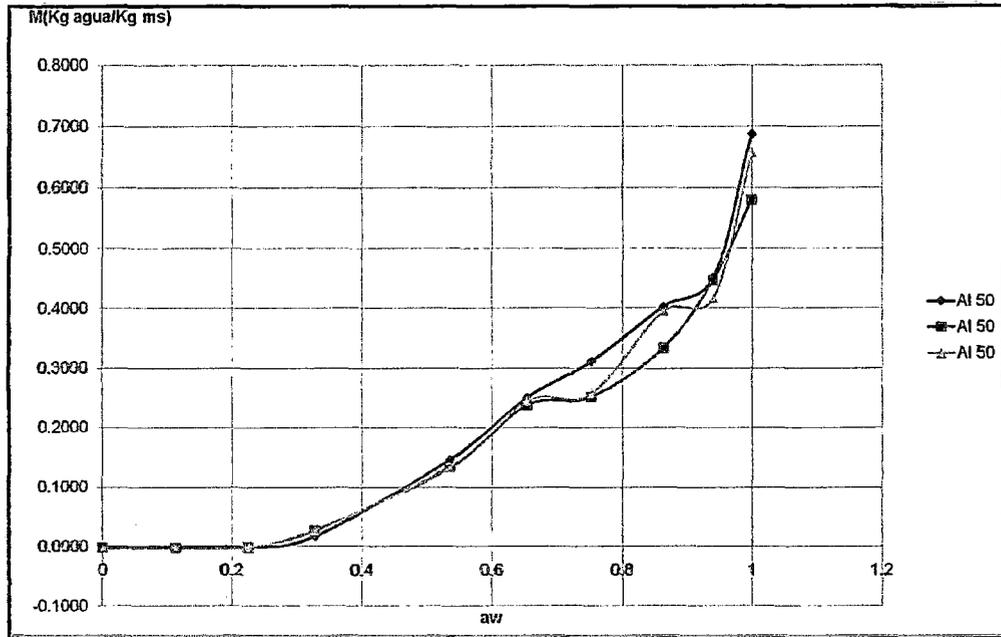


Figura 33: ISOTERMA de las slides osmodeshidratado de carambola cuando se utilizó jarabe de azúcar invertido a 50 °Brix.

Se observa en la figura 33 se observa que las isotermas de las slides osmodeshidratado de carambola son similares hasta un nivel de aw de 0.6, por encima de este valor se encuentra diferencias entre las isotermas, para las tres repeticiones.

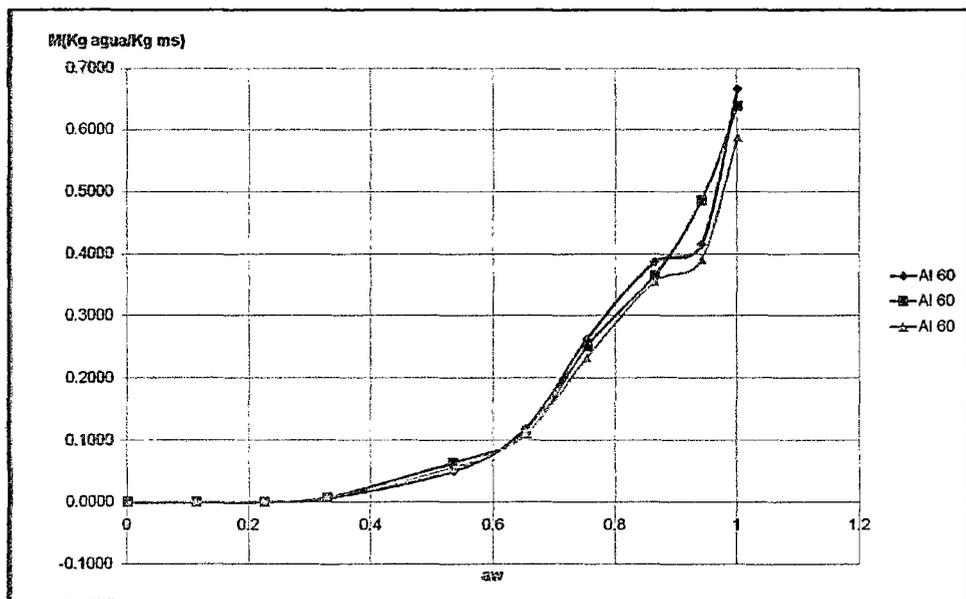


Figura 34: ISOTERMA de las slides osmodeshidratado de carambola usando jarabe de azúcar invertido a 60 °Brix.

En la figura 34 se observa que las isoterms de slides osmodeshidratado de carambola no presentan diferencias hasta un nivel de  $a_w$  de 0.8, por encima de este valor se observan diferencias, para las tres repeticiones.

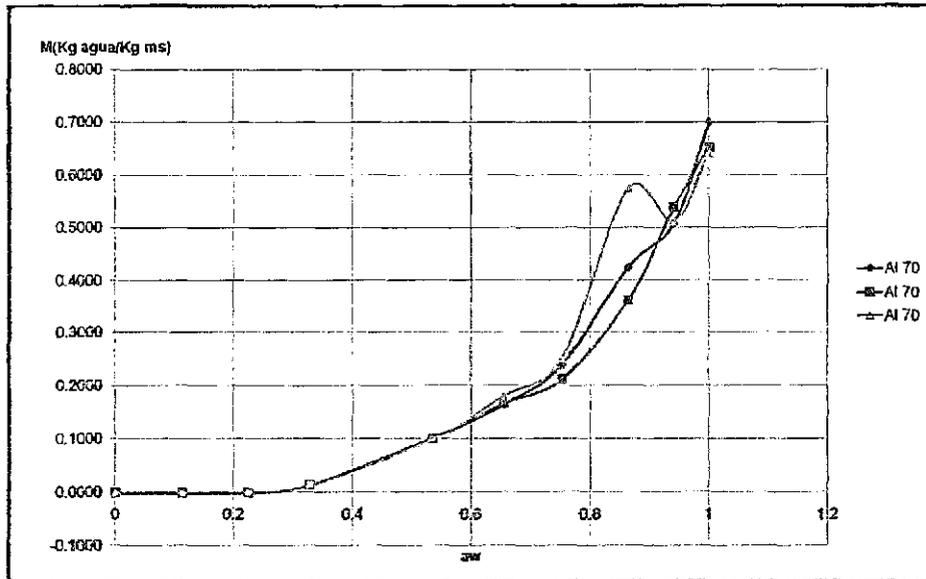


Figura 35: ISOTERMA de las slides osmodeshidratado de carambola cuando se utilizó jarabe de azúcar invertido a 70 °Brix

Se observa en la figura 35 que las isoterms de las slides osmodeshidratado de la carambola son similares hasta la  $a_w$  de 0.6, por encima de este valor presentan diferencias para los tres casos.

En todas las isoterms graficadas se puede observar que presentan una forma sigmoidea, según Ordoñez (1998) hay alimentos que presentan isoterms con una primera parte de la curva más plana, estas isoterms son típicas de alimentos con alto contenido de azúcar y solutos, que presentan poca adsorción por capilaridad, en este caso las slides osmodeshidratado de carambola presentan isoterms con este comportamiento debido su alto contenido de azúcar.

### 4.3. Efecto del procesamiento en las características de las slides osmodeshidratada de carambola:

#### 4.3.1. En la humedad:

Los resultados de los análisis de humedad de las slides osmodeshidratada de carambola se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 6: Resultados de los análisis de humedad de las slides osmodeshidratada de carambola.

		Agente osmótico		
		AZUCAR RUBIA	AZUCAR BLANCA	AZUCAR INVERTIDA
Concentración de jarabe	50 °Brix	17,62	18,66	18,14
	60 °Brix	13,20	10,12	5,72
	70 °Brix	13,32	22,14	9,49

En la tabla 6 se observa las humedades más bajas se da cuando se utilizó jarabe de azúcar invertido, siendo el valor de humedad más bajo para la concentración de 60 °Brix con 5,72 %; mientras que los valores más altos se dan para el jarabe de azúcar blanca, siendo el más alto para la concentración de 70 °Brix con 22,14 % de humedad. Observándose que el jarabe de azúcar rubia presenta más estabilidad en la humedad resultante con respecto a los otros jarabes, siendo para las concentraciones de 60 y 70 °Brix bastante similar la humedad con 13,20 y 13,32 % respectivamente. Según Linden et al., (1994) el azúcar invertido desciende más intensamente la actividad de agua por lo cual se puede determinar que usando jarabe de azúcar invertido se puede lograr obtener slides osmodeshidratado de carambola con menor humedad, esto debido también a la ganancia de sólidos con una menor pérdida de agua (Heng et al, 1990) debido al bajo peso molecular de la glucosa y la fructosa, y su mayor carácter iónico lo cual retiene las moléculas de agua.

Se realizó el siguiente análisis univariado de varianza mostrándose los resultados para los diferentes variables dependientes:

TABLA 7: Análisis univariado de varianza para la humedad.

Fuente de variación	suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig (p)
AGENTE OSMOTICO(A)	83,095	2	41,547	0,498	0,616
LIQUIDO DE GOBIERNO(B)	212,297	2	106,149	1,271	0,305
A x B	311,233	4	77,808	0,932	0,468
Error	1503,093	18	83,505		
Total	7096,840	27			
Total corregido	2109,718	26			

Si  $p > 0,05$  no hay significancia

Si  $0,01 < p < 0,05$  hay significancia

Si  $p < 0,01$  es altamente significativo

En la tabla 7 del análisis de varianza se determina que no existen diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, teniendo que el agente osmótico y su concentración no influye en la humedad del producto final. Se obtuvo la siguiente gráfica:

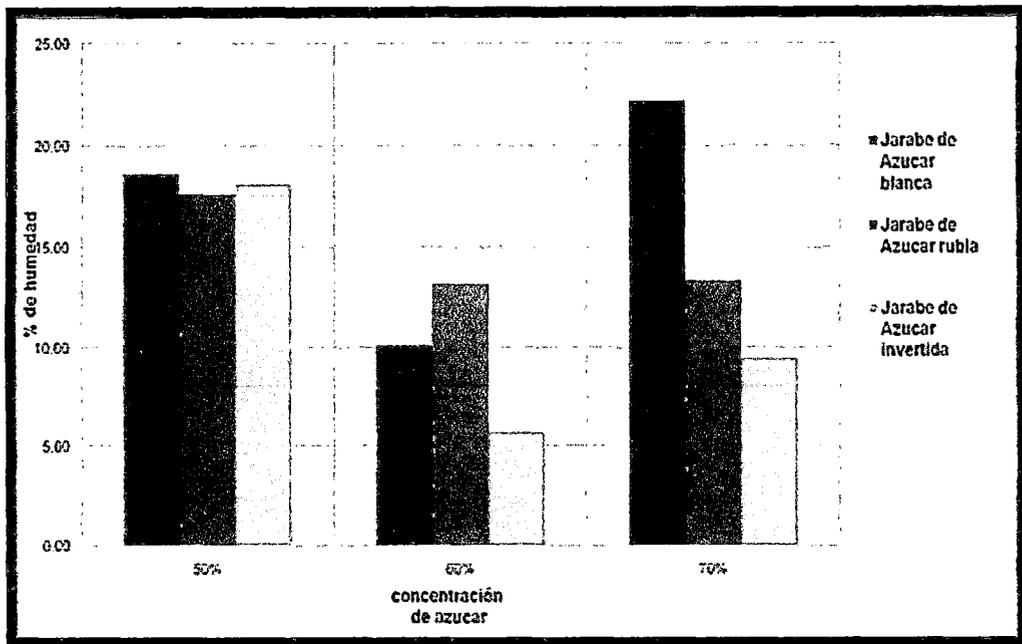


Figura 36: Gráfica comparativa de la humedad versus concentración para los tres tipos jarabes de azúcar.

Se observa en la figura 36 la humedad para los tres tipos de azúcar, son similares en el caso de la concentración de 50 °Brix y bastante diferentes para las tres tipos de azúcar a concentraciones de 60 °Brix y 70 °Brix.

#### 4.3.2. En el pH:

Los resultados de los análisis de pH de las slide osmodeshidratada de carambola se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 8: Resultados de los análisis de pH de las slides osmodeshidratada de carambola.

		Agente osmótico		
		AZUCAR RUBIA	AZUCAR BLANCA	AZUCAR INVERTIDA
Concentración de jarabe	50 °Brix	2,82	2,88	2,81
	60 °Brix	3,13	3,11	2,81
	70 °Brix	3,28	3,23	2,83

En la tabla 8 se determinó que el menor pH de las slides osmodeshidratada de carambola se dio cuando se usó jarabe de azúcar invertido teniendo su más bajo valor para las concentraciones de 50 y 60 °Brix con 2.81 de pH. Los valores más altos de pH de las slides osmodeshidratada de carambola se dieron cuando se usó jarabe de azúcar rubia a concentraciones de 60 °Brix con 3.13 y 70 °Brix con 3.28 de pH. Para todos los casos se puede decir que las slides osmodeshidratada de carambola son un producto de alta acidez debido a su bajo pH, esto debido a las características de la fruta fresca que es acida y tiene un pH igual a 2.11.

Se realizó el siguiente análisis univariado de varianza mostrándose los resultados para el variable dependiente:

TABLA 9: Análisis univariado de varianza para el pH

Fuente de variación	suma de cuadrados	GI	Cuadrático promedio	Fc	Sig.(p)
AGENTE (A)	0,385	2	0,193	429,719	0,000
GOBIERNO(B)	0,375	2	0,188	418,785	0,000
A x B	0,178	4	0,045	99,570	0,000
Error	0,008	18	0,000		
Total	241,971	27			
Total corregido	0,947	26			

Si  $p > 0,05$  no hay significancia

Si  $0,01 < p < 0,05$  hay significancia

Si  $p < 0,01$  es altamente significativa

En la tabla 9 se tiene que para las tres fuentes de variación, agente osmótico, concentración de jarabe e interacción de estas variables afectan significativamente el pH de las slides osmodeshidratada de carambola (es decir existe diferencia altamente significativa).

TABLA 10: cuadro de comparación de medias de Tukey<sup>a,b</sup> para pH del agente osmodeshidratante.

AGENTE OSMOTICO	N	Subconjunto	
		1	2
Azúcar rubia	9	0,4367	
Azúcar blanca	9	0,4622	
Azúcar invertido	9		1,7533
Sig.		0,227	1,000

En la tabla 10 se puede observar que los tratamientos que mejor promedio tiene desde el punto de vista estadístico cuyo agente osmodeshidratante es azúcar invertido. Además el azúcar invertido tiene características iónicas a diferencia de la sacarosa que es una sustancia no reductora estable y no produce variaciones en el pH (Linden et al., 1994).

TABLA 11: cuadro de comparación de medias de Tukey<sup>a,b</sup> para pH del líquido de gobierno

LIQUIDO DE GOBIERNO	N	Subconjunto		
		1	2	3
50°brix	9	2,8311		
60°brix	9		3,0167	
70°brix	9			3,1156
Sig.		1,000	1,000	1,000

De la tabla 11 se observa que para pH del líquido de gobierno los mejores tratamientos son aquellas muestras que se trataron con 70°brix

Se obtuvieron las siguientes gráficas

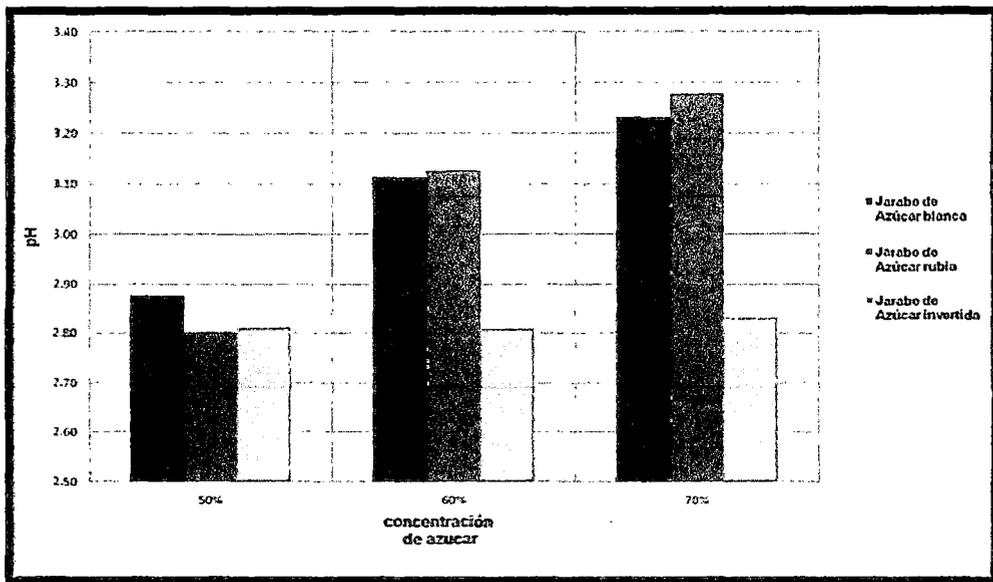


Figura 37: Gráfica comparativa del pH versus concentración para los tres tipos de jarabe de azúcar.

En la figura 37 se observa que para los jarabes de azúcar rubia y azúcar blanca, el pH de las slides osmodeshidratado de carambola aumenta con el aumento de la concentración del jarabe, esto se debe a que a medida que se aumenta la concentración del jarabe se favorece la pérdida de agua y la salida de compuestos hidrosolubles como el ácido cítrico; mientras que para el caso del jarabe de azúcar invertido el pH no varía apreciablemente.

#### 4.3.3. En la acidez:

Los resultados de los análisis de acidez de las slides osmodeshidratada de carambola se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 12: Resultados de los análisis de acidez de las slides osmodeshidratada de carambola

		Agente osmótico		
		AZUCAR RUBIA	AZUCAR BLANCA	AZUCAR INVERTIDA
Concentración de jarabe	50 °Brix	0,63	0,44	1,77
	60 °Brix	0,36	0,49	1,58
	70 °Brix	0,40	0,39	1,91

En la tabla 12 se observa que los valores más altos de acidez de la slides osmodeshidratada de carambola se dan cuando se utiliza jarabe de azúcar invertido, siendo el valor más alto 1.91, cuando la concentración de jarabe de azúcar invertido es 70 °Brix, cuando se utilizó jarabe de azúcar rubia se dan los valores más bajos, siendo el valor más bajo 0.36 de acidez de las slide osmodeshidratado de carambola cuando la concentración de azúcar rubia en jarabe es 60°Brix, esto debido al aumento de las pérdidas de solutos (tales como los ácidos que son solubles en el agua).

Por lo general los tejidos de las frutas no permiten el ingreso de sacarosa por el tamaño de esta molécula, aunque si pueden dejar salir de la fruta moléculas más sencillas como ciertos ácidos o aromas. (Zapata Montoya, 1998).

El análisis de varianza de los datos se presenta en la siguiente tabla:

TABLA 13: Análisis univariado de varianza para el acidez

Fuente de variación	suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.(p)
AGENTE (A)	10,204	2	5,102	5101,848	0,000
GOBIERNO(B)	0,084	2	0,042	41,937	0,000
A x B	0,225	4	0,056	56,370	0,000
Error	0,018	18	0,001		
Total	31,634	27			
Total corregido	10,531	26			

Si  $p > 0,05$  no hay significancia

Si  $0,01 < p < 0,05$  hay significancia

Si  $p < 0,01$  es altamente significante

Se observa que el agente osmótico, concentración de jarabe y la interacción entre las variables tienen un efecto significativo sobre la acidez de las slide osmodeshidratado de carambola, siendo el efecto del agente osmótico el más significativo de todos, es decir según el azúcar usado la acidez de las slides osmodeshidratada de carambola va a tener diferentes valores.

TABLA 13: cuadro de comparación de medias de Tukey<sup>a,b</sup> para acidez del agente osmodeshidratante.

agente osmodeshidratante	N	Subconjunto	
		1	2
Azúcar rubia	9	0,4367	
Azúcar blanca	9	0,4622	
Azúcar invertido	9		1,7533
Sig.		0,227	1,000

En la tabla 13 se observa que la acidez es influyente en el agente osmodeshidratante y el que mejor se comporta es azúcar invertido; un soluto de bajo peso molecular tal como los que componen el azúcar invertido favorece la ganancia de sólidos con una consecuente menor pérdida de

agua (Raoult-Wack, 1994) produciéndose menor pérdida de ácidos hidrosolubles por lo cual se concentran estos ácidos.

TABLA 14: cuadro de comparación de medias de Tukey<sup>a,b</sup> para acidez del líquido de gobierno

GOBIERNO	N	Subconjunto		
		1	2	3
60°brix	9	0,8100		
70°brix	9		0,8978	
50°brix	9			0,9444
Sig.		1,000	1,000	1,000

En la tabla 14 se observa que la acidez es influyente en los líquidos de gobierno evaluados y el que mejor se comporta es a 50°brix.

Se obtuvieron las siguientes gráficas:

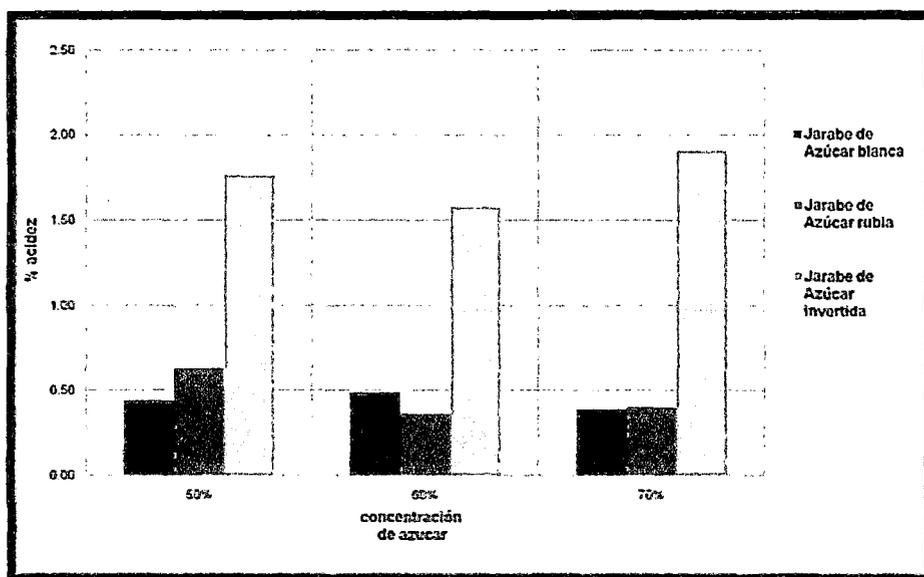


Figura 38: Gráfica comparativa de la acidez de las slides osmodeshidratado de carambola versus concentración para los tres tipos de jarabe de azúcar.

En la figura 38 se observa que la acidez de las slide osmodeshidratado de carambola cuando se usó jarabe de azúcar invertido no varía mucho para las

tres concentraciones, en cambio cuando se usó jarabe de azúcar rubia y azúcar blanca la acidez de las rodajas secas de carambola disminuye debido a la pérdida de ácidos hidrosolubles en el agua perdida en la deshidratación.

#### 4.3.4. En la actividad de agua ( $a_w$ ):

Los resultados de los análisis de actividad de agua de las slides osmodeshidratado de carambola se presentan en la siguiente tabla:

**TABLA 15:** Resultados de los análisis de  $a_w$  de las slides osmodeshidratado de carambola.

		Agente osmótico		
		AZUCAR RUBIA	AZUCAR BLANCA	AZUCAR INVERTIDA
Concentración de jarabe	50 °Brix	0,61	0,64	0,61
	60 °Brix	0,58	0,62	0,57
	70 °Brix	0,61	0,64	0,54

En la tabla 15 se observa que los valores más bajos de actividad de agua de las slides osmodeshidratado de carambola se dieron cuando se usó el jarabe de azúcar invertido, siendo el menor valor de la actividad de agua 0,54 cuando se usó jarabe de azúcar invertido a 70 °Brix. Los valores más altos de actividad de agua de las slides osmodeshidratado de carambola se dieron cuando se usó jarabe de azúcar blanca, donde los valores más altos son 0.64 para las concentraciones de 50 y 70 °Brix. Los valores bajos para el azúcar invertido se deben según Linden et al., (1994) al mayor poder de

retención de agua de este azúcar lo cual baja la disponibilidad de agua en las slides osmodeshidratado de carambola.

Se realizó el siguiente análisis de varianza mostrándose los resultados

TABLA 16: Análisis univariado de varianza para la  $a_w$

Fuente de variación	suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.(p)
AGENTE (A)	0,014	2	0,007	381,395	0,000
GOBIERNO(B)	0,005	2	0,002	133,563	0,000
A x B	0,005	4	0,001	66,193	0,000
Error	0,000	18	1,837E-5		
Total	9,790	27			
Total corregido	0,024	26			

Si  $p > 0,05$  no hay significancia

Si  $0,01 < p < 0,05$  hay significancia

Si  $p < 0,01$  es altamente significativa

La tabla 16 indica que las variables agente osmótico, concentración de jarabe, y la interacción entre estas tienen una influencia significativa, siendo la más significativa el agente osmótico, lo cual indica que según el agente osmótico la actividad de agua puede variar bastante esto debido a que los tres agentes osmóticos tienen diferente capacidad de retención de agua.

TABLA 17: cuadro de comparación de medias de Tukey<sup>a,b</sup> para  $a_w$  del agente osmodeshidratante.

Agente osmodeshidratante	N	Subconjunto		
		1	2	3
Azúcar invertido	9	0,5740		
Azúcar blanca	9		0,6004	
Azúcar rubia	9			0,6298
Sig.		1,000	1,000	1,000

En la tabla 17 se observa que la actividad de agua influye sobre el agente osmodeshidratante y el que mejor se comporta es azúcar rubia; pero Los valores bajos para el azúcar invertido se deben según Linden et al., (1994) al mayor poder de retención de agua de este azúcar lo cual baja la disponibilidad de agua en las slides osmodeshidratado de carambola.

TABLA 18: cuadro de comparación de medias de Tukey<sup>a,b</sup> para  $a_w$  del líquido de gobierno

Líquido de gobierno	N	Subconjunto		
		1	2	3
50°brix	9	2,8311		
60°brix	9		3,0167	
70°brix	9			3,1156
Sig.		1,000	1,000	1,000

En la tabla 18 se puede observar que la actividad tiene influencia sobre el líquido de gobierno y el que mejor se comporta es a 70°brix

Se obtuvieron las siguientes graficas

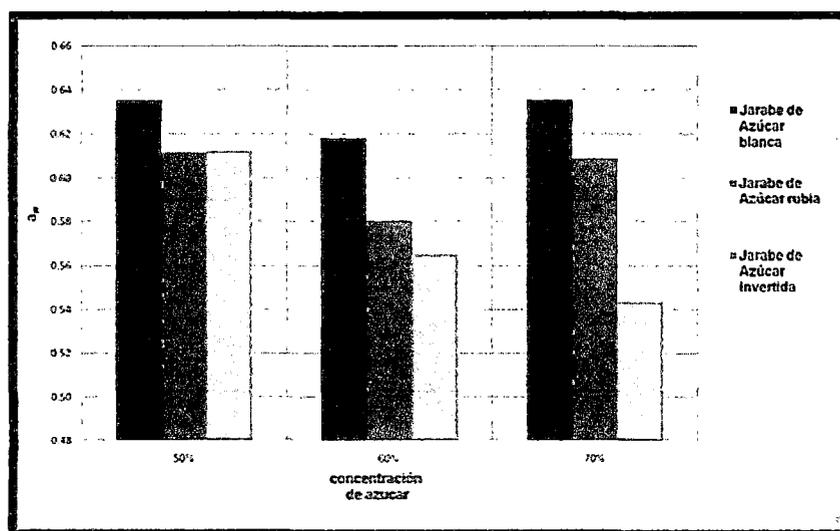


Figura 39: Gráfica comparativa de la actividad de agua de las slides osmodeshidratado de carambola versus concentración para los tres tipos de jarabe de azúcar.

En la figura 39 se observa que según se usó más concentración de azúcar invertido en el jarabe se obtuvo una más baja  $a_w$  en las slides osmodeshidratado de carambola, en cambio cuando se usó jarabe de azúcar rubia o azúcar blanca no se da el mismo caso, según Linden et al., (1994) el azúcar invertido tiene una mayor capacidad de retención de agua es decir que disminuyen la  $a_w$  del producto; esto se debe a su mayor carácter iónico que la sacarosa.

#### 4.3.5. En la vitamina C:

Los resultados de los análisis de vitamina C de las slides osmodeshidratado de carambola se presentan en la siguiente tabla:

**TABLA 19:** Resultados de los análisis de vitamina C de las slides osmodeshidratado de carambola.

		Agente osmótico		
		AZUCAR RUBIA	AZUCAR BLANCA	AZUCAR INVERTIDA
Concentración de jarabe	50 °Brix	88	88,54	61,62
	60 °Brix	32,11	34,88	51,96
	70 °Brix	17,24	70,74	56,61

En la tabla 19 se observa los más altos valores de vitamina C de las slides osmodeshidratado de carambola se obtuvieron cuando se utilizó jarabe azúcar blanca, siendo el más alto valor 88.54 para el jarabe de azúcar blanca a 50 °Brix. Los valores vitamina C en las slides osmodeshidratado de carambola, más bajos se dan cuando se usó jarabe de azúcar rubia, siendo el valor más bajo 17,24 cuando se utilizó jarabe de azúcar rubia a 70 °Brix. Se observa que cuando se usó jarabe de azúcar blanca se dan menos

pérdidas de vitamina C en las slides osmodeshidratado de carambola que cuando se usó jarabe de azúcar rubia o azúcar invertido.

Se realizó el siguiente análisis de varianza mostrándose los resultados

TABLA 20: Análisis univariado de varianza para vitamina C

Fuente de variación	suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.(p)
AGENTE (A)	1625,825	2	812,912	333,088	0,000
GOBIERNO(B)	7873,064	2	3936,532	1612,980	0,000
A x B	5096,465	4	1274,116	522,065	0,000
Error	43,930	18	2,441		
Total	98543,591	27			
Total corregido	14639,283	26			

Si  $p > 0,05$  no hay significancia

Si  $0,01 < p < 0,05$  hay significancia

Si  $p < 0,01$  es altamente significante

En la tabla 20 se observa que las variables concentración de jarabe, agente osmótico, y la interacción entre estas, influye significativamente en los resultados de vitamina C de las slides osmodeshidratado de carambola, siendo la variable más significativa la concentración del jarabe.

TABLA 21: cuadro de comparación de medias de Tukey<sup>a,b</sup> para vitamina C del agente osmodeshidratante.

Agente osmodeshidratante	N	Subconjunto		
		1	2	3
Azúcar blanca	9	45,7878		
Azúcar invertido	9		56,7300	
Azúcar rubia	9			64,7189
Sig.		1,000	1,000	1,000

En la tabla 21 se observa que la vitamina C, el agente osmodeshidratante que mejor se comporta es azúcar rubia.

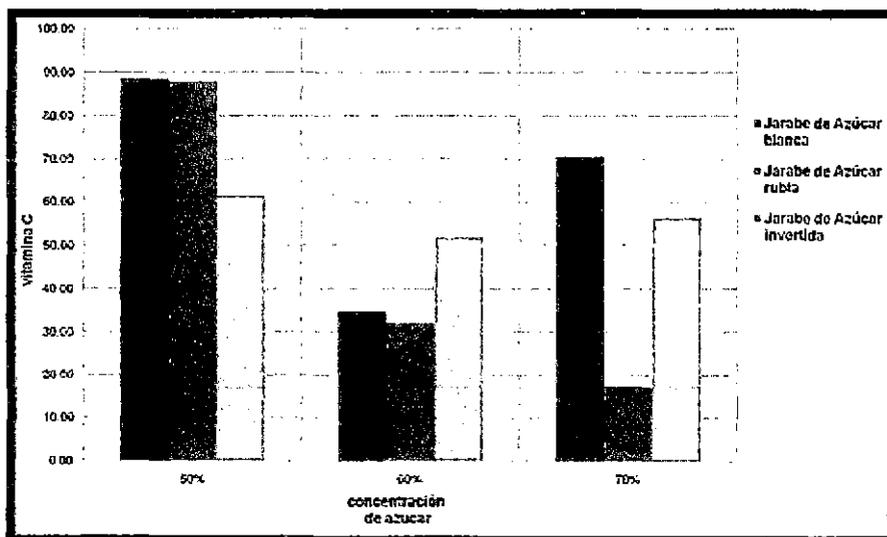
La vitamina C se puede perder por oxidación de manera irreversible en el secado, o bien se lixivia al agua que se pierde ya que, esta vitamina es hidrosoluble (Sigge et al., 2001).

**TABLA 22:** cuadro de comparación de medias de Tukey<sup>a,b</sup> para vitamina C del líquido de gobierno

Líquido de gobierno	N	Subconjunto		
		1	2	3
60°brix	9	39,6489		
70°brix	9		48,2033	
50°brix	9			79,3844
Sig.		1,000	1,000	1,000

En la tabla 22 se observa que el contenido de vitamina C está condicionado con el líquido de gobierno y a 50°brix son los mejores resultados obtenidos.

Se obtuvieron las siguientes graficas



**Figura 40:** Gráfica comparativa de la Vitamina C de las slide osmodeshidratado de carambola versus concentración para los tres tipos de jarabe de azúcar.

En la figura 40 se observa que el contenido de vitamina C en las slides osmodeshidratado de carambola para el caso del jarabe de azúcar rubia al aumentar la concentración se observa menor cantidad de vitamina C en las slides osmodeshidratada de carambola obtenidas; mientras que para el caso de los jarabes de azúcar blanca y azúcar invertido no se observa esto cuando se usó la concentración de 70 °Brix, Heng *et al.* (1990) Explico que el uso de soluciones altamente concentradas favorece una mayor pérdida de agua lo cual indica que se debe perder más vitamina C a medida que se utiliza más concentración de azúcar, porque la vitamina C es hidrosoluble, sin embargo también existe la formación de una capa superficial de azúcar a alta concentraciones la cual evita la perdida de sólidos como es el caso de la vitamina C esto se observa para el caso de los jarabes a 70 °Brix de azúcar blanca y azúcar invertido.

#### 4.3.6. En el color:

Se realizó el análisis del color instrumentalmente mediante el colorímetro y aplicándose la evaluación en el espacio de color; obteniéndose lecturas de la tonalidad, la saturación y la luminosidad.

- **Tonalidad:**

**TABLA 23:** Resultados de los análisis de la tonalidad de las slides osmodeshidratado de carambola.

		Agente osmótico		
		AZUCAR RUBIA	AZUCAR BLANCA	AZUCAR INVERTIDA
Concentración de jarabe	50 °Brix	46,68	57,58	46,73
	60 °Brix	48,89	40,62	47,73
	70 °Brix	44,50	34,15	56,43

En la tabla 23 se observa que el valor más bajo de la tonalidad de las slides osmodeshidratado de carambola es 34,15 (amarillo más claro) el cual produjo cuando se usó jarabe de azúcar blanca a 70 °Brix, y el más alto valor 57,58 (amarillo más intenso) cuando la concentración del jarabe usado es 50 °Brix de azúcar blanca, se observan tonalidades similares cuando se usó jarabe de azúcar rubia. Según Pinzón, (2006) al aumentar la concentración del jarabe el color amarillo se hace más puro lo cual es observado por el aumento de  $b^*$ .

Se realizó el siguiente análisis de varianza mostrándose los resultados

TABLA 24: Análisis univariado de varianza para la tonalidad

Fuente de variación	suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.(p)
AGENTE (A)	173,416	2	86,708	378,063	0,000
GOBIERNO(B)	149,058	2	74,529	324,960	0,000
A x B	929,052	4	232,263	1012,709	0,000
Error	4,128	18	0,229		
Total	60986,106	27			
Total corregido	1255,654	26			

Si  $p > 0,05$  no hay significancia

Si  $0,01 < p < 0,05$  hay significancia

Si  $p < 0,01$  es altamente significativa

En la tabla 24 se observa que las variables agente osmótico, concentración del jarabe y la interacción entre estas tienen una influencia significativa, siendo la más significativa la interacción entre las dos variables lo cual indica que al variar la concentración y tipo de azúcar producen una gran variación en la tonalidad de las slides osmodeshidratado de carambola.

TABLA 25: cuadro de comparación de medias de Tukey<sup>a,b</sup> para tonalidad del agente osmodeshidratante.

Agente osmodeshidratante	N	Subconjunto		
		1	2	3
Azúcar rubia	9	44,1178		
Azúcar blanca	9		46,6889	
Azúcar invertido	9			50,2967
Sig.		1,000	1,000	1,000

En la tabla 25 se observa que la tonalidad está influenciada por el agente osmodeshidratante y el que mejor se comporta es azúcar invertido.

TABLA 26: cuadro de comparación de medias de Tukey<sup>a,b</sup> para la tonalidad del líquido de gobierno

Líquido de gobierno	N	Subconjunto		
		1	2	3
70°brix	9	45,0256		
60°brix	9		45,7467	
50°brix	9			50,3311
Sig.		1,000	1,000	1,000

En la tabla 26 se observa que la tonalidad está influenciada por el líquido de gobierno y el que mejor promedio presenta es a 50 °brix.

Se obtuvieron las siguientes gráficas

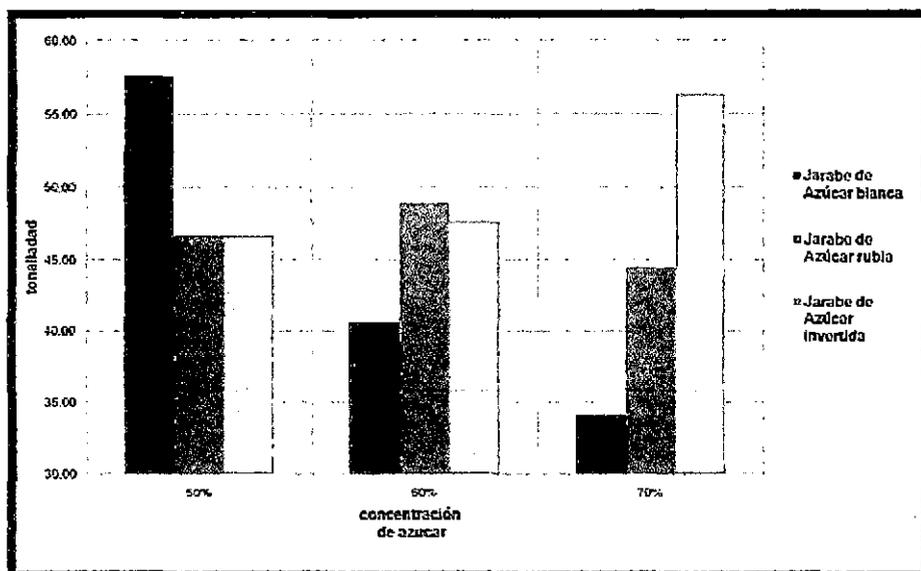


Figura 41: Gráfica comparativa de las tonalidades de las slides osmodeshidratado de carambola versus concentración para los tres tipos de jarabe de azúcar.

En la figura 41 se observa para el caso de las slides osmodeshidratado de carambola cuando la concentración del jarabe es 50 °Brix y 60 ° Brix para los tres tipos de agente osmótico la tonalidad es similar, para la concentración de 70 °Brix se observa diferencias para los tres tipos de agente osmótico.

- La saturación:

TABLA 27: Resultados de los análisis de la saturación de las slides osmodeshidratado de carambola.

		Agente osmótico		
		AZUCAR RUBIA	AZUCAR BLANCA	AZUCAR INVERTIDA
Concentración de jarabe	50 °Brix	34,57	43,97	34,40
	60 °Brix	37,44	33,38	37,43
	70 °Brix	35,10	27,82	41,90

En la tabla 27 se observa que los valores más bajos de saturación de las slides osmodeshidratado de carambola se obtienen cuando se utiliza jarabe de azúcar blanca de 70 °Brix, siendo el valor de 27.82, lo cual indica que la coloración de las slides osmodeshidratada de carambola son más amarillas y cuando se utiliza jarabe de azúcar blanca a 50 °Brix, corresponde al valor más alto de 43.97, para el cual las slides osmodeshidratado de carambola son menos amarillas.

Se realizó el siguiente análisis de varianza mostrándose los resultados

TABLA 28: Análisis univariado de varianza para la saturación

Fuente de variación	suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.(p)
AGENTE (A)	40,217	2	20,109	124,230	0,000
GOBIERNO(B)	33,255	2	16,627	102,722	0,000
A x B	469,500	4	117,375	725,133	0,000
Error	2,914	18	0,162		
Total	35971,218	27			
Total corregido	545,885	26			

Si  $p > 0.05$  no hay significancia

Si  $0,01 < p < 0,05$  hay significancia

Si  $p < 0,01$  es altamente significativo

En la tabla 28 se observa que las variables agente osmótico, concentración de jarabe, y la interacción entre estas influye significativamente en la saturación de las slides osmodeshidratado de carambola. Siendo la interacción entre las variables la que produce el efecto más significativo.

TABLA 29: cuadro de comparación de medias de Tukey<sup>a,b</sup> para saturación del agente osmodeshidratante.

Agente osmodeshidratante	N	Subconjunto		
		1	2	3
Azúcar rubia	9	35,0578		
Azúcar blanca	9		35,7011	
Azúcar invertido	9			37,9078
Sig.		1,000	1,000	1,000

En la tabla 29 se observa que la saturación está influenciada por el agente osmodeshidratante y el que mejor se comporta es azúcar invertido.

TABLA 30: cuadro de comparación de medias de Tukey<sup>a,b</sup> para la saturación del líquido de gobierno

Líquido de gobierno	N	Subconjunto		
		1	2	3
70°brix	9	34,9378		
60°brix	9		36,0833	
50°brix	9			37,6456
Sig.		1,000	1,000	1,000

En la tabla 30 se observa que la saturación está influenciada por el líquido de gobierno y el que mejor promedio presenta es a 50°brix.

Se obtuvieron las siguientes gráficas:

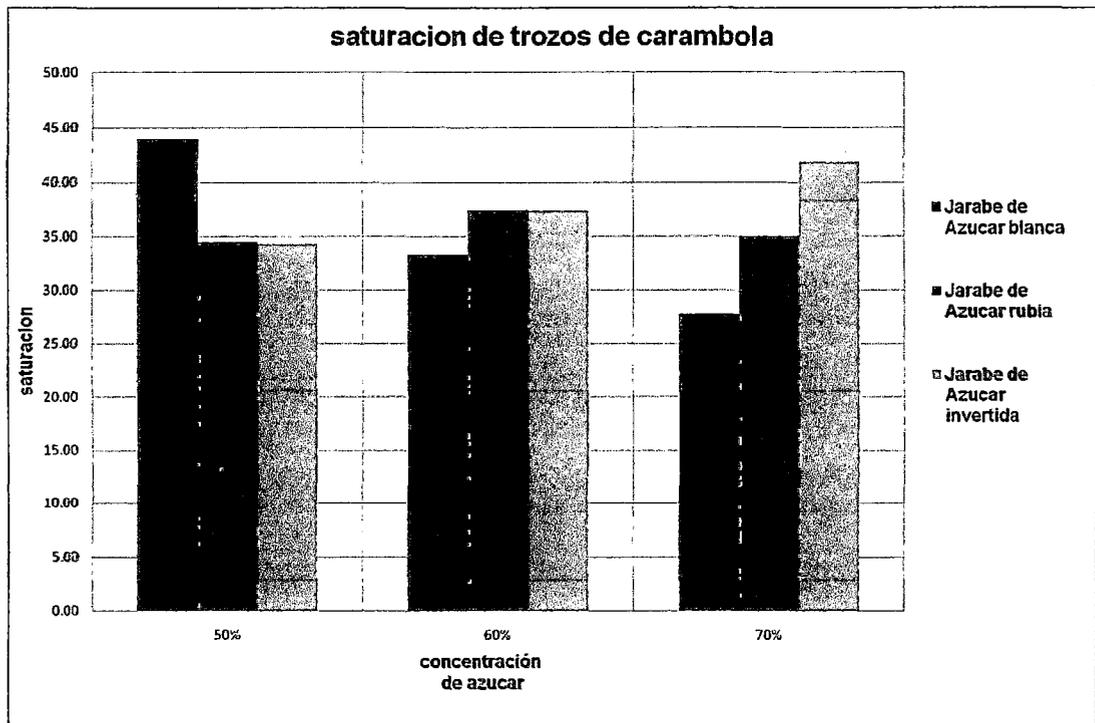


Figura 42: Gráfica comparativa de la saturación de las slide osmodeshidratado de carambola versus concentración para los tres tipos de jarabe de azúcar.

En la figura 42 se observa que para los tres tipos de jarabe de azúcar no hay mucha diferencia en los niveles de saturación lo cual indica que las slide osmodeshidratado de carambola tienen un color bastante similar para los tres tipos de jarabe de azúcar y las tres concentraciones utilizados.

- **La luminosidad:**

TABLA 31: Resultados de los análisis de la luminosidad de las slide osmodeshidratado de carambola.

		Agente osmótica		
		AZUCAR RUBIA	AZUCAR BLANCA	AZUCAR INVERTIDA
Concentración de jarabe	50 °Brix	43,05	49,34	36,64
	60 °Brix	50,57	61,39	52,16
	70 °Brix	53,57	53,68	42,30

En la tabla 31 se observa que el valor más bajo de luminosidad de las slides osmodeshidratado de carambola es 36.64 se dio cuando se utilizó jarabe de azúcar invertido a 50 °Brix, es decir que para esta concentración la carambola deshidratada es más oscura, y el valor más alto de luminosidad 61.39 de las rodajas secas de carambola se da cuando se utiliza jarabe de azúcar blanca de 60 °Brix siendo para este caso la carambola deshidratada más luminosa. Según lo reportado por Pinzón, (2006) el aumento de la concentración en el jarabe usado produce un aumento de la luminosidad y claridad de las slides osmodeshidratada de carambola, lo cual se observa para el caso en el que se utilizó jarabe de azúcar rubia y azúcar blanca.

Se realizó el siguiente análisis de varianza mostrándose los resultados

TABLA 32: Análisis univariado de varianza para la luminosidad

Fuente de variación	suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.(p)
AGENTE (A)	554,998	2	277,499	2215,727	0,000
GOBIERNO(B)	621,554	2	310,777	2481,439	0,000
A x B	148,194	4	37,048	295,817	0,000
Error	2,254	18	0,125		
Total	66657,715	27			
Total corregido	1327,001	26			

Si  $p > 0,05$  no hay significancia

Si  $0,01 < p < 0,05$  hay significancia

Si  $p < 0,01$  es altamente significativa

En la tabla 32 se observa que las variables agente osmótico y concentración del jarabe e interacción influye significativamente en la luminosidad de las rodajas secas de carambola, siendo las variables de agente osmótico y concentración de jarabe las que influyen con mayor incidencia.

TABLA 33: cuadro de comparación de medias de Tukey<sup>a,b</sup> para luminosidad del agente osmodeshidratante.

agente osmodeshidratante	N	Subconjunto		
		1	2	3
Azúcar invertido	9	43,7022		
Azúcar blanca	9		49,0622	
Azúcar rubia	9			54,8056
Sig.		1,000	1,000	1,000

En la tabla 33 se observa que la luminosidad está influenciada por el agente osmodeshidratante y el que mejor se comporta es azúcar rubia.

TABLA 34: cuadro de comparación de medias de Tukey<sup>a,b</sup> para la luminosidad del líquido de gobierno

Líquido de gobierno	N	Subconjunto		
		1	2	3
70°brix	9	34,9378		
60°brix	9		36,0833	
50°brix	9			37,6456
Sig.		1,000	1,000	1,000

En la tabla 34 se observa que la luminosidad está influenciada por el líquido de gobierno y el que mejor se comporta es a 50°brix

Se obtuvieron las siguientes gráficas:

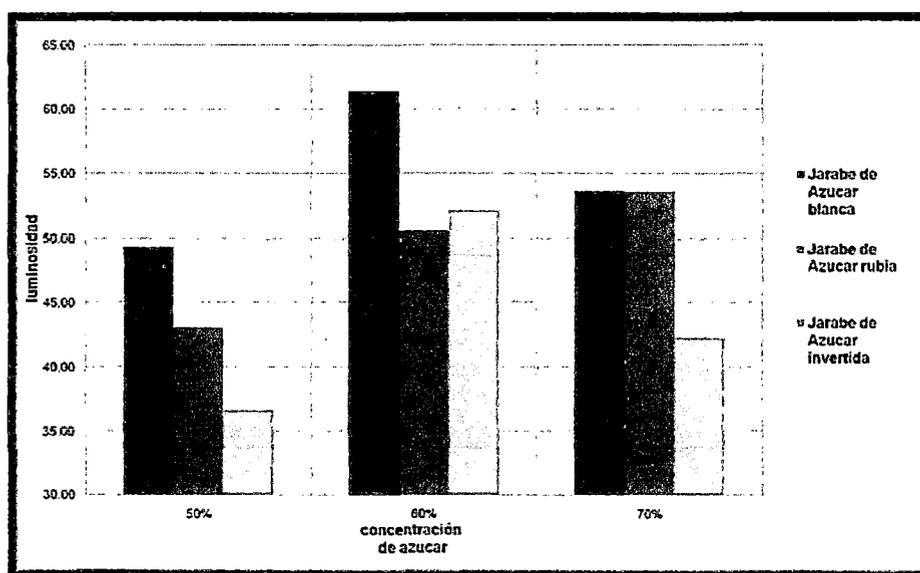


Figura 43: Gráfica comparativa de la luminosidad las slide osmodeshidratado de carambola versus concentración para los tres tipos jarabe de azúcar.

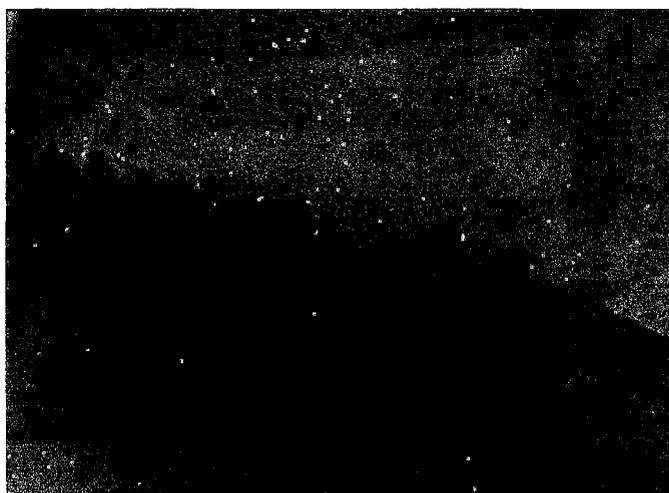
En la figura 43 se observa que las slide osmodeshidratado de carambola muestran valores de luminosidad altos para el jarabe de azúcar blanca y azúcar rubia cuando la concentración es 70 °Brix.

#### 4.4. Análisis sensorial del producto final:

Los productos finales evaluados se muestran a continuación:



**Figura 44:** Carambola osmodeshidratada con jarabe de azúcar rubia a 50 °Brix.



**Figura 45:** Carambola osmodeshidratada con jarabe de azúcar rubia a 60 °Brix.



**Figura 46:** Carambola osmodeshidratada con jarabe de azúcar rubia a 70 °Brix.



**Figura 47:** Carambola osmodeshidratada con jarabe de azúcar blanca a 50 °Brix.



**Figura 48:** Carambola osmodeshidratada con jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix



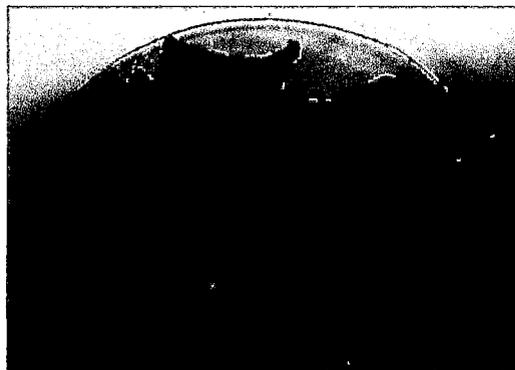
**Figura 49:** Carambola osmodeshidratada con jarabe de azúcar blanca a 70 °Brix.



**Figura 50:** Carambola osmohidratada con jarabe de azúcar invertido a 50 °Brix.



**Figura 51:** Carambola osmohidratada con jarabe de azúcar invertido a 60 °Brix.



**Figura 52:** Carambola osmohidratada con jarabe de azúcar invertido a 70 °Brix.

#### 4.4.1. Evaluación sensorial del color:

Los resultados de los análisis de evaluación sensorial del color de las muestras se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 35: Resultados de la evaluación sensorial del color de las slide osmodeshidratado de carambola.

		Agente osmótico		
		AZUCAR RUBIA	AZUCAR BLANCA	AZUCAR INVERTIDA
Concentración de jarabe	50 °Brix	7,3	7	6,3
	60 °Brix	7,1	7	8
	70 °Brix	8	7,6	7,2

En la tabla 35 se observa que el puntaje más alto para el color de las slides osmodeshidratado de carambola es 8 se da cuando se utiliza jarabe de azúcar invertido a 60 °Brix y azúcar rubia a 70 °Brix, mientras que el puntaje más bajo para el color es 6,3 cuando se utiliza jarabe de azúcar invertido a 50 °Brix.

#### 4.4.2. Evaluación del olor:

Los resultados de los análisis de evaluación sensorial del olor de las slides osmodeshidratada de carambola se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 36: Resultados de la evaluación sensorial del olor de las slides osmodeshidratada de carambola.

		Agente osmótico		
		AZUCAR RUBIA	AZUCAR BLANCA	AZUCAR INVERTIDA
Concentración de jarabe	50 °Brix	5,3	5,5	5,7
	60 °Brix	5,3	5,7	7,1
	70 °Brix	5,6	6	7

En la tabla 36 se observa que la más alta calificación para el olor de las slides osmodeshidratado de carambola se obtuvo cuando se utilizó el jarabe de azúcar invertido a 60 °Brix con 7,1 y la más baja calificación para el olor de las slides osmodeshidratada de carambola se obtuvo cuando se utilizó el jarabe de azúcar rubia a 50 y 60 °Brix con 5,3 para ambas concentraciones. Para este caso el jarabe de azúcar invertido está formado por moléculas de bajo peso molecular lo cual favorece la pérdida de agua y una baja salida de sustancias que están en el interior de la fruta, tales como los aceites esenciales.

#### 4.4.3. Evaluación de la textura:

Los resultados de la evaluación sensorial de la textura de las muestras se presentan en la siguiente tabla:

**TABLA 37:** Resultados de los análisis de evaluación sensorial de la textura de las slides osmodeshidratado de carambola.

		Agente osmótico		
		AZUCAR RUBIA	AZUCAR BLANCA	AZUCAR INVERTIDA
Concentración de jarabe	50 °Brix	6,5	6,6	6,8
	60 °Brix	6,8	7,3	7
	70 °Brix	7	7	6,3

En la tabla 37 se observa que el mayor puntaje para la textura de las slide osmodeshidratado de carambola es 7,3 el cual se da cuando se utiliza jarabe de azúcar blanca de 60 °Brix lo cual indica una mejor textura, mientras que el puntaje más bajo 6,3 se da para el jarabe de azúcar invertida a 70 °Brix lo cual indica una baja textura de las slide osmodeshidratado de carambola.

#### 4.4.4. Evaluación del sabor:

Los resultados de los análisis de evaluación sensorial del sabor de las slides osmodeshidratado de carambola se presentan en la siguiente tabla:

**TABLA 38:** Resultados de la evaluación sensorial del sabor de las slide osmodeshidratado de carambola.

		Agente osmótico		
		AZUCAR RUBIA	AZUCAR BLANCA	AZUCAR INVERTIDA
Concentración de jarabe	50 °Brix	7,1	6,6	6,8
	60 °Brix	8	8	7,8
	70 °Brix	7,8	7,1	7,3

En la tabla 38 se observa que el más alto puntaje de sabor de slides osmodeshidratado de carambola es 8 cuando se utiliza jarabe de azúcar rubia a 60 °Brix y jarabe de azúcar blanca a 60 Brix lo cual indica que son las muestras con sabor más dulce y menos acida lo cual es atribuido al ingreso de la sacarosa para el interior de la fruta. La pérdida de acidez puede ser atribuida a la hidrólisis de los ácidos de la fruta, favoreciendo su aceptabilidad (Sanjinez-Argandoña et al, 2008); el puntaje más bajo de sabor es 6,6 el cual corresponde cuando se utiliza jarabe de azúcar blanca a 50 °Brix, en este caso existe un bajo ingreso de sacarosa al interior de la fruta.

## V. CONCLUSIONES

- El mejor agente osmótico que mejora la efectividad del proceso de ósmosis es el azúcar invertido al 60 Brix, para el cual se obtuvo una humedad de 5,72 y una actividad de agua ( $A_w$ ) de 0,57.
- Las etapas del proceso de osmodeshidratado fueron: Recepción, selección y clasificación, lavado y desinfectado, pelado, cortado y despepitado, inmersión en jarabe, drenado, enjuagado, secado, empacado y almacenamiento.
- La composición fisicoquímica de la carambola (*Averrhoa Carambola L*) fue: Humedad 92,13 %, proteína 0,53 %, grasa 0,21 %, Cenizas 0,39%, carbohidratos 6,74 %, acidez 0,70 %, pH 2,11, sólidos solubles 7,40 % y vitamina C 42,53 mg.
- Al utilizar azúcar blanca como agente osmótico y con 60°brix de líquido de gobierno las muestras presentaron mejor calidad sensorial, para el cual se obtuvo los siguientes resultados según la escala hedónica empleada: color:7, olor: 5,6, textura: 7,3 y sabor: 8.
- Las slides de carambola que se osmodeshidrataron con azúcar blanca al 60°Brix tuvieron un rendimiento de 12.72 %, y eficiencia de sólidos de 232,73 %; además que las características físico químicas fueron: pH 3,11, acidez titulable 0,49 %, vitamina C 34,88 mg/ 100 g de parte comestible, tonalidad de color 40,62; saturación de color 33,38; y luminosidad 61,39.

## VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios usando otros tipos de agentes osmóticos tales azúcares derivados del almidón como la maltosa.
- Realizar análisis microbiológicos antes y después de la etapa de lavado y desinfectado para determinar la efectividad de esta operación en la eliminación de la carga microbiana.
- Realizar análisis microbiológicos del producto final después de haber sido elaborado y después de un cierto tiempo de haber sido almacenado para poder determinar la vida útil del producto final.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 7.1. AOAC, (1984). Official methods of analysis. Editorial board. E.U.A.
- 7.2. BARBOSA-CÁNOVAS, Y VEGA-MERCADO, H., (2000). Deshidratación de Alimentos. Editorial Acribia
- 7.3. BELLO GUTIÉRREZ, JOSÉ. (2000). Ciencia Bromatológica: principios generales de los alimentos. Ediciones Diaz de Santos S.A. Madrid. España. Pág. 52-54; 279-283.
- 7.4. BISWAL, R.N., LE MAGUER, M. (1989). Mass transfer in plant materials in contact with aqueous solutions of ethanol and sodium chloride: equilibrium data. Journal of Food Processing Engineering. 11 Pág: 159-176.
- 7.5. BOLIN, H.R., HUXSOLL, C.C. Y JACKSON, R. (1983). Effect of Osmosis Agents and Concentration on Fruit Quality. J. Food Sci. 48 Pág: 202-205.
- 7.6. BONGIRWAR, D.R., SREENIVASAN, A. (1977). Studies on osmotic dehydration of banana. Journal of Food Science and Technology. 14 Pág:104-112.
- 7.7. CALZADA BENZA, JOSÉ; (1980). 143 .Frutales Nativos, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- 7.8. CDTA (Centro de Difusión Tecnológica en el Sector de la Alimentación, s.l.) (2003). Características generales de las pruebas efectivas o hedónicas (en línea). s.l. Consultado 17 set. 2014. Disponible en <http://pci204.cindoc.csic.es/cdta/especiales/consumidores/3.htm>
- 7.9. CHAN, Y. (2005). Manual de laboratorio: análisis sensorial. Guácimo, CR, Universidad EARTH. Pág 89.

- 7.10. CHEN, C.; Johnson, W. (1969). "Kinetics of moisture movement in hygroscopic materials". Transactions of the ASAE, 12 (1): 109-115 and 12 (4): Pág 478-481.
- 7.11. COLLIGNAN, A., RAOULT-WACK, A.L. (1994). Dewatering and salting of cod by immersion in concentrated sugar/salt solutions. Lebensm.-Wiss. Technol. 27(3): Pág 259-264.
- 7.12. CONWAY, J., CASTAIGNE, G., PICARD, G., VOVAN, X. (1983). Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apples. Canadian Institute Food Science and Technology Journal. 16 (1): Pág 25-29.
- 7.13. FARKAS, D.F., LAZAR, M.E. (1969). Osmotic dehydration of apple pieces: effect of temperature and syrup concentration on rates. Food Technology. Pág: 688-690.
- 7.14. FENNEMA, Owen R., (2000). Química de los Alimentos. 2º Edición, Editorial Acribia, Zaragoza – España. Pág. 54 – 64.
- 7.15. GALAN, S. (1991). La carambola y su cultivo. FAO. Roma. Pág. 11-83.
- 7.16. GEANKOPLIS, C. J. (1983). Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. 3ª Edición. Ed. CECSA. Mexico.
- 7.17. GIANGIACOMO, R., TORREGGIANI, D., ABBO, E. (1987) Osmotic dehydration of fruit: part 1. sugars exchange between fruit and extracting syrups. Journal of Food Processing and Preservation. 11: Pág 183-195.
- 7.18. GONZÁLEZ, D.V. (2000). Análisis del desarrollo de la fase reproductiva y determinación de parámetros de recolección de la carambola *Averrhoa carambola* L.) variedad ácida, producida en el piedemonte amazónico colombiano. Tesis (pregrado). Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas 'SINCHI': Bogotá.

- 7.19. GUEVARA, A; CACHO, I. (1993). fabricación de Fruta Confitada, Néctar y Fruta en Almíbar. Facultad de Industrias Alimentarias - TTA. UNALM. Lima-Perú.
- 7.20. HAWKES J., FLINK J., (1978), Osmotic concentration of fruits slices prior to freeze dehydration. J. Food Proc. Preserv. 2, 265-284
- 7.21. HENDERSON, S.M. (1952). A basic concept of equilibrium moisture. Agricultural Engineering Pág, 29-32.
- 7.22. HENG, K., GUJJLBERT, S., CUQ, J.L. (1990). Déshydratation osmotique de la papaye: Influence des variables du procede sur la qualité des produits finis. Sciences des Aliments. Pág: 831-848.
- 7.23. HOLMAN, R. (1998). StarFruit. Sheridan Fruit Company, Inc. Portland, OR. <http://www.sheridanfruit.com>
- 7.24. IGLESIAS, H. A., & CHIRIFE, J. (1982). Handbook of food isotherms: Water sorption parameters for food and food components. New York: Academic Press.
- 7.25. ISLAM M., FLINK J., (1982). Dehydration of potato II. Osmotic concentration and its effect on air drying behaviour. Journal of Food Technology, 17, Pág. 387-403.
- 7.26. KAPSALIS, J.G. (1987). Influence of hysteresis and temperature on moisture sorption isotherms. In Rockand, L.B. and Beuchat, L.R. 1987. Water activity: Theory and application to food. Marcel Dekker, Inc. New York U.S.A. Pág. 173-214.
- 7.27. LEES, R. (1982). Manual de análisis de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza. España.
- 7.28. LENART A. Y FLINK J., (1984a), Osmotic concentration of potato. I. Criteria for the end-point of the osmosis process, Journal Food Technology, Vol 19, Pág. 45-63.

- 7.29. LENART A. Y FLINK J., (1984b), Osmotic concentration of potato. II. Spatial distribution of the osmotic effect, *Journal Food Technology*, Vol 19, Pág. 65-89.
- 7.30. LERICI, C.R., PINNAVAIA, G., DALLA ROSA, M., BARTOLUCCI, L. (1985) Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *Journal of Food Science*. Pág: 1217-1219.
- 7.31. LERICI, C.R., MASTROCOLA, D., SENSIDONI, A., DALLA ROSA, M. (1988). Osmotic concentration in food processing. En: *Preconcentration and drying of food materials*. Ed. Bruin, S. Elsevier Publishing Company, NY. Pág 123-134.
- 7.32. LERICI, C.R., PINNAVAIA, G., DALLA ROSA, M., BARTOLUCCI, L. (1985) Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *Journal of Food Science*. Pág: 1217-1219.
- 7.33. LIMA, A. W. O., CAL-VIDAL, J. (1983). Hygroscopic behavior of freeze dried bananas. *Journal of Food Technology*, v. 18, n. 6, Pág. 687-696.
- 7.34. LIU, H. (1992). A kinetic study of salt diffusion in potato at high temperature. *Journal of Science and Technology*. Pág. 443-445.
- 7.35. LINDEN, G. Y LORIENT, D. (1994). *Bioquímica agroindustrial: revalorización alimentaria de la producción agrícola*. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza. España. Pag. 247-251.
- 7.36. MENDOZA ZAZUETA, JOSÉ ANTONIO Y RAMÍREZ FARÍAS, LEONEL. (1997). Pequeños productores, Grandes negocios. El potencial económico de los productos agropecuarios comercialmente no tradicionales. *Memoria de la Primera Exposición Nacional* (11-13 dic. 1997). México.
- 7.37. MORTON, J. (1987). Carambola. In: *Fruits of warm climates*. Miami, FL. <http://www.newcrop.hort.purdue.edu>

- 7.38. NAKASONE, H.Y. y R.E. Paull. (1998). Tropical Fruits. CAB International. Biddles Ltd, Guildford y King's Lynn. London. Pág. 37-43, 57.
- 7.39. ORDOÑEZ, Juan A., (1998). Tecnología de los Alimentos- Vol I Componente de los Alimentos y Procesos, Editorial Síntesis S.A., Madrid - España. Pag. 32-35
- 7.40. PINZÓN, MAGDA IVONE., GARCÍA, AUGUSTO LEÓN, MEJÍA, PAULA ANDREA. (2006). Efecto de los tratamientos osmóticos sobre el color y la Actividad enzimática en rodajas de carambolo (*Averrhoa carambola* L.). Laboratorio de Investigaciones en Postcosecha. Universidad del Quindío. A.A. 460. Armenia, Quindío. COLOMBIA. [postcosecha@uniquindio.edu.co](mailto:postcosecha@uniquindio.edu.co)
- 7.41. PITOTTI, M., NICOLI, C., SENSIDONI, A, LERICI, C.R. (1989). Control of enzymatic browning in food: effects of some substances and their mechanism of action. *Engineering and Food*. Pág:671-681.
- 7.42. POINTING, J.D., WATTERS, G.G., FORREY, R.R., JACKSON, R, STANLEY, W.L (1966). Osmotic dehydration of fruits. *Food Technology*. Pág:125-128.
- 7.43. RAOULT-WACK, A.L., LENART, A., GUILBERT, S. (1992). Recent advances in dewatering through immersion in concentrated solutions ("Osmotic dehydration"). En: *Drying of solids*. Ed. Mujumdar, A.S. Pág. 21-51.
- 7.44. RAOULT-WACK, A.L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science & Technology*
- 7.45. RODRÍGUEZ RIVERA, VÍCTOR MANUEL Y MAGRO, EDURNE SIMÓN. (2008). *Bases de la Alimentación Humana*. La Coruña. España. Pág. 214-216.
- 7.46. SANJINEZ-ARGANDOÑA, E.J.; BRANCO,I.G.; TAKITO, S. Y.; CORBARI, J. (2008) Influencia de la deshidratación osmótica y de la adición de cloruro de calcio en la conservación de kiwis mínimamente

procesados. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 30(Supl.1): 205-209, mayo 2010. Campinas. Brasil.

- 7.47. SCHWARTZ, M. (1994). La deshidratación osmótica como técnica de pre conservación de frutas y hortalizas. *Aconex*. Pág: 10-13.
- 7.48. SCHWARTZ, M. (1993). Conservación de frutas por métodos combinados: una alternativa de interés para los productores y la agroindustria. *Simiente*. Pág. 212-213.
- 7.49. SCHWARTZ, M.; SEPÚLVEDA, M.; VILANUEVA, L. (1994)a. Deshidratación osmótica de manzana (cv Granny Smith) con jarabe de maíz. Libro resumen VIII Seminario Latinoamericano y del Caribe de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Uruguay, Pág. 54.
- 7.50. SCHWARTZ, M.; VILLANUEVA, L.; SEPÚLVEDA, M. (1994)c. Calidad organoléptica de la banana osmodeshidratada (var Cavendish) durante el almacenamiento. X Congreso Latinoamericano de Nutrición. Venezuela, pág. 41-42.
- 7.51. SHAFIUR, M. (1990). Osmotic dehydration of pineapple. *Journal of Food Science and Technology*. Pág: 150-152.
- 7.52. SIGGE, G.O., HANSMANN, C.F., JOURBERT, E. (2001). Effect of storage conditions, packaging material and metabisulfite treatment on the color of dehydrated green bell peppers (*Capsicum Annuum* L.). *Journal of Food Quality*: Pág, 205-218
- 7.53. SMITH, S.E. (1947). The sorption of water vapour by high polymers. *Journal of American Chemical Society*. Pág: 646.
- 7.54. TELLO O; GARCÍA R; VÁSQUEZ O (2002). Conservación de *Averrhoa carambola* L "carambola" por azúcar y calor. Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la UNAP, Iquitos, Perú. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, v.2, nº 1, p. 49 - 58
- 7.55. THE PACKER, (2000) *Produce Services Sourcebook*, Vol CVI, Nº 55, 2000.

- 7.56. TORREGGIANI, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. Food Research International. Pág: 59-68.
- 7.57. VAN DEN BERG, C., & BRUIN, S. (1981). Water activity and its estimation in food systems. In: Rockland, L.B., Stewart, F. (Eds.), Water Activity: Influence on Food Quality. Academic Press, New York, Pág. 147-177.
- 7.58. VEGA-MERCADO, H.; BARBOSA-CANOVAS, G. (1993). Comparison of moisture sorption models in freeze-dried pineapple pulp. J. Agric. Univ. P. R., v.77, Pág.112-128.
- 7.59. VILLA ALARCÓN, MARIA PÍA. (n.d.).proyecto de exportación de carambola obtenido el 14 de julio del 2014. <http://www.monografias.com/trabajos45/exportacion-carambola-peru/exportacion-carambola-peru3.shtml>
- 7.60. ZAPATA MONTOYA, José Edgar. (1998) Determinación de parámetros cinéticos del alcohol etílico como agente osmodeshidratante. Medellín. 99 p. Tesis (Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

## ANEXOS

# ANEXO I

## Método para la determinación cuantitativa de vitamina C

### Objetivo

Determinación de vitamina C por espectrofotometría presente en un producto agroindustrial.

### Fundamento

La espectrofotometría es el método de análisis óptico más usado en las investigaciones químicas y biológicas. El espectrofotómetro es un instrumento que permite comparar la radiación absorbida o transmitida por una solución que contiene una cantidad desconocida de soluto, y una que contiene una cantidad conocida de la misma sustancia.

### Materiales

- Ácido oxálico
- Ácido ascórbico
- Azul de metileno
- Rojo de metilo
- 2,6 – diclorofenolindofenol
- Fiolas de 100 ml y de 1 L
- Agua destilada
- Tubos de ensayo
- Pipetas de 1, 5 y 10 ml
- Espectrofotómetro
- Vasos de precipitados

### Procedimiento

- Preparar una solución de ácido oxálico al 0,4%. Pesar 8 g de ácido oxálico, diluir y completar a 2 000 ml con agua destilada, preparar una solución estándar (madre) de ácido ascórbico al 0,1% en una solución de ácido oxálico al 0,4%.
- Pesar 1 g de ácido ascórbico, disolver y completar a 1 000 ml con ácido oxálico al 0,4%.
- Estándares de trabajo (E.T.). Tomar alícuotas de 1, 2, 3, 4,..., 10 ml de ácido ascórbico al 0,1% y llevar a volumen de 100 ml con una solución de ácido oxálico al 0,4%.
- Estas soluciones enumeradas del 1 al 5 contendrán 1, 2, 3, 4,..., 10 mg de ácido ascórbico por 100 ml respectivamente.

### **Solución coloreada (colorante):**

Pesar 12 mg de 2,6-diclorofenolindofenol (DFLF), disolver y llevar a 1 000 ml de volumen con agua destilada. Esta solución puede almacenarse por 15 días en frasco oscuro y en refrigeración.

### **Preparación de la curva estándar:**

- I 10 ml de agua destilada
- II 1 ml de ácido oxálico al 0,4% y 9 ml de agua destilada
- III 1 ml de E.T y 9 ml de agua destilada
- IV 1 ml de E.T y 9 ml de solución coloreada

Hacer las lecturas de absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 560 nm de la siguiente manera: ajustar a cero la absorbancia usando el tubo I. Leer la absorbancia del tubo II (L1).

Ajustar a cero la absorbancia con la solución del tubo III.

Leer la absorbancia del tubo IV (L2).

### **NOTA:**

Las lecturas L1 y L2 deben hacerse 15 segundos después de su preparación.

Registrar L1 y L2 para cada estándar de trabajo (E.T.) y construir la curva estándar.

### **Preparación de la muestra**

- Macerar 50 g de muestra fresca con 300 ml de ácido oxálico al 0,4% en una licuadora por 3 min y luego filtrar.
- Determinar L1 como se describió anteriormente.
- En un tubo III colocar 1 ml de filtrado (muestra) + 9 ml de agua destilada y con esta ajustar a cero la absorbancia.
- En un tubo IV colocar 1 ml de filtrado (muestra) 9 ml de solución coloreada y registrar la absorbancia L2 después de 15 segundos.
- Calcular (L1-L2) y obtener la concentración de ácido ascórbico de la curva estándar.



## ANEXO III

### Construcción de isotermas

Para la construcción de las isotermas de las slides osmodeshidratada de carambola se aplicó la siguiente metodología (Aguirre et al, 2010):

- Determinar la humedad inicial en base seca de la muestra por el método de estufa a 110°C (antes de llevar a los desecadores),
- Colocar la muestra (1 a 2 g) en desecadores en un ambiente de HR constante generado por la solución saturada, donde ganará o perderá agua hasta el momento en que su humedad se equilibre con la del ambiente (48 horas).
- Luego de equilibrado la muestra, medir, por diferencia de peso (en una balanza electrónica de precisión), la cantidad de agua ganada o pérdida, dividiendo este valor entre la cantidad de sólidos (constante a través del experimento) para obtener la nueva humedad. El valor de humedad correspondiente a la cobertura monomolecular se calcula por medio de una simplificación de la teoría de adsorción en multicapas de B.E.T., usando los datos de las isotermas.

Elaborar el siguiente cuadro:

**TABLA 4:** Modelo usado para ordenar los datos de la construcción de las isotermas.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	$P_e$ $q$	$P_i - P_{eq}$	$X_e$	$\frac{a_w}{X_e (1-a_w)}$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>					
Cl <sub>2</sub> Li					
Cloruro de Mg					
Cromito de K					
Bicromato de Na					
Nitrito de sodio					
Cloruro de sodio					
Cromato de K					
Nitrato de K					
Agua					

Fuente: (Aguirre et al, 2010)

Donde:

$P_1$  : Peso inicial d la muestra en base seca

$P_{eq}$  : Peso de la muestra en equilibrio

$P_1 - P_{eq}$  : Humedad de agua ganada o pérdida en el equilibrio.

Construir la isoterma de adsorción.

## ANEXO IV

### Resultados experimentales de los análisis a la Carambola (Avehrroa Carambola)

**Tabla AIV.1:** Resultados experimentales del análisis de humedad de la carambola

Peso De Placa ,m <sub>o</sub> (g)	Peso De Muestra Húmeda m <sub>1</sub> , (g)	Peso Placa + Muestra Seca, m <sub>o</sub> +m <sub>2</sub> , (g)	Peso Muestra Seca , m <sub>2</sub> (g)	% H
90,2640	10,6093	91,0482	0,7842	92,61
90,1209	11,2380	90,9040	0,7831	93,03
87,0317	11,4503	87,9839	0,9522	91,68
71,0880	10,7057	72,0114	0,9234	91,37
96,1231	11,8791	97,0767	0,9536	91,97

**% Humedad (promedio) = 92,13**

**Tabla AIV.2:** Resultados experimentales del análisis de proteína de la carambola

Peso De Muestra P <sub>m</sub> (g)	Blanco B (ml)	Gasto G (ml)	%P
2,1463	99,4	98,8	0,56
1,8548	99,4	98,9	0,54
1,9639	99,4	98,9	0,51
1,8898	99,4	98,9	0,53
2,0032	99,4	98,9	0,50

**F = 1,1447**

**% Proteína (promedio) = 0,53**

**Tabla AIV.3:** Resultados experimentales del análisis de grasa de la carambola.

Peso De Muestra, M (g)	Peso De Matraz m <sub>1</sub> , (g)	Peso De Matraz Con Grasa m <sub>2</sub> , (g)	% G
10,0003	46,2419	46,2629	0,21
10,0009	42,3208	42,3438	0,23
10,0008	45,1743	45,1933	0,19
9,9996	46,0842	46,1042	0,20
10,0010	46,1768	46,1978	0,21

**% Grasa (Promedio) = 0,21**

**Tabla AIV.4:** Resultados experimentales del análisis de cenizas de la carambola.

Peso De Muestra P, (g)	Peso De Crisol m <sub>1</sub> , (g)	Peso De Crisol Con Cenizas m <sub>2</sub> , (g)	% C
2,2283	41,3716	41,38007	0,38
2,0741	40,1875	40,19538	0,40
2,1239	42,2811	42,28917	0,37
2,4239	39,1974	39,20661	0,42
2,2075	40,3843	40,39269	0,39

**% Cenizas (promedio) = 0.39**

**Tabla AIV.5:** Resultados del cálculo de carbohidratos de la carambola

% H	% P	% G	% C	% CT
92,61	0,56	0,21	0,38	6,24
93,03	0,54	0,23	0,4	5,80
91,68	0,51	0,19	0,37	7,25
91,37	0,53	0,20	0,42	7,48
91,97	0,50	0,21	0,39	6,93

**% Carbohidratos (promedio) = 6,74**

**Tabla AIV.6:** Resultados experimentales del análisis de acidez de la carambola.

<b>Masa De Muestra M, (g)</b>	<b>Volumen Gastado V<sub>G</sub>, (ml)</b>	<b>% Acidez</b>
3,0715	3,1	0,71
3,2124	3,2	0,70
3,4507	3,5	0,71
3,3052	3,3	0,70
3,1968	3,2	0,70

**% acidez (promedio) = 0,70**

**Tabla AIV.7:** Resultados experimentales del análisis de pH de la carambola a 20 °C

<b>Muestra</b>	<b>pH</b>
1	2,08
2	2,10
3	2,01
4	2,22
5	2,12

**pH (promedio) = 2,11**

**Tabla AIV.8:** Resultados experimentales del análisis de sólidos solubles de la carambola.

<b>Muestra</b>	<b>% Sólidos Solubles</b>
1	7
2	8
3	7
4	7
5	8

**% Sólidos solubles (promedio) = 7,4**

**Tabla AIV.9:** Resultados experimentales del análisis de vitamina C de la carambola.

<b>L<sub>1</sub></b>	<b>L<sub>2</sub></b>	<b>L<sub>1</sub>-L<sub>2</sub></b>	<b>vitamina C (mg)</b>
0,4305	0,3986	0,0319	42,65
0,4305	0,3981	0,0324	44,04
0,4305	0,3990	0,0315	41,63
0,4305	0,3992	0,0313	41,09
0,4305	0,3984	0,0321	43,24

**% Vitamina C (promedio) = 42, 53**

## ANEXO V

### FORMULAS UTILIZADAS PARA BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO DE LA CARAMBOLA OSMODESHIDRATA

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Salida de secado}}{\text{Entrada en la recepción}} \times 100$$

$$\% \text{ Eficiencia (solidos)} = \frac{\text{Salida de secado} \times (1 - \% \text{ Humedad de carambola seca})}{\text{entrada a la inmersión} \times (1 - \% \text{ Humedad de carambola fresca})} \times 100$$

$$\text{Solidos ganados (g)} = (\text{Salida de secado} \times (1 - \% \text{ Humedad de carambola seca})) - (\text{entrada a la inmersión} \times (1 - \% \text{ Humedad de carambola fresca}))$$

$$\text{Tiempo de operación (hr)} = \frac{\sum \text{tiempo de operación de las operaciones (min)}}{60}$$

## ANEXO VI

### Determinación de isotermas de las slides osmodeshidratada de carambola.

**Tabla AVI.1:** Resultados experimentales de la determinación de isotermas de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar blanca a 50 °Brix en la primera corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	2,1790	1,5973	-0,5817	-0,4116
Cl <sub>2</sub> Li	0,115	1,9207	1,4615	-0,4592	-0,3686
Cloruro de Mg	0,328	2,0194	2,0666	0,0472	0,0361
Bicromato de Na	0,535	1,9052	1,9905	0,0853	0,1027
Nitrito de sodio	0,654	1,8234	2,0581	0,2347	0,1985
Cloruro de sodio	0,753	1,5211	1,7320	0,2109	0,2138
Cromato de K	0,864	2,0941	2,4859	0,3918	0,2885
Nitrato de K	0,941	1,8316	2,4733	0,6417	0,5402
Agua	1	2,4673	3,4482	0,9809	0,6130

**Tabla AVI.2:** Resultados experimentales de la determinación de isotermas de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar blanca a 50 °Brix en la segunda corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1,8917	1,4295	-0,5948	-0,4633
Cl <sub>2</sub> Li	0,115	2,0491	1,3509	-0,4627	-0,3328
Cloruro de Mg	0,328	1,8562	1,8209	0,0497	0,0395
Bicromato de Na	0,535	2,0433	2,0973	0,1027	0,0741
Nitrito de sodio	0,654	1,6492	1,5684	0,2401	0,2145
Cloruro de sodio	0,753	1,5534	1,6318	0,3278	0,3110
Cromato de K	0,864	2,0790	2,1907	0,3789	0,2686
Nitrato de K	0,941	2,2361	2,7911	0,6399	0,4217
Agua	1	2,4282	3,3988	0,9875	0,5993

**Tabla AVI.3:** Resultados experimentales de la determinación de isothermas de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar blanca a 50 °Brix en la tercera corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1,9607	1,4124	-0,5483	-0,4100
Cl <sub>2</sub> Li	0,115	2,0194	1,5364	-0,4830	-0,3507
Cloruro de Mg	0,328	1,7893	1,8082	0,0189	0,0155
Bicromato de Na	0,535	2,0466	2,1295	0,0829	0,0594
Nitrito de sodio	0,654	1,7867	1,9946	0,2079	0,1706
Cloruro de sodio	0,753	1,9462	2,2277	0,2815	0,2121
Cromato de K	0,864	1,9423	2,3532	0,4109	0,3101
Nitrato de K	0,941	2,0461	2,7775	0,7314	0,5241
Agua	1	2,2381	3,2104	0,9723	0,6369

**Tabla AVI.4:** Resultados experimentales de la determinación de isothermas de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix en la primera corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1,9695	1,4700	-0,4995	-0,3739
Cl <sub>2</sub> Li	0,115	1,7820	1,3412	-0,4408	-0,3647
Cloruro de Mg	0,328	1,8003	1,8112	0,0109	0,0089
Bicromato de Na	0,535	2,0177	2,0719	0,0542	0,0396
Nitrito de sodio	0,654	1,4738	1,5791	0,1053	0,1053
Cloruro de sodio	0,753	1,4450	1,6146	0,1696	0,1730
Cromato de K	0,864	1,8246	2,1791	0,3545	0,2864
Nitrato de K	0,941	2,1807	2,7891	0,6084	0,4113
Agua	1	2,5417	3,4855	0,9438	0,5474

**Tabla AVI.5:** Resultados experimentales de la determinación de isothermas de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix en la segunda corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1,9516	1,4295	-0,5221	-0,3848
Cl <sub>2</sub> Li	0,115	1,7791	1,3509	-0,4282	-0,3462
Cloruro de Mg	0,328	1,8070	1,8209	0,0139	0,0111
Bicromato de Na	0,535	2,0388	2,0973	0,0585	0,0413
Nitrito de sodio	0,654	1,4695	1,5684	0,1127	0,1103
Cloruro de sodio	0,753	1,4412	1,6318	0,1788	0,1784
Cromato de K	0,864	1,8301	2,1907	0,3606	0,2834
Nitrato de K	0,941	2,1904	2,7911	0,6007	0,3944
Agua	1	2,5317	3,3988	0,9578	0,5441

**Tabla AVI.6:** Resultados experimentales de la determinación de isothermas de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix en la tercera corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	2,0456	1,5500	-0,4956	-0,3462
Cl <sub>2</sub> Li	0,115	1,8861	1,4739	-0,4122	-0,3123
Cloruro de Mg	0,328	1,9618	1,9742	0,0124	0,0090
Bicromato de Na	0,535	2,2309	2,2855	0,0546	0,0350
Nitrito de sodio	0,654	1,6214	1,7367	0,1153	0,1016
Cloruro de sodio	0,753	1,5692	1,7488	0,1796	0,1636
Cromato de K	0,864	1,9873	2,3068	0,3195	0,2297
Nitrato de K	0,941	2,2917	2,9111	0,6194	0,3862
Agua	1	2,5890	3,5699	0,9809	0,5414

**Tabla AVI.7:** Resultados experimentales de la determinación de isothermas de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar blanca a 70 °Brix en la primera corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	2,0936	1,4735	-0,6201	-0,4429
Cl <sub>2</sub> Li	0,115	1,8824	1,4605	-0,4219	-0,3351
Cloruro de Mg	0,328	2,0193	2,0521	0,0328	0,0243
Bicromato de Na	0,535	2,0482	2,1180	0,0698	0,0510
Nitrito de sodio	0,654	1,8844	2,1761	0,2917	0,2315
Cloruro de sodio	0,753	1,6245	2,0189	0,3944	0,3630
Cromato de K	0,864	1,5472	1,9609	0,4137	0,3998
Nitrato de K	0,941	1,8933	2,5460	0,6527	0,5155
Agua	1	2,4193	3,4072	0,9879	0,6106

**Tabla AVI.8:** Resultados experimentales de la determinación de isothermas de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar blanca a 70 °Brix en la segunda corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	2,1809	1,4295	-0,6072	-0,4224
Cl <sub>2</sub> Li	0,115	1,8931	1,3509	-0,4208	-0,3372
Cloruro de Mg	0,328	1,9872	1,8209	0,0315	0,0241
Bicromato de Na	0,535	2,0764	2,0973	0,0713	0,0642
Nitrito de sodio	0,654	1,8563	1,5684	0,2875	0,2350
Cloruro de sodio	0,753	1,6842	1,6318	0,3802	0,3425
Cromato de K	0,864	1,8934	2,1907	0,4139	0,3317
Nitrato de K	0,941	2,1794	2,7911	0,6437	0,4481
Agua	1	2,4691	3,3988	0,9828	0,6039

**Tabla AVI.9:** Resultados experimentales de la determinación de isothermas de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar blanca a 70 °Brix en la tercera corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	2,1945	1,5981	-0,5964	-0,4103
Cl <sub>2</sub> Li	0,115	1,9466	1,5109	-0,4357	-0,3379
Cloruro de Mg	0,328	2,0764	2,1058	0,0294	0,0214
Bicromato de Na	0,535	1,8964	1,9661	0,0697	0,0555
Nitrito de sodio	0,654	1,8847	2,1541	0,2694	0,2158
Cloruro de sodio	0,753	2,1134	2,4388	0,3254	0,2324
Cromato de K	0,864	1,8976	2,3558	0,4582	0,3645
Nitrato de K	0,941	2,0764	2,8573	0,7809	0,5678
Agua	1	2,3488	3,3116	0,9628	0,6188

**Tabla AVI.10:** Resultados experimentales de la determinación de isothermas de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar rubia a 50 °Brix en la primera corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1,8246	1,8273	0,0027	0,0022
Cl <sub>2</sub> Li	0,113	1,4569	1,4607	0,0038	0,0039
Cloruro de Mg	0,328	0,9876	0,9960	0,0084	0,0129
Bicromato de Na	0,535	0,9648	1,0235	0,0587	0,0921
Nitrito de sodio	0,654	1,0188	1,2011	0,1823	0,2710
Cloruro de sodio	0,753	0,9875	1,2088	0,2213	0,3393
Cromato de K	0,864	0,9978	1,3463	0,3485	0,5289
Nitrato de K	0,941	1,4895	2,0565	0,5670	0,5764
Agua	1	1,5697	2,1591	0,5894	0,5686

**Tabla AVI.11:** Resultados experimentales de la determinación de isoterms de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar rubia a 50 °Brix en la segunda corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1,2397	1,2425	0,0028	0,0034
Cl <sub>2</sub> Li	0,113	1,4697	1,4736	0,0039	0,0040
Cloruro de Mg	0,328	1,1856	1,1951	0,0095	0,0120
Bicromato de Na	0,535	1,2854	1,3416	0,0562	0,0652
Nitrito de sodio	0,654	1,3489	1,5364	0,1875	0,2074
Cloruro de sodio	0,753	0,9678	1,1925	0,2247	0,3464
Cromato de K	0,864	1,0247	1,4123	0,3876	0,5643
Nitrato de K	0,941	1,5879	2,2361	0,6482	0,6090
Agua	1	1,4587	2,1805	0,7218	0,7382

**Tabla AVI.12:** Resultados experimentales de la determinación de isoterms de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar rubia a 50 °Brix en la tercera corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1,2097	1,2128	0,0031	0,0039
Cl <sub>2</sub> Li	0,113	1,3492	1,3528	0,0036	0,0041
Cloruro de Mg	0,328	0,9822	0,9897	0,0075	0,0117
Bicromato de Na	0,535	0,9938	1,0565	0,0627	0,0964
Nitrito de sodio	0,654	1,3292	1,4890	0,1598	0,1837
Cloruro de sodio	0,753	0,9866	1,1945	0,2079	0,3220
Cromato de K	0,864	1,2085	1,6042	0,3957	0,5004
Nitrato de K	0,941	1,5237	2,1036	0,5799	0,5816
Agua	1	1,6879	2,3228	0,6349	0,5748

**Tabla AVI.13:** Resultados experimentales de la determinación de isothermas de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar rubia a 60 °Brix en la primera corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1,1523	1,1536	0,0013	0,0017
Cl <sub>2</sub> Li	0,113	1,2463	1,2487	0,0024	0,0029
Cloruro de Mg	0,328	0,8831	0,8908	0,0077	0,0131
Bicromato de Na	0,535	0,9764	1,0283	0,0519	0,0797
Nitrito de sodio	0,654	1,2892	1,4145	0,1253	0,1457
Cloruro de sodio	0,753	0,9983	1,1731	0,1748	0,2624
Cromato de K	0,864	1,1001	1,4169	0,3168	0,4316
Nitrato de K	0,941	1,4563	1,9639	0,5076	0,5224
Agua	1	1,2619	1,8689	0,6070	0,7210

**Tabla AVI.14:** Resultados experimentales de la determinación de isothermas de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar rubia a 60 °Brix en la segunda corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1,2294	1,2316	0,0022	0,0028
Cl <sub>2</sub> Li	0,113	1,1976	1,2007	0,0031	0,0040
Cloruro de Mg	0,328	0,9476	0,9547	0,0071	0,0114
Bicromato de Na	0,535	0,9875	1,0372	0,0497	0,0768
Nitrito de sodio	0,654	1,3285	1,4513	0,1228	0,1411
Cloruro de sodio	0,753	0,9876	1,1645	0,1769	0,2735
Cromato de K	0,864	1,0494	1,3735	0,3241	0,4716
Nitrato de K	0,941	1,5237	2,1520	0,6283	0,6296
Agua	1	1,3284	1,9830	0,6546	0,7524

**Tabla AVI.15:** Resultados experimentales de la determinación de isothermas de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar rubia a 60 °Brix en la tercera corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1,1523	1,1544	0,0021	0,0026
Cl <sub>2</sub> Li	0,113	1,2463	1,2490	0,0027	0,0031
Cloruro de Mg	0,328	0,8831	0,8901	0,0070	0,0114
Bicromato de Na	0,535	0,9764	1,0291	0,0527	0,0779
Nitrito de sodio	0,654	1,2892	1,4266	0,1374	0,1537
Cloruro de sodio	0,753	0,9983	1,1877	0,1894	0,2737
Cromato de K	0,864	1,1001	1,4547	0,3546	0,4649
Nitrato de K	0,941	1,4563	1,9834	0,5271	0,5221
Agua	1	1,2619	1,8903	0,6284	0,7183

**Tabla AVI.16:** Resultados experimentales de la determinación de isothermas de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar rubia a 70 °Brix en la primera corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1,2546	1,2580	0,0034	0,0041
Cl <sub>2</sub> Li	0,113	1,3876	1,3918	0,0042	0,0046
Cloruro de Mg	0,328	0,8973	0,9048	0,0075	0,0128
Bicromato de Na	0,535	0,9872	1,0547	0,0675	0,1045
Nitrito de sodio	0,654	1,4567	1,6420	0,1853	0,1944
Cloruro de sodio	0,753	1,0452	1,2566	0,2114	0,3091
Cromato de K	0,864	1,2096	1,5744	0,3648	0,4610
Nitrato de K	0,941	1,5496	2,1781	0,6285	0,6200
Agua	1	1,2674	1,9549	0,6875	0,8292

**Tabla AVI.17:** Resultados experimentales de la determinación de isothermas de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar rubia a 70 °Brix en la segunda corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1,6584	1,6613	0,0029	0,0025
Cl <sub>2</sub> Li	0,113	1,4585	1,4642	0,0057	0,0057
Cloruro de Mg	0,328	1,0854	1,0943	0,0089	0,0119
Bicromato de Na	0,535	1,0128	1,0755	0,0627	0,0896
Nitrito de sodio	0,654	1,6278	1,8130	0,1852	0,1646
Cloruro de sodio	0,753	0,9671	1,1811	0,2140	0,3201
Cromato de K	0,864	1,4528	1,8210	0,3682	0,3666
Nitrato de K	0,941	1,0483	1,5965	0,5482	0,7564
Agua	1	1,4875	2,2857	0,7982	0,7762

**Tabla AVI.18:** Resultados experimentales de la determinación de isothermas de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar rubia a 70 °Brix en la tercera corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1,2356	1,238	0,0024	0,0028
Cl <sub>2</sub> Li	0,113	1,0185	1,0217	0,0032	0,0047
Cloruro de Mg	0,328	0,9875	0,9951	0,0076	0,0115
Bicromato de Na	0,535	0,8792	0,9379	0,0587	0,1001
Nitrito de sodio	0,654	1,3458	1,521	0,1752	0,1951
Cloruro de sodio	0,753	1,0125	1,1952	0,1827	0,2704
Cromato de K	0,864	0,9987	1,3272	0,3285	0,493
Nitrato de K	0,941	1,2385	1,7559	0,5174	0,6261
Agua	1	1,2854	1,9239	0,6385	0,7445

**Tabla AVI.19:** Resultados experimentales de la determinación de isothermas de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar invertido 50 °Brix en la primera corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1,2355	1,2335	-0,0020	-0,0024
Cl <sub>2</sub> Li	0,113	1,3145	1,3134	-0,0011	-0,0012
Cloruro de Mg	0,328	0,8945	0,9047	0,0102	0,0168
Bicromato de Na	0,535	0,9985	1,0970	0,0985	0,1452
Nitrito de sodio	0,654	1,3685	1,5999	0,2314	0,2490
Cloruro de sodio	0,753	1,2354	1,4347	0,1993	0,3108
Cromato de K	0,864	1,5294	1,8862	0,3568	0,4025
Nitrato de K	0,941	1,6278	2,0564	0,4286	0,4518
Agua	1	1,3977	1,9519	0,5542	0,6871

**Tabla AVI.20:** Resultados experimentales de la determinación de isothermas de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar invertido 50 °Brix en la segunda corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1,2452	1,2433	-0,0019	-0,0023
Cl <sub>2</sub> Li	0,113	1,0523	1,0508	-0,0015	-0,0021
Cloruro de Mg	0,328	0,9872	1,0047	0,0175	0,0264
Bicromato de Na	0,535	1,0354	1,1278	0,0924	0,1329
Nitrito de sodio	0,654	1,4128	1,6373	0,2245	0,2366
Cloruro de sodio	0,753	1,3159	1,5373	0,2214	0,2506
Cromato de K	0,864	1,6345	2,0003	0,3658	0,3333
Nitrato de K	0,941	1,4352	1,8667	0,4315	0,4477
Agua	1	1,4582	2,0264	0,5682	0,5803

**Tabla AVI.21:** Resultados experimentales de la determinación de isothermas de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar invertido 50 °Brix en la tercera corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1,3256	1,3233	-0,0023	-0,0026
Cl <sub>2</sub> Li	0,113	1,2385	1,2371	-0,0014	-0,0017
Cloruro de Mg	0,328	0,9278	0,9447	0,0169	0,0275
Bicromato de Na	0,535	1,0323	1,1220	0,0897	0,1314
Nitrito de sodio	0,654	1,4285	1,6586	0,2301	0,2436
Cloruro de sodio	0,753	1,2687	1,4839	0,2152	0,2565
Cromato de K	0,864	1,4195	1,7904	0,3709	0,3951
Nitrato de K	0,941	1,6384	2,0906	0,4522	0,4174
Agua	1	1,4285	2,0496	0,6211	0,6575

**Tabla AVI.22:** Resultados experimentales de la determinación de isothermas de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar invertido 60 °Brix en la primera corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1,1346	1,1341	-0,0005	-0,0007
Cl <sub>2</sub> Li	0,113	1,1572	1,1568	-0,0004	-0,0005
Cloruro de Mg	0,328	0,8582	0,8616	0,0034	0,0060
Bicromato de Na	0,535	0,9875	1,0200	0,0325	0,0500
Nitrito de sodio	0,654	1,2573	1,3560	0,0987	0,1192
Cloruro de sodio	0,753	1,1559	1,3552	0,1993	0,2617
Cromato de K	0,864	1,4021	1,7589	0,3568	0,3863
Nitrato de K	0,941	1,5682	1,9968	0,4286	0,4149
Agua	1	1,2640	1,8182	0,5542	0,6655

**Tabla AVI.23:** Resultados experimentales de la determinación de isoterms de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar invertido 60 °Brix en la segunda corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1,1492	1,1485	-0,0007	-0,0009
Cl <sub>2</sub> Li	0,113	1,2037	1,2032	-0,0005	-0,0006
Cloruro de Mg	0,328	0,8961	0,9002	0,0041	0,0069
Bicromato de Na	0,535	0,9945	1,0366	0,0421	0,0634
Nitrito de sodio	0,654	1,3528	1,4523	0,0995	0,1102
Cloruro de sodio	0,753	1,2067	1,4080	0,2013	0,2500
Cromato de K	0,864	1,5317	1,9042	0,3725	0,3645
Nitrato de K	0,941	1,3976	1,8503	0,4527	0,4855
Agua	1	1,3540	1,9302	0,5762	0,6378

**Tabla AVI.24:** Resultados experimentales de la determinación de isoterms de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar invertido 60 °Brix en la tercera corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1,2356	1,2348	-0,0008	-0,0010
Cl <sub>2</sub> Li	0,113	1,3485	1,3479	-0,0006	-0,0007
Cloruro de Mg	0,328	0,9045	0,9084	0,0039	0,0066
Bicromato de Na	0,535	1,0124	1,0492	0,0368	0,0553
Nitrito de sodio	0,654	1,3452	1,4441	0,0989	0,1118
Cloruro de sodio	0,753	1,2385	1,4281	0,1896	0,2327
Cromato de K	0,864	1,3945	1,7196	0,3251	0,3544
Nitrato de K	0,941	1,6273	2,0465	0,4192	0,3916
Agua	1	1,3485	1,8702	0,5217	0,5880

**Tabla AVI.25:** Resultados experimentales de la determinación de isothermas de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar invertido 70 °Brix en la primera corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1,2238	1,2221	-0,0017	-0,0024
Cl <sub>2</sub> Li	0,113	1,2154	1,2145	-0,0009	-0,0011
Cloruro de Mg	0,328	0,8897	0,8975	0,0078	0,0131
Bicromato de Na	0,535	0,9977	1,0656	0,0679	0,1016
Nitrito de sodio	0,654	1,3214	1,4666	0,1452	0,1640
Cloruro de sodio	0,753	1,2978	1,5056	0,2078	0,2389
Cromato de K	0,864	1,4527	1,8654	0,4127	0,4240
Nitrato de K	0,941	1,5876	2,1275	0,5399	0,5075
Agua	1	1,3395	1,9672	0,6277	0,6993

**Tabla AVI.26:** Resultados experimentales de la determinación de isothermas de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar invertido 70 °Brix en la segunda corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1,2578	1,2564	-0,0014	-0,0016
Cl <sub>2</sub> Li	0,113	1,3329	1,3319	-0,0010	-0,0011
Cloruro de Mg	0,328	0,9015	0,9098	0,0083	0,0134
Bicromato de Na	0,535	1,0129	1,0830	0,0701	0,1004
Nitrito de sodio	0,654	1,3258	1,4781	0,1523	0,1667
Cloruro de sodio	0,753	1,4025	1,6070	0,2045	0,2116
Cromato de K	0,864	1,6482	2,0579	0,4097	0,3607
Nitrato de K	0,941	1,4582	1,9993	0,5411	0,5385
Agua	1	1,3945	2,0216	0,6271	0,6526

**Tabla AVI.27:** Resultados experimentales de la determinación de isoterms, de las slides osmodeshidratada de carambola usando jarabe de azúcar invertido 70 °Brix en la tercera corrida.

SOLUCIÓN SATURADA	$a_w$ o HR	Pi	Peq	Pi - Peq	$X_e$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1,4587	1,4561	-0,0026	-0,0026
Cl <sub>2</sub> Li	0,113	1,6972	1,6945	-0,0027	-0,0023
Cloruro de Mg	0,328	0,9576	0,9658	0,0082	0,0126
Bicromato de Na	0,535	1,2045	1,2859	0,0814	0,0996
Nitrito de sodio	0,654	1,3478	1,5130	0,1652	0,1807
Cloruro de sodio	0,753	1,2589	1,4737	0,2148	0,2515
Cromato de K	0,864	1,0578	1,4703	0,4125	0,5749
Nitrato de K	0,941	1,6348	2,2026	0,5678	0,5120
Agua	1	1,4582	2,0936	0,6354	0,6424

**B. Determinación de los parámetros para el modelo de Iglesias-Chirife después del ajuste de las isoterms de las slides osmodeshidratada de carambola:**

Para este caso se utilizó la ecuación dada para el modelo de Iglesias-Chirife realizando el ajuste entre las  $a_w$  de 0 a 0.9 de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola obtenidas, para lo cual se utilizó las siguientes ecuaciones:

$$\ln(X_e + (X_e^2 + X_{in})^{0.5}) = b a_w + p \dots (1)$$

Donde:

$a_w$ : Actividad de agua.

$X_e$ : humedad en el equilibrio en base seca.

$X_{in}$ : humedad de equilibrio a una  $a_w$  de 0.5.

$b$  y  $p$ : parámetros de modelo de Iglesias-Chirife.

Graficando  $\ln(X_e + (X_e^2 + X_{in})^{0.5})$  como función de la  $a_w$ , y aplicando regresión lineal se obtuvo una ecuación lineal y la correlación ( $R^2$ ) correspondiente.

$$y = ax + b \dots (2)$$

Donde:

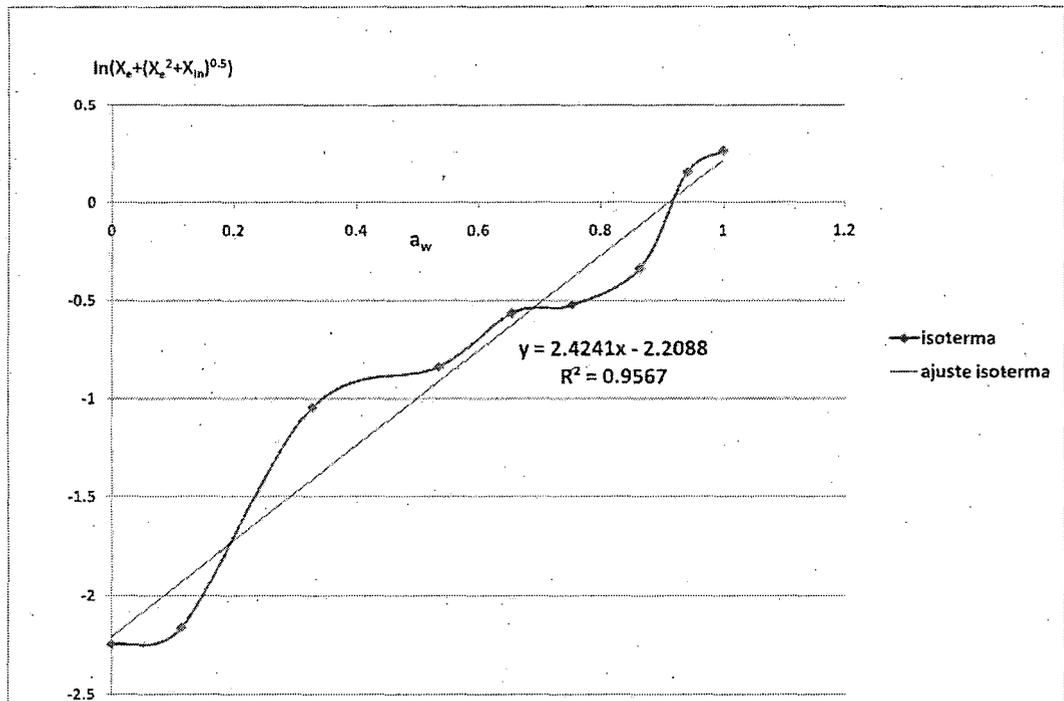
$$y = \ln(X_e + (X_e^2 + X_{in})^{0.5})$$

$$x = a_w$$

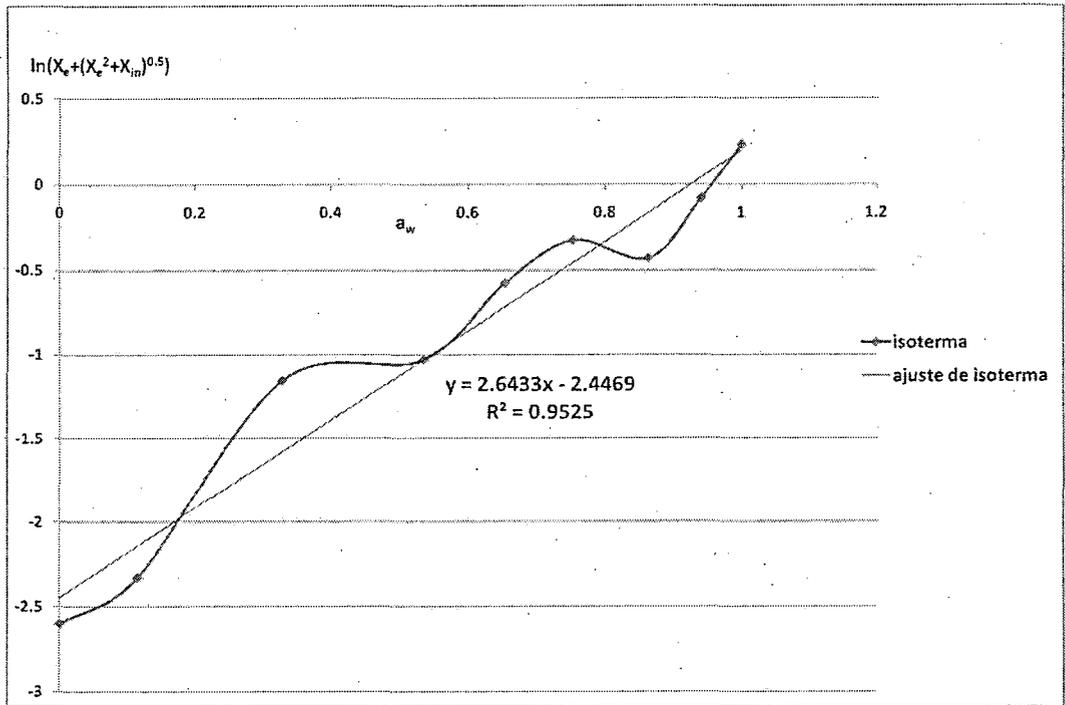
Igualando las ecuaciones (1) y (2) se obtuvo se obtuvo los parámetros del modelo de Iglesias-Chirife:

$$a = b \dots (3) \quad b = p \dots (4)$$

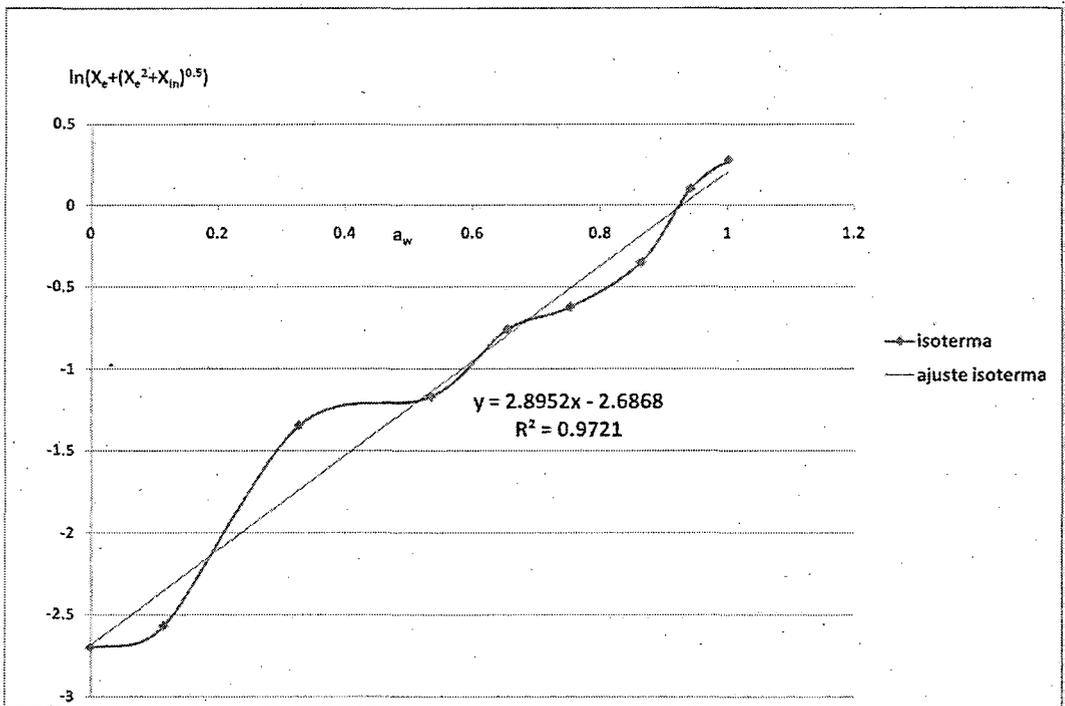
Los ajustes se muestran en las siguientes figuras.



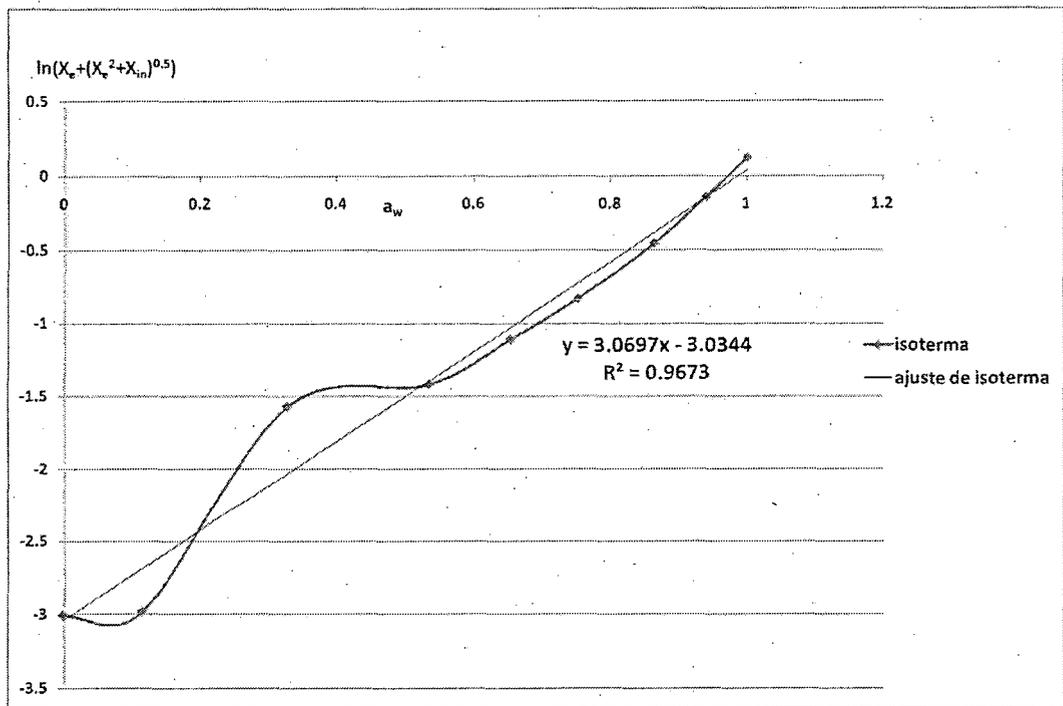
**Figura BVI.1:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slide osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar blanca a 50°Brix en la primera corrida.



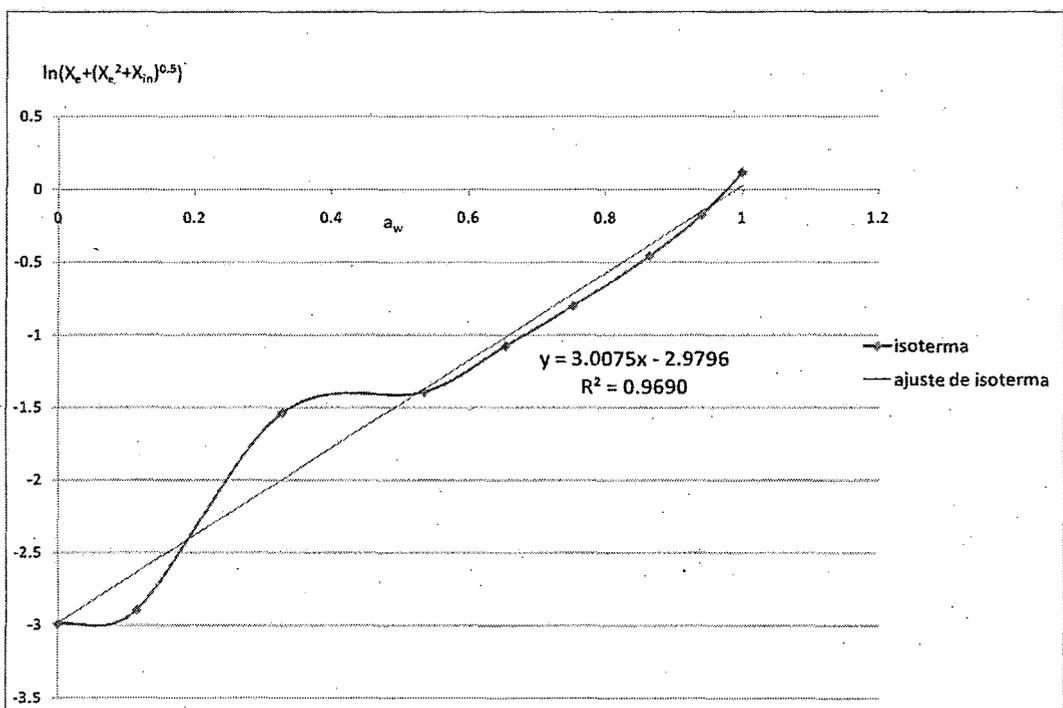
**Figura BVI.2:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar blanca a 50°Brix en la segunda corrida.



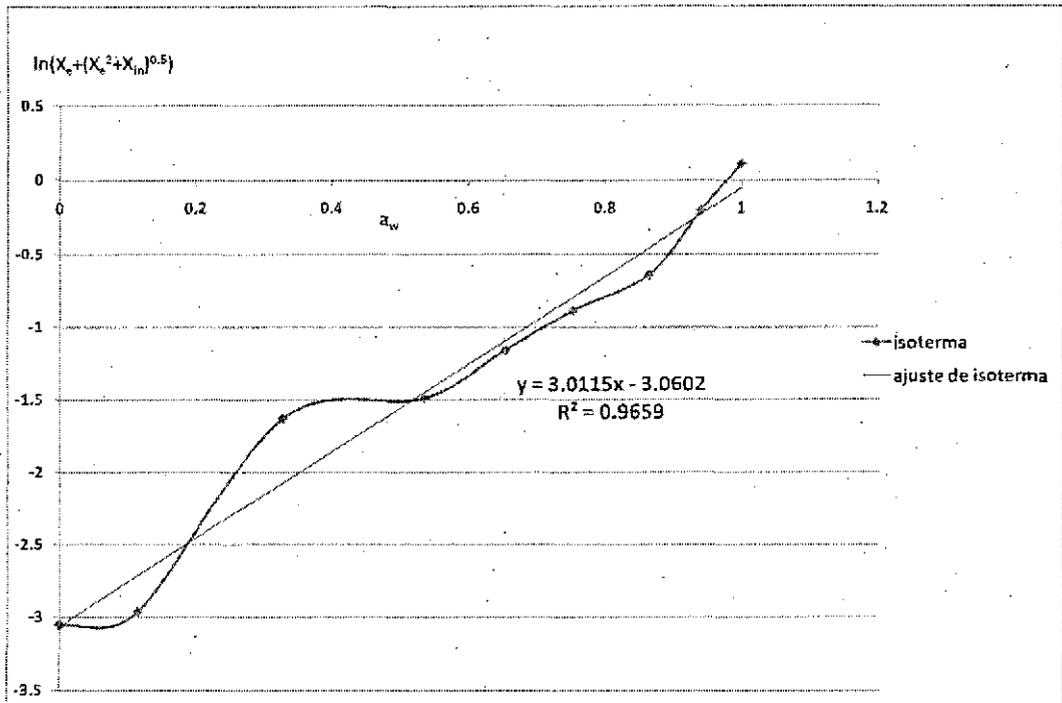
**Figura BVI.3:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar blanca a 50°Brix en la tercera corrida.



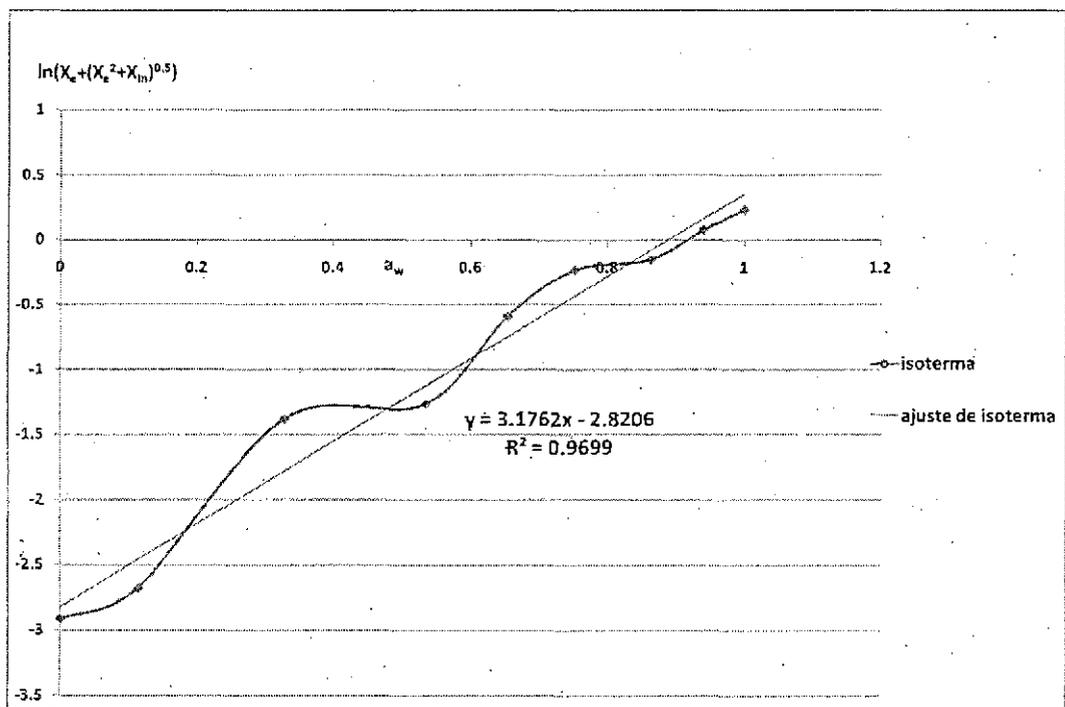
**Figura BVI.4:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar blanca a 60°Brix en la primera corrida.



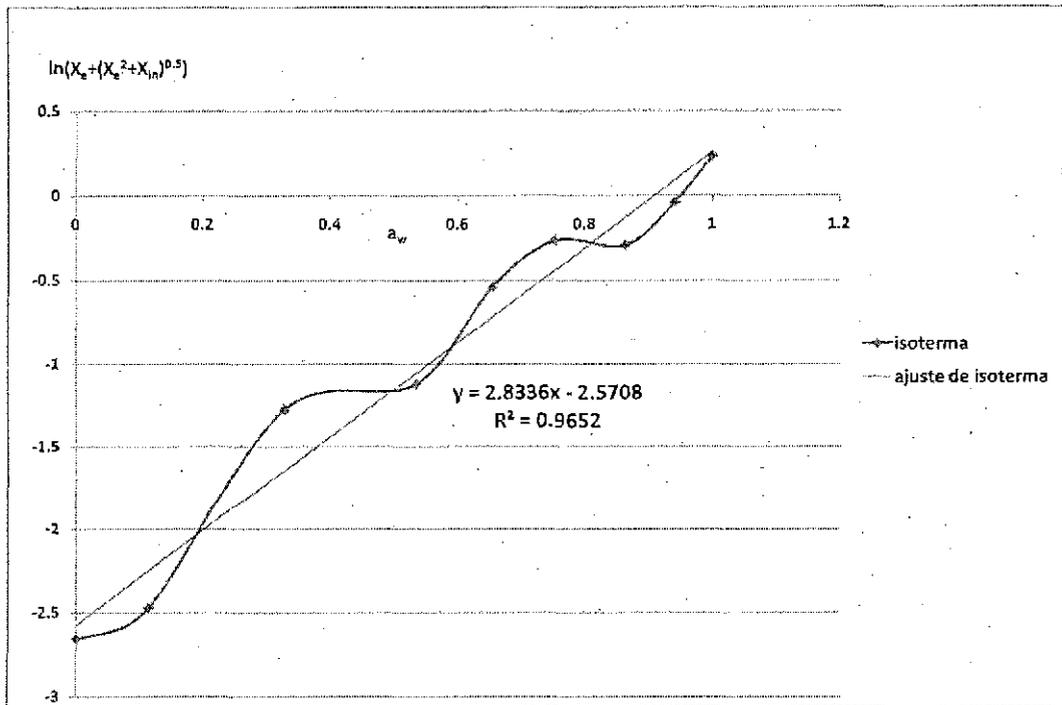
**Figura BVI.5:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar blanca a 60°Brix en la segunda corrida.



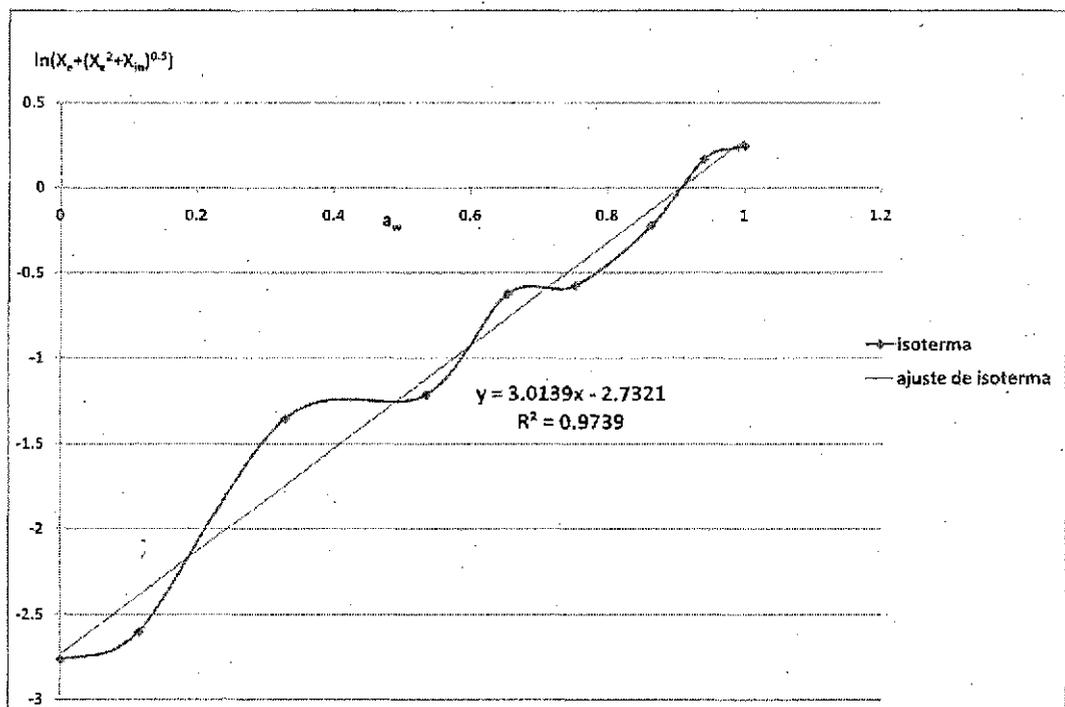
**Figura BVI.6:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar blanca a 60°Brix en la tercera corrida.



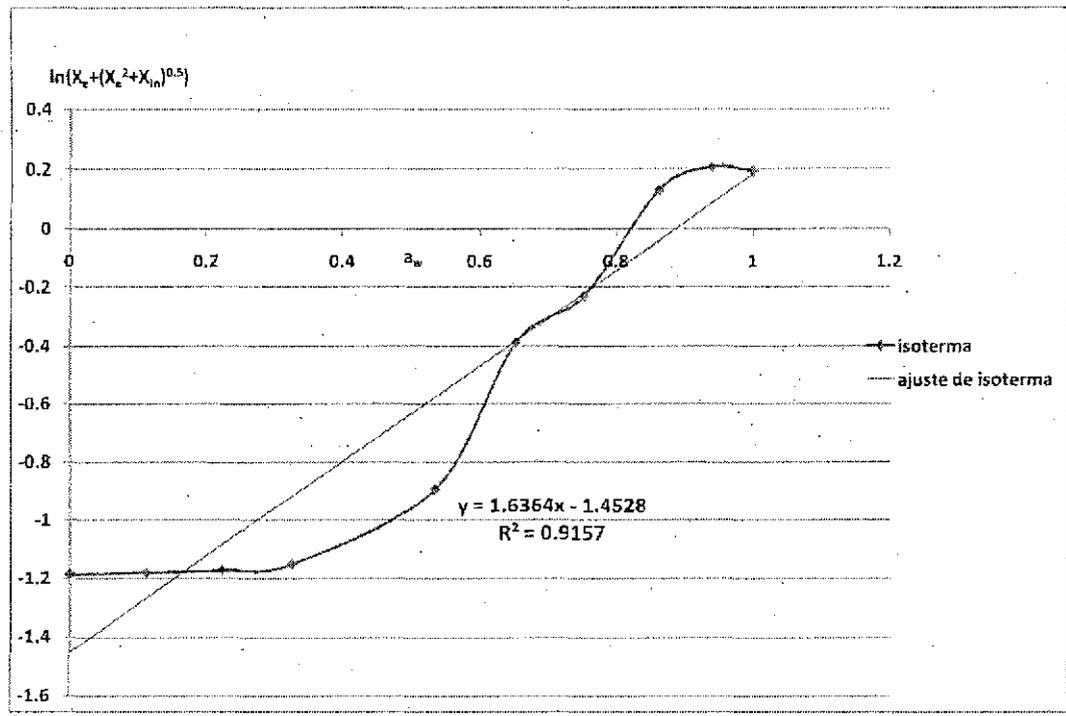
**Figura BVI.7:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar blanca a 70°Brix en la primera corrida.



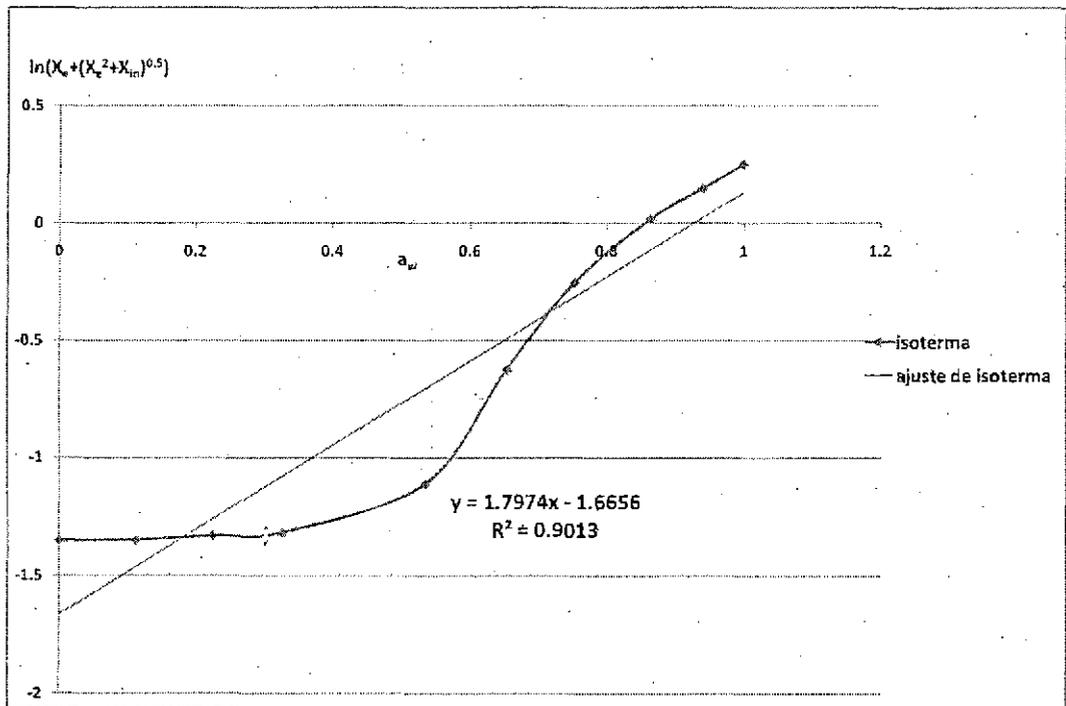
**Figura BVI.8:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar blanca a 70°Brix en la segunda corrida.



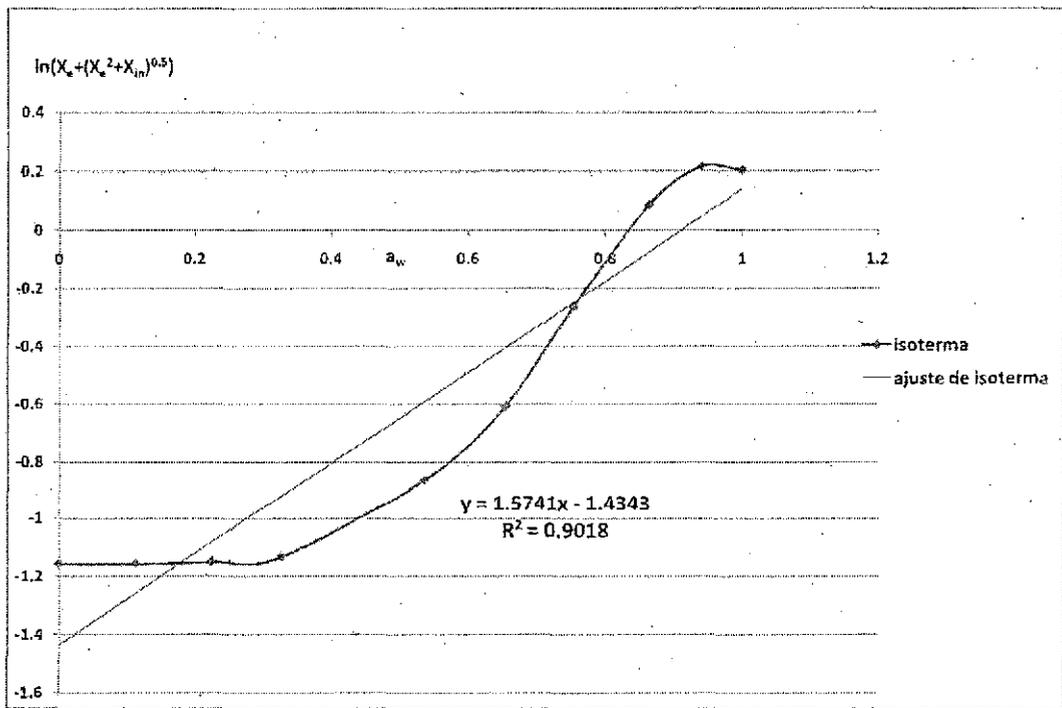
**Figura BVI.9:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar blanca a 70°Brix en la tercera corrida.



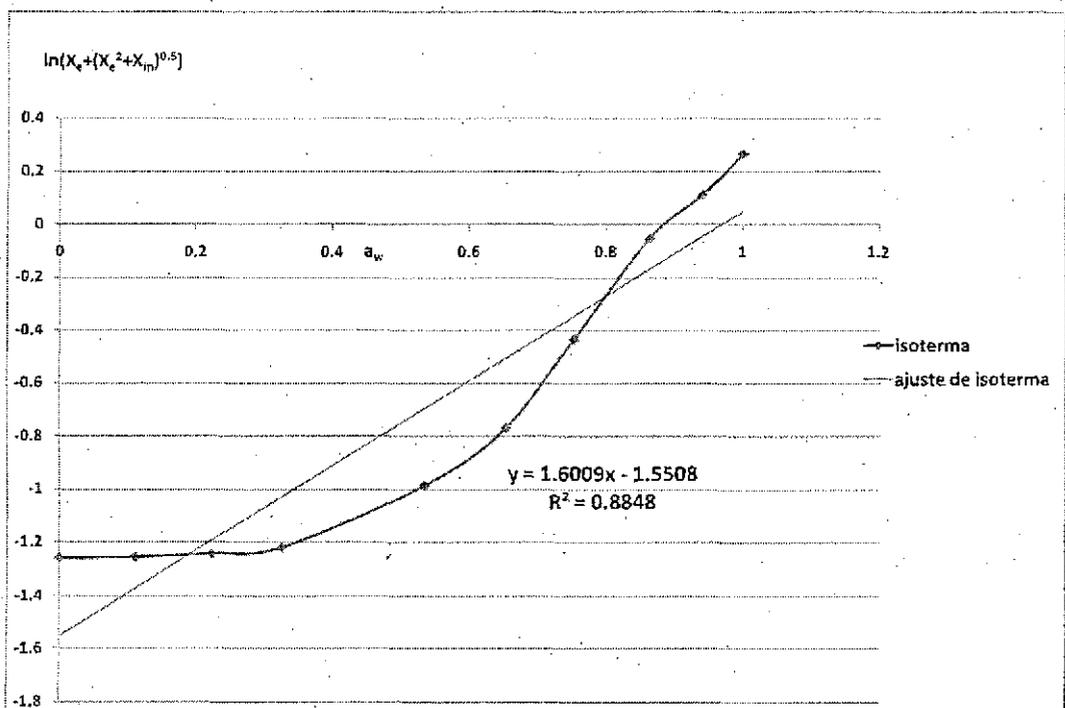
**Figura BVI.10:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar rubia a 50°Brix en la primera corrida.



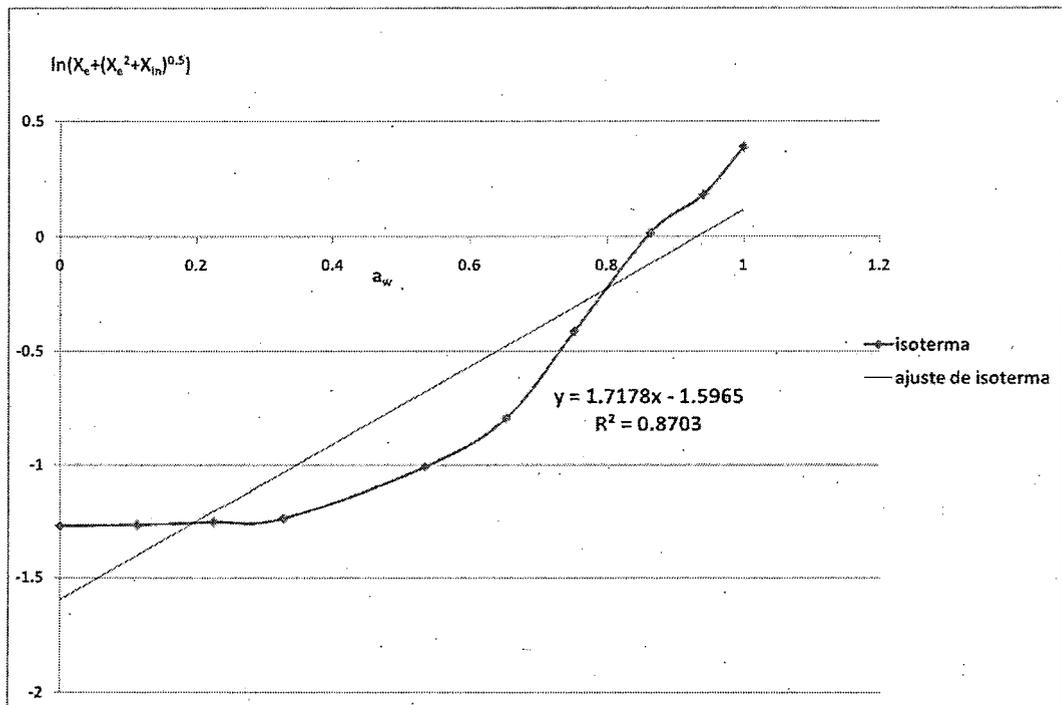
**Figura BVI.11:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar rubia a 50°Brix en la segunda corrida.



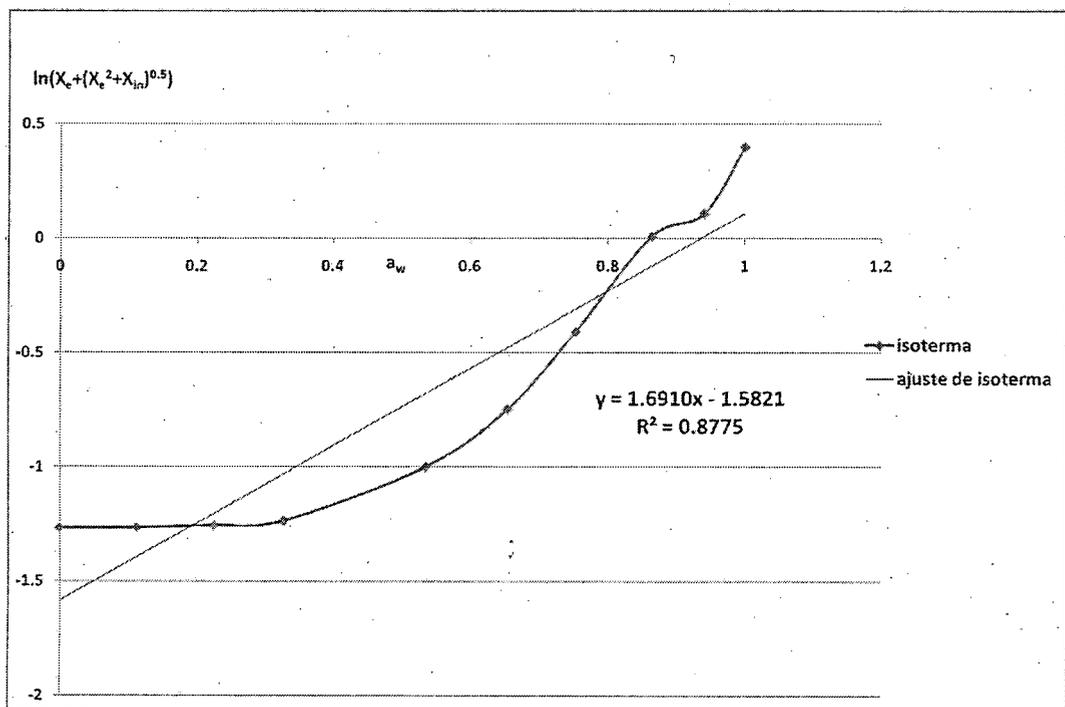
**Figura BVI.12:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar rubia a 50°Brix en la tercera corrida.



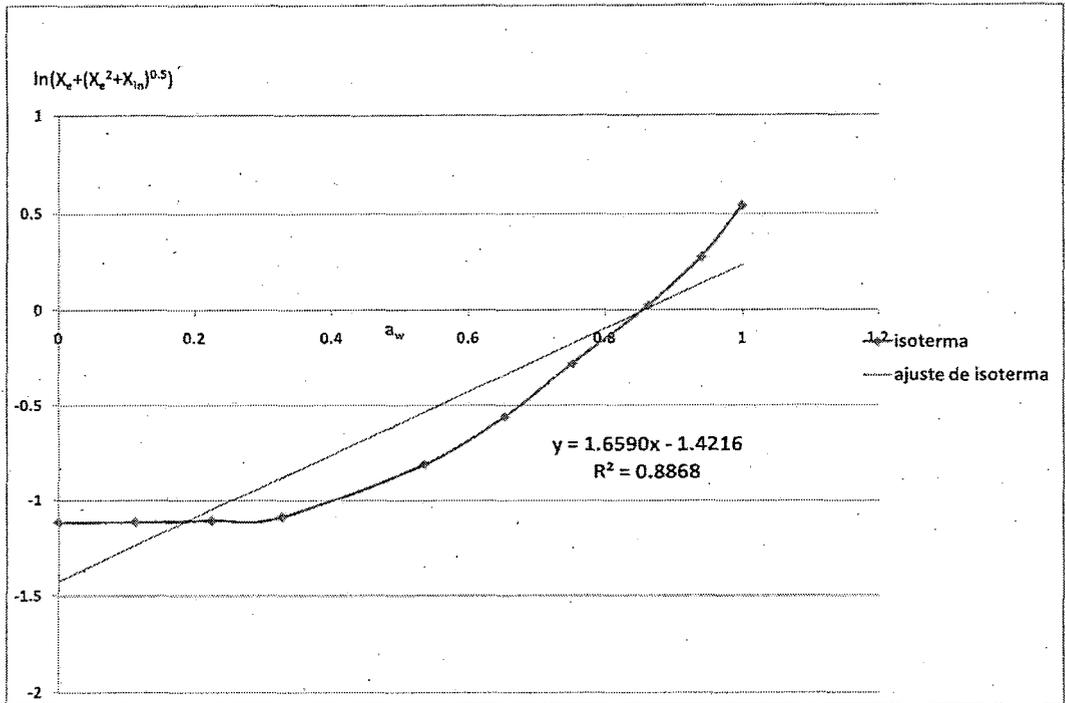
**Figura BVI.13:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar rubia a 60°Brix en la primera corrida.



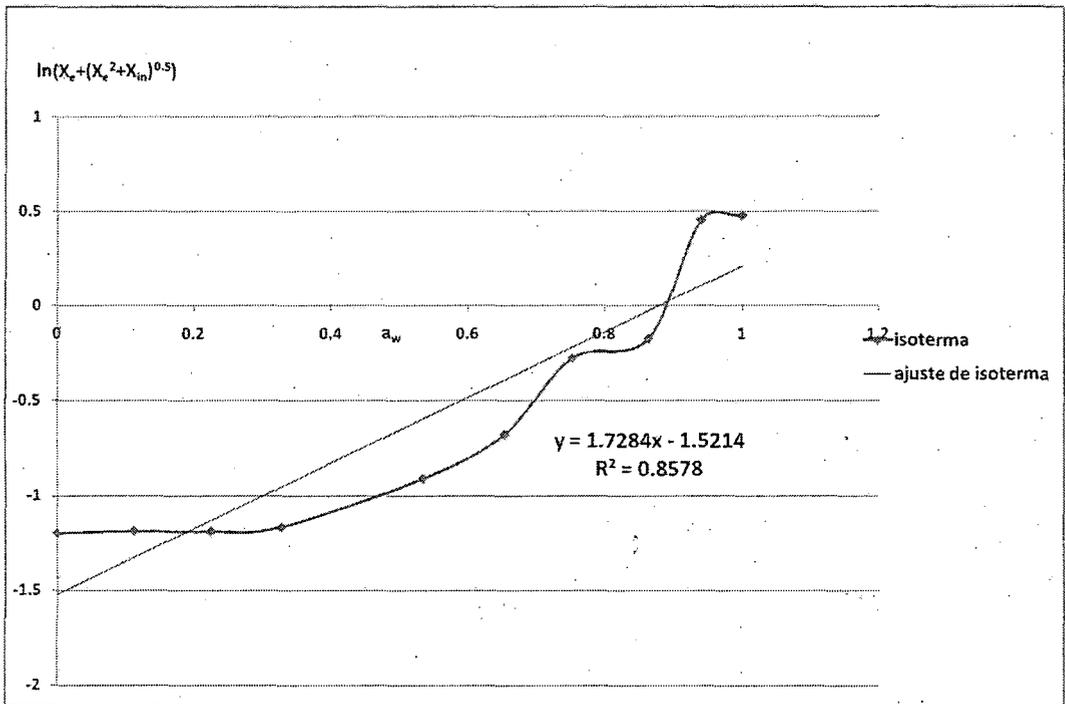
**Figura BVI.14:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar rubia a 60°Brix en la segunda corrida.



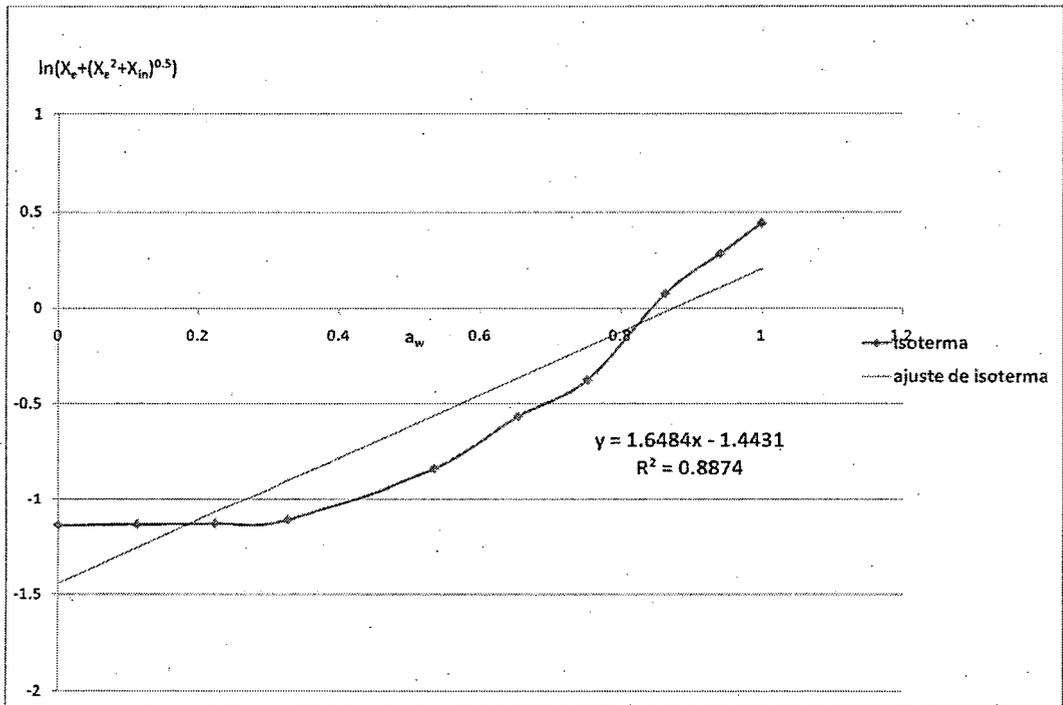
**Figura BVI.15:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar rubia a 60°Brix en la tercera corrida.



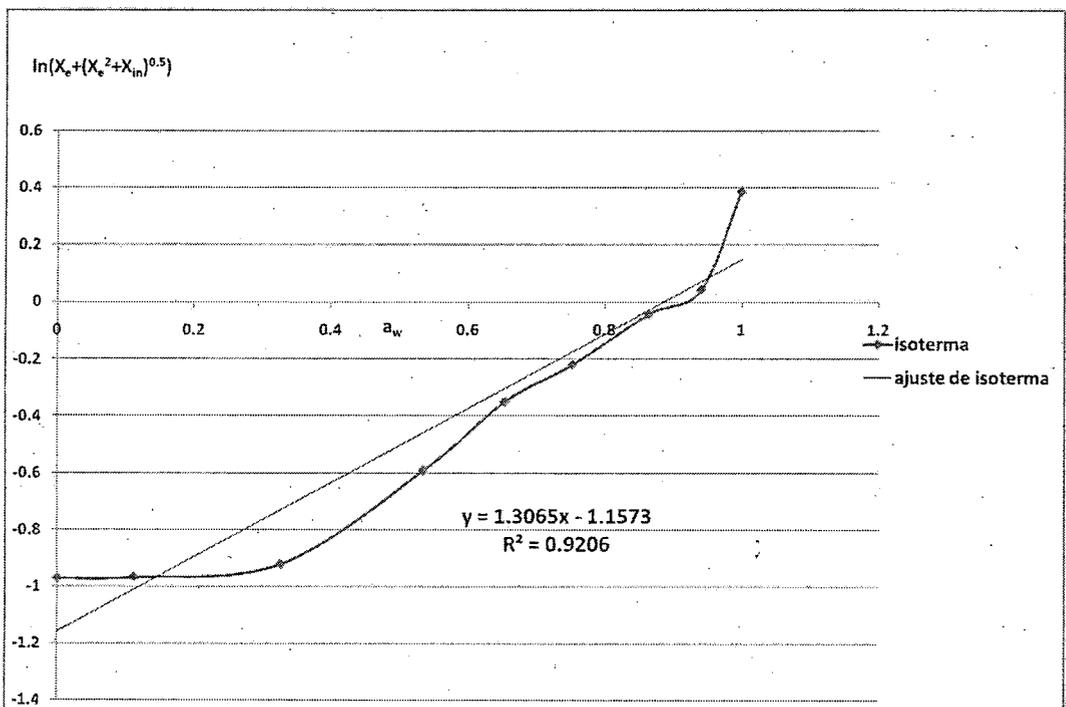
**Figura BVI.16:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar rubia a 70°Brix en la primera corrida.



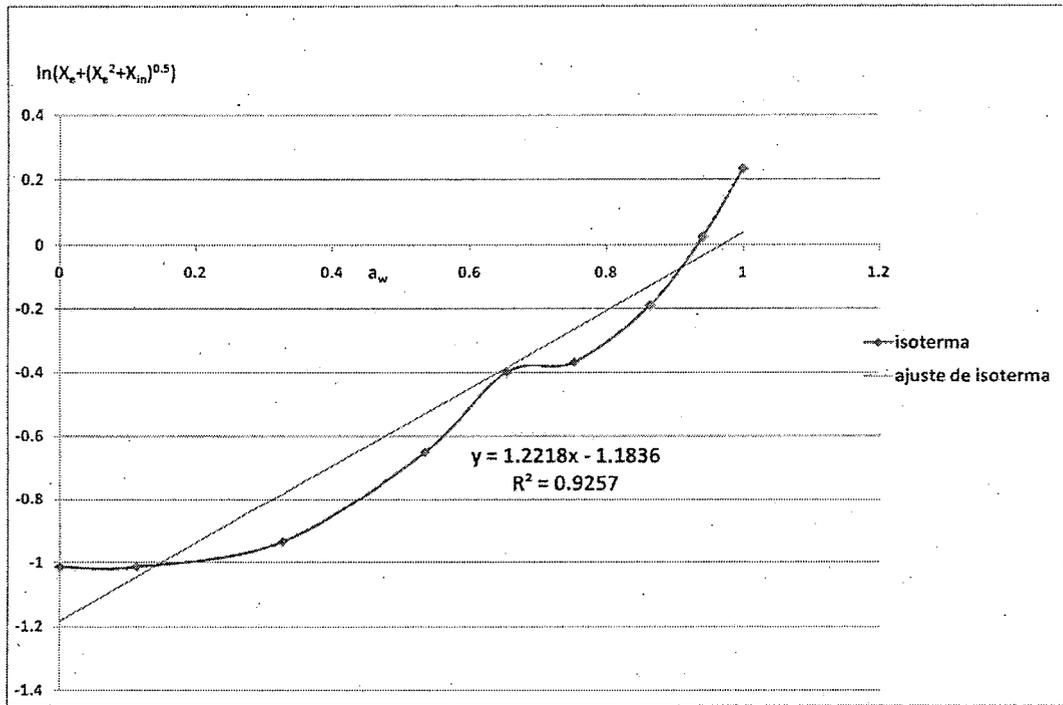
**Figura BVI.17:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar rubia a 70°Brix en la segunda corrida.



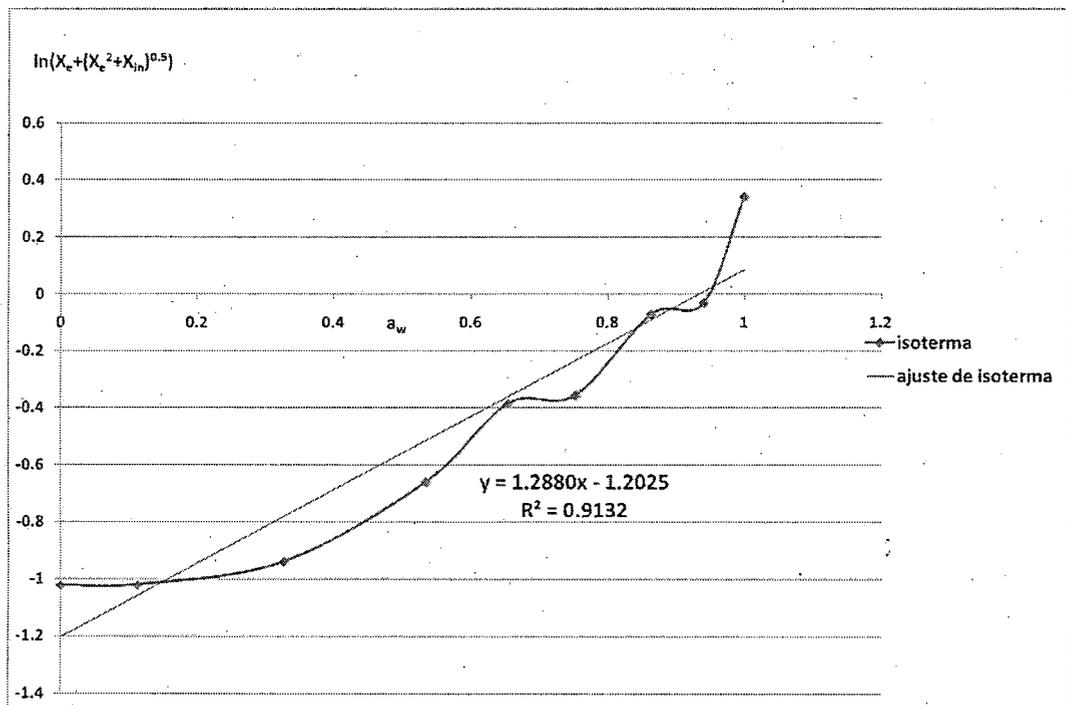
**Figura BVI.18:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar rubia a 70°Brix en la tercera corrida.



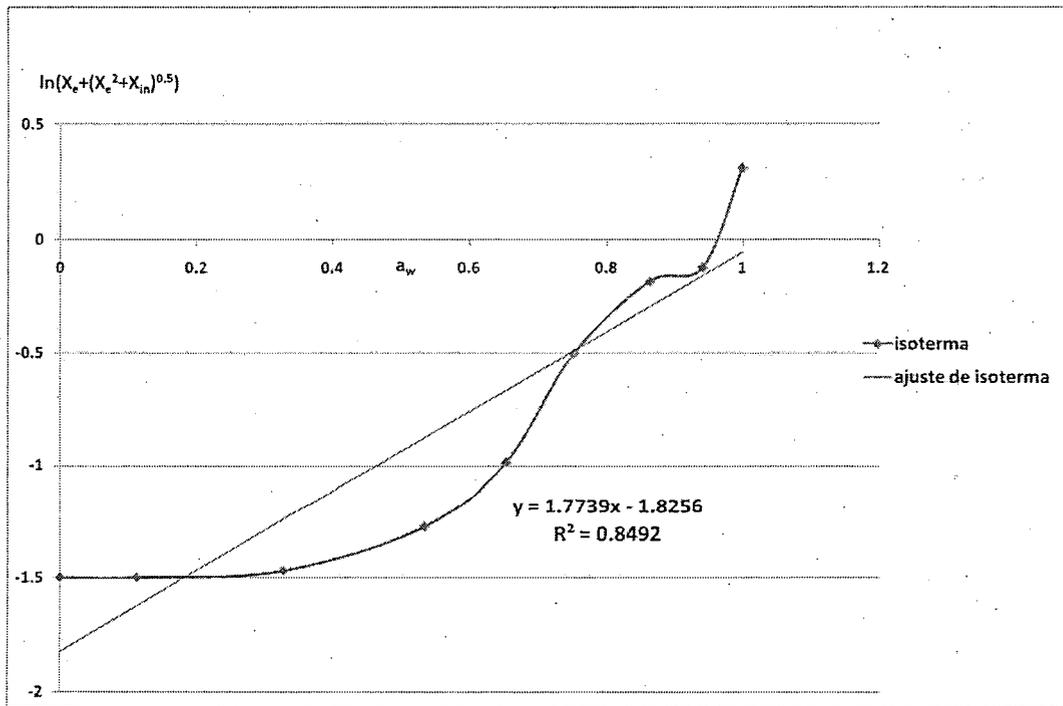
**Figura BVI.19:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar invertida a 50°Brix en la primera corrida.



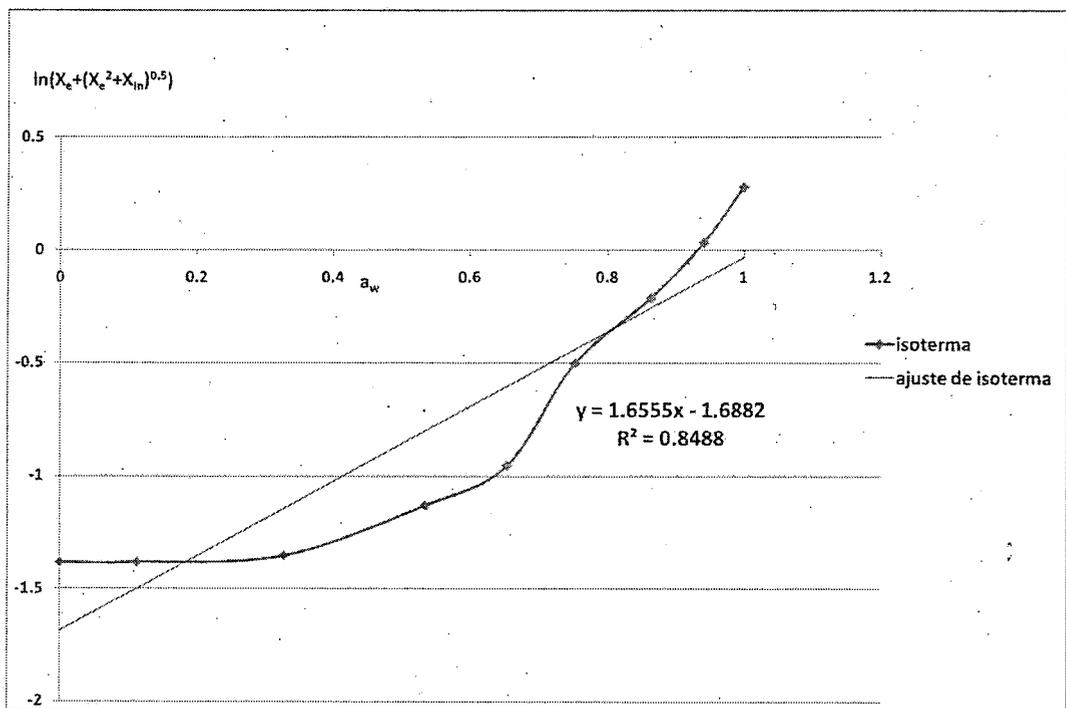
**Figura BVI.20:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar invertida a 50°Brix en la segunda corrida.



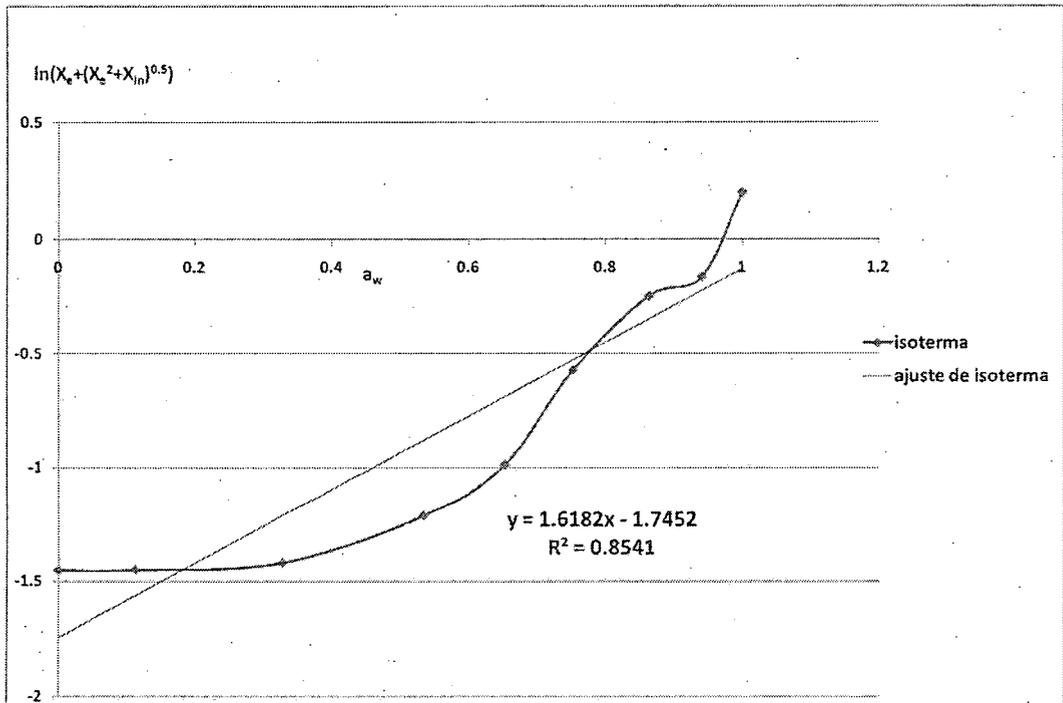
**Figura BVI.21:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar invertida a 50°Brix en la tercera corrida.



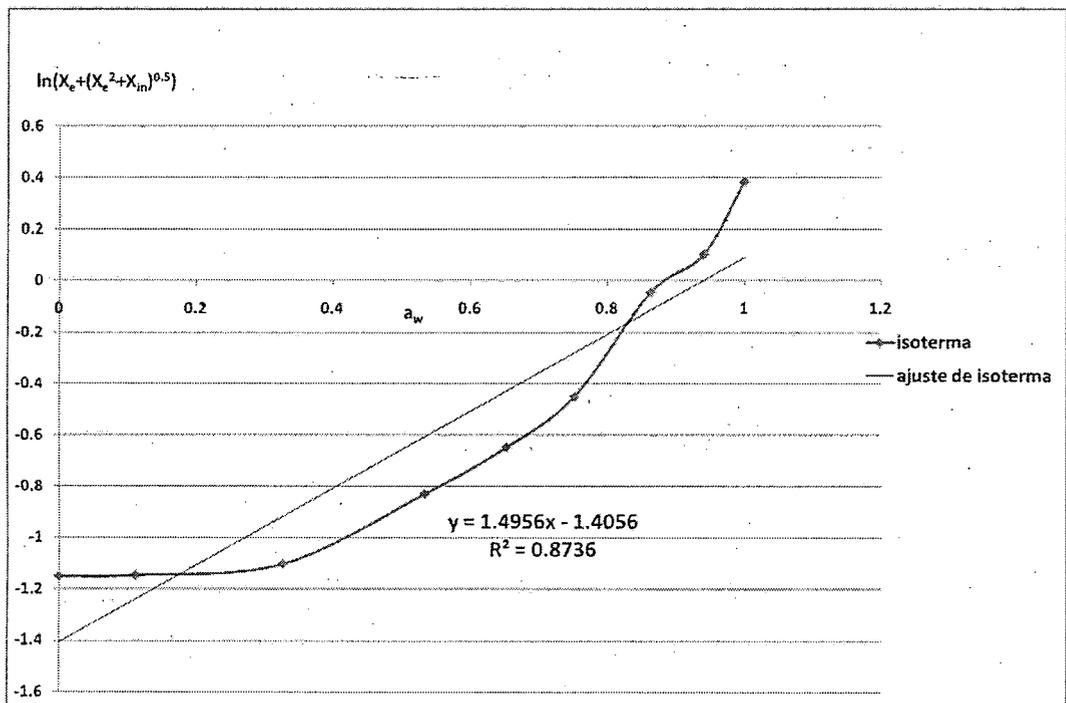
**Figura BVI.22:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar invertida a 60°Brix en la primera corrida.



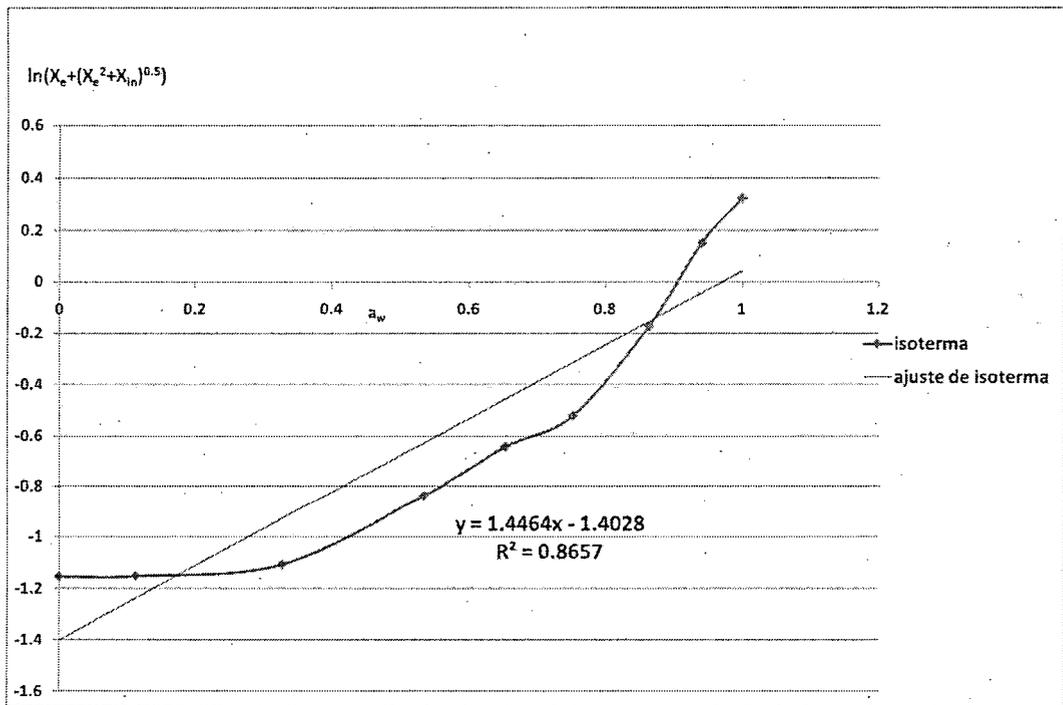
**Figura BVI.23:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar invertida a 60°Brix en la segunda corrida.



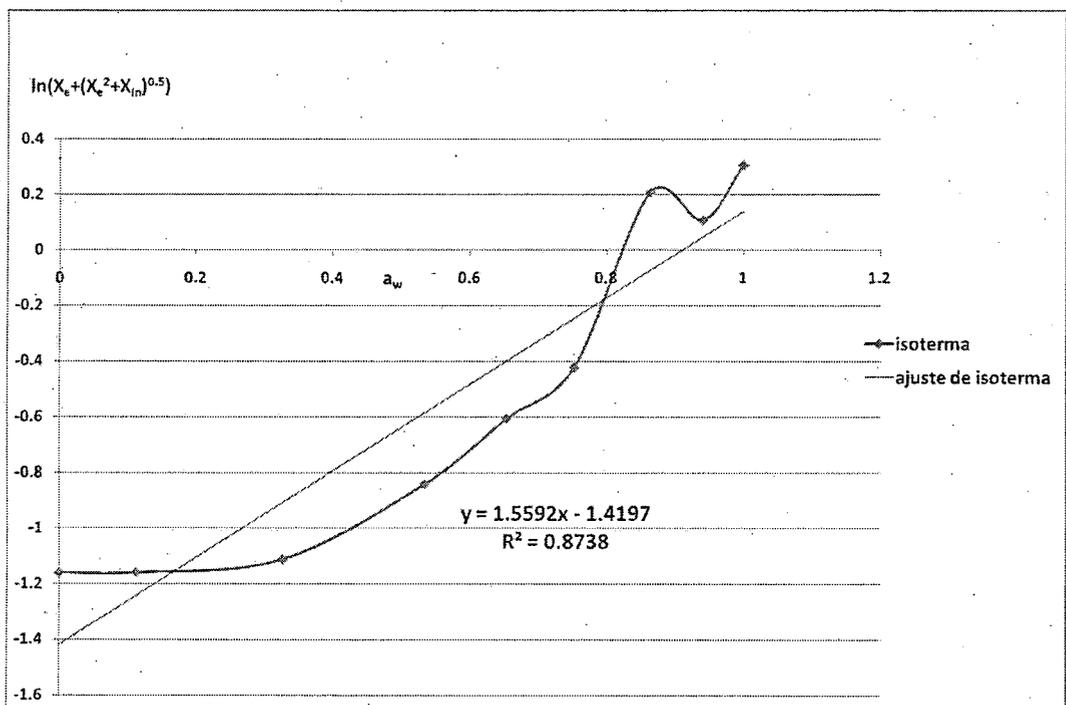
**Figura BVI.24:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar invertida a 60°Brix en la tercera corrida.



**Figura BVI.25:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar invertida a 70°Brix en la primera corrida.



**Figura BVI.26:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se uso jarabe de azúcar invertida a 70°Brix en la segunda corrida.



**Figura BVI.27:** Evaluación con la ecuación Iglesias-Chirife de la isoterma de las slides osmodeshidratada de carambola cuando se usó jarabe de azúcar invertida a 70°Brix en la tercera corrida.

## ANEXO VII

**Resultados experimentales de los análisis de las slides osmodeshidratada de carambola obtenidas de la deshidratación.**

**Tabla AVII.1:** Resultados experimentales del análisis de humedad de las slides osmodeshidratada de carambola.

tratamiento	peso placa	peso muestra	peso placa y muestra	% humedad	%de humedad promedio
AB 50	44,5096	3,5455	47,3162	2,58	18,66
AB 50	36,0034	3,7268	39,0154	19,18	
AB 50	35,4148	2,7913	37,7608	15,95	
AB 60	44,6613	2,8013	47,2050	9,20	10,12
AB 60	40,7320	4,4623	44,6768	11,60	
AB 60	38,3688	3,4298	41,4708	9,56	
AB 70	37,4509	3,7026	39,2686	50,91	22,14
AB 70	45,1075	3,6521	48,3835	10,30	
AB 70	55,1101	4,0194	58,9195	5,22	
AR 50	42,2222	2,4260	44,2587	16,06	17,62
AR 50	35,4899	2,8828	37,8219	19,11	
AR 50	41,1991	2,7058	43,4259	17,70	
AR 60	42,9029	2,6909	45,2351	13,33	13,20
AR 60	34,2069	2,3054	36,2531	11,24	
AR 60	40,6101	3,0346	43,1894	15,02	
AR 70	43,5163	2,6947	45,8778	12,37	13,32
AR 70	49,0525	2,8032	51,4231	15,43	
AR 70	43,9442	3,4552	46,9790	12,17	
AI 50	34,1593	2,2911	36,0657	16,79	18,14
AI 50	41,1834	2,3120	42,9855	22,05	
AI 50	52,3916	2,5591	54,5522	15,57	
AI 60	42,8687	2,4832	45,2109	5,68	5,72
AI 60	43,8272	2,4719	46,1413	6,38	
AI 60	52,1967	3,1028	55,1414	5,10	
AI 70	44,8070	3,7371	48,1508	10,52	9,49
AI 70	49,0671	3,4412	52,3648	4,17	
AI 70	44,4222	4,1144	47,9704	13,76	

AB: Jarabe de azúcar blanca.

50: 50°Brix

AR: Jarabe de azúcar rubia.

60: 60°Brix

AI: Jarabe de azúcar invertido.

70: 70°Brix

**Tabla AVII.2:** Resultados de la determinación de pH de las slides osmodeshidratada de carambola.

TRATAMIENTO	pH	TOTALES DE pH	pH PROMEDIO
AB 50	2,890	8,63	2,88
AB 50	2,880		
AB 50	2,860		
AB 60	3,100	9,34	3,11
AB 60	3,080		
AB 60	3,160		
AB 70	3,230	9,70	3,23
AB 70	3,250		
AB 70	3,220		
AR 50	2,790	8,41	2,80
AR 50	2,800		
AR 50	2,820		
AR 60	3,120	9,38	3,13
AR 60	3,150		
AR 60	3,110		
AR 70	3,260	9,34	3,28
AR 70	3,300		
AR 70	3,280		
AI 50	2,830	8,44	2,81
AI 50	2,800		
AI 50	2,810		
AI 60	2,820	8,43	2,81
AI 60	2,810		
AI 60	2,800		
AI 70	2,840	8,50	2,83
AI 70	2,810		
AI 70	2,850		

AB: Jarabe de azúcar blanca.

50: 50°Brix

AR: Jarabe de azúcar rubia.

60: 60°Brix

AI: Jarabe de azúcar invertido.

70: 70°Brix

**Tabla AVII.3:** Resultados experimentales del análisis de acidez de las slides osmodeshidratada de carambola.

TRATAMIENTO	PESO DE MUESTRA	GASTO DE NaOH 0,1N	% ACIDEZ	TOTAL DE % DE ACIDEZ	% ACIDEZ PROMEDIO
AB 50	3,0000	19	0,44	1,31	0,44
AB 50	3,0000	18	0,42		
AB 50	3,0000	19	0,44		
AB 60	3,0000	20	0,47	1,47	0,49
AB 60	3,0000	22	0,51		
AB 60	3,0000	21	0,49		
AB 70	3,0000	16	0,37	1,17	0,39
AB 70	3,0000	18	0,42		
AB 70	3,0000	16	0,37		
AR 50	3,0000	28	0,65	1,89	0,63
AR 50	3,0000	26	0,61		
AR 50	3,0000	27	0,63		
AR 60	3,0000	15	0,35	1,07	0,36
AR 60	3,0000	14	0,33		
AR 60	3,0000	17	0,40		
AR 70	3,0000	19	0,44	1,19	0,40
AR 70	3,0000	15	0,35		
AR 70	3,0000	17	0,40		
AI 50	3,0000	76	1,78	5,30	1,77
AI 50	3,0000	77	1,80		
AI 50	3,0000	74	1,73		
AI 60	3,0000	68	1,59	4,74	1,58
AI 60	3,0000	66	1,54		
AI 60	3,0000	69	1,61		
AI 70	3,0000	82	1,92	5,72	1,91
AI 70	3,0000	80	1,87		
AI 70	3,0000	83	1,94		

AB: Jarabe de azúcar blanca.

50: 50°Brix

AR: Jarabe de azúcar rubia.

60: 60°Brix

AI: Jarabe de azúcar invertido.

70: 70°Brix

**Tabla AVII.4:** Resultados experimentales de la determinación de la actividad de agua de las slides osmodeshidratada de carambola.

tratamiento	$a_w$	$a_w$ promedio
AB 50	0,636	0,64
AB 50	0,632	
AB 50	0,638	
AB 60	0,617	0,62
AB 60	0,620	
AB 60	0,618	
AB 70	0,634	0,64
AB 70	0,635	
AB 70	0,638	
AR 50	0,614	0,61
AR 50	0,611	
AR 50	0,610	
AR 60	0,580	0,58
AR 60	0,582	
AR 60	0,580	
AR 70	0,608	0,61
AR 70	0,609	
AR 70	0,610	
AI 50	0,613	0,61
AI 50	0,610	
AI 50	0,615	
AI 60	0,574	0,57
AI 60	0,563	
AI 60	0,559	
AI 70	0,554	0,54
AI 70	0,540	
AI 70	0,538	

AB: Jarabe de azúcar blanca.

50: 50°Brix

AR: Jarabe de azúcar rubia.

60: 60°Brix

AI: Jarabe de azúcar invertido.

70: 70°Brix

**Tabla AVII.5:** Resultados experimentales del análisis de vitamina C de las slides osmodeshidratada de carambola.

TRATAMIENTO	ABSORBANCIA L1	ABSORBANCIA L2	VITAMINA C (mg)	VITAMINA C PROMEDIO
AB 50	0,4829	0,4331	90,68	88,54
AB 50	0,4829	0,4351	85,32	
AB 50	0,4829	0,4335	89,61	
AB 60	0,4637	0,4343	35,95	34,88
AB 60	0,4637	0,4352	33,54	
AB 60	0,4637	0,4346	35,15	
AB 70	0,4709	0,4281	71,90	70,74
AB 70	0,4709	0,4290	69,49	
AB 70	0,4709	0,4285	70,83	
AR 50	0,4858	0,4367	88,80	88,00
AR 50	0,4858	0,4366	89,34	
AR 50	0,4858	0,4378	85,85	
AR 60	0,4723	0,4441	32,73	32,11
AR 60	0,4723	0,4449	30,59	
AR 60	0,4723	0,4440	33,00	
AR 70	0,4649	0,4424	17,44	17,26
AR 70	0,4649	0,4430	15,83	
AR 70	0,4649	0,4420	18,51	
AI 50	0,4749	0,4358	61,98	61,62
AI 50	0,4749	0,4365	60,10	
AI 50	0,4749	0,4355	62,78	
AI 60	0,4589	0,4231	53,12	51,96
AI 60	0,4589	0,4240	50,71	
AI 60	0,4589	0,4235	52,05	
AI 70	0,4632	0,4259	57,15	56,61
AI 70	0,4632	0,4254	55,80	
AI 70	0,4632	0,4260	56,88	

AB: Jarabe de azúcar blanca.

50: 50°Brix

AR: Jarabe de azúcar rubia.

60: 60°Brix

AI: Jarabe de azúcar invertido.

70: 70°Brix

**Tabla AVII.6:** Resultados experimentales de la determinación de la tonalidad (tono) de las slides osmodeshidratada de carambola por colorimetría instrumental.

TRATAMIENTO	a	b	TONO	TONO PROMEDIO
AB 50	17, 2100	40, 5000	57,71	57,58
AB 50	16, 8900	40, 9900	57,88	
AB 50	17, 0500	40, 1000	57,15	
AB 60	8, 3200	32, 2400	40,56	40,62
AB 60	8, 2100	32, 0100	40,22	
AB 60	8, 3400	32, 7500	41,09	
AB 70	7, 3500	27, 3800	34,73	34,15
AB 70	7, 0500	27, 0400	34,09	
AB 70	7, 5100	26, 1200	33,63	
AR 50	16, 3300	30, 6600	46,99	46,68
AR 50	16, 0100	31, 0300	47,04	
AR 50	15, 8700	30, 1400	46,01	
AR 60	14, 0000	34, 5000	48,50	48,89
AR 60	14, 5800	35, 0100	49,59	
AR 60	14, 2900	34, 2900	48,58	
AR 70	11, 0300	33, 5700	44,60	44,50
AR 70	11, 2400	32, 9900	44,23	
AR 70	11, 5000	33, 1600	44,66	
AI 50	16, 7200	29, 7700	46,49	46,73
AI 50	16, 8800	30, 0700	46,95	
AI 50	16, 2500	30, 5100	46,76	
AI 60	12, 2600	35, 1300	47,39	47,73
AI 60	12, 0300	35, 8100	47,84	
AI 60	12, 9700	34, 9800	47,95	
AI 70	19, 6200	37, 6000	57,22	56,43
AI 70	18, 8600	36, 9500	55,81	
AI 70	19, 0700	37, 1900	56,26	

AB: Jarabe de azúcar blanca.

50: 50°Brix

AR: Jarabe de azúcar rubia.

60: 60°Brix

AI: Jarabe de azúcar invertido.

70: 70°Brix

**Tabla AVII.7:** Resultados experimentales de la determinación de la saturación de las slides osmodeshidratada de carambola por colorimetría instrumental.

TRATAMIENTO	a	b	SATURACION	PROMEDIO DE SATURACION
AB 50	17, 2100	40, 5000	44,00	43,97
AB 50	16, 8900	40, 9900	44,33	
AB 50	17, 0500	40, 1000	43,57	
AB 60	8, 3200	32, 2400	33,30	33,38
AB 60	8, 2100	32, 0100	33,05	
AB 60	8, 3400	32, 7500	33,80	
AB 70	7, 3500	27, 3800	28,35	27,82
AB 70	7, 0500	27, 0400	27,94	
AB 70	7, 5100	26, 1200	27,18	
AR 50	16, 3300	30, 6600	34,74	34,57
AR 50	16, 0100	31, 0300	34,92	
AR 50	15, 8700	30, 1400	34,06	
AR 60	14, 0000	34, 5000	37,23	37,44
AR 60	14, 5800	35, 0100	37,92	
AR 60	14, 2900	34, 2900	37,15	
AR 70	11, 0300	33, 5700	35,34	35,10
AR 70	11, 2400	32, 9900	34,85	
AR 70	11, 5000	33, 1600	35,10	
AI 50	16, 7200	29, 7700	34,14	34,40
AI 50	16, 8800	30, 0700	34,48	
AI 50	16, 2500	30, 5100	34,57	
AI 60	12, 2600	35, 1300	37,21	37,43
AI 60	12, 0300	35, 8100	37,78	
AI 60	12, 9700	34, 9800	37,31	
AI 70	19, 6200	37, 6000	42,41	41,90
AI 70	18, 8600	36, 9500	41,48	
AI 70	19, 0700	37, 1900	41,79	

AB: Jarabe de azúcar blanca.

50: 50°Brix

AR: Jarabe de azúcar rubia.

60: 60°Brix

AI: Jarabe de azúcar invertido.

70: 70°Brix

**Tabla AVII.8:** Resultados experimentales de la determinación de la luminosidad de las slides osmodeshidratada de carambola por colorimetría instrumental.

TRATAMIENTO	LUMINOSIDAD	LUMINUSIDAD PROMEDIO
AB 50	49,58	49,34
AB 50	48,89	
AB 50	49,56	
AB 60	61,92	61,39
AB 60	60,87	
AB 60	61,38	
AB 70	53,81	53,68
AB 70	53,27	
AB 70	53,97	
AR 50	43,02	43,05
AR 50	42,88	
AR 50	43,25	
AR 60	50,94	50,57
AR 60	50,56	
AR 60	50,21	
AR 70	53,82	53,57
AR 70	53,11	
AR 70	53,77	
AI 50	36,86	36,64
AI 50	36,84	
AI 50	36,22	
AI 60	52,34	52,16
AI 60	51,98	
AI 60	52,17	
AI 70	42,36	42,30
AI 70	42,01	
AI 70	42,54	

AB: Jarabe de azúcar blanca.

50: 50°Brix

AR: Jarabe de azúcar rubia.

60: 60°Brix

AI: Jarabe de azúcar invertido.

70: 70°Brix

## ANEXO VIII

**Resultados experimentales de los análisis de las slides osmodeshidratada de carambola obtenidas de la deshidratación.**

**Tabla AVIII.1:** Resultados experimentales de la evaluación sensorial del olor de las slides osmodeshidratada de carambola.

TRATAMIENTO	Evaluación	OLOR	TOTALES DE OLOR	OLOR PROMEDIO
AB 50	A	50,00	165,00	55,00
	B	60,00		
	C	55,00		
AB 60	A	50,00	170,00	56,67
	B	60,00		
	C	60,00		
AB 70	A	70,00	180,00	60,00
	B	60,00		
	C	50,00		
AR 50	A	50,00	160,00	53,33
	B	50,00		
	C	60,00		
AR 60	A	50,00	160,00	53,33
	B	50,00		
	C	60,00		
AR 70	A	50,00	170,00	56,67
	B	60,00		
	C	60,00		
AI 50	A	50,00	170,00	56,67
	B	70,00		
	C	50,00		
AI 60	A	70,00	215,00	71,67
	B	75,00		
	C	70,00		
AI 70	A	70,00	210,00	70,00
	B	80,00		
	C	60,00		

AB: Jarabe de azúcar blanca.

50: 50°Brix

AR: Jarabe de azúcar rubia.

60: 60°Brix

AI: Jarabe de azúcar invertido.

70: 70°Brix

**Tabla AVIII.2:** Resultados experimentales de la evaluación sensorial del sabor de las slides osmodeshidratada de carambola.

TRATAMIENTO	Evaluación	SABOR	TOTALES DE SABOR	SABOR PROMEDIO
AB 50	A	75,00	200,00	66,67
	B	75,00		
	C	50,00		
AB 60	A	80,00	240,00	80,00
	B	80,00		
	C	80,00		
AB 70	A	60,00	215,00	71,67
	B	75,00		
	C	80,00		
AR 50	A	80,00	215,00	71,67
	B	70,00		
	C	65,00		
AR 60	A	80,00	240,00	80,00
	B	80,00		
	C	80,00		
AR 70	A	85,00	235,00	78,33
	B	70,00		
	C	80,00		
AI 50	A	75,00	205,00	68,33
	B	70,00		
	C	60,00		
AI 60	A	75,00	235,00	78,33
	B	80,00		
	C	80,00		
AI 70	A	70,00	220,00	73,33
	B	80,00		
	C	70,00		

AB: Jarabe de azúcar blanca.

50: 50°Brix

AR: Jarabe de azúcar rubia.

60: 60°Brix

AI: Jarabe de azúcar invertido.

70: 70°Brix

**Tabla AVIII.3:** Resultados experimentales de la evaluación sensorial del color de las slides osmodeshidratada de carambola.

TRATAMIENTO	EVALUACION	COLOR	TOTALES DE COLOR	COLOR PROMEDIO
AB 50	A	80,00	210,00	70,00
	B	60,00		
	C	70,00		
AB 60	A	60,00	210,00	70,00
	B	75,00		
	C	75,00		
AB 70	A	75,00	230,00	76,67
	B	80,00		
	C	75,00		
AR 50	A	80,00	220,00	73,33
	B	75,00		
	C	65,00		
AR 60	A	75,00	215,00	71,67
	B	60,00		
	C	80,00		
AR 70	A	80,00	240,00	80,00
	B	80,00		
	C	80,00		
AI 50	A	80,00	190,00	63,33
	B	60,00		
	C	50,00		
AI 60	A	80,00	240,00	80,00
	B	80,00		
	C	80,00		
AI 70	A	70,00	215,00	71,67
	B	70,00		
	C	75,00		

AB: Jarabe de azúcar blanca.

50: 50°Brix

AR: Jarabe de azúcar rubia.

60: 60°Brix

AI: Jarabe de azúcar invertido.

70: 70°Brix

**Tabla AVIII.4:** Resultados experimentales de la evaluación sensorial de la textura de las slides osmodeshidratada de carambola.

TRATAMIENTO	EVALUACION	TEXTURA	TOTALES DE TEXTURA	TEXTURA PROMEDIO
AB 50	A	80,00	200,00	66,67
	B	60,00		
	C	60,00		
AB 60	A	70,00	220,00	73,33
	B	70,00		
	C	80,00		
AB 70	A	60,00	210,00	70,00
	B	70,00		
	C	80,00		
AR 50	A	70,00	195,00	65,00
	B	60,00		
	C	65,00		
AR 60	A	50,00	205,00	68,33
	B	75,00		
	C	80,00		
AR 70	A	75,00	210,00	70,00
	B	70,00		
	C	65,00		
AI 50	A	90,00	205,00	68,33
	B	65,00		
	C	50,00		
AI 60	A	60,00	210,00	70,00
	B	75,00		
	C	75,00		
AI 70	A	60,00	190,00	63,33
	B	70,00		
	C	60,00		

AB: Jarabe de azúcar blanca.

50: 50°Brix

AR: Jarabe de azúcar rubia.

60: 60°Brix

AI: Jarabe de azúcar invertido.

70: 70°Brix