



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**“ELABORACIÓN DE ALCOHOL ETÍLICO A PARTIR
DE *OPUNTIA FICUS*”**

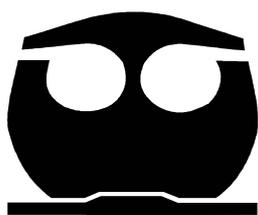
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

QUÍMICO DE ALIMENTOS

PRESENTA:

VICTOR OSWALDO SUÁREZ REYES



MÉXICO, D. F.

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado asignado:

Presidente Prof. JESÚS TORRES MERINO

Vocal Prof. MARÍA LUISA GALICIA PINEDA

Secretario Prof. MARCO ANTONIO LEON FELIX

1er sup. Prof. LUIS ORLANDO ABRAJAN VILLASEÑOR

2do sup. Prof. LUIS MEDINA TORRES

Sitio en donde se desarrollo el tema:

Laboratorio de Ingeniería Química cubículo 7 Facultad de Química CU

Asesor: Dr. Torres Merino Jesús

Sustentante: Suárez Reyes Víctor Oswaldo

Los que sembraron con lagrimas, con regocijo segarán.

Salmo 126:5

A mi madre, mujer virtuosa y que sin duda
la fuerza y el honor son sus vestiduras.
Y, a mi familia, que me ha impulsado a seguir

Sin duda este proyecto no se entendería sin todas las personas, que han formado parte del contexto de mi vida algunas me han asombrado y otras me han animado por lo que:

A todas aquellas persona que me han marcado en esta etapa de mi vida, y de quienes me he sentido alentado para seguir, gracias por el cariño, la sinceridad y por su amistad.

Agradezco al Doctor Torres Merino, por el apoyo brindado durante su asesoría, también por la paciencia demostrada en todo momento. Animo Doctor.

A Omar por haberme ayudado en la parte experimental.

A Erandi por su comprensión en momentos de cambio sin duda has dejado huella en mí ser y por el cariño que emerge de ti para mi, a José por atreverse a confiar en mi, espero no haberte decepcionado. A Liz, por su ligereza para ver la vida. A Rak, por su frescura y alegría gracias por hacerme reír, A Yuri por su ejemplo de templanza. A Daniel por ser buen cuate. A ti Melita, por tu fuerza y carácter.

A Pablo, por el consejo más que oportuno, por la instrucción, ejemplo de integridad y generosidad. A Benji y Cin por impulsarme a soñar, a Henel y Denise por apoyarme a cumplir la comisión encomendada, pero también por su apreciable cariño. A Angie por sus oraciones, a Eri por tu sincera amistad. A la familia Maldonado, por regresarme de nuevo al redil, que importante fue eso, sin duda alguna.

A Monce, Armando y Pablo, por su entrañable amistad, a Pepe y Pris, por sus palabras duras pero necesarias y su capacidad de expresar su sentir para conmigo A Karla por tu desinteresada amistad. Al Dave, Israel (Elmo), Dioni, Agus, Lalo, Israel (Diesel) porque de ustedes muchachos he aprendido tanto, y me han enseñado el valor de un amigo como nadie más.

A mi hermosa familia, a la memoria de mi abue Lupita por instruirme en el camino del Señor, a mi abuelo Daniel por los conocimientos transmitidos, a mi tío Xavier, por enseñarme a trabajar y por el cariño que has brindado cuando fue necesario, a mis tías Bety, Lupita, Irma y Adriana, por todo el amor mostrado hacía mi. A mi tío Gil y a mi tía Ali, por la pureza de su cariño y que sin duda me inspiran por su valentía.

A la memoria de mi padre y el gran amor mostrado para mi. A mi hermano Fabian, por su apoyo en mucho tiempo el Señor te recompensará, a mi hermano Jesús por soportarme, respetarme y quererme tan sinceramente, a mi madre por todo el apoyo mostrado, nunca me presionaste, y eso es de admirarse, por tu fuerza y sabiduría para tomar decisiones, por tu cariño y amor.

Y sobre todo gracias a mi Señor, el poderoso de Israel, por permitirme conocer a las personas ya mencionadas, pero también por guiarme y guardarme, bajo la sombra de tus alas he hallado el refugio anhelado por mi alma y en los momentos más oscuros siempre esta tu Luz admirable, para animarme.

Gracias por todo Señor Jesús.

Le pido al Señor los bendiga, El haga resplandecer su rostro sobre ustedes, y les llene de su completa paz

Índice

	Pág.
Antecedentes	5
Resumen	6
Introducción	8
Capítulo I “Opuntia Ficus (tuna)”	9
Capítulo II “Fermentación”	26
Capitulo III “Destilación”	39
Experimentación	55
Metodología	57
Resultados	63
Análisis de resultados	78
Conclusión	83
Perspectivas	85
Bibliografía	86
Anexos	89

ANTECEDENTES

Resumen

La tuna es un fruto de gran importancia en el campo mexicano el cual tiene una producción anual de 489,500 toneladas, pese a esto, no se ha aprovechado debido a la falta de tecnificación en las zonas productoras, por lo que, un proyecto tecnológico que impulse el aprovechamiento de este fruto redundaría en beneficio de los productores.

La tuna tiene excelentes ventajas sobre otros frutos, entre ellas que se puede cultivar en zonas áridas, o semi áridas, es una fruta de gran aceptación popular, su producción no requiere mucha inversión, ya que las necesidades de riego son muy bajas.

Ahora bien, debido a la falta de tecnificación del campo mexicano, no se han desarrollado procesos tecnológicos, que redundarían en el aprovechamiento de la tuna por lo que se esperaba que un proyecto que impulse una alternativa para el aprovechamiento del fruto, aportaría un valor importante en beneficio del productor.

Este trabajo consistió en obtener alcohol etílico, a partir de la fermentación de la pulpa de tuna, con el uso de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Posteriormente se realizó una destilación para recuperar el alcohol producido por la fermentación ya mencionada y con el fin de obtener mayor grado de pureza se realizó una rectificación.

Éste es un proyecto que puede dar una alternativa para los productores y a su vez ellos puedan tener un mayor beneficio al que actualmente se le tiene

Objetivos

- Obtener alcohol etílico, producido por la fermentación de la tuna utilizando *S. cerevisiae* , mediante el proceso de destilación.
- Obtener alcohol etílico con el máximo nivel de pureza, por medio de la rectificación.
- Con el alcohol obtenido se pretende presentar una alternativa para el aprovechamiento de éste fruto, que a su vez se refleje en un beneficio, para los productores, a nivel económico.

Introducción

La tuna es el fruto del nopal. En náhuatl, el fruto del nopal se nombra nochtli. Los españoles nombraron a este fruto tuna, que es una palabra del caribe, del arahuaco taíno.

El fruto es poco aprovechado a nivel tecnológico, por lo cual la gran mayoría es comercializado en fresco, una de las grandes ventajas que presenta este fruto es que no necesita grandes cantidades de agua durante su crecimiento, el periodo de crecimiento abarca entre los 80 y los 90 días aproximadamente.

La fermentación es un proceso de generación de ATP (trifosfato de adenosina) que no requiere la participación de cadenas de electrones bajo condiciones aerobias. La fermentación que nos concierne en este tipo de trabajo es la alcohólica, que es típica del metabolismo anaerobio de la glucosa, cabe recordar que la tuna contiene glucosa.

La destilación es un método para separar los componentes de una solución; depende de la distribución de las sustancias entre una fase gaseosa y una líquida, y se aplica a los casos en que todos los componentes están presentes en las dos fases, estos separados por la diferencia de los puntos de ebullición.

La levadura *S. cerevisiae* es una especie que es de gran utilidad a nivel industrial, tanto para la elaboración de bebidas alcohólicas, como para la elaboración de pan, debido a su gran utilidad actualmente es obtenida de diversas fuentes, que van desde el pulque, jugos de fruta, quesos (Zinsser, 1986)

CAPÍTULO I

OPUNTIA FICUS

(T U N A)

La tuna es el fruto del nopal. En náhuatl, el fruto del nopal se nombra nochtli. Los españoles nombraron a este fruto tuna, que es una palabra del caribe, del arahuaco taíno.

La tuna es una baya unicelular carnosa. La pulpa es un pseudo parénquima formado por los folículos alargados de las semillas que contienen azúcares y otros componentes. No existe diferenciación entre pericarpio, mesocarpio y endocarpio. La parte carnosa de la cáscara es mucilaginoso, también de constitución, celular parenquematosa. El pericarpio de la tuna está provisto de pequeños tubérculos aislados repartidos proporcionalmente, las cuales por lo general tienen numerosas espinas. La tuna es un fruto succulento y tiene pocos estomas, presentan aguates (espinas pequeñas) que le ayudan a conservar humedad.

Las semillas se encuentran proporcionalmente repartidas en todo el volumen de la pulpa. Cada semilla con sus funículos forma una unidad globular, las cuales estrechamente unidas entre si, forman la globosidad de la pulpa. El número, forma y tamaño de las semillas varía según la especie en cuestión.

La tuna tarda en madurar aproximadamente 6 meses; esto se reconoce por un cambio de color. Para cortar el fruto, se toma por la parte media inferior, se le da un giro mayor a 90° y se inclina para separarlo del nopal, pues la tuna esta asentada sin péndulo en las pencas y un corte inadecuado puede causar heridas en la base de la tuna. La recolección debe realizarse antes de la época de lluvias, , pues si la fruta ya está madura y no se ha cosechado para entonces, al día siguiente de haber llovido, con la alta radiación, se provoca la dilatación de la tuna, y a su vez cuarteadoras.

La cantidad de tuna producida por cada penca es variable, siendo normal encontrar de una a diez tunas por raqueta. Cuando las condiciones de humedad y fertilidad del suelo son óptimas, se pueden encontrar más de treinta tunas por penca. El peso promedio de la tuna es variable, y esto es debido a la gran diversidad de especies que hay de esta. En el cuadro 1.1 se presentan variedades que se consumen en nuestro país, así como el porcentaje de la composición en general.

Cuadro 1.1 Rendimiento de las principales variedades comerciales de tuna, en nuestro país.

Variedad	Peso total del fruto (g)	%Semilla	% Cáscara	% Porción comestible.
Reyna	140	3.46	35.4	62
Cristalina	216	2.59	43.41	54
Esmeralda	136	3.60	33.4	63
Burrona	169	4.44	33.56	62
Chapeada	133	3.79	45.21	51
Fafayuco	145	3.03	48.97	48
Naranjota	135	3.67	36.33	60
Centenario	112	3.54	32.46	64
Amarilla	159	2.64	39.36	58
Roja pelona	184	3.4	35.96	61
Charola	67	4.16	39.84	56
Cardona	83	3.56	50.44	46

Datos obtenidos de Candelario, citado en el trabajo de tesis de Moreno, 1999

Clasificación

Las clasificaciones están realizadas pensando en que la tuna se consume en fresco, así que no hay una clasificación para la tuna pensada para procesarse a nivel industrial.

En el cuadro 1.2 Flores (2002) desarrolló su propia clasificación, la cual concuerda con los requisitos generales que presenta la actual norma mexicana. Así mismo este autor utiliza un lenguaje que es muy común al momento

Cuadro 1.2. Grados de calidad tomados del trabajo de investigación de Flores

GRADOS DE CALIDAD	DIÁMETRO EN CM	CARACTERÍSTICAS
Primera	5.5 o más	Homogénea en forma y grado de madurez
Segunda	4.8 a 5.5	Fruta madura sin magulladuras ni deformaciones
Tercera	4 a 4.7	Frutas con magulladuras, pero sin afectar la pulpa.

Análisis fisicoquímico de la tuna.

En el cuadro 1.3 se presenta la composición química de la tuna en forma general

Cuadro 1.3 Composición química de la tuna

Componente	Porcentaje %
Humedad	81.0-91.00%
Carbohidratos	6.00-14.00%
Grasas	0.10%
Proteínas	0.10-1.21%
Cenizas	0.30-0.70%
Fibra cruda	1.50-2.85%
Calcio	25.00-40.00mg
Fósforo	39.00mg
Fierro	0.45mg
Carbonatos	0.08mg
Tiamina	0.01mg
Riboflavina	0.03mg
Niacina	0.20-0.4mg
Ac. Ascórbico.	13.50-42.00mg
Aporte energético	38Kcal/100g.

Fuente: Tesis de Moreno 1999

La composición química de la tuna depende de la variedad, el clima, riqueza del suelo, el período de cosecha, y el grado de madurez. Existe escasa información

sobre la composición química y características sensoriales de las distintas variedades de tunas cultivadas en México. Por lo que solo se han hecho estudios para las siguientes variedades: Reyna, Cardona, Castilla.(Moreno 1999) las diferencias observadas se presentan en el cuadro 1.4

Cuadro 1.4 Parámetros fisicoquímicos para diferentes variedades de Tuna. Porción comestible en Base Húmeda.

ANÁLISIS	CARDONA ¹	CASTILLA ²	EGIPCIA SPP ³
%Humedad	86.6	85.8	85.1
%Proteínas	0.722	0.21	0.8
%Extracto etereo	0.172	0.12	0.7
%Fibra cruda	0.223	0.02	0.1
%Pectina	0.0515	0.19	-
%Carbohidratos reductores directos	10.420	12.8	-
%Carbohidratos reductores totales	11.970	12.8	-
%Cenizas	0.260	0.44	0.4
pH	5.35	5.75	5.8
%acidez titulable	0.052	0.18	-
⁰ Bx	15.5	14.2	13.2

1Escamilla et.al;1977

2.Sawaya et.al 1983_b

3 Askar 1981

Fuente: Tesis de Moreno 1999

Del cuadro 1.4 se puede observar la diferencia de °Bx (grados Brix) entre las tunas, en la variedad de Cardona se presenta mayor cantidad de °Bx, con respecto a las variedades restantes. Sin embargo en la variedad de Castilla se encuentra mayor porcentaje de azúcares reductores.

Con respecto a los principales azúcares que tiene la tuna, los cuales son glucosa y fructosa como en la mayoría de los vegetales, Sawaya reporta una proporción aproximada de 60-40 , siendo la glucosa el azúcar predominante.

El pH de la tuna se encuentra dentro del intervalo de 5.2 a 6 por supuesto esto depende de la variedad, y también del grado de madurez, este pH se encuentra alto con respecto al pH de otros frutos.

Contenido energético y aporte nutrimental.

EL contenido energético, de la tuna es bajo si se le compara con el contenido energético, de la naranja, la manzana y el durazno, esto no quiere decir que su contenido energético sea despreciable , pues en algunos lugares, sobre todo en el campo donde se produce, se constituye como uno de los principales alimentos.(Orta 1977 citado por Moreno 1999)

La pulpa de la tuna, contiene algunos ácidos orgánicos, sales y minerales, los cuales se pueden observar en el cuadro 1.5

Cuadro1.5 Comparativo de la porción comestible de la tuna y otras frutas. Nutrición (1988), y U. de Guadalajara (1990). Las cuales fueron citadas en la tesis de Agredano, 1995.

PORCIÓN COMESTIBLE 100G	JUGO DE NARANJA	MANZANA	DURAZNO	TUNA
%Energía (kcal)	50	65	46	38
%Proteína (g)	1.0	0.3	0.9	0.3
Lisina (mg/100mgprot.)	5.28	4.00	3.68	4.00
Isoleucina (mg/100mgprot.)	2.88	5.30	1.60	4.00
Treonina (mg/100mgprot.)	1.50	3.10	3.36	4.82
Valina (mg/100mgprot.)	3.84	3.70	4.96	3.74
Leucina (mg/100mgprot.)	2.72	5.20	3.52	5.22
Trptofano (mg/100mgprot.)	0.70	0.00	0.46	0.82
Metionina (mg/100mgprot.)	1.50	1.70	3.84	0.74
Fenilalanina (mg/100mgprot.)	3.68	3.30	2.24	5.39

%Trigliceridos(g)	0.7	0.5	0.1	0.1
%Carbohidratos (g)	11.2	16.5	11.7	10.1
%Fibra (g)	0.8	2.0	-	2.4
%Calcio (mg)	46	7	16	63
%Fósforo (mg)	15	6	27	38
%Hierro (mg)	2.5	0.8	2.13	0.8
%Magnesio (mg)	-	-	-	14
%Tiamina (mg)	0.11	0.02	0.02	0.01
%Riboflavina (mg)	0.03	0.01	0.04	0.02
%Niacina (mg)	0.04	0.02	0.06	0.03
%Acido ascórbico (mg)	51	11	19	31
%Retinol (mg)	0	3	22	4

Alteraciones de la poscosecha

La tuna sufre alteraciones durante la poscosecha, las cuales se presentan en el cuadro 1.6

Cuadro 1.6 Principales alteraciones de la Tuna durante su conservación poscosecha.

ALTERACIÓN O DEFECTO
Manchas blancas
Manchas negras con ablandamiento en cáscara y en interior
Deshidratación en las áreas cercanas a la cicatriz del tallo
Puntos cafés
Deshidratación del fruto
Perdida de consistencia
Manchas pardas.

Fuente: Trabajo de investigación de Flores 2002

La mayoría de los microorganismos que son los causantes del deterioro son: los hongos, de los cuales Moreno menciona las siguientes: *Alternaria* spp. *Fusarium* spp. *Cladosporium* spp. *Penicillium italicum* y *P. digitatum*.

Países productores de tuna

Dentro de los países productores de tuna se encuentran los siguientes:

La producción de tuna se realiza alrededor de 30 países (FAO, 1995) entre los cuales figuran Chile, Argentina, Bolivia, Perú, Colombia, México, Estados Unidos, Sudáfrica, Marruecos, Argelia, Libia, Túnez, Egipto, Jordania, Pakistán, Israel, Grecia, Italia, España, y Portugal, aunque en la mayoría de ellos la tuna es un producto secundario de nopaleras dedicadas a la producción de forraje o a la conservación de suelos, siendo pocas las plantaciones especializadas, en la producción de tuna, de manera que la mayoría de los países, solo concurren a los mercados nacionales, y no participan en el mercado internacional.(Flores, 2002)

Una estimación de las superficies, rendimientos y producción obtenida en los países en donde se ha reportado el nopal se muestra en el cuadro 1.7

Cuadro 1.7 Comparativo de superficie sembrada y cosechada en diferentes países

PAÍS	SUPERFICIE (HA)	RENDIMIENTO (T/HA)	PRODUCCIÓN (T)	EXPORTACIÓN (T)	IMPORTACIÓN (T)
México	72,500	6.75	489,500	7,500	0
Italia	2,500	20.00	50,000	15,000	100
Sudáfrica	1,500	10.00	15,000	250	0
Chile	1,000	7.00	7,000	40	0
Israel	300	25.00	7,500	60	0
Colombia	200	10.00	2,000	100	0
EE.UU.	200	20.00	4,000	100	8,000
Totales	78,200	7.35	575,000	23,050	8,100

Situación actual de la tuna en México

Actualmente en México existen tres zonas productoras de tuna: la zona sur, que es integrada por el estado de Puebla, la zona centro, que esta conformada por los estados de México e Hidalgo y la centro norte, que comprende los estados de Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, San Luis Potosí y Zacatecas. Además existen pequeñas superficies dispersas en otros estados que también producen tuna, pero en baja escala. (Flores, 2002)

Las características de las tres principales zonas de producción se presentan en el cuadro 1.8

Cuadro 1.8 Características de producción de tuna de las tres zonas principales en México

CARACTERÍSTICAS	ZONA		
	Puebla	México- Hidalgo	Centro-norte.
Sistemas	Semi intensivo	Intensivo	Extensivo
Suelos			
Tipos	Cambisoles Regosoles	Feozem Vertisol	Xerosol, Feozem y Plañioslo
Textura	Arenosa o franco.	Media con duripán.	Media o ligeramente arcillosas

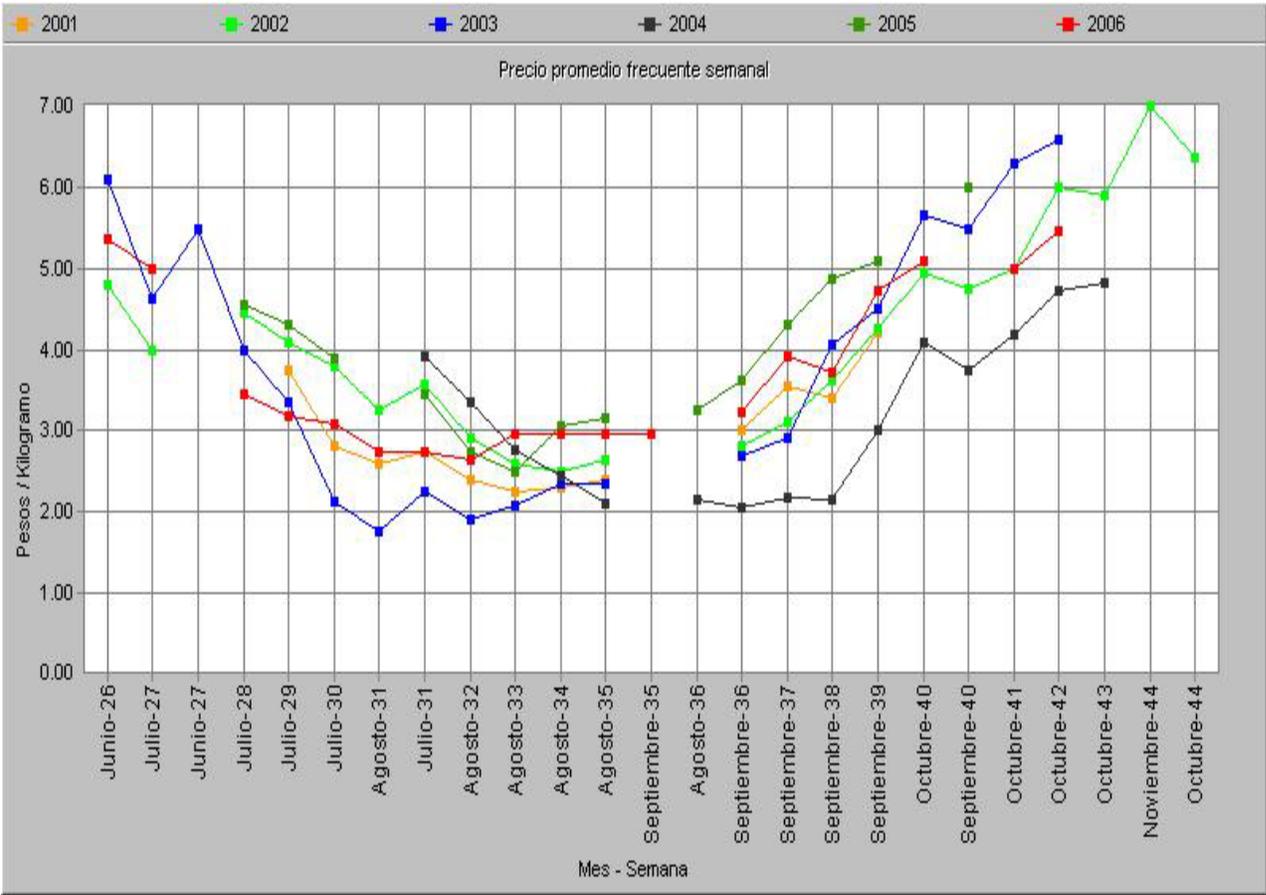
Profundidad	>50cm	20 a 100 cm	20 a 80cm
Ph	Ácido	Ácido o ligeramente alcalino	Ácido o ligeramente alcalino
Temperatura media anual	13 a 15	14 a 18	16 a 18
Periodo de heladas	No hay	Noviembre a enero	Octubre a marzo.
Fisiografía	Ladera y plano	Plano y ladera	Plano y ladera.
Variedad de tuna	V illanueva	Alfajayucan	Burrona, Montesa, Cristalina, Picochulo, Roja pelona, y Pepina.
Época de cosecha	Abril a Agosto	Julio a Septiembre.	Agosto a Octubre.
Rendimiento (t/ha)	15 a 25	10 a 15	3 a 15.

Fuente: Corrales (2000) con modificaciones del autor.

En el gráfico 1.1 se observa la variedad del precio en los últimos 5 años, en la cual podemos ver que en el mes de Agosto de todos los años el precio por kilogramo es el más bajo, este se encuentra entre los 2 y los 3 pesos aproximadamente, sin embargo este precio esta estimado en un punto de venta

que en este caso es en la Central de Abasto de Iztapalapa, del DF, sin embargo el precio al cual lo vende el productor generalmente no es mayor a los 80 centavos por kilogramo.

Grafico 1.1.Comportamiento para Tuna Blanca de primera calidad
Central de Abasto de Iztapalapa D F



Fuente: SNIIM

Precios en pesos por kg conforme a su presentación comercial													
Tuna Blanca de primera calidad													
D F: Central de Abasto de Iztapalapa D F													
Variables estadísticas							Promedios mensuales						
\$Max	\$Min	Varianza	DesEst	Origen	Presentación	Año	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
4.50	2.25	0.44	0.66	México	Caja de 20 kg.	2001		3.19	2.37	3.54			
7.00	2.25	1.48	1.22	México	Caja de 20 kg.	2002	4.80	4.02	2.72	3.50	5.64	7.00	
7.00	1.75	2.66	1.63	México	Caja de 20 kg.	2003	6.00	3.26	2.15	3.70	6.27		
5.45	2.05	1	1	México	Caja de 22 kg.	2004		3.91	2.62	2.65	4.55		
6.00	2.50	1.06	1.03	México	Caja de 20 kg.	2005		4.05	2.91	4.94			
5.91	2.50	1	1	México	Caja de 22 kg.	2006	5.36	3.64	2.85	3.85	5.14		

Fuente SN

Calidad de la tuna

La tuna debe contar con requisitos mínimos de calidad según la norma de CODEX para la tuna (Ver anexo I) que son los siguientes:

Requisitos mínimos

En todas las categorías, a reserva de las disposiciones especiales para cada categoría y las tolerancias permitidas, las tunas deberán:

- Estar enteras;
- Estar sanas, deberán excluirse los productos afectados por podredumbre o deterioro que hagan que no sean aptos para el consumo;
- Estar limpias, y prácticamente exentas de cualquier materia extraña visible;
- Estar prácticamente exentas de daños causados por plagas;
- Estar exentas de humedad externa anormal, salvo la condensación consiguiente a su remoción de una cámara frigorífica;
- Estar exentas de cualquier olor y/o sabor extraños;
- Ser de consistencia firme;
- Tener un aspecto fresco;
- Estar exentos de daños causados por bajas temperaturas;
- estar exentas de espinas;
- Estar exentas de manchas pronunciadas;
- Estar suficientemente desarrolladas y presentar un grado de madurez satisfactorio según la naturaleza del producto.

-Dependiendo de la variedad de la tuna, el receptáculo de la fruta será plano o ligeramente hundido. Las tunas deberán presentar la forma, color, sabor y olor característicos de la especie.

CAPÍTULO II

F E R M E N T A C I Ó N

Las bacterias son los sistemas que transforman la energía química y radiante en una forma biológicamente útil incluyen la respiración, la fermentación y la fotosíntesis. En la respiración el oxígeno molecular es el receptor final del electrón, mientras que en la fermentación, la molécula de alimento generalmente es degradada en fragmentos, uno de los cuales es entonces oxidado por el otro, y en la fotosíntesis la energía lumínica es convertida en energía química.

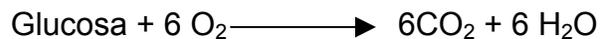
Las bacterias se dividen en dos grandes grupos, esto basándose en los requerimientos de carbono, los cuales son: bacterias autotróficas, y los microorganismos heterotróficos, las primeras requieren para su crecimiento solamente agua, sales inorgánicas, y CO₂ (dióxido de Carbono) . Por su parte los microorganismos heterótrofos son incapaces de utilizar CO₂ como única fuente carbono, y requiere que le sea suministrado en forma orgánica, este carbón en forma orgánica se encuentra en moléculas complejas, como la glucosa, los cuales actúan como dadores de electrones.

Las levaduras son microhongos que se encuentran generalmente en forma de células únicas y que se reproducen mediante gemación. En las levaduras, la envoltura celular incluye la membrana citoplásmica, constituida por lípidos, proteínas. La levadura más utilizada en las fermentaciones industriales es *Saccharomyces Cerevisiae*, sobre todo en la producción de alcohol.

Para fines de este proyecto es importante mencionar que, la fermentación es un mecanismo del metabolismo heterótrofo que produce energía, y trae como resultado la acumulación de una mezcla de productos finales, algunos más oxidados y algunos más reducidos que el sustrato. La fermentación es un mecanismo menos eficiente que la respiración, para extraer la energía de la molécula del sustrato. Cuando los microorganismos fermentan glucosa, solamente se libera una pequeña cantidad de energía, potencialmente disponible en la molécula de glucosa. Cuando los microorganismos oxidan la glucosa, completamente a CO₂ y H₂O (Agua) , se libera toda la energía, disponible, de la molécula de la glucosa:



$$\Delta G^{\circ} \text{ (grados de energía libre) } = -47 \text{ kcal/mol}^{-1}$$



$$\Delta G^{\circ} = -686 \text{ kcal /mol}^{-1}$$

Los conceptos básicos de la glucólisis están incluidos en la figura 2.1 que es el esquema de Embden-Meyerhof-Parnas,

La glucólisis consta básicamente en dos fases, en la primera la glucosa es fosforilada por ATP o PEP dependiendo del microorganismo, y clivada para formar gliceraldehído-3-PO₄ . En la segunda fase, este intermediario de 3 carbonos es convertido a ácido láctico en una serie de reacciones de oxidorreducciones que están acopladas a la fosforilación de ADP.

Glucólisis

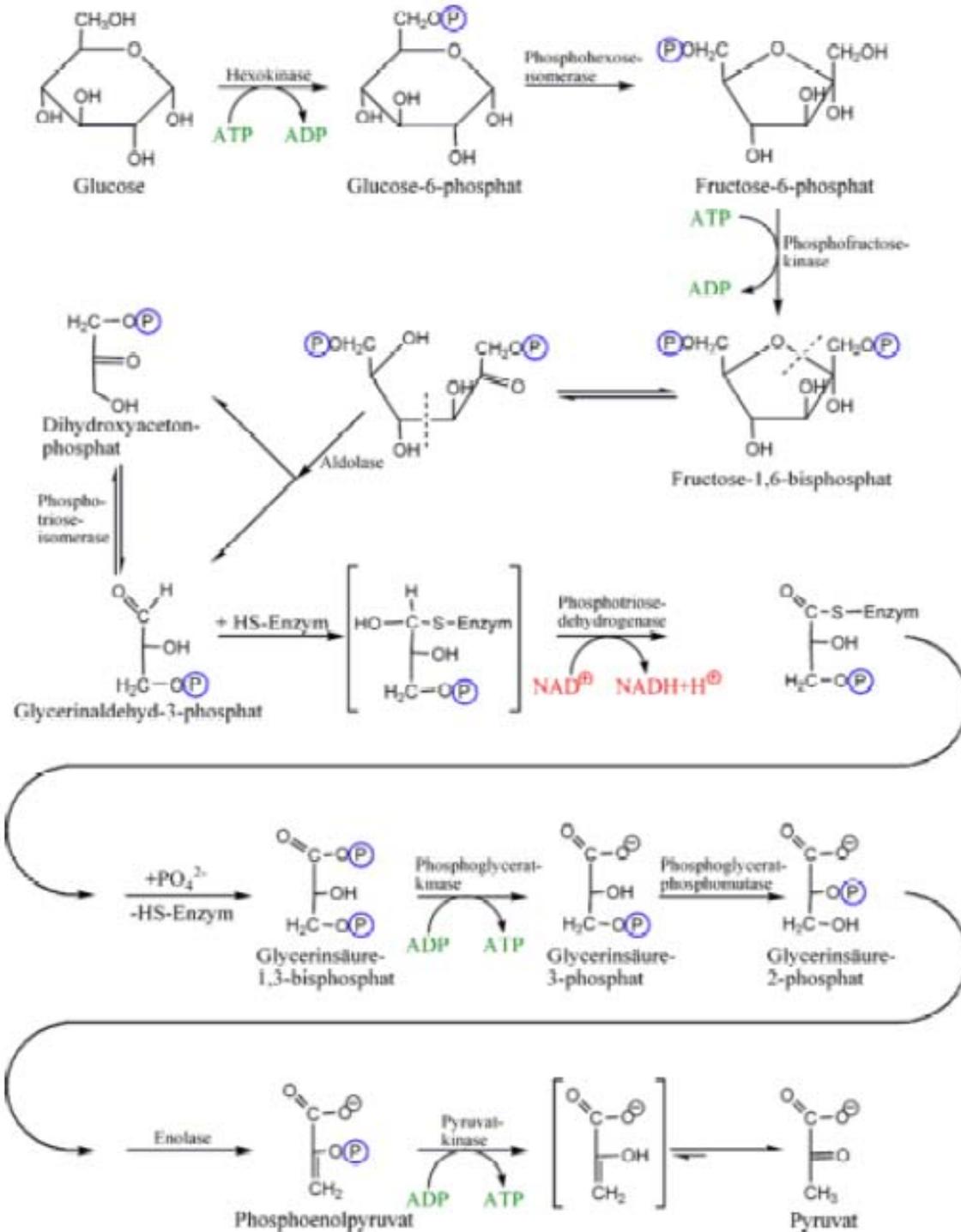


Figura 2.1 Diagrama de Embden-Meyerhof-Parnas,

Glucólisis quiere decir "quiebre" o rompimiento (lisis) de la glucosa. Es la *ruta bioquímica* principal (secuencia específica de reacciones catalizadas por enzimas que transforman un compuesto en otro) para la descomposición de la glucosa en sus componentes más simples dentro de las células del organismo. La glucólisis se caracteriza porque, si está disponible, puede utilizar oxígeno (ruta aerobia) o, si es necesario, puede continuar en ausencia de éste (ruta anaerobia), aunque a costa de producir menos energía (Lehninger, 1981)

Tiene lugar en una serie de nueve reacciones catalizadas, cada una, por una enzima específica, donde se desmiembra el esqueleto de carbonos y sus pasos se reordenan paso a paso. En los primeros pasos se requiere del aporte de energía abastecido por el acoplamiento con el sistema ATP — ADP(difosfato de adenosina). Esta serie de reacciones se realizan en casi todas las células vivientes, desde las procariotas hasta las eucariotas de nuestro cuerpo.

Primer paso: El ATP reacciona exergónicamente con la glucosa desprendiéndose un grupo fosfato que se ensambla con el glúcido para producir glucosa 6 - fosfato y ADP. El número "6" indica que el grupo fosfato se ha combinado con el carbono 6 de la glucosa, donde parte de la energía liberada por la reacción se conserva. Esta reacción es catalizada por una enzima, la hexocinasa.

Segundo Paso: La molécula se reorganiza con ayuda de la enzima fosfoglucoisomerasa, por lo que el anillo hexagonal se transforma en el anillo pentagonal de la fructosa (la que contiene la misma cantidad de carbonos pero

ubicados de otra manera) quedando el grupo fosfato en el mismo carbono por lo que se obtiene *fructosa 6 - fosfato*. La reacción puede desarrollarse en ambas direcciones pero está predispuesta en un sentido determinado por la acumulación de la glucosa 6 - fosfato y la eliminación de la fructosa 6 - fosfato al continuar la glucólisis.

Tercer Paso: es similar al primer paso ya que la fructosa 6 - fosfato gana un segundo grupo fosfato mediante la intervención de una nueva molécula de ATP. El fosfato adicional se enlaza con el primer carbono y produce *fructosa 1,6 - difosfato* en una reacción catalizada por una enzima alostérica, donde el ATP es un efector alostérico que la inhibe. La interacción entre ambos es el principal mecanismo regulador de la glucólisis. Si existe ATP en cantidades adecuadas para la vida normal de la célula, este inhibe la actividad de la enzima cesando la producción de ATP mientras que se conserva glucosa. Si la concentración de ATP es baja, la enzima se desinhibe y continúa la degradación de la glucosa.

Cuarto paso: La molécula de azúcar se escinde (divide) en dos moléculas de tres carbonos cada una: la dihidroxiacetona fosfato y el gliceraldehído fosfato. Ambas moléculas son isómeros que pueden transformarse una en otra por acción de una enzima isomerasa, pero en vista que el gliceraldehído fosfato se utiliza posteriormente, toda la dihidroxiacetona fosfato se convierte eventualmente en gliceraldehído fosfato. A partir de este punto en las reacciones debemos multiplicar por dos los productos obtenidos para tener en cuenta el destino de una molécula de glucosa.

Quinto Paso: cada gliceraldehído fosfato se oxida, con ayuda de la enzima *triosafosfato deshidrogenasa* transfiere un hidrógeno y su electrón, así reduce al NAD^+ para que acepte el hidrogeno y se transforme en NADH. Esta es la primera reacción en la que la célula obtiene energía conservándose parte de ella en la unión de un grupo fostafo con el carbono 1 de la molécula gliceraldehído fosfato, el que se transforma en 1,3 difosfoglicerato.

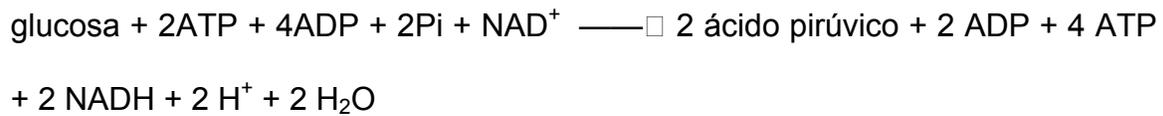
Sexto Paso: ese fosfato se libera de la molécula de difosfoglicerato con ayuda de la enzima *fosfoglicerato cinasa* y se emplea para volver a cargar una molécula de ADP (no olvidar que son dos moléculas de ATP por cada molécula de glucosa). Como esta reacción es muy exergónica arrastra a todas las reacciones para que avancen.

Séptimo paso: el grupo fosfato remanente se transfiere de la posición 3 a la 2 mediante la acción enzimática de la *fosfo gliceromutasa*.

Octavo paso: se retira una molécula de agua del compuesto de tres carbonos. Mediante este reordenamiento interno de la molécula (y con ayuda de la enzima *enolasa*) concentra energía en la vecindad del grupo fosfato.

Noveno paso: el fosfato se transfiere a una molécula de ADP y forma otra molécula de ATP (recordar que se obtienen dos) y finalmente tenemos al ácido pirúvico. Esta reacción (catalizada por la *piruvato cinasa*) también es muy exergónica, de modo que arrastra a las dos reacciones precedentes.

Así que de una molécula de glucosa se tienen dos moléculas de ácido pirúvico, dos moléculas de ATP (se invierten dos moléculas de ATP y se obtienen cuatro) y dos moléculas de NADH.



En presencia de oxígeno, la etapa siguiente a la degradación de la glucosa entraña la oxidación del ácido pirúvico a dióxido de carbono (CO₂) y agua en un proceso denominado respiración celular.

Destino del piruvato bajo condiciones anaerobias.

La fermentación de la glucosa se inicia siempre por una fosforilación a expensas del ATP, para producir glucosa-6-PO₄. El ácido pirúvico derivado de la glucosa-6-PO₄ es un intermediario clave en el metabolismo fermentativo de todos los hidratos de carbono. Las fermentaciones bacterianas son de importancia práctica porque proveen productos de valor industrial y son útiles para la identificación de las especies bacterianas. Hay diferentes tipos de fermentaciones, las cuales son la homoláctica, la heteroláctica, la propiónica, la ácida mixta, la butanodiólica la butírica, la de compuestos orgánicos nitrógenados.

De las fermentaciones anteriores, las lácticas y las alcohólicas son de las que más se hacen uso, en la industria de alimentos, pero abundaremos más en la fermentación alcohólica que es la que en este caso nos interesa.

El tipo de fermentación más viejo que se conoce es la producción de etanol a partir de la glucosa. En las levaduras que realizan la fermentación alcohólica casi pura, el alcohol surge de la descarboxilación del ácido pirúvico con formación de acetaldehído y dióxido de carbono. El acetaldehído es reducido entonces a etanol por alcohol deshidrogenasa, y el NADH es vuelto a oxidar.

En la figura 2.2 se observa la ruta que pueden ser las causantes de la producción de acetaldehído primeramente y posteriormente el alcohol

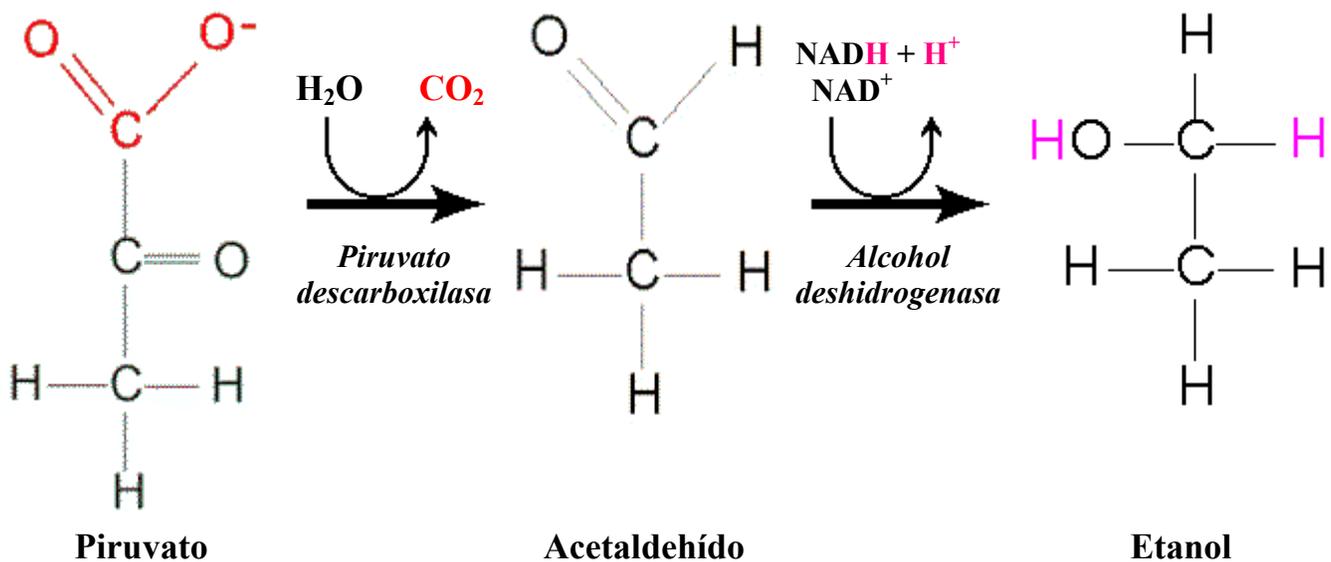


Figura 2.2 Ruta alcohólica

Saccharomyces Cerevisiae.

La utilización de las levaduras como ingredientes en la elaboración del pan, y en la fabricación de la cerveza se conoce desde el año cuatro mil antes de Cristo, Se han usado levaduras por sus capacidades fermentadoras para transformar almidón o azúcares y dar el alcohol y el dióxido de carbono, que son importantes en la industria actual. Solamente se cultivan de manera comercial, los géneros *Saccharomyces*, *Candida*, y *Kluyveromyces*. Las levaduras se clasifican como activas e inactivas, las primeras son las que se utilizan en la fermentación. Las inactivas, también denominadas levaduras secas, son no fermentativas y se emplean sobre todo como componentes nutricionales y como saborizantes. (Lee 1996)

Ward, hace mención de que el 96 % de la fermentación del etanol se lleva a cabo por *Saccharomyces*, como ya se ha mencionado anteriormente el etanol se produce por la ruta Embden-Meyerhof-Parnas, la reacción global es la siguiente:



El rendimiento teórico de 1g de glucosa es de 0.51 g de etanol y 0.49 g de CO₂. El ATP formado se utiliza para las necesidades energéticas de la célula.

En este proyecto se utilizó la levadura *S. cerevisiae*, por lo que en las siguientes líneas, se presentan algunas generalidades acerca de esta levadura.

Saccharomyces cerevisiae es una especie de muy amplia distribución, que sólo ha sido registrada para el pulque, además de otras bebidas fermentadas, como lo son el pozol, el tepache, el colonche, entre otras. También tiene un uso en la industria panadera.

Las levaduras son organismos unicelulares , eucariontes, que se reproducen vegetativamente por gemación y sexualmente por ascosporas, la *S. cerevisiae* es clara, sin color, normalmente en forma esférica, u ovoide, pero pueden ser elipsoidales, notoriamente alargadas o también cilíndricas dependiendo de las condiciones en que fueron desarrolladas. Su tamaño se estima entre 8-10 micrones; pudiendo presentarse solas, en racimos o en masas. Cuando son teñidas con yodo tiene un color amarillo-café, en cambio al teñirse con cristal violeta y safranina, su coloración va de violeta hasta rojo.

Cuadro 2.1 Clasificación de la *Saccharomyces cerevisiae*:

DIVISIÓN: ASMASTIGOMYCOTA
Clase:Ascomycetes
Subclase.Hemiascomycetidae
Orden: Endomicetales
Familia: Saccharomomycetaceae
Subfamilia:Saccharomycoideae
Género: <i>Saccharomyces</i>

Fuente Zinsser, 1986, con modificaciones del autor

Esta levadura posee una buena cantidad de aminoácidos, entre otros compuestos contiene carbohidratos, grasas, y vitaminas del complejo B, ; cuenta además con nucleína, lecitina, 5-fosfato de guanosina y diastasas principalmente. Algunos de los elementos que contiene son Fósforo, Potasio, Fierro, Cobre, Zinc, y Cobalto. En el cuadro 2.2 se presentan algunos datos de la composición.

Cuadro 2.2 Composición de la levadura *S. cerevisiae*

VITAMINA	SACCHAROMYCES CEREVISIAE MG/G
Tiamina	136.0
Riboflavina	28.0
Ácido nicotínico	525.0
Pirodoxina	40.0
Ácido pantoténico	695
Ácido fólico	3.5
Biotina	1.0
Ácido p- aminobenzoíco	5.0
Colina	3800.0
Inositol	3900.0

Fuente Zinsser, 1986

Las levaduras son consideradas como organismos heterótrofos; este tipo de microorganismos no pueden utilizar directamente el CO₂ atmosférico para sus funciones metabólicas y por lo tanto requieren de una fuente de carbono reducida como la glucosa. A las levaduras también se les considera organismos quimiótrofos, es decir son organismos capaces de obtener su energía solamente a través de reacciones de oxido reducción. En resumen es un organismo

quimiorganótrofos que son los que requieren fuente carbono y una fuente de energía producida por reacciones redox

Esta levadura es muy utilizada actualmente en la industria cervecera, y en la industria de producción de pan, en el presente trabajo, se utilizó esta levadura,

CAPÍTULO III

D E S T I L A C I Ó N

La destilación es un método para separar los componentes de una solución; depende de la distribución de las sustancias entre una fase gaseosa y una fase líquida, y se aplica a los casos en que los componentes estén presentes en las dos fases. Son claras las ventajas de un método de separación como éste. En la destilación, la nueva fase difiere de la original por su contenido calorífico, pero el calor se incrementa o se elimina sin dificultad; por supuesto, debe considerarse inevitablemente el costo de aumentarlo o eliminarlo. Por otra parte las operaciones de absorción desorción, que dependen de introducir una situación extraña, proporcionan una nueva disolución, que a su vez quizá tendría que separarse mediante alguno de los procesos difusivos, a menos que la nueva solución fuera útil directamente (Treybal, 1988)

Al mismo tiempo la destilación posee ciertas limitaciones como procesos de separación. En la absorción u operaciones similares, en donde se ha acordado introducir una sustancia extraña para obtener una nueva fase con fines de distribución, sin embargo en la destilación no se tiene posibilidad de elección.

No obstante, la separación directa que comúnmente es posible por destilación, en productos puros que no requieren procesamiento posterior, talvez se ha hecho de ésta la más importante de todas las operaciones de transferencia de masa.

Los métodos de destilación se aplican con éxito si se comprenden los equilibrios que existen entre la fase vapor y la fase líquida de las mezclas encontradas, por lo que explicaremos un poco acerca de los equilibrios en mezclas binarias.

Para esto resulta imprescindible realizar una breve explicación acerca de los diagramas de fase presión-temperatura-concentración, inicialmente se van a considerar las mezclas binarias, las cuales Treybal llama “ordinarias”, para indicar

que los componentes líquidos se disuelven en cualquier proporción para formar soluciones homogéneas, las cuales no son necesariamente ideales y que no hay complicación alguna de puntos de ebullición máximos o mínimos.

La figura 3.1 muestra un diagrama de temperatura-composición a presión constante para una mezcla binaria miscible. El eje de la X es el eje de la composición, El convencionalismo aceptado es graficar el constituyente más volátil o con el punto de ebullición bajo que incremente en composición en la dirección X positiva. Ya que están presentes solo dos componentes, las composiciones de ambos se conocen si establecemos las concentraciones de uno de ellos. (Hines, 1987)

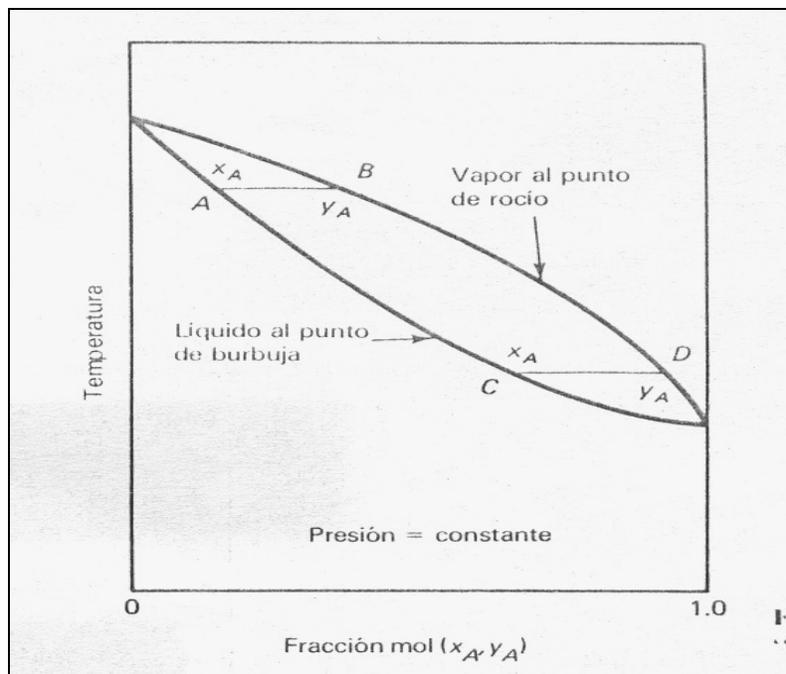


Figura 3.1 Diagrama para un sistema "normal"

La curva A-C de la figura ya mencionada, representa la ubicación de la temperatura de punto de burbuja para todas las mezclas de los componentes A y B. La curva B-D representa la posición de las temperaturas del punto de rocío para todas las mezclas de los componentes A y B. Ambas curvas comienzan en la temperatura de ebullición de uno de los componentes y terminan en la temperatura de ebullición del otro componente. Para un líquido con composición x_A la temperatura del punto de ebullición se puede determinar si trazamos una línea vertical desde el punto que representa x_A hasta la línea A-C y después una línea horizontal hasta el eje de las Y, para de este modo leer la temperatura.

El vapor del equilibrio con el líquido se puede determinar si trazamos una línea horizontal desde la intersección de x_A y la línea A-C hasta la línea B-D Y después trazamos una línea vertical hasta el eje de las X. De esta forma podemos usar la temperatura con las composiciones del líquido y vapor para una mezcla binaria miscible a presión constante.

En la figura 3.2 Treybal explica lo siguiente, Las mezclas del líquido y vapor en el equilibrio están a la misma temperatura y presión, de forma que las líneas de unión, como la línea DF unen las mezclas del equilibrio D y F. Hay un número infinito de dichas líneas en la unión para este diagrama. Una mezcla en la curva inferior, como el punto D, es un líquido saturado, mientras que una mezcla en el punto superior como F, es un vapor saturado. Pero una mezcla en el punto E es una mezcla en dos fases, que consta de una fase líquida en composición D y una fase vapor en composición F,

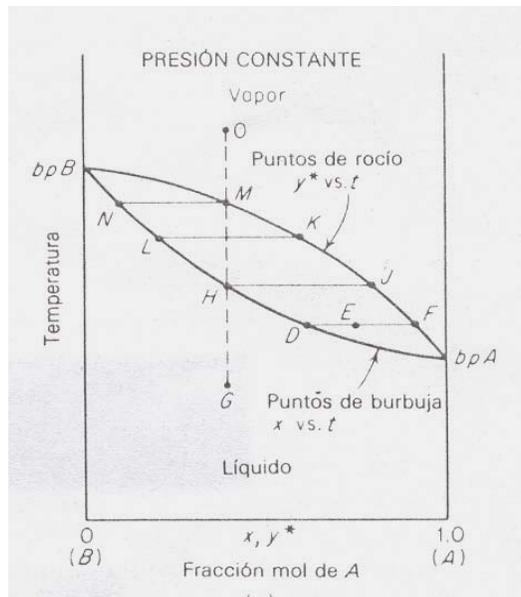


Figura 3.2 Sistema binario a presión constante

Si se considera un recipiente cerrado en el punto G, la mezcla es totalmente líquida, si este se calienta la primera burbuja de vapor se en H y tiene la composición en J, más rica en la sustancia más volátil, por lo que la curva inferior se llama curva de temperatura del punto de burbuja. Al irse evaporando más mezcla se forma más vapor a expensas del líquido, se origina entonces, por ejemplo, el líquido L y su vapor en el equilibrio K, aunque la composición de la masa total es aún la original como en G. La última gota del líquido se forma en M y tiene la composición en N, el sobrecalentamiento de la mezcla tiene una trayectoria MO. La mezcla se ha evaporado en un rango de temperatura desde H hasta M, a diferencia de la temperatura única de evaporación de una sustancia pura. Entonces, el termino “punto de ebullición” para una solución, generalmente no tiene significado puesto que la evaporación ocurre en un rango de temperatura, esto es desde el punto de formación de la burbuja hasta el punto de formación de

de rocío. Cabe mencionar que los diagramas presentados son únicos para cada mezcla binaria.

Azeótropos

Una mezcla que tiene una composición L da lugar a una composición idéntica a la del líquido y en consecuencia hierve a temperatura constante y sin cambio de composición, a esto se le conoce como punto azeótropo. Este tipo de soluciones no pueden separarse por completo mediante los métodos ordinarios de destilación a esta presión cabe mencionar que la composición azeotrópica al igual que el punto de ebullición cambia con la presión.

Una de las mezclas más importantes es el azeótropo etanol-agua, que para fines de este trabajo es lo que nos concierne en gran manera, el cual a 1 atm parece a 89.4% en mol de etanol y 78.2° C. El azeotropismo desaparece en este sistema a presiones menores a 70 mm Hg.

La ley de Raoult menciona que para una solución ideal, la presión parcial en el equilibrio \bar{p} de un componente a una temperatura fija es igual al producto de su fracción mol en el líquido por su presión de vapor p cuando está puro a esta temperatura.

$$P_A = P_{AX} \quad P_B = P_B (1-x)$$

Por tanto, para soluciones ideales es posible calcular los equilibrios totales vapor-líquido a partir de las presiones de vapor de las sustancias puras. Con presiones demasiado elevadas como para aplicar la ley de los gases ideales, se utilizan fugacidad en lugar de presiones.

Muchos sistemas no siguen la ley de Raoult, y es lo que se conoce como mezclas azeotrópicas, las cuales o pueden presentar desviaciones positivas, es decir que

la presión total es mayor que la calculada para el ideal, o presentan desviaciones negativas es decir la presión total es menor al valor ideal.

Las no ideales en la fase vapor son bastante regulares y, las no ideales en la fase líquida, son menos regulares y más difíciles de predecir.

La figura 3.3 muestra el diagrama de temperatura-composición a presión constante para un sistema binario, el cual forma un azeótropo, de ebullición máxima. La mezcla se llama un azeótropo de ebullición máxima, dado que el punto de ebullición de la mezcla de composición constante, es más alto que el punto de ebullición que cualquiera de los componentes puros.

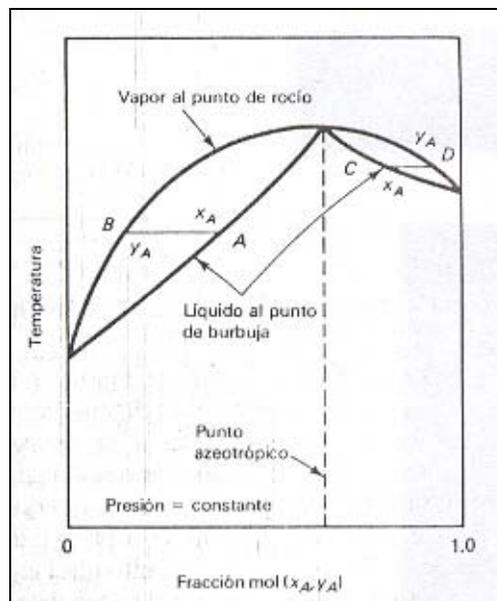


Figura 3.3 Azeótropo de punto de ebullición máximo.

En la figura 3.4 se muestra los diagramas de temperatura-composición, para un sistema que presenta un azeótropo de punto de ebullición mínimo. El

comportamiento de este sistema es idéntico al azeótropo de ebullición máxima, excepto en que la temperatura de ebullición azeotrópico está debajo del punto de ebullición de cualquiera de los componentes puros.

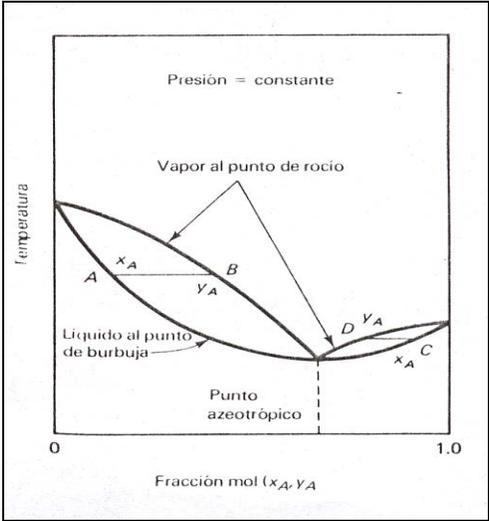


Figura 3.4 Azeótropo de punto de ebullición mínimo

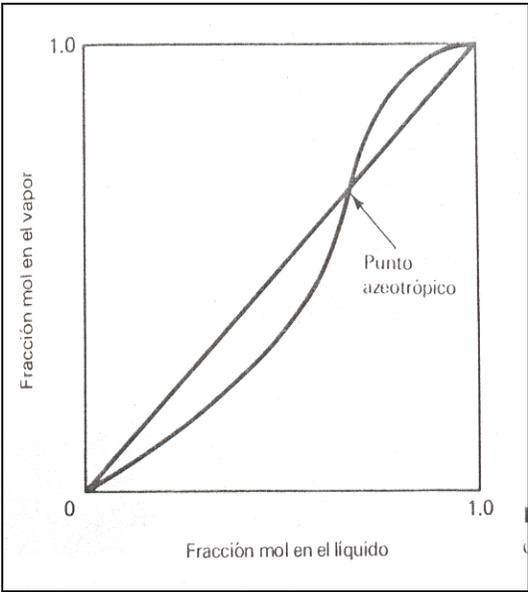


Figura 3.5 Sistema azeotrópico del punto de ebullición máximo.

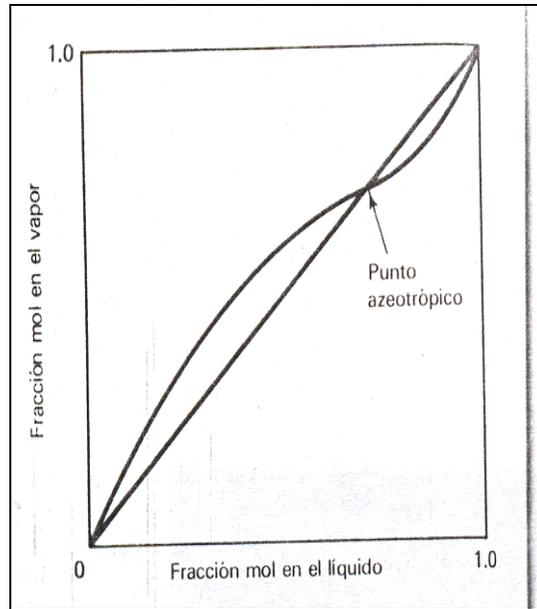


Figura 3.6 Sistema azeotrópico del punto de ebullición mínimo.

Rectificación

La rectificación o destilación continua con etapas y con reflujo puede considerarse, de forma simplificada, como un proceso en el cual se lleva a cabo una serie de evaporaciones y condensaciones. Por lo general se usa para una solución binaria, es posible separar mediante este método la solución de sus componentes y recuperar cada componente en el estado de pureza que se desee.

En la figura 3.7 se observa que la mezcla de la alimentación se introduce de modo más o menos centrado en una cascada vertical de etapa. El vapor que se eleva en la sección arriba del alimentador (parte rectificadora) se lava con el

líquido para eliminar o absorber el componente menos volátil. Como en este caso no se agrega ningún material extraño, el líquido del lavado se obtiene condensando el vapor que sale por la parte superior, enriquecido con el componente más volátil. El líquido devuelto la parte superior de la columna se llama reflujo y el material que se elimina permanentemente se llama destilado, que puede ser un vapor o un líquido con el componente más volátil. Dentro de la columna los líquidos y vapores siempre están en sus puntos de burbuja y de rocío, respectivamente, de manera que las temperaturas más elevadas se encuentran en el fondo y las menores en la parte superior. Todo este arreglo se le conoce como fraccionador.

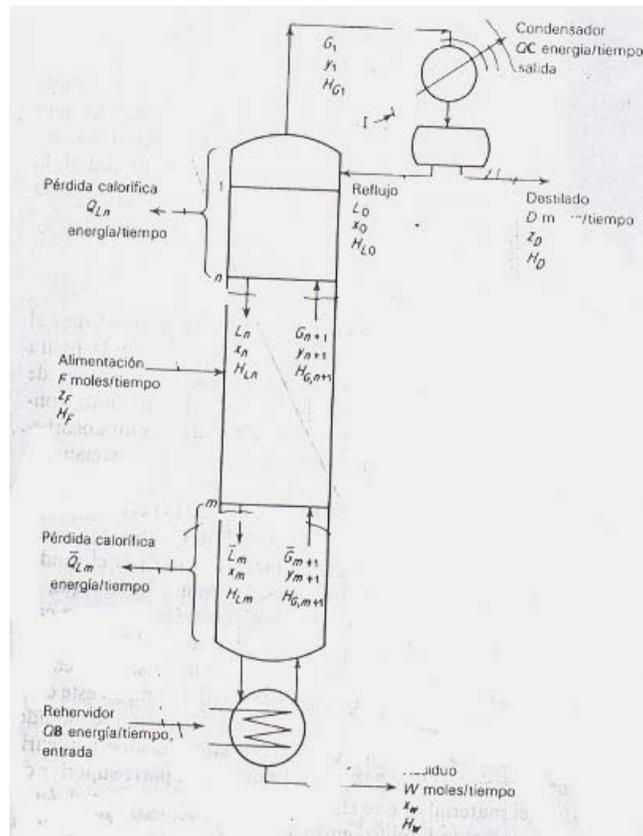


Figura 3.7 Columna para rectificación

En el caso de la destilación azeotrópica, esta se refiere, como su nombre lo indica, a aquella destilación que necesita separar los componentes que han formado un azeótropo. En estas condiciones su tercer componente llamado arrastrador puede agregarse a una mezcla

a binaria, para formar un nuevo azeótropo de bajo punto de ebullición con aquel componente original, que gracias a su volatilidad puede separarse fácilmente de su otro componente original.

Las soluciones diluidas en etanol agua pueden rectificarse continuamente para dar, cuando mucho mezclas que contienen 89.4% en mol de etanol a presión atmosférica ya que esta es la composición del azeótropo de punto de ebullición mínimo en el sistema binario. En estos casos el arrastrador que se usa comúnmente es el benceno.

Principios fundamentales que intervienen en la destilación.

Relaciones de equilibrio

Se dice que una mezcla de dos fases está en equilibrio físico si se satisfacen las siguientes condiciones:

- La temperatura T^V de la fase de vapor es igual a la temperatura T^L de la fase líquida.
- La presión total P^V en la fase de vapor es igual a la presión P^L en la fase líquida.
- La tendencia de cada componente de escapar de la fase líquida a la fase de vapor es exactamente igual a su tendencia a escapar de la fase de vapor a la fase líquida.

En el siguiente análisis se supone que existe un estado de equilibrio, $T^V = T^L = T$, $P^V = P^L = P$, y las tendencias de escape son iguales. Ahora considérese el caso especial en que la tercera condición puede expresarse de acuerdo a la ley de Raoult:

$$P y_i = P_i x_i$$

Donde x_i y y_i son las fracciones mol del componente i en las fases líquidas y de vapor, respectivamente, y P^i es la presión del vapor del componente puro i a la temperatura T del sistema.

La separación de una mezcla binaria por destilación se puede representar en un espacio bidimensional, mientras que para representar la separación, de una mezcla de componentes múltiples ($i > 2$) se requiere un espacio n -dimensional. McCabe y Thiele emplearon un método gráfico para la solución de problemas en

que intervienen mezclas binarias, este método emplea una curva de equilibrio que se puede obtener a partir del diagrama de punto de ebullición.

Un diagrama de punto de ebullición es un auxiliar muy conveniente para observar el comportamiento de las fases.

La ley de Raoult no describe adecuadamente las fases de vapor de muchas mezclas.

Destilación simple

La destilación simple es aquella en la cual se obtienen diferentes fracciones de destilado, las cuales tienen diferentes grados de pureza. Por ejemplo, si una mezcla ternaria contiene una pequeña cantidad de una sustancia muy volátil A, una sustancia principal de volatilidad intermedia y una pequeña cantidad de C de baja volatilidad, la primera fracción, que será pequeña, contendrá la mayor parte de A. La segunda fracción contendrá la mayor parte de B razonablemente puro, aunque contaminado con A y C; el residuo será principalmente C. Aún cuando las tres fracciones contendrán las tres sustancias, se habrá logrado cierta separación.

Destilación por lotes.

La destilación por lotes es un proceso, que es muy utilizado dentro de la industria farmacéutica elaboración de polímeros, y hasta en la biotecnología entre los factores que favorecen este proceso se encuentran los siguientes:

- El crecimiento de la competencia a nivel global, en la mayoría de la industria química.
- Se necesitan productos específicos para los clientes.
- Demanda temporal de ciertos productos.

Por siglos y hasta la actualidad la destilación por lotes ha sido utilizada para la elaboración de bebidas alcohólicas la obtención de aceites esenciales, perfumes, refinación de petróleo.

La destilación por lotes tiene ventajas sobre la destilación en continuo, dentro de las cuales a nivel industrial se necesitan columnas más simples con respecto al proceso en continuo. Es más útil para las mezclas con multicomponentes. Y en algunos casos el proceso en continuo a nivel industrial necesita por lo menos 8000 horas anuales para que pueda rendir.

Otras operaciones utilizadas.

Dentro del proceso (ver figura 4.1) se utilizaron algunas operaciones unitarias entre de las cuales se encuentran el pelado, la reducción de tamaño, filtrado, evaporación, las cuales se describirán brevemente en los siguientes párrafos.

Pelado: Esta es una operación imprescindible en el proceso de muchas frutas y verduras, en la que para mejorar el aspecto del producto final se requiere la eliminación del material no comestible, aunque en este trabajo ese no es el fin si ayuda en gran manera quitar la cáscara de la tuna. El coste de esta operación se procura reducir al mínimo eliminando la menor parte posible del producto, durante el pelado el producto no debe sufrir daños y después de éste, la superficie del mismo debe quedar limpia.

Reducción de tamaño: esta es una operación en la que el tamaño medio de los alimentos es reducido por la aplicación de fuerzas de impacto, compresión o abrasión, las ventajas de la reducción de tamaño son varias pero de entre las más importantes se encuentra el aumento de la relación superficie volumen, lo cual incrementa la velocidad de deshidratación y la de calentamiento.

Filtrado. Esta es la separación de los sólidos suspendidos en líquidos por paso de la mezcla a través de una capa de material poroso, en la industria alimenticia esta operación es muy utilizada para clarificación de líquidos, como la cerveza, vino, jarabes y aceites.

Evaporación. La evaporación consiste en la eliminación del agua de los alimentos líquidos por ebullición. En contraste con otros métodos de concentración en los que el agua se elimina haciendo uso de las diferencias, existentes entre las velocidades de difusión a temperatura ambiente, o la concentración por congelación en la que se aprovecha la diferencia en el punto de congelación, en la evaporación la separación del agua se consigue aprovechando las diferencias existentes entre las volátiles de esta y la de los solutos, la evaporación tiene como objetivo, concentrar los alimentos, aumenta el contenido de sólidos totales, en algunos casos cambia el color y los aromas de los alimentos.

EXPERIMENTACIÓN

Material y equipo

Cuchillo

Guantes de latex

Cubre bocas

Balanza

Cubetas

Frascos de vidrio de 1L y 10 L

Equipo de destilación: Parrilla, agitador magnético, mangueras de hule, pinzas de tres dedos, soporte universal, matraz Erlenmeyer, Matraz de bola con fondo plano, termómetro, columna Vigreux

Refractómetro

Cronómetro

Densímetro

Metodología

La tuna ocupada para éste proyecto (90.4 kg), no contaba con espinas así mismo cumplió con los requisitos mínimos de calidad establecidos en el capítulo 1, en la sección de requisitos mínimos.

Después de que la tuna ha cumplido con los requisitos mínimos, se realiza el lavado, utilizando agua corriente, es decir, que fluya constantemente para de ahí realizar el pelado, que en este caso se usaron cuchillos que se encuentren previamente lavados, la cáscara obtenida, se deposita en bolsas o recipientes de materia orgánica debidamente etiquetada, que son enviados a los depósitos correspondientes.

La molienda se realiza utilizando el molino de cribado (De la marca “CeCoCo” Cereal Breaker, Tipo 5, hecho en Japón,) que se encuentra en el LIQ (Laboratorio de Ingeniería Química) en donde se depositaron las tunas, ya peladas. Una vez realizada dicha molienda se filtra con ayuda de tamices de diversos calibres la pulpa de tuna, con el objetivo de separar las semillas de la tuna, por lo tanto se obtenía la pulpa del fruto el cual después pasaba a la operación de la evaporación.

La evaporación se realizó en el equipo que se muestra en la foto 1 (), por un tiempo aproximado de 40 minutos y a una temperatura de 70° C (Grados Celsius), la carga realizada fue de 25.9L, es importante mantener la agitación debido a que se quiere evitar la caramelización de los azúcares de la tuna, ésta evaporación también sirve como pasteurización, y así se inhiben los microorganismos que pudieran presentar competitividad con la levadura que vamos a utilizar.

Después de concentrar la pulpa de la tuna, se espera el tiempo de aproximadamente 45 minutos, con el objetivo de que al agregar los 66 g (gramos) de la levadura, ésta no se inactive al contacto de temperatura alta es decir no mayor a 70° C, la fermentación se llevo a cabo por 5 días, en frascos de aproximadamente 10 L, se agrego la levadura directamente y con agitación.

La destilación se realiza una vez que el pH ya no presentaba variación y que es más ácido que antes de realizar la fermentación, además de que a simple vista la fermentación se detiene, al no presentar el burbujeo que es reflejo de la producción del CO₂. Primero se realizó una destilación simple utilizando el equipo de extracción (Equipo de extracción sólido-líquido de la marca "Pignat") el cual se encuentra en el LIQ (ver imagen 2). Para lo cual es necesario verificar los siguientes pasos:

- a) Verificar que el equipo este completamente limpio.
- b) Generar el vacío, el cual se produce cuando se abre la llave que se encuentra debidamente señalada en la parte operadora del equipo.
- c) Para la alimentación es necesario que el reactor se encuentre limpio y además con la debida distancia con respecto al empaque, para así no tener

problemas de derramamiento, es importante verificar que la válvula de salida se encuentre cerrada.

- d) Encender el equipo, y ajustar las condiciones tanto de temperatura de la chaqueta es decir no mayor a 70° C, y a una presión de 200mm de Hg (milímetros de Mercurio).
- e) Es importante observar la temperatura de la columna de enfriamiento, y verificar que se encuentre funcionando adecuadamente.
- f) Abrir la válvula para que sea recibido el producto de la destilación.

Una vez obtenido el producto destilado se le mide el Índice de Refracción.

Después de realizada la destilación simple es indispensable armar el equipo de destilación. Es decir se coloca el matraz que contiene el primer destilado con un agitador electromagnético, se conecta directamente a la columna *Vigroux*, y a ésta columna se le conecta el refrigerante, la rectificación se lleva a cabo en la columna *Vigroux* rectificado, ver la imagen 4.

Al producto se le mide el IR, y también se lleva un control del tiempo de la destilación.

Una vez obtenido el índice de refracción, éste será útil para determinar la concentración de alcohol, lo anterior con ayuda de las tablas de "Índice de refracción vs concentración. (Ver anexo II)

En el siguiente diagrama se presentan los pasos que se han de seguir durante la elaboración del alcohol etílico

Diagrama de bloques

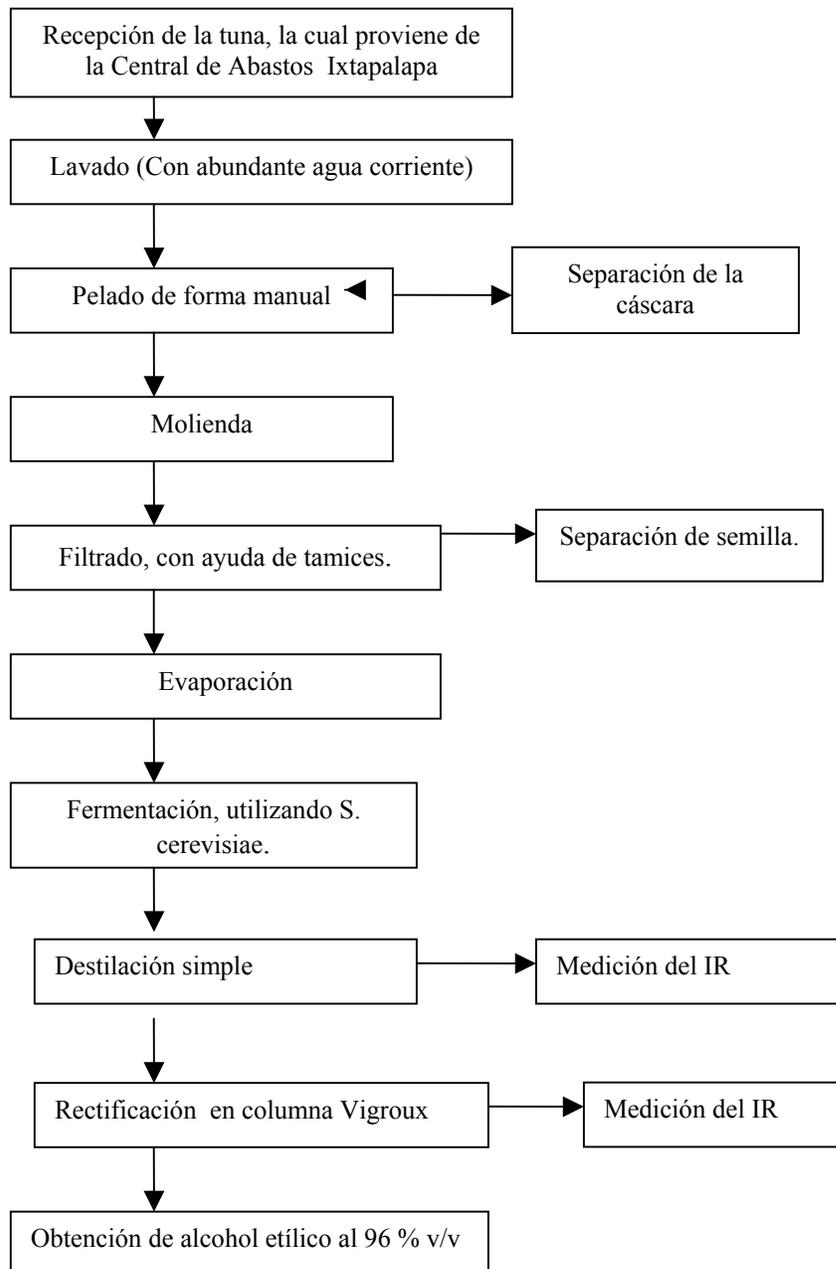


Figura 4.1 Diagrama de bloques

Imágenes



Imagen 1 Evaporador



Imagen 2 Evaporación de la tuna sin semilla.



Imagen 3. Reactor utilizado para la destilación simple.

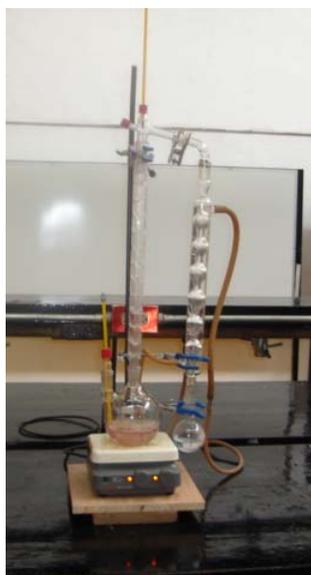


Imagen 4 Equipo de destilación con columna Vigreux.

R E S U L T A D O S

Una vez verificado que la tuna cumpla con los requisitos establecidos en la CODEX STAN 186-1993, EMD. 1-2005, que se presentan en el capítulo I, se realizan las operaciones unitarias necesarias hasta obtener el jugo filtrado.

Tabla 4.1 Datos experimentales

Tuna utilizada	90.4 kg
°Brix de la tuna	13
Ph	5.1
Jugo filtrado	25.9L
pH después de 5 días de fermentación	4.3
S. cerevisiae	66g
Alcohol obtenido en la primera destilación	4.88L, con un IR de 1.3555 a 20° C, lo cual significa que hay un 43% v/v.
Alcohol rectificado	2.1858 L con un IR de 1.3642 por lo tanto hay 96%v/v.

Tabla 4.2 Control de la tuna.

PARÁMETRO	UNIDADES		MÉTODO
Color	-	Verde algunas un poco amarillas	MS (Método sensorial)
Olor	-	Característico del producto.	MS
Sabor	-	Dulce	MS
pH	-	5.1	Potenciométrico
Contenido de sólidos solubles	°Bx	13	Refractómetro
Observaciones	<p>Las tunas se recibieron enteras y sin espinas, Prácticamente no presentaban materia extraña a simple vista.</p> <p>No presentaban golpes o madurez excesiva.</p>		

Tabla 4.3 Datos de la tuna utilizada.

Cantidad usada (kg)	Cáscara (kg)	Semilla (kg)	Porción sin semilla y cáscara (kg)	Perdidas
90.4	49.8	9.8	29.2	1.6

Tabla 4.4 Datos después de la fermentación.

pH	Observaciones
4.3	Producción de CO ₂ , y presenta olor semejante al pulque.

Resultados de la destilación

Tabla 4.5 Datos de la primera destilación simple.

CANTIDAD OBTENIDA. (L)	IR DEL DESTILADO.	T AL TOMAR IR	%V/V	OBSERVACIONES.
4.88	1.3555	20° C	43%	El producto es incoloro, tiene un fuerte olor a alcohol.

Resultados de la rectificación

Corrida 1

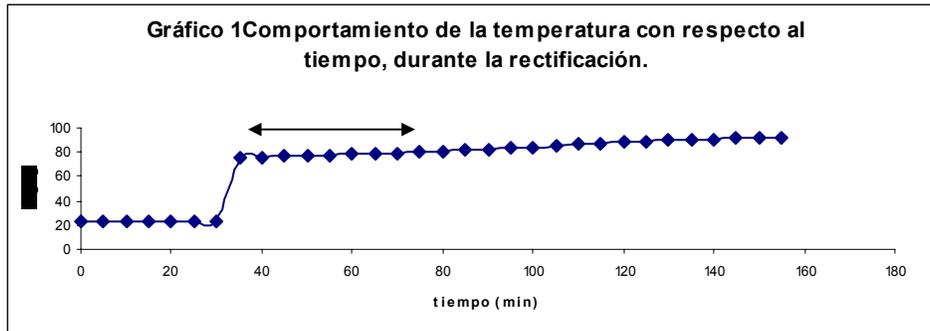
Tabla 4.6 Datos iniciales para la rectificación

CANTIDAD A RECTIFICAR.	IR INICIAL	OBSERVACIONES.
2000ml	1.3555	Se agregaron 500 ml de H ₂ O, para que no se seque el producto.

Tabla 4.7 Control de la primera corrida

Tiempo (min)	Temperatura (°C)
0	23
5	23
10	23
15	23
20	23
25	23.2
30	23.5
35	70
40	71
45	71.2
50	71.5
55	72.2
60	75
65	78
70	79.2
75	79.8
80	80.8
85	81.5
90	82.5
95	83.5
100	84.4
105	85
110	86.5
115	87
120	88.1

125	89
130	90
135	90
140	90.8
145	91
150	91.3
155	92



Es probable que el alcohol se encuentre en el producto obtenido a partir del minuto 40 hasta el minuto 70

De esta rectificación se recolectaron tres fracciones:

Tabla 4.8

FRACCIÓN	TIEMPO (MIN)	TEMPERATURA (°C)	IR	TEMPERATURA DE IR (°C)	% ALCOHOL V/V
1ª	60	75	1.3630	20.7	66
2ª	130	90	1.3619	20.8	61
3ª	155	92	1.3488	23.5	30

Corrida 2

Tabla 4.9 Datos de la rectificación

CANTIDAD	A	IR INICIAL	OBSERVACIONES.

RECTIFICAR.		
2000ml	1.3555	Se agregaron 500ml de H ₂ O

Tabla 4.10

Tiempo	Temperatura (°C)
0	21.5
5	21.5
10	21.5
15	21.5
20	22
25	22
30	23
35	60
40	71
45	72
50	72
55	72
60	72
65	78
70	79
75	80
80	81
85	82
90	82.6
95	84
100	85
105	86
110	87
115	88.5
120	89
125	89.8
130	90.2
135	91
140	91.5
145	92

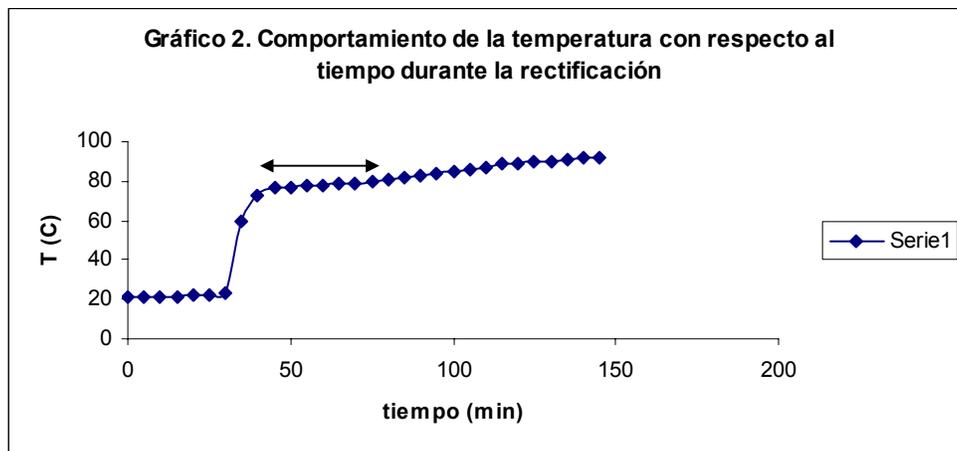


Tabla 4.11

FRACCIÓN	TIEMPO (MIN)	TEMPERATURA (°C)	IR	TEMPERATURA DE IR (°C)	% ALCOHOL V/V
1ª	55	72	1.3625	22.1	63
2ª	120	89.8	1.3620	22.4	62
3ª	140	92	1.3435	21.2	20.5

Corrida 3

Tabla 4.12 Datos de la rectificación

CANTIDAD A RECTIFICAR.	IR INICIAL	OBSERVACIONES.
1200ml	1.3555	Presenta un poco de turbidez.

Tabla 4.13

Tiempo	Temperatura (°C)
0	20
5	20
10	20
15	20
20	20
25	71.5
30	81.8
35	82.5
40	83.5
45	84
50	85
55	85.4
60	87.3
65	88.5
70	89
75	90
80	90.2
85	90.8
90	91
95	91.5
100	92

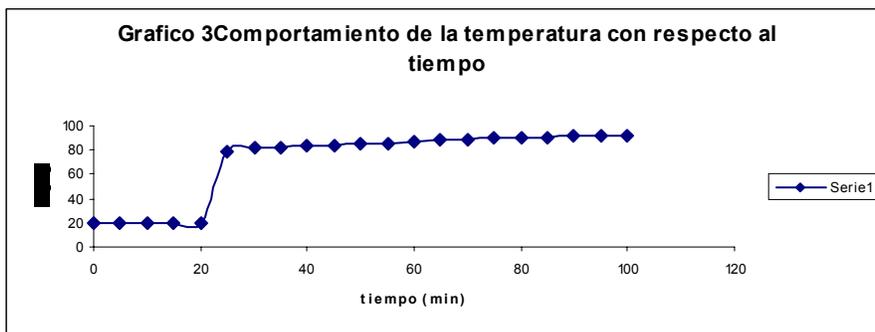


Tabla 4.14

FRACCIÓN	TIEMPO (MIN)	TEMPERATURA (°C)	IR	TEMPERATURA DE IR (°C)	% ALCOHOL V/V
1 ^a	25	71.5	1.3630	20	66.5
2 ^a	60	87.3	1.3612	20	57.5

3 ^a	100	92	1.3455	20	25
----------------	-----	----	--------	----	----

De las rectificaciones anteriores, se recolecto la primera y segunda fracción, con el objetivo de volver a rectificar para así obtener la máxima pureza:

Corrida 1 de la segunda rectificación.

Tabla 4.15

CANTIDAD A RECTIFICAR.	IR INICIAL	% ALCOHOL V/V INICIAL	OBSERVACIONES.
2500ml	1.3620	59.5	Presenta olor fuerte a alcohol.

Tabla 4.16

Tiempo (min)	Temperatura (°C)
0	23
5	23
10	23.2
15	23.5
20	72
25	72
30	72
35	72
40	72
45	72
50	72
55	72
60	72
65	72
70	72
75	72
80	72
85	72
90	72
95	75
100	79.5

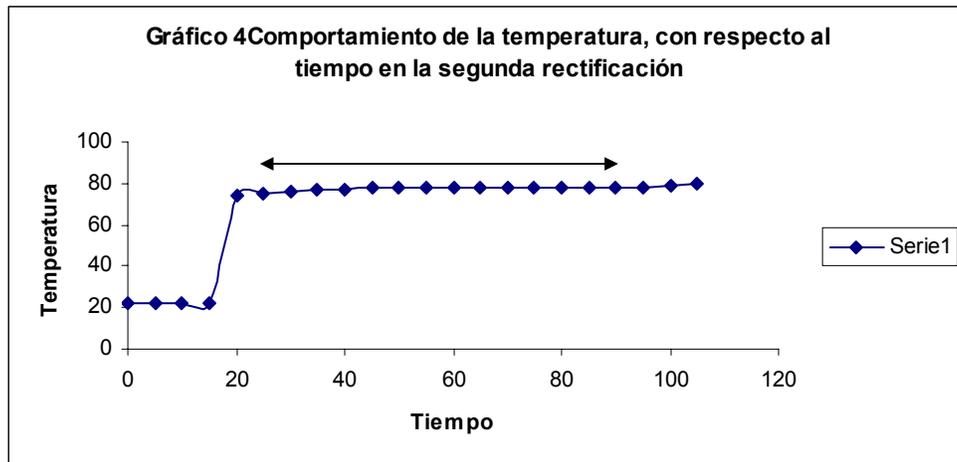


Tabla 4.17

FRACCIÓN	TIEMPO (MIN)	TEMPERATURA (°C)	IR	TEMPERATURA DE IR (°C)	% ALCOHOL V/V
1 ^a	20	72	1.3618	25	96
2 ^a	100	79.5	1.3372	20	10

Tabla 4.18 Pruebas para verificar el porcentaje en volumen del alcohol.

PRUEBA		% EN VOL DE ALCOHOL
Densidad relativa 15°C/15°C	0.812	96
Punto de ebullición	71.7	96

Corrida 2 de la segunda rectificación.

Tabla 4.19 Datos de la segunda rectificación.

CANTIDAD A RECTIFICAR.	IR INICIAL	% ALCOHOL V/V INICIAL	OBSERVACIONES.
2500ml	1.3620	59.5	Presenta olor fuerte a alcohol.

Tabla 4.20

Tiempo (min)	Temperatura (°C)
0	22
5	22
10	22
15	22.5
20	23
25	72
30	72
35	72
40	72
45	72
50	72
55	72
60	72
65	72
70	72
75	72
80	72
85	72
90	72
95	72
100	79
105	79.5

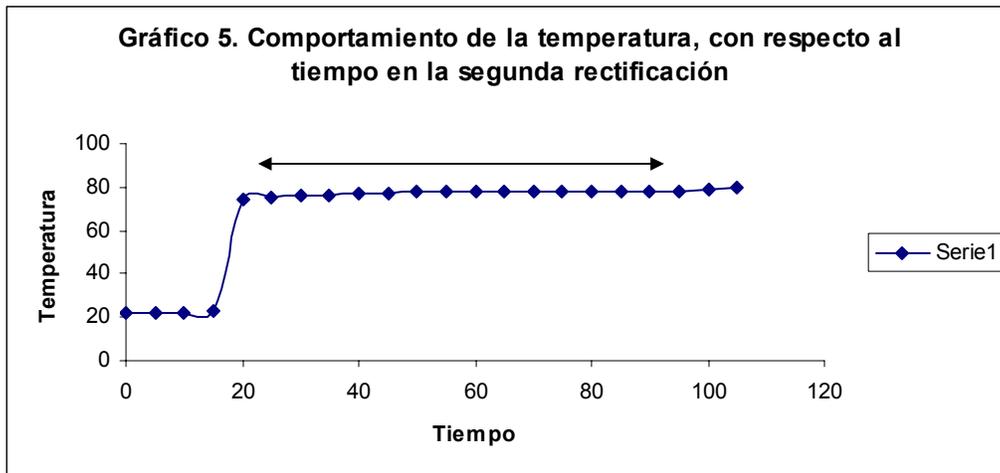


Tabla 4.21

FRACCIÓN	TIEMPO (MIN)	TEMPERATURA (°C)	IR	TEMPERATURA DE IR (°C)	% ALCOHOL V/V
1 ^a	25	72	1.3618	25	96
2 ^a	105	79.5	1.3400	20	14

Tabla 4.22 Pruebas para verificar el porcentaje en volumen del alcohol.

PRUEBA		% EN VOL DE ALCOHOL
Densidad relativa 15°C/15°C	0.812	96
Punto de ebullición	71.7	96

Análisis económico.

Cuadro 4.23 Costo de producción por litro de alcohol

COSTO POR KG DE TUNA (\$)	CANTIDAD (KG)	ALCOHOL A 96° G.L (GAY LUSSAC) OBTENIDO	COSTO (\$) DE PRODUCCIÓN POR LITRO DE ALCOHOL OBTENIDO.
1.00	90.4	2.34	38.63

Tabla 4.24 Litros de alcohol obtenidos por tonelada.

CANTIDAD DE TUNA (KG)	ALCOHOL OBTENIDO 96° G.L (L)	COSTO POR LITRO DE ALCOHOL 96° G.L (\$)	RENDIMIENTO CON RESPECTO A LA CANTIDAD DE 1000KG (%)
1000 kg	25.88	38.63	2.588

Tabla 4.25 Rendimiento teórico

TUNA	% CARBOHIDRATOS ¹ EN LA TUNA	% DE GLUCOSA EN CARBOHIDRATOS ²			RENDIMIENTO TEÓRICO ³
100 %	10 %	60			3.06

1. Se tomo esta cantidad como promedio generalizado a partir del cuadro 1.3
2. Cifra tomado de acuerdo a Ward 1989
3. Idem

Si tenemos 6 % de glucosa, sabemos de acuerdo a Ward, que el 51% se convierte en etanol el resto es CO₂, por lo tanto tenemos que tenemos 3.06% de alcohol, con respecto al total de la tuna, que es el 100%

100-----6

51-----X X = 3.06%

Eficiencia de la levadura

(Rendimiento experimental / Rendimiento teórico) * 100 = Eficiencia

(2.588/ 3.06)* 100 = 84.31

ANÁLISIS DE RESULTADOS

La tuna cumplió con las normas de calidad de la NOM 186 de CODEX, por lo que se aprobó para realizar la fermentación y seguir así el procedimiento establecido.

Durante la fermentación se usaron 66 g de levadura *Saccharomyces cerevisiae*, que se encontraba seca.

Para después de la molienda y la separación de las semillas obtuvimos 25.9L de pulpa de tuna partiendo de los 90.4 kg de tuna fresca, si nos basamos en la composición reportada para la tuna en el cuadro 1.1, la cantidad de cáscara con semilla es aproximadamente es del 45 % en promedio, lo cual implica que de pulpa sin semilla tendríamos 49.72kg, pero esto no fue así debido a diversos factores, de la tuna utilizada 49.8kg fueron de cáscara mientras que de semilla fueron 9.8 kg y de pulpa se obtuvo 29.2 kg, el resto fueron perdidas debido a que se quedaba pulpa en la semilla, o adherida a la cáscara como lo registra la tabla 4.2. Por lo que en este caso el porcentaje de cáscara y semilla fue mucho mayor al reportado en la teoría, (ver capítulo 1) la semilla excede en demasiado el porcentaje debido a que esta al momento de filtrar se quedaba con pulpa adherida, que era muy difícil desprender, ya que no se contaba con el equipo adecuado por lo cual se propone que se realice un lavado con agua para así poder recuperar la mayor cantidad posible de pulpa. En cuanto a otras perdidas estas pudieron haberse efectuado en el pelado de la tuna, ya que soltaba agua, y también durante la molienda es posible que se haya presentado algo de pérdida.

Una vez hecha la separación de las semillas se obtuvo un jugo clarificado, éste se puso a fermentar con ayuda de la levadura, cabe mencionar que al momento de tomar el pH del jugo este era de 5.1, lo cual se encuentra determinado dentro de los estándares establecidos, a los cinco días de la fermentación esta se dio por terminada tomando en cuenta que ya no presentaba burbujeo, que no es otra cosa más que la producción de CO₂, y el jugo ya fermentado tenía un pH de 4.3 lo cual indicaba un aumento en la acidez y esto

a su vez indicabá que se había llevado a cabo una fermentación es decir la conversión los azúcares en alcohol y CO₂.

Subsecuentemente se realizó una primera destilación simple, esta era solo con el objetivo de obtener el alcohol, el destilado presentaba olor a pulque, lo cual indicaba que durante la destilación se arrastraron otros componentes, que estaban dando determinado olor, de esta destilación simple se obtuvieron 4.88 L, con un porcentaje de alcohol al 43%v/v, lo cual bien podría ser un aguardiente de tuna.

Pero como el objetivo de este proyecto es obtener un alcohol con la máxima pureza, se realizaron dos rectificaciones más, lo cual se analiza en las siguientes líneas.

Los resultados de la primera rectificación, nos ayudaron a obtener un alcohol con una pureza que oscila desde el 57 % y el 66 %v/v. En la tabla 4.8 que es acerca de la recolección de fracciones, se observa que en la primera y segunda fracción se obtuvo alcohol con un 66 y 61 %v/v, respectivamente, mientras que la última fracción tenía un 30 % v/v, esto es de suponerse ya que las primeras dos recolecciones, se hicieron dentro de los estándares para el punto de ebullición del alcohol 71.7, lo cual es indicado con una flecha en los gráficos presentados, que de acuerdo a las gráficas registradas en las tablas del anexo, este es el punto azeótropico, es decir existe la misma composición en la fase líquida como en la fase gaseosa mientras que la tercera fracción recolectada ya presentaba una temperatura más alta por lo cual es lógico que haya mucho menos alcohol que en las fracciones anteriores.

Lo mismo sucedió para las siguientes rectificaciones, lo cual se puede apreciar claramente en las tablas 4.11 y 4. 14, las primeras dos fracciones presentan una pureza aproximada al

60% v/v, mientras que la última fracción de estas rectificaciones, se encuentra con un porcentaje de hasta el 20%v/v

Se llevó a cabo un registro del control de la temperatura con respecto al tiempo con el objetivo de obtener diferentes fracciones durante la rectificación y así mismo facilitar la fracción donde es muy probable encontrar el alcohol, esto ayudó a desechar las últimas fracciones, en las cuales de acuerdo a los registros la cantidad de alcohol era mínima, el comportamiento es similar tanto en los gráficos 4.1, 4.2 y 4.3. Cabe mencionar que se recolectó mayor volumen del destilado a partir de las segundas fracciones, mientras que la primera y tercera fracción era mínima.

Durante la segunda rectificación el comportamiento fue similar aunque, como se aprecia el tiempo de calentamiento fue menor, en esta solo se realizaron dos recolecciones, debido a que se deseaba obtener el alcohol con una pureza del 96 % v/v, lo cual se logró. Todo esto con ayuda de las tablas del anexo II, verificando el índice de refracción, que a su vez nos indicaba el porcentaje de etanol en la muestra.

A la segunda fracción recolectada, que fue llevada a cabo a una temperatura de 79 °C se le verificó, con ayuda de las tablas del anexo II, que hay un porcentaje mínimo de alcohol (ver tabla 4.17 y 4.21) así que se hizo la recolección de la primera fracción al estar esta a una temperatura de 72 °C, lo cual se puede observar en las tablas anteriormente mencionadas, en total obtuvimos 2.22L de alcohol al 96 % v/v de pureza, la segunda fracción se eliminó debido a que presentaba un muy bajo porcentaje de pureza, es decir la cantidad de alcohol era mínima.

El porcentaje del volumen de alcohol fue ratificado con las pruebas de densimetría y la del punto de ebullición, como se puede apreciar en las tablas 4.18 4.22, una vez más apoyados de las tablas del anexo II.

En las tablas 4.23 y 4.24 se presenta un análisis económico, dicho análisis nos muestra que el costo por litro de alcohol es de \$38.53, y que tenemos un rendimiento del 2.588%, lo cual es muy bajo con respecto al rendimiento de alcohol obtenido a partir de granos como el maíz, que es cerca del 90 %. Es decir el alcohol obtenido económicamente no es factible para fines de uso energético, como biocombustible, sin embargo puede utilizarse para beneficiar a quien quiera producirlo, y aprovecharlo para el desarrollo de licores de fruta o aguardientes.

Con respecto al rendimiento teórico de la levadura, el cual es del 3.06% se mostró que la levadura tuvo una eficiencia del 84.31%, Ward hace un señalamiento muy importante, menciona que en realidad el rendimiento de la levadura disminuye aproximadamente un 10%, es decir hay una eficiencia probada del 90%, en este caso tenemos una disminución del 15.69%, podemos decir que la eficiencia de levadura es alta, con respecto al valor teórico expresado.

CONCLUSIONES

-
- ◆ Se obtuvo alcohol etílico a partir de una fermentación, la cual fue inducida por *S cerevisiae* con ayuda de el proceso de destilación simple a la cual le siguió una rectificación.
 - ◆ Se logró obtener alcohol etílico con un nivel de pureza que alcanzó el 96% v/v, por medio de la rectificación, con un rendimiento del 2.588 % con respecto a la base húmeda, el cual es muy bajo, y por lo tanto poco redituable en el caso de que en algún momento se piense utilizar como biocombustible debido a que el costo por litro es de \$38.53, que comparado a los precios de la gasolina es muy alto.
 - ◆ La levadura presentó una eficiencia del 84%
 - ◆ Este producto puede ser una excelente alternativa para los productores, ya que ellos pueden aprovecharlo, para realizar diversos productos tales como el aguardiente, o licores de fruta, entre otros, dando así una opción para obtener un mayor aprovechamiento económico.

PERSPECTIVAS

El presente proyecto puede dar pie a las siguientes investigaciones:

- Probar otra levadura que presente mayor eficiencia
- A su vez realizar rectificaciones en continuo, para así lograr una mayor eficiencia en la destilación.
- Realizar un estudio del impacto socioeconómico que pueda tener la generación del alcohol, en las regiones productoras de tuna.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agredano M. **“Elaboración de una mermelada de tuna”** Tesis de Químico de Alimentos 1995 Facultad de química Universidad Nacional Autónoma de México
2. .Baudi, D. **“Química de los alimentos”** Editorial Alhambra, México 1989 1ª edición.
3. Bejarano A. **Anteproyecto de una planta para la elaboración de una bebida enlatada hecha a partir de tuna. Tesis Ingeniero Químico** Facultad de Química Universidad Nacional Autónoma de México 1973
4. Corrales Joel, **“Fisiología y tecnología del fruto de tuna y del nopal verdura”** Reporte de investigación 54 (Universidad Autónoma Chapingo Diciembre 2000)
5. Earle R.L. **“Ingeniería de los alimentos”** Zaragoza, España Editorial Acribia, 1989 pp45-46
6. Fisher, P. **“Valor nutritivo de los alimentos.”** Editorial Limusa 1ª edición, México 1989
7. Flores Claudio. **“Producción y comercialización de la tuna”** Reporte de investigación 67 (Universidad Autónoma Chapingo Diciembre 2002)
8. Henley E., Seader **“Operaciones de separaciones por etapas de equilibrio en Ingeniería Química”** Editorial Reverte, México 2000 pp 385-415

9. Hines, A., Maddox, ***“Transferencia de masa”*** Editorial Prentice, Hispanoamérica, México 1987 pp 215-245
10. Lahsasni S. et al ***“Drying kinetics of prickly pear fruit (Opuntia .cus indica)”*** Journal of Food Engineering 61 (2004) 173–179
11. Lee B. ***“Fundamentos de biotecnología de los alimentos”*** Editorial Acribia España 2002
12. Lehninger A. ***“Bioquímica”*** Editorial Omega 2ª edición España 1981
13. Lindner, ***“Toxicología de alimentos”*** Editorial Acribia España 1978
- 14.
15. Mc, Cabe W., Smith, ***“Operaciones básicas de Ingeniería Química”*** volumen 2 Editorial Reverte, España 1973, pp 515-535
16. Mohamed F. et al ***“Recovered lipids from preackly pear peel: a good sorce of polyunsatusated fatty acids, natural antioxidant vitamins and sterols”*** Food Chemistry 83, (2003) pp447-456
17. Mondragón J. ***“El cultivo del nopal tunero en la región central de México”*** Avances y perspectivas de la investigación en la investigación en fruticultura para el centro del país, INIFAP. SARH México 1992
18. Monnia Ennouri, et al ***“Fatty acid composition and rheological behaviour of prickly pear see oils”*** Food Chemistry 93 (2005)
19. Moreno L. ***“Alternativas para el desarrollo de bebidas no alcohólicas, a base de tuna”*** Tesis de Químico de Alimentos, Facultad de Química Universidad Nacional Autónoma de México, 1999

20. Norma del CODEX para la tuna (CODEX STAN 186-1993, EMD. 1-2005)
21. Norma Mexicana **NMX-FF-030-1995-SCFI Productos alimenticios No industrializados para uso humano. Fruta fresca Tuna (*Opuntia spp.*) Especificaciones.** SECOFI Secretaria de comercio y desarrollo industrial. Dirección general de Normas.
22. Torres J. “**Instalación y acondicionamiento de alambique para el laboratorio de Ingeniería Química con fines didácticos**” México 1975
23. Treybal. R. “**Operaciones de transferencia de masas**” Editorial McGraw Hill México 1988 2ª edición pp 379 410
24. Ward O. “**Biotecnología de la fermentación**” Editorial Acribia, España 1989 pp120-136
25. Zinsser et al, “**Microbiología**” Editorial panamericana, México 1986.
26. www.codex.com
27. www.economia.gob.mx
28. www.economia/sniim.com.mx

A N E X O S

ANEXO I

NORMA DEL CODEX PARA LA TUNA (CODEX STAN 186-1993, EMD. 1-2005)

1. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

Esta Norma se aplica a las variedades comerciales de tunas obtenidas de *Opuntia ficus indica*, *O. streptanthae*, y *O. lindheimeiri*, de la familia *Cactaceae*, que habrán de suministrarse frescas al consumidor, después de su acondicionamiento y envasado. Se excluyen las tunas destinadas a la elaboración industrial.

2. DISPOSICIONES RELATIVAS A LA CALIDAD

2.1 REQUISITOS MÍNIMOS

En todas las categorías, a reserva de las disposiciones especiales para cada categoría y las tolerancias permitidas, las tunas deberán:

- estar enteras;
- estar sanas, deberán excluirse los productos afectados por podredumbre o deterioro que hagan que no sean aptos para el consumo;
- estar limpias, y prácticamente exentas de cualquier materia extraña visible;
- estar prácticamente exentas de daños causados por plagas;
- estar exentas de humedad externa anormal, salvo la condensación consiguiente a su remoción de una cámara frigorífica;
- estar exentas de cualquier olor y/o sabor extraños;
- ser de consistencia firme;
- tener un aspecto fresco;
- estar exentos de daños causados por bajas temperaturas;
- estar exentas de espinas;
- estar exentas de manchas pronunciadas;
- estar suficientemente desarrolladas y presentar un grado de madurez satisfactorio según la naturaleza del producto.

Dependiendo de la variedad de la tuna, el receptáculo de la fruta será plano o ligeramente hundido. Las tunas deberán presentar la forma, color, sabor y olor característicos de la especie.

2.1.1 El desarrollo y condición de las tunas deberán ser tales que les permitan:

- soportar el transporte y la manipulación; y
- llegar en estado satisfactorio al lugar de destino.

2.2 CLASIFICACIÓN

Las tunas se clasifican en tres categorías, según se definen a continuación:

2.2.1 Categoría “Extra”

Las tunas de esta categoría deberán ser de calidad superior y características de la variedad y/o tipo comercial. No deberán tener defectos, salvo defectos superficiales muy leves siempre y cuando no afecten al aspecto general del producto, su calidad, estado de conservación y presentación en el envase.

CODEX STAN 186 Página 2 de 4

2.2.2 Categoría I

Las tunas de esta categoría deberán ser de buena calidad y característicos de la variedad y/o tipo comercial. Podrán permitirse, sin embargo, los siguientes defectos leves, siempre y cuando no afecten al aspecto general del producto, su calidad, estado de conservación y presentación en el envase:

- defectos leves de forma y color;
- defectos leves de la piel debidos a magulladuras, manchas producidas por el sol, costras, manchas u otros defectos superficiales. La superficie total afectada no deberá superar el 4%.

En ningún caso los defectos deberán afectar a la pulpa del fruto.

2.2.3 Categoría II

Esta categoría comprende las tunas que no pueden clasificarse en las categorías superiores, pero satisfacen los requisitos mínimos especificados en la Sección 2.1. Las tunas de esta categoría deberán ser características de la variedad y/o tipo comercial. Podrán permitirse, sin embargo, los siguientes defectos, siempre y cuando las tunas conserven sus características esenciales en lo que respecta a su calidad, estado de conservación y presentación:

- defectos de forma y color, siempre y cuando el producto tenga las características propias de la tuna;
- defectos de la piel debidos a magulladuras, cicatrices, costras, manchas producidas por el sol u otros defectos. La superficie total afectada no deberá superar el 8%.

En ningún caso los defectos deberán afectar a la pulpa del fruto.

3. DISPOSICIONES RELATIVAS A LA CLASIFICACIÓN POR CALIBRES

El calibre se determina por el peso de la tuna, de acuerdo con el siguiente cuadro:

Código de Calibre	Peso (en gramos)
A	90 – 105
B	105 – 140
C	140 – 190
D	190 – 270
E	> 270

4. DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS TOLERANCIAS

En cada envase se permitirán tolerancias de calidad y calibre para los productos que no satisfagan los requisitos de la categoría indicada.

4.1 TOLERANCIAS DE CALIDAD

4.1.1 Categoría “Extra”

El 5%, en número o en peso, de las tunas que no satisfagan los requisitos de esta categoría pero satisfagan los de la Categoría I o, excepcionalmente, que no superen las tolerancias establecidas para esta última.

4.1.2 Categoría I

El 10%, en número o en peso, de las tunas que no satisfagan los requisitos de esta categoría pero satisfagan los de la Categoría II o, excepcionalmente, que no superen las tolerancias establecidas para esta última.

CODEX STAN 186 Página 3 de 4

4.1.3 Categoría II

El 10%, en número o en peso, de las tunas que no satisfagan los requisitos de esta categoría ni los requisitos mínimos, con excepción de los productos afectados por podredumbre, irregularidades pronunciadas, o cualquier otro tipo de deterioro que haga que no sean aptos para el consumo.

4.2 TOLERANCIAS DE CALIBRE

Para la Categoría “Extra”, el 5%, y para las Categorías I y II el 10%, en número o en peso, de las tunas que no satisfagan los requisitos relativos al calibre, pero que entren en la categoría inmediatamente superior o inferior a las indicadas en la Sección 3.

5. DISPOSICIONES RELATIVAS A LA PRESENTACIÓN

5.1 HOMOGENEIDAD

El contenido de cada envase (o lote, para productos presentados a granel) deberá ser homogéneo y estar constituido únicamente por tunas del mismo origen, variedad, calidad y calibre. Para la Categoría “Extra”, el color y la madurez deberán ser homogéneos. La parte visible del contenido del envase (o lote, para productos presentados a granel) deberá ser representativa de todo el contenido.

5.2 ENVASADO

Las tunas deberán envasarse de tal manera que el producto quede debidamente protegido. Los materiales utilizados en el interior del envase deberán ser nuevos, estar limpios y ser de calidad tal que evite cualquier daño externo o interno al producto. Se permite el uso de materiales, en particular papel o sellos, con indicaciones comerciales, siempre y cuando estén impresos o etiquetados con tinta o pegamento no tóxico.

Las tunas deberán disponerse en envases que se ajusten al Código Internacional de Prácticas Recomendado para el Envasado y Transporte de Frutas y Hortalizas Frescas (CAC/RCP 44-1995, Emd. 1-2004).

5.2.1 Descripción de los Envases

Los envases deberán satisfacer las características de calidad, higiene, ventilación y resistencia necesarias para asegurar la manipulación, el transporte y la conservación apropiados de las tunas. Los envases (o lote, para productos presentados a granel) deberán estar exentos de cualquier materia y olor extraños.

6. MARCADO O ETIQUETADO

6.1 ENVASES DESTINADOS AL CONSUMIDOR

Además de los requisitos de la Norma General del Codex para el Etiquetado de Alimentos Preenvasados (CODEX STAN 1-1985, Rev. 1-1991), se aplicarán las siguientes disposiciones específicas:

6.1.1 Naturaleza del Producto

Si el producto no es visible desde el exterior, cada envase deberá etiquetarse con el nombre del producto y, facultativamente, con el de la variedad.

6.2 ENVASES NO DESTINADOS A LA VENTA AL POR MENOR

Cada envase deberá llevar las siguientes indicaciones en letras agrupadas en el mismo lado, marcadas de forma legible e indeleble y visibles desde el exterior, o bien en los documentos que acompañan el envío. Para los productos transportados a granel, estas indicaciones deberán aparecer en el documento que acompaña a la mercancía.

¹ Para los fines de esta Norma, esto incluye el material recuperado de calidad alimentaria.

CODEX STAN 186 Página 4 de 4

6.2.1 Identificación

Nombre y dirección del exportador, envasador y/o expedidor. Código de identificación (facultativo).²

6.2.2 Naturaleza del Producto

Nombre del producto si el contenido no es visible desde el exterior. Nombre de la variedad o tipo comercial (facultativo).

6.2.3 Origen del Producto

País de origen y, facultativamente, nombre del lugar, distrito o región de producción.

6.2.4 Especificaciones Comerciales

- Categoría;
- Calibre (código de calibre o gama de pesos en gramos);

- Número de unidades (facultativo);
- Peso neto (facultativo).

6.2.5 Marca de Inspección Oficial (facultativa)

7. CONTAMINANTES

7.1 METALES PESADOS

Las tunas deberán cumplir con los niveles máximos para metales pesados establecidos por la Comisión del Codex Alimentarius para este producto.

7.2 RESIDUOS DE PLAGUICIDAS

Las tunas deberán cumplir con los límites máximos para residuos de plaguicidas establecidos por la Comisión del Codex Alimentarius para este producto.

8. HIGIENE

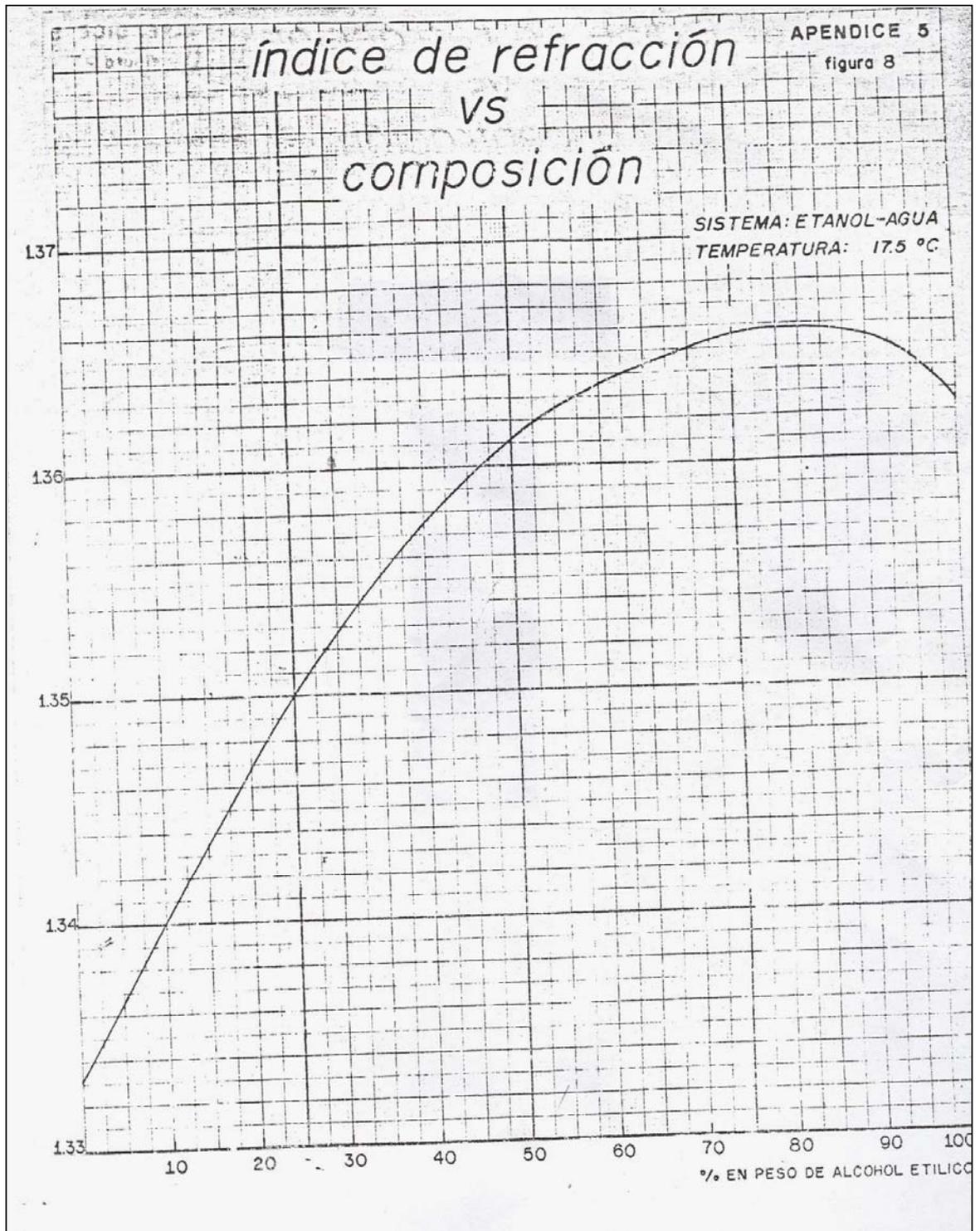
8.1 Se recomienda que el producto regulado por las disposiciones de la presente Norma se prepare y manipule de conformidad con las secciones apropiadas del Código Internacional Recomendado de Prácticas - Principios Generales de Higiene de los Alimentos (CAC/RCP 1-1969, Rev. 4-2003), Código de Prácticas de Higiene para Frutas y Hortalizas Frescas (CAC/RCP 53-2003) y otros textos pertinentes del Codex, tales como códigos de prácticas y códigos de prácticas de higiene.

8.2 Los productos deberán ajustarse a los criterios microbiológicos establecidos de conformidad con los Principios para el Establecimiento y la Aplicación de Criterios Microbiológicos a los Alimentos (CAC/GL 21-1997).

²

La legislación nacional de algunos países requiere una declaración expresa del nombre y la dirección. Sin embargo, en caso de que se utilice una marca en clave, habrá de consignarse muy cerca de ella la referencia al “envasador y/o expedidor” (o a las siglas correspondientes).

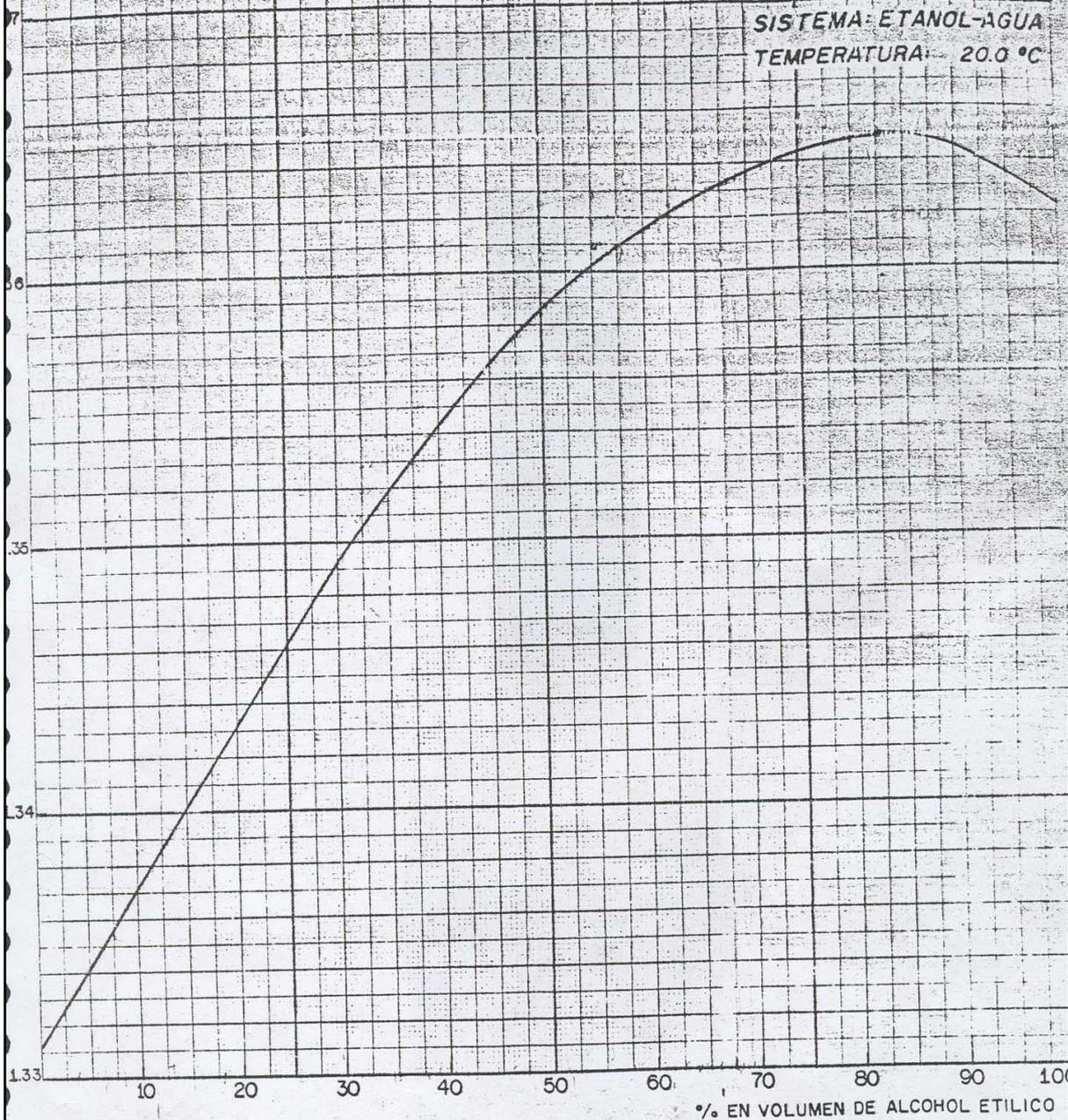
ANEXO II

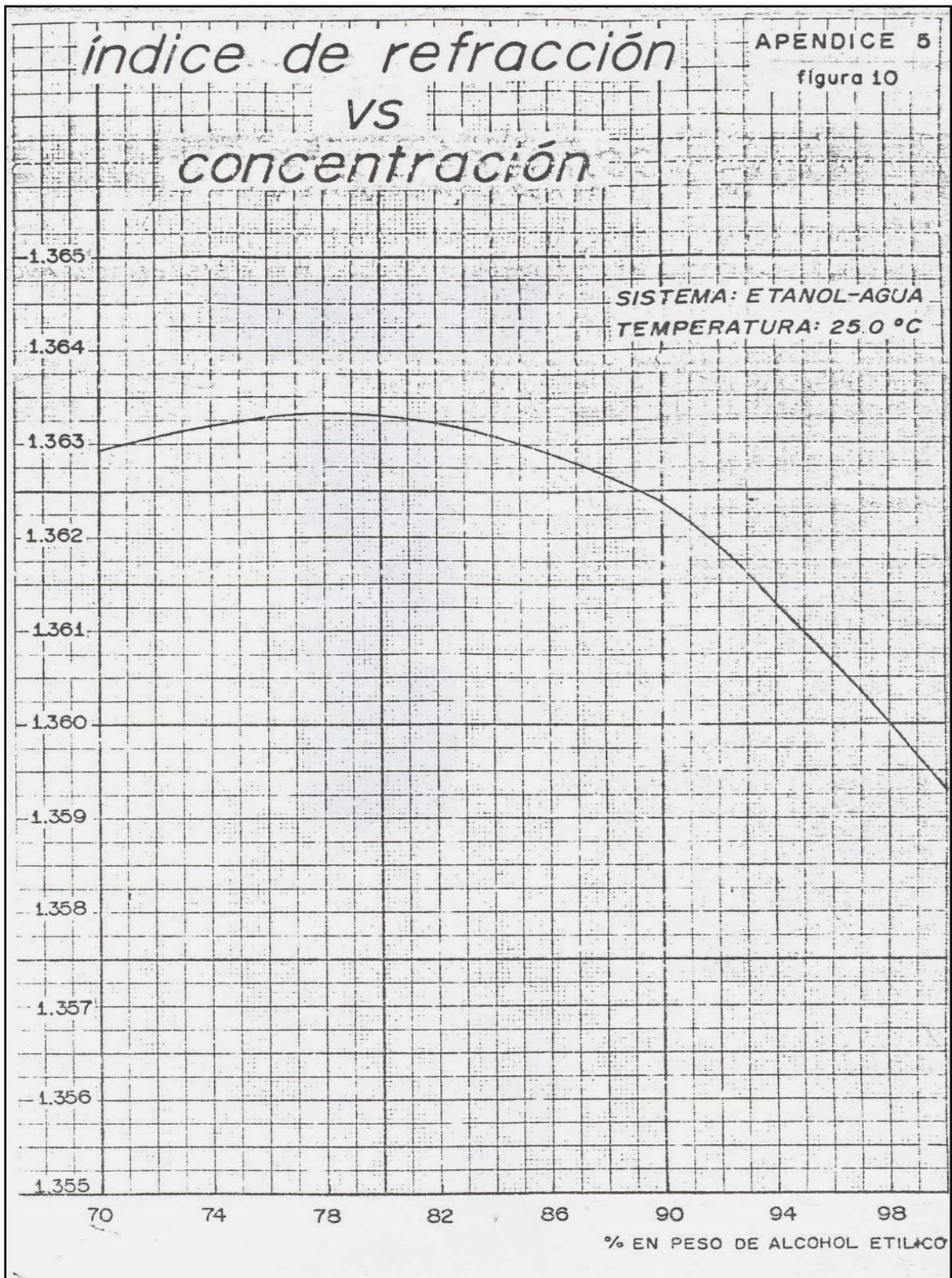


*índice de refracción
vs
concentración*

APENDICE 5
figura 11

SISTEMA ETANOL-AGUA
TEMPERATURA: 20.0 °C





Fuente: Tesis de licenciatura de Torres Merino Jesús.