

# TABLA DE CONTENIDOS

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

INDICE DE GRAFICOS

INDICE DE ECUACIONES

RESUMEN .....	i
INTRODUCCION.....	ii
<b>1. PARTE TEÓRICA .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. LOS POLIOLES .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2. EL SORBITOL .....</b>	<b>16</b>
1.2.1. APLICACIONES DEL SORBITOL.....	17
<b>1.3. SÍNTESIS DE SORBITOL .....</b>	<b>18</b>
1.3.1. REDUCCIÓN ELECTROQUÍMICA DE LA GLUCOSA.....	19
1.3.2. HIDROGENACIÓN ELECTROCATALÍTICA DE GLUCOSA.....	20
1.3.3. VÍA DE HIDROGENACIÓN CATALÍTICA DE LA DEXTROSA LÍQUIDA.....	21
1.3.4. REDUCCIÓN ENZIMÁTICA DE GLUCOSA-FRUCTOSA CON BACTERIAS “ <i>ZYMOMOMAS MOBILIS</i> ” .....	22
<b>1.4. CLASIFICACIÓN Y PROPIEDADES DE ALGUNAS FRUTAS COMUNES Y EXÓTICAS DEL ECUADOR.....</b>	<b>23</b>
1.4.1. EL FRUTO DEL ARAZÁ .....	26
1.4.2. EL FRUTO DEL BANANO .....	27
1.4.3. EL FRUTO DEL BOROJÓ.....	29
1.4.4. EL FRUTO DE LA CLAUDIA .....	20
1.4.5. EL FRUTO DEL DURAZNO.....	21
1.4.6. EL FRUTO DE LA FRESA .....	22
1.4.7. EL FRUTO DE LA GUAYABA .....	24
1.4.8. EL FRUTO DEL KIWI.....	25
1.4.9. EL FRUTO DEL MANGO .....	27
1.4.10. EL FRUTO DE LA MANZANA .....	28
1.4.11. EL FRUTO DE LA MORA .....	30
1.4.12. EL FRUTO DEL NONI.....	31
1.4.13. EL FRUTO DEL ORITO .....	32
1.4.14. EL FRUTO DE LA PAPAYA .....	33

1.4.15.	EL FRUTO DEL PEPINO .....	34
1.4.16.	EL FRUTO DE LA PERA .....	35
1.4.17.	EL FRUTO DE LA PIÑA .....	37
1.4.18.	EL FRUTO DE LA PITAHAYA.....	38
1.4.19.	EL FRUTO DEL TAXO .....	39
1.4.20.	EL FRUTO DEL TOMATE DE ÁRBOL.....	40
1.4.21.	EL FRUTO DE LA TUNA .....	41
1.4.22.	EL FRUTO DE LA UBILLA.....	42
1.4.23.	EL FRUTO DE LA UVA.....	43
<b>2.</b>	<b>PARTE EXPERIMENTAL .....</b>	<b>45</b>
<b>2.1.</b>	<b>ANÁLISIS CUANTITATIVO DE SORBITOL POR CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTA EFICIENCIA HPLC .....</b>	<b>45</b>
2.1.1.	MATERIALES Y EQUIPOS.....	45
2.1.2.	CONDICIONES DE ANÁLISIS .....	46
2.1.3.	CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE GLUCOSA, FRUCTOSA Y SORBITOL .....	46
<b>2.2.</b>	<b>SÍNTESIS DE SORBITOL A PARTIR DE GLUCOSA POR VÍA ELECTROQUÍMICA .....</b>	<b>47</b>
2.2.1.	MATERIALES Y EQUIPOS .....	47
2.2.2.	CONDICIONES DE ANÁLISIS .....	47
2.2.3.	CONSTRUCCIÓN DE LA CELDA ELECTROQUÍMICA.....	47
2.2.4.	SÍNTESIS ELECTROQUÍMICA. ....	48
2.2.5.	PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PREVIO AL ANÁLISIS. ....	49
2.2.6.	DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE GLUCOSA Y SORBITOL EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS. ....	50
2.2.7.	RENDIMIENTO DE LA REACCIÓN DE REDUCCIÓN DE GLUCOSA A SORBITOL. 50	
<b>2.3.</b>	<b>ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROCESO DE SÍNTESIS DE SORBITOL A PARTIR DE GLUCOSA A ESCALA DE LABORATORIO.....</b>	<b>51</b>
<b>2.4.</b>	<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SORBITOL EN 23 FRUTAS COMUNES Y EXOTICAS DEL ECUADOR.....</b>	<b>53</b>
2.4.1.	PREPARACIÓN DE LA PULPA DE LAS FRUTAS SELECCIONADAS. ....	53
2.4.2.	ESTÁNDARES UTILIZADOS EN LOS MÉTODOS ANALÍTICOS CROMATOGRÁFICOS. ....	54
2.4.3.	ANÁLISIS CUALITATIVO DE SORBITOL POR CROMATOGRAFÍA DE CAPA FINA (TLC) EN LAS 23 FRUTAS ECUATORIANAS ESTUDIADAS. ....	55

2.4.3.1. <i>Materiales</i> .....	55
2.4.3.2. <i>Condiciones de análisis</i> .....	55
2.4.3.3. <i>Determinación de los valores de Rf de los estándares y de los extractos de las 23 frutas estudiadas</i> .....	55
2.4.4. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE SORBITOL POR CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTA EFICIENCIA (HPLC) EN LAS 23 FRUTAS ECUATORIANAS ESTUDIADAS .....	57
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>58</b>
<b>3.1. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE SORBITOL POR CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTA EFICIENCIA HPLC.</b> .....	<b>58</b>
<b>3.2. SÍNTESIS DE SORBITOL A PARTIR DE GLUCOSA POR VÍA ELECTROQUÍMICA</b> .....	<b>61</b>
3.2.1. ENSAYO 1 Y 2.....	61
3.2.2. ENSAYO 3.....	63
3.2.3. ENSAYO 4.....	65
3.2.4. ENSAYO 5.....	76
<b>3.3. ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROCESO DE SÍNTESIS DE SORBITOL A PARTIR DE GLUCOSA A ESCALA DE LABORATORIO.</b> .....	<b>80</b>
<b>3.4. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SORBITOL EN 23 FRUTAS COMUNES Y EXÓTICAS DEL ECUADOR.</b> .....	<b>70</b>
3.4.1. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SORBITOL EN FRUTAS COMUNES Y EXÓTICAS DEL ECUADOR MEDIANTE CROMATOGRAFÍA DE CAPA FINA. ....	70
3.4.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SORBITOL EN FRUTAS COMUNES Y EXÓTICAS DEL ECUADOR MEDIANTE CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTA EFICIENCIA .....	75
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>91</b>
<b>4.1. CONCLUSIONES</b> .....	<b>91</b>
<b>4.2. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>92</b>
- <b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>923</b>
- <b>ANEXOS</b> .....	<b>928</b>

## LISTA DE FIGURAS

<u>Figura 1.1 Estructuras moleculares de los polioles</u> .....	17
Figura 1.2 Estructura del sorbitol .....	17
Figura 1.3. Reducción electroquímica de glucosa a sorbitol.....	9
Figura 1.4 Obtención de sorbitol por hidrogenación electrocatalítica de glucosa.....	10
Figura 1.5 Mecanismo de producción de sorbitol y ácido glucónico con bacterias “ <i>Zymomonas mobilis</i> ” .....	10
Figura 1.6 EL FRUTO DEL ARAZÁ.....	17
Figura 1.7 EL FRUTO DEL BANANO.....	19
Figura 1.8 EL FRUTO DEL BOROJÓ.....	22
Figura 1.9 EL FRUTO DE LA CLAUDIA.....	24
Figura 1.10 EL FRUTO DEL DURAZNO.....	17
Figura 1.11 EL FRUTO DE LA FRESA.....	17
Figura 1.12 EL FRUTO DE LA GUAYABA.....	17
Figura 1.13 EL FRUTO DEL KIWI.....	17
Figura 1.14 EL FRUTO DEL MANGO.....	17
Figura 1.15 EL FRUTO DE LA MANZANA.....	17
Figura 1.16 EL FRUTO DE LA MORA.....	17
Figura 1.17 EL FRUTO DEL NONI.....	17
Figura 1.18 EL FRUTO DEL ORITO.....	17
Figura 1.19 EL FRUTO DE LA PAPAYA.....	17
Figura 1.20 EL FRUTO DEL PEPINO.....	17
Figura 1.21 EL FRUTO DE LA PERA.....	17
Figura 1.22 EL FRUTO DE LA PIÑA.....	17
Figura 1.23 EL FRUTO DE LA PITAHAYA.....	17
Figura 1.24 EL FRUTO DEL TAXO.....	17
Figura 1.25 EL FRUTO DEL TOMATE DE ÁRBOL.....	17
Figura 1.26 EL FRUTO DE LA TUNA.....	17
Figura 1.27 EL FRUTO DE LA UBILLA.....	17
Figura 1.28 EL FRUTO DE LA UVA.....	17
Figura 2.1 Cromatografo líquido de alta eficiencia .....	61
Figura 2.2.Celda electroquímica.....	64
<u>Figura 2.3.Reacción de reducción de glucosa a sorbitol por vía electroquímica</u> .....	64
<u>Figura 2.4.Preparación de las muestras</u> .....	64
<u>Figura 2.5.Agitación de las muestras</u> .....	64
<u>Figura 3.1Cromatograma de la separación de una solución de 3mg/ml de glucosa, fructosa y sorbitol utilizando el equipo HPLC</u> .....	64
<u>Figura 3.2 Cromatograma de la muestra final de la síntesis electroquímica correspondiente al Ensayo 2 tomada a la hora 7 de la reacción</u> .....	64

<u>Figura 3.3 Cromatograma de la síntesis electroquímica correspondiente al Ensayo 3 durante las 12 horas de la reacción</u> .....	64
<u>Figura 3.4 Cromatograma de la síntesis electroquímica correspondiente al Ensayo 5 tomada a la hora 10 de la reacción</u> .....	64
<u>Figura 3.5 Placa de Silicagel con las manchas de sorbitol, glucosa, fructosa y de la mezcla de los mismos, utilizando el solvente acetonitrilo-agua (50:18)</u> .....	64
<u>Figura 3.6 Cromatograma de la muestra de durazno analizada por HPLC</u> .....	64
<u>Figura 3.7 Cromatograma de la muestra de manzana analizada por HPLC</u> .....	64
<u>Figura 3.8 Cromatograma de la muestra de pera analizada por HPLC</u> .....	64

## LISTA DE TABLAS

TABLA N° 1.1 Dulzor y contenido energético relativo de manitol, sorbitol y xilitol respecto a la <u>sacarosa</u> .....	5
TABLA N° 1.2 Nombre, familia y origen de las frutas.....	14
TABLA N° 1.3 Valor nutricional de 100 g de la pulpa de Arazá.....	117
TABLA N° 1.4 Valor nutricional de 100 g de la pulpa de Banano.....	18
TABLA N° 1.5 Valor nutricional de 100 g de la pulpa de Borojó.....	19
TABLA N° 1.6 Valor nutricional de 100 g de la pulpa de Claudia.....	20
TABLA N° 1.7 Valor nutricional de 100 g de la pulpa de Durazno.....	22
TABLA N° 1.8 Valor nutricional de 100 g de la pulpa de Fresa.....	23
TABLA N° 1.9 Valor nutricional de 100 g de la pulpa de Guayaba.....	25
TABLA N° 1.10 Valor nutricional de 100 g de la pulpa de Kiwi.....	217
TABLA N° 1.11 Valor nutricional de 100 g de la pulpa de Mango.....	28
TABLA N° 1.12 Valor nutricional de 100 g de la pulpa de Manzana.....	29
TABLA N° 1.13 Valor nutricional de 100 g de la pulpa de Mora.....	31
TABLA N° 1.14 Valor nutricional de 100 g de la pulpa de Orito.....	32
TABLA N° 1.15 Valor nutricional de 100 g de la pulpa de Papaya.....	34
TABLA N° 1.16 Valor nutricional de 100 g de la pulpa de Pepino.....	35
TABLA N° 1.17 Valor nutricional de 100 g de la pulpa de Pera.....	317
TABLA N° 1.18 Valor nutricional de 100 g de la pulpa de Piña.....	38
TABLA N° 1.19 Valor nutricional de 100 g de la pulpa de Pitahaya.....	39
TABLA N° 1.20 Valor nutricional de 100 g de la pulpa de Taxo.....	40
TABLA N° 1.21 Valor nutricional de 100 g de la pulpa de Tuna.....	42
TABLA N° 1.22 Valor nutricional de 100 g de la pulpa de Ubilla.....	43
TABLA N° 1.23 Valor nutricional de 100 g de la pulpa de Uva.....	44
TABLA N° 2.1 Diluciones de la solución madre de glucosa, fructosa y sorbitol para la construcción de las curvas de calibración.....	46
TABLA N° 2.2 Soluciones electrolíticas utilizadas en los ensayos realizados.....	49
TABLA N° 2.3 Descripción y costos de los materiales y equipos utilizados.....	52
TABLA N° 3.1 Tiempos de retención de los estándares de glucosa, fructosa y sorbitol.....	58
TABLA N° 3.2 Valores experimentales para la construcción de las curvas de calibración.....	59
TABLA N° 3.3 Valores experimentales obtenidos para los Ensayos 1 y 2.....	171
TABLA N° 3.4 Ensayo 3 de la síntesis de sorbitol a partir de glucosa.....	173
TABLA N° 3.5 Valores experimentales obtenidos para el Ensayo 4.....	175
TABLA N° 3.6 Ensayo 5 de la síntesis de sorbitol a partir de glucosa.....	617
TABLA N° 3.7 Costo del proceso de síntesis de sorbitol a partir de glucosa a escala de laboratorio..	179
TABLA N° 3.8 Valores de Rf de glucosa, fructosa, sorbitol y la mezcla de los 3 estándares.....	72
TABLA N° 3.9 Valores comparativos correspondientes a glucosa, fructosa, sorbitol y a los extractos de la pulpa de las frutas estudiadas utilizando el solvente 1.....	74
TABLA N° 3.10 Concentración de glucosa, fructosa y sorbitol en muestras de las frutas estudiadas...	76

## **LISTA DE ECUACIONES**

Ecuación 1 Recorrido relativo de la muestra respecto al solvente .....	46
Ecuación 2 Reacción de reducción de glucosa a sorbitol por vía electroquímica. ....	50
Ecuación 3 Porcentaje de conversión de glucosa a sorbitol. ....	51

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1 Curva de calibración de glucosa.....	60
Gráfico 3.2 Curva de calibración de fructosa.....	60
Gráfico 3.3 Curva de calibración de sorbitol.....	170
Gráfico 3.4 Conversión de glucosa a sorbitol a las condiciones del Ensayo 2.....	62
Gráfico 3.5 Conversión de glucosa a sorbitol a las condiciones del Ensayo 3.....	64
Gráfico 3.6 Conversión de glucosa a sorbitol a las condiciones del Ensayo 5.....	67



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación muestra el desarrollo de proceso electroquímico con el fin de sintetizar sorbitol a partir de la reducción de glucosa, así como también muestra el desarrollo de un método analítico de detección y cuantificación del contenido de sorbitol, glucosa y fructosa presente en 23 tipos de frutas cultivadas en el territorio ecuatoriano, utilizando técnicas cromatográficas.

La síntesis electroquímica desarrollada utilizando electrodos de Plomo y Acero inoxidable como cátodo y ánodo respectivamente, una solución electrolítica compuesta de 0,4 mol/l de glucosa, 2,5% de sulfato de sodio y 1% de sosa, a condiciones constantes de temperatura a 50 °C, con una intensidad de corriente de 70mA y un voltaje de 4.9v, muestra que la reducción de glucosa por vía electroquímica produce sorbitol con una conversión del 77%.

Los métodos de cromatografía utilizados (TLC, HPLC) detectan y cuantifican la presencia de sorbitol en alrededor del 50% de las frutas estudiadas, la presencia de glucosa y fructosa en más del 90% de las mismas, mediante el uso (en HPLC) de una columna catiónica y un detector de índice de refracción.

# INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la tendencia actual de la sociedad por el consumo de productos naturales bajos en calorías como los edulcorantes, se han desarrollado varias investigaciones que demuestran que el consumo de frutas ayuda a controlar de mejor manera los niveles de azúcar en la sangre y de esta manera se pueden prevenir problemas o complicaciones en la salud a largo plazo [1].

Debido a la gran importancia que en la actualidad están adquiriendo los edulcorantes y sobre todo al creciente interés de difundir y promocionar las frutas ecuatorianas para darles a estas un valor agregado adicional, se ha desarrollado el presente trabajo de investigación, donde un sistema electroquímico de fácil operación ha sido diseñado para sintetizar el sorbitol a partir de glucosa.

En el presente trabajo de investigación se pretende obtener sorbitol que es un producto de valor comercial elevado desde glucosa que es un azúcar abundante y de precio módico, por medio de un método de síntesis electroquímica debido a que es sencillo y de fácil operación [10].

El sorbitol es un edulcorante natural que posee un bajo contenido en calorías, contiene un poder edulcorante del 60% con respecto a la glucosa, es un agente espesante, humectante, no produce caries y es utilizado en la industria como conservante [3].

El Ecuador por su situación geográfica privilegiada y por la riqueza de su biodiversidad, se encuentra entre los 20 países más megadiversos del mundo. El Ecuador está en capacidad de producir bienes agrícolas y pecuarios durante todo el año, entre ellos frutas de especies nativas así como de especies introducidas [14].

En el Ecuador se cultivan frutas tropicales como es el caso del banano y el orito, frutas exóticas como el arazá, el noni, la pitahaya y aquellas frutas que

se cultivan en la Región Interandina como son la manzana, la pera, el durazno [14].

En la actualidad existen diferentes tipos de frutas con calidad de exportación que son producidas en el territorio ecuatoriano, tal es el caso del banano, la pitahaya, el noni, el borjón y el tomate de árbol; además de la exportación de fruta como materia prima, para obtener subproductos de variada naturaleza como es el caso de las pulpas de fruta para elaboración de jugos y helados [19].

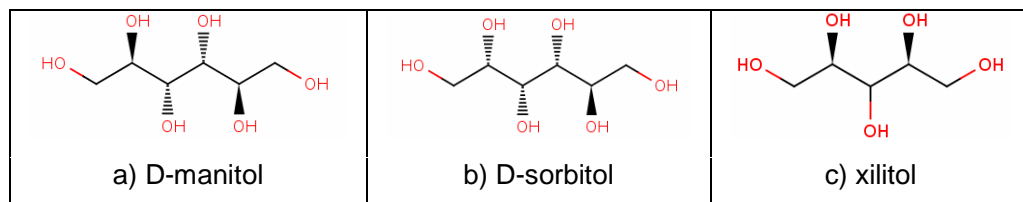
De esta manera, la importancia económica del sector frutícola no solo estaría establecida por su valor como alimento sino también por potencialidad de la producción de productos derivados, como los azúcares que estas contienen, tal es el caso del sorbitol [19].

# 1. PARTE TEÓRICA

## 1.1. LOS POLIOLES

Los polioles son carbohidratos que contienen múltiples grupos -OH, pero no son azúcares. Químicamente a los polioles se los considera como alcoholes polihidroxílicos, es decir son alcoholes de azúcar porque parte de su estructura se asemeja al azúcar y la otra parte es similar a la de los alcoholes [1].

Los polioles se derivan de los carbohidratos cuyo grupo carbonilo (aldehído o cetona) se ha reducido a un grupo oxidrilo primario o secundario [1]. La Figura 1.1 muestra las estructuras moleculares de los polioles D-manitol, D-sorbitol y xilitol.



**Figura 1.1** Estructuras moleculares de a) D-manitol; b) D-sorbitol; c) xilitol

Los polioles pueden ser caracterizados como sustitutos del azúcar debido a que aportan menos energía que éste y son absorbidos lenta e incompletamente en el intestino. No afectan a los niveles de glucosa en la sangre y presentan una respuesta reducida de la insulina [1].

El consumo excesivo de los polioles (más de 50 g de sorbitol o más de 20 g de manitol al día) puede producir flatulencia y diarrea debido al efecto laxante que estos poseen [1].

La TABLA N° 1.1 muestra el dulzor relativo y el contenido energético relativo de el manitol, el sorbitol y el xilitol con respecto a la sacarosa.

**TABLA N° 1.1**

Dulzor y contenido energético relativo de manitol, sorbitol y xilitol respecto a la sacarosa

<b>Nombre</b>	<b>Dulzor relativo (sacarosa = 1)</b>	<b>Contenido energético (kcal/g)</b>
Manitol	0,5	1,6
Sorbitol	0,6	2,6
Xilitol	1,0	2,4
Sacarosa	1,0	4,0

Fuente: Chemical and functional properties of food saccharides, Tomasik 2004

Los polioles pueden ser utilizados como agentes emulsificantes, plastificantes, conservantes de productos almacenados o congelados, endulzantes en pastas dentales, edulcorantes en productos especialmente para diabéticos, etc. [1].

Los polioles están naturalmente presentes en muchas frutas y vegetales. Comercialmente estos polioles son sintetizados y no se los extrae de fuentes naturales [2].

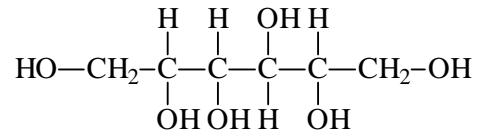
## **1.2. EL SORBITOL.**

El sorbitol es un alcohol hexahidroxílico con una cadena lineal de seis átomos de carbono y seis grupos hidroxilos, es conocido también como D-sorbitol o glucitol [3].

Es muy estable y químicamente no reactivo, por lo que no participa en las llamadas reacciones Maillard o de caramelo; es decir que puede resistir elevadas temperaturas sin que esto produzca un cambio en su coloración [3].

El sorbitol en estado sólido es un material cristalino blanco y sin olor. Tiene un calor de disolución negativo, por lo que produce un efecto de enfriamiento, al ser degustado [3].

El sorbitol es un azúcar refinado de bajas calorías (contiene un 30% con respecto a la sacarosa), que posee un poder edulcorante del 60% con respecto a la glucosa y presenta la misma configuración estérica de esta [4].



**Figura 1.2** Estructura del sorbitol

Se lo encuentra en frutas como: ciruelas, cerezas, manzanas y peras, en algas marinas y en el tabaco. Es un componente de los jugos de estas frutas, vinos de frutas como el de uva y manzana, así como de otros productos derivados de frutas como mermeladas de bayas [5].

El sorbitol es altamente soluble en agua y en piridina caliente, y es escasamente soluble en metanol y etanol. Es virtualmente insoluble en los solventes orgánicos comunes e inerte ante ácidos y bases [3].

#### 1.2.1. APLICACIONES DEL SORBITOL.

El sorbitol tiene un amplio espectro de aplicaciones. Es utilizado como precursor de vitamina C. Compite con la glicerina como plastificante, humectante y en otros usos. El sorbitol al igual que otros polioles es utilizado en el campo de las resinas. El sorbitol es también usado para hacer derivados orgánicos e inorgánicos como agentes clarificantes y fluidos embalsamantes [3].

El sorbitol no produce caries dental debido a que como poliol, resiste al metabolismo bacterial oral, no libera ácidos que podrían insertarse en las cavidades o erosionar el esmalte de los dientes. Por estos motivos el sorbitol es utilizado para fabricar pastas dentales y chicles [4].

El sorbitol es utilizado también en la elaboración de detergentes biodegradables [4].

En sus aplicaciones farmacéuticas, el sorbitol presenta varios usos, que incluyen la sustitución del azúcar (sacarosa) en ciertas preparaciones, debido a que puede ser más estable que este (sacarosa) [3]. Al ser ingerido en los alimentos, el sorbitol aumenta muy lentamente el nivel de glucosa en la sangre, es decir presenta una respuesta reducida a la insulina y por eso se lo utiliza para endulzar los alimentos para diabéticos [6].

El sorbitol interviene en la osmoregulación de varias células renales; además se ha encontrado que las enzimas de la síntesis y degradación del sorbitol están reguladas osmóticamente en el organismo vivo [4]. Grandes cantidades de sorbitol (más de 57 g para los adultos) tienen un efecto laxante debido al traslado osmótico de agua en el intestino [7].

El sorbitol es utilizado como agente espesante en mermeladas y jaleas y también como conservante en caramelos y galletas; se lo utiliza para preservarlos de la rancidez [4].

Los ácidos grasos superiores pueden esterificarse con el sorbitol para dar excelentes agentes surfactantes y emulsificantes para los alimentos [4].

Al sorbitol se lo utiliza como estabilizador y antioxidante en polímeros sintéticos, como plastificante en moldes de inyección, incrementa la flexibilidad del papel, así como la suavidad en las fibras [4].

### **1.3. SÍNTESIS DE SORBITOL.**

El sorbitol puede ser sintetizado a partir de la reducción de azúcares tales como la D-glucosa, D-fructosa, L-Gulosa y D-manosa. Varios métodos que han sido desarrollados para su obtención se describen a continuación [8].

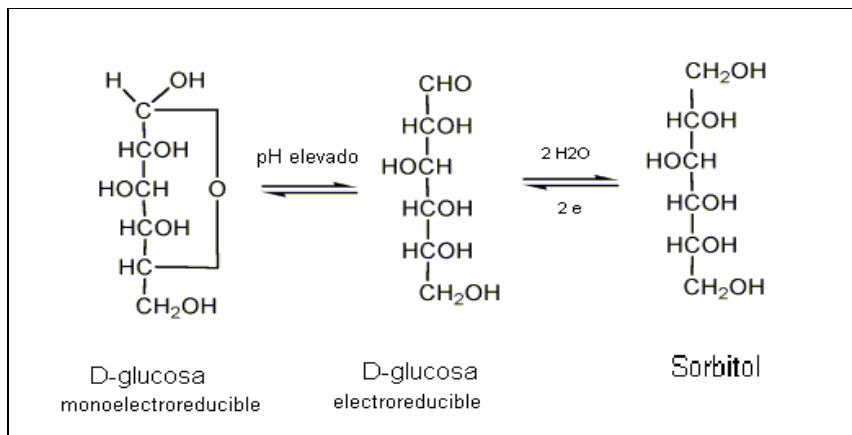
### 1.3.1. REDUCCIÓN ELECTROQUÍMICA DE LA GLUCOSA.

La glucosa, puede ser reducida electroquímicamente a sorbitol con electrodos de alto potencial hidrógeno, en medio acuoso [9].

Este proceso es controlado por el grado de conversión del azúcar cíclico al de cadena lineal, como es el caso del sorbitol [9].

La glucosa se convierte en sorbitol sin cambio estereoquímico en soluciones neutras o débilmente alcalinas. La reacción puede ser llevada a cabo en una celda que utiliza un cátodo de plomo y un ánodo con poros de difusión de hidrógeno. Los iones hidrógeno consumidos en el cátodo son reemplazados por la oxidación anódica del hidrógeno [10].

La electroreducción de la glucosa, consiste en una reacción directa producida en el cátodo, a un valor de pH elevado, de acuerdo con el esquema que se presenta a continuación [10].



**Figura 1.3.** Reducción electroquímica de glucosa en sorbitol

La síntesis electroquímica apareada, permite que se realicen reacciones simultáneas en el ánodo y en el cátodo que contribuyan a la formación del producto final; este método permite obtener una disminución del 50% en el consumo de energía comparado con otras síntesis electro-orgánicas convencionales [10].



Li y Hongmei proponen realizar la síntesis de sorbitol a partir de glucosa por vía electroquímica utilizando como electrodos un cátodo de plomo y un ánodo de dimensión estable. En esta síntesis se obtienen simultáneamente ácido glucónico y sorbitol. Estos autores aconsejan utilizar un anolito compuesto de 66,7 % de glucosa y 2 % de bromuro de sodio y el catolito compuesto de 66,7 % de glucosa y 2,5% de sulfato de sodio; debido a que valores superiores de glucosa producen un cambio en la viscosidad de la solución interfiriendo con la transferencia de electrones [10].

La electrólisis se desarrolla, en este caso, a 60 °C, 1 atm (10 KPa) y a una intensidad de corriente de 50 mAcm<sup>-2</sup>. A estas condiciones se obtiene un rendimiento mayor al 80 % en la formación de ambos productos [10].

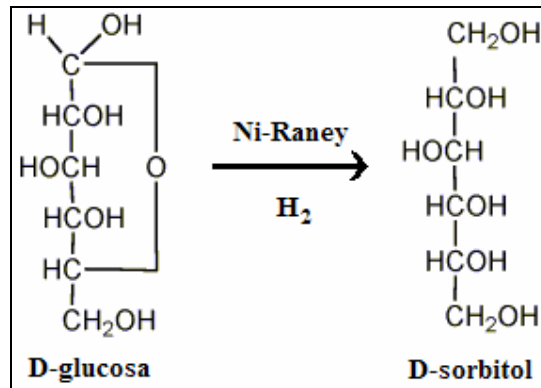
### 1.3.2. HIDROGENACIÓN ELECTROCATALÍTICA DE GLUCOSA.

La hidrogenación electrocatalítica de los compuestos orgánicos, que contienen grupos carbonilos, da como resultado el correspondiente alcohol [11].

Para la hidrogenación de la glucosa se emplea un reactor batch, que contiene un catalizador de “Níquel-Raney”, para evitar la formación de productos no deseados como la D-fructosa y el 2-deoxisorbitol [11].

La reacción se efectúa utilizando una solución acuosa compuesta de 60 % de glucosa, a un pH básico entre 7 y 13 empleando una solución básica de hidróxido de sodio. La presión parcial del hidrógeno durante la reacción oscila entre 3 y 13 MPa a 130 °C [11].

Bajo estas condiciones se obtiene un rendimiento de alrededor del 98 % en la formación de sorbitol [11]. La reacción que se produce es la siguiente:



**Figura 1.4** Obtención de sorbitol por hidrogenación electrocatalítica

### 1.3.3. VÍA DE HIDROGENACIÓN CATALÍTICA DE LA DEXTROSA LÍQUIDA.

La hidrogenación de la dextrosa líquida usa como catalizador un metal noble, como por ejemplo el níquel y forma el alcohol hexahidroxiílico, conocido como D-glucitol o D-sorbitol [12].

Este proceso proporciona un elevado rendimiento de sorbitol, debido a que el metal noble utilizado tiene una alta selectividad por la conversión cuantitativa de la dextrosa [12].

Debido a la gran actividad y selectividad de la catálisis, esta reacción puede ser llevada a cabo bajo condiciones más moderadas que en otros procesos convencionales, con un sistema a baja presión (3 MPa) y bajas temperaturas, que evitan la caramelización y la decoloración [12].

El producto de la catálisis se inhibe completamente en el medio de reacción por lo que puede ser depositado sobre níquel u otros metales pesados. El método de reactivación catalítica, da como resultado un bajo consumo de energía, además de ser posible recircular el catalizador [12].

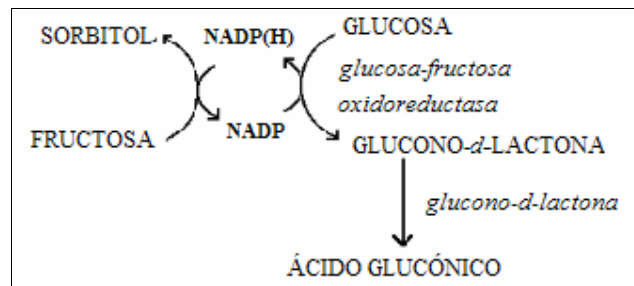
#### 1.3.4. REDUCCIÓN ENZIMÁTICA DE GLUCOSA-FRUCTOSA CON BACTERIAS “*Zymomonas mobilis*”

Este proceso que es llevado a cabo a diferentes condiciones de pH, temperatura y concentración de los sustratos que intervienen en la reacción (glucosa, fructosa), utiliza celdas ozonificadas y liofilizadas que contienen la enzima [13].

La oxidorreducción de la glucosa y la fructosa con “*Zymomonas mobilis*” produce simultáneamente su conversión en glucono- $\delta$ -lactona y sorbitol. Mientras el sorbitol todavía no es metabolizado por la bacteria, la glucono- $\delta$ -lactona es hidrolizada y convertida en ácido glucónico [13].

Para el proceso de oxidorreducción se utiliza el cofactor nicotín-adenosín difosfato (NADPH) como agente de transferencia de electrones [13].

La Figura 1.5 muestra el mecanismo de producción de sorbitol y ácido glucónico mediante la reducción enzimática de glucosa-fructosa.



**Figura 1.5** Mecanismo de producción de sorbitol y ácido glucónico con bacterias “*Zymomonas mobilis*”

La reacción se desarrolla durante 20 horas utilizando una solución de 100 g/l de glucosa, 1 g/l de sulfato de amonio, 1 g/l de sulfato de magnesio heptahidratado, 5 g/l de levadura a una temperatura de 39 °C y pH de 6.2. Bajo estas condiciones se obtiene conversiones del 97 % para ambos productos.

#### **1.4. CLASIFICACIÓN Y PROPIEDADES DE ALGUNAS FRUTAS COMUNES Y EXÓTICAS DEL ECUADOR**

Las frutas son consideradas alimentos reguladores, pues además de proporcionar vitaminas y minerales, ayudan a conseguir el equilibrio ácido-base del cuerpo, neutralizando el exceso de acidez [14].

Debido a la concentración de sus componentes, las frutas presentan variaciones en sabor, textura y apariencia, aún si se trata de la misma especie; de modo que los contenidos de vitamina C, vitamina A, Calcio, Fósforo y Hierro pueden ser elevados en unas frutas y moderados o escasos en otras frutas [15].

Las frutas aportan azúcares simples como la glucosa, la fructosa y la sacarosa. La cantidad de estos azúcares puede variar, dependiendo de la fruta y de su grado de maduración. El valor energético de las frutas generalmente es bajo, debido a su elevado contenido de agua [16].

Así, aquellas que contienen de 5 a 15 mg de azúcar por cada 100 g de alimento aportan de 40 a 80 calorías. En este grupo se encuentran el arazá, la claudia, el durazno, la fresa, la guayaba, el kiwi, el mango, la manzana, la papaya y la pera. Las que contienen más de 15 mg de azúcar por cada 100 g de alimento, como las bananas y las uvas, aportan con más de 150 calorías [17].

Las frutas poseen un alto contenido de fibra que regula la absorción intestinal, así como la velocidad de absorción de glucosa en la sangre, la fibra a su vez permite que la fructosa presente en las frutas sea absorbida por el intestino [15].

En cuanto a los minerales, existe un contenido de potasio, que oscila entre 200 y 300 mg por cada 100 g de fruta fresca. Esto favorece la eliminación de líquidos, residuos nitrogenados y cloruros, lo que ayuda a purificar el

organismo. Las proteínas y grasas son muy escasas; las frutas casi no poseen estos nutrientes [17].

Algunas frutas presentan un efecto laxante según su contenido de edulcorantes naturales, debido a que éstos tienen la capacidad de facilitar la digestión como es el caso del sorbitol [18].

Además de estas propiedades las frutas presentan diferentes características por lo que es posible clasificarlas en función de su naturaleza, estado, composición y características; sin embargo, el criterio de clasificación más habitual para el estudio de este grupo de alimentos, es el botánico [19].

Las frutas denominadas exóticas son aquellas que se cultivan principalmente en zonas tropicales. En el Ecuador se cultivan algunas frutas exóticas en la Amazonía como es el caso del borjón y la pitahaya. Las frutas exóticas presentan una extraña apariencia y muchas de ellas poseen propiedades médicas y terapéuticas [19].

En general las frutas exóticas tienen un alto contenido de agua, son diuréticas, poseen un alto contenido en fibra, por lo que en su mayoría las frutas exóticas son laxantes y digestivas [19].

El aporte en vitaminas de las frutas exóticas es elevado, el contenido de grasas no excede del 1,2% y el aporte en colesterol es nulo. Las frutas exóticas contienen altas cantidades de hierro, calcio y potasio fundamentalmente, pero estos aportes en minerales varían según la especie y variedad de fruta [19].

Las frutas comunes son aquellas de consumo generalizado cuyo cultivo se da a lo largo del territorio ecuatoriano, como es el caso de la manzana, el durazno, la pera, incluyendo en esta clasificación las frutas tropicales como el banano, la papaya, etc. [20].

A continuación en la TABLA N° 1.2 se muestran el origen, la familia y el nombre científico de algunas de las frutas que comúnmente son cultivadas en el Ecuador; se incluyen aquellas consideradas exóticas y que son cultivadas en zonas tropicales.

**TABLA N°1.2**  
NOMBRE, FAMILIA Y ORIGEN DE LAS FRUTAS

<b>Nombre Común</b>	<b>Nombre Científico</b>	<b>Familia</b>	<b>Origen</b>
Arazá	<i>Eugenia supitatus</i>	Myrtáceas	Amazónico
Banano	<i>Musa cavendishii</i> L.	Musáceas	Asiático
Borojó	<i>Borojoa patinoi</i>	Rubiáceas	Amazónico
Claudia	<i>Prunus salicina</i> Lind.	Rosáceas	Pérsico
Durazno	<i>Prunus persica</i> Stok	Rosáceas	Chino
Fresa	<i>Fragaria chiloensis</i> L Duch	Rosáceas	Americano
Guayaba	<i>Psidium guajaba</i> L.	Myrtáceas	Centroamericano
Kiwi	<i>Actinidia deliciosa</i> A. Chev	Actinidiáceas	Chino, Brasileño
Mango	<i>Magnífera indica</i> L.	Ancordiáceas	Asiático
Manzana	<i>Malus comunis</i> L	Rosáceas	Europeo-Asiático
Mora	<i>Rubus floribundus</i> H.B.K	Rosáceas	Sudamericano
Noni	<i>Morinda citrifolia</i>	Rubiáceas	Panameño
Orito	<i>Musa acuminata</i>	Musáceas	Amazónico
Papaya	<i>Carica papaya</i>	Caricáceas	Mexicano
Pepino	<i>Solanum muricatum</i> Ait	Solanáceas	Andino
Pera	<i>Pirus comunis</i> L.	Rosáceas	Europeo
Piña	<i>Ananas comosus</i> (L) Cerril	Bromeliáceas	Sudamericano
Pitahaya	<i>Hilocereus ocamponis</i> (SD) Bitl & Rose	Cactáceas	Centro-Sudamericano
Taxo	<i>Passiflora mollissima</i> (HBK) Bailey	Pasifloráceas	Andino
Tomate de Árbol	<i>CypHomandrea betacca</i> (CAV) Sedt	Solanáceas	Andino
Tuna	<i>Opuntia Picus-indica</i> Mads	Cactáceas	Amazónico
Ubilla	<i>Physalis peruviana</i>	Solanáceas	Andino
Uva	<i>Vifis vinifera</i>	Vitáceas	Europeo

#### 1.4.1. EL FRUTO DEL ARAZÁ



**Figura 1.6** Fruto del Arazá

Familia: Mc. Vaugh Myrtáceas

El arazá es una fruta que se cultiva en la costa ecuatoriana y en pequeña escala en el oriente. Los principales lugares de producción son Santo Domingo de los Colorados y algunas zonas de la provincia de El Oro [21].

Lo más notable de esta especie es el tamaño del fruto, en el cual las bayas miden de 8 a 12 cm de diámetro; la coloración de la piel cambia de verde a amarilla, según el grado de maduración. Su pulpa es ácida y amarilla en la madurez, de apariencia consistente [21].

El arazá contiene un alto porcentaje de humedad, alrededor del 70%. Es una fruta con altos contenidos proteicos. El arazá aporta con un valor moderado de ácido ascórbico [22].

El arazá contiene carbohidratos como la sacarosa, la glucosa y la fructosa, así como potasio y grandes cantidades de vitamina, A, B y C [22]. A continuación la TABLA N°1.3 muestra el contenido nutricional del arazá.

**TABLA N°1.3**

**VALOR NUTRICIONAL DE 100 g DE PULPA DE ARAZÁ**

<b>COMPONENTE</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Proteínas	8,06 – 10,75	g
Fibra	5,50 – 6,45	g
Carbohidratos	69,08 – 71,63	g
Nitrógeno	1,29 – 1,72	g
Fósforo	0,09	g
Potasio	1,78 – 2,38	g
Calcio	0,16 – 0,21	g
Magnesio	0,08 – 0,13	g
pH	2,65	
Acidez	90	%
Vitamina A	7,75	mg
Vitamina B	9,84	mg
Vitamina C	7,68	mg

Fuente: Pulpa de Arazá, Bolsa Amazonía (1998) [23].

#### 1.4.2. EL FRUTO DEL BANANO



**Figura 1.7** Los frutos del Banano

Familia: Musáceas

El banano es una de las frutas más populares en el mundo, considerada como una fruta exótica y de gran consumo. Es una fruta tropical de piel gruesa y pulpa carnosa de tonalidad generalmente blanca o ligeramente amarillenta [24].



En el Ecuador el cultivo del banano se encuentra distribuido desde las fajas costaneras hasta las estribaciones de la cordillera y desde la provincia de Esmeraldas hasta la provincia de El Oro [24].

El banano constituye para el Ecuador una de las mayores fuentes de ingreso, por rubros de exportación y el país es uno de los principales productores y exportadores de esta fruta en el mundo [24].

El banano posee muchas propiedades nutricionales. Es fuente de las vitaminas, C, B6 y A. Tiene un gran contenido de fibra, potasio y magnesio; posee bajos niveles de proteínas y no contiene grasa [24].

Su contenido calórico es elevado; como azúcares contiene conjuntamente la sacarosa, la fructosa y la glucosa y en bajas concentraciones también posee otros edulcorantes [24].

Contiene alrededor del 70% de agua y su parte sólida está compuesta principalmente de carbohidratos. En términos de energía cada gramo proporciona una caloría [25].

Los azúcares y almidones están presentes en el banano en concentraciones variables y estas concentraciones dependen del grado de madurez de la fruta en el proceso de maduración; los almidones se convierten en azúcares y su concentración disminuye del 20 % al 1 % [25].

Los azúcares corresponden a un 1,3 % de la materia seca total en los frutos inmaduros y alcanzan un 17% en los frutos maduros; durante la maduración los azúcares se encuentran en una proporción aproximada de: glucosa 20: fructosa 15: sacarosa 65, además de otros azúcares que se encuentran en cantidades muy pequeñas como la maltosa [24].

El alto contenido de azúcar en un banano maduro no es inusual en el fruto fresco y debido a ello proporciona casi el doble de energía que una manzana

y casi tres veces más que las frutas cítricas [25]. Los valores nutricionales del banano, se presentan en la TABLA N° 1.4.

**TABLA N° 1.4**

VALOR NUTRICIONAL DE 100 g DE PULPA DE BANANO

COMPONENTE	VALOR	UNIDAD
Proteínas	1,03	g
Agua	74,26	g
Carbohidratos	23,43	g
Fósforo	2	mg
Potasio	396	mg
Calcio	6	mg
Magnesio	7	mg
Grasas	0,48	g
Grasas saturadas	0,185	g
Proteínas	1,03	g
Vitamina A	2	mg
Vitamina B6	29	mg
Vitamina C	15	mg

Fuente: Red Internacional para el mejoramiento del banano y el plátano, INIABAP (2001) [25].

#### 1.4.3. EL FRUTO DEL BOROJÓ



**Figura 1.8** Frutos del borojó

Familia: Rubiáceas

El borojó es una fruta altamente energética y nutritiva que posee propiedades afrodisíacas, contiene fósforo, hierro, calcio y aminoácidos, y complejo vitamínico B [26].

El efecto energético que brinda el fruto del borojó es distinto al de la cafeína o guaraná y por tratarse de un fruto natural no produce efectos secundarios conocidos ni dependencias [26].

El borojó es un fruto esférico o piriforme, de 8 a 10 cm de diámetro. Es de color verde y cambia a chocolate cuando madura. La pulpa de color chocolate, es ácida y densa [27].

Sólo se da en regiones tropicales húmedas como es el caso de la Amazonía con temperaturas promedio de 24°C. Contiene alrededor de un 11% de azúcares, principalmente fructosa y glucosa [27].

El valor nutricional del borojó se muestra en la TABLA N°1.5.

**TABLA N°1.5.**

VALOR NUTRICIONAL DE 100 g DE PULPA DE BOROJÓ

COMPONENTE	VALOR	UNIDAD
Agua	64,6	g
pH	3,0	
Valor energético	93,0	cal
Carbohidratos	24,7	g
Azúcares totales	4,2	g
Azúcares reproductores	6,0	g
Fibra	15,0	g
Cenizas	1,2	g
Proteínas	1,3	g
Grasas	0,07	g
Calcio	23,0	mg
Fósforo	40,0	mg
Hierro	1,5	mg
Tiamina	0,30	mg
Riboflavina	0,12	mg
Niacina	2,3	mg
Acido Ascórbico	3,0	mg
Vitamina C	3,0	mg

FUENTE: El borojó, Frutas Ecuador (2005) [28].

#### 1.4.4. EL FRUTO DE LA CLAUDIA



**Figura 1.9** Frutos de la Claudia

Familia: Rosáceas

La claudia es una drupa redonda u oval, rojizo-amarillenta que mide unos 2.5 cm. de diámetro, aunque puede variar de tamaño, color e incluso sabor. Está recubierta por una piel sedosa y brillante [29].

El fruto de la claudia es cultivado en la zona interandina, principalmente en la región central del país. El agua es el principal componente de las claudias, seguido de los carbohidratos, entre los que se destaca el sorbitol. El 16% de los azúcares totales que contiene es glucosa [29]. El valor nutricional de la claudia, se presenta en la TABLA N°1.6.

**TABLA N°1.6**

VALOR NUTRICIONAL DE 100 g DE PULPA DE CLAUDIA

COMPONENTE	VALOR	UNIDAD
Agua	30	g
Lípidos	0,50	g
Carbohidratos	60	g
Potasio	610	mg
Proteínas	3,0	g
Calcio	38	mg
Fósforo	78	mg
Hierro	3,0	mg
Vitamina B1	0,20	mg
Vitamina B2	0,25	mg

Fuente: Cultivo del Ciruelo, Infojardín (2000) [30].

Las claudias poseen un contenido moderado de vitamina A y vitamina E, abundante fibra y antiocianatos [29].

#### 1.4.5. EL FRUTO DEL DURAZNO



**Figura 1.10.** Fruto del Durazno

Familia: Rosáceas

El durazno es un fruto globoso de 5,0 a 7,5 cm de diámetro, amarillento con tonalidades rojizas en la parte expuesta al sol y un surco longitudinal más o menos marcado. Es de piel aterciopelada y posee una carne amarilla o blanquecina, de sabor dulce que despide un delicado aroma [31].

El fruto del durazno es cultivado en zonas cálidas de la región interandina del Ecuador, principalmente en los valles de la provincia de Tungurahua [31].

La TABLA N° 1.7 muestra que el durazno tiene un bajo aporte de calorías, contiene Vitamina C, Vitamina A, carotenoides, potasio, sodio, fósforo, Vitamina B, Niacina, así como edulcorantes que le dan un suave efecto laxante. Posee alrededor de un 12% de carbohidratos [31].

**TABLA N°1.7**

VALOR NUTRICIONAL DE 100 g DE PULPA DE DURAZNO

COMPONENTE	VALOR	UNIDAD
Agua	86,6	g
Lípidos	0,1	g
Valor energético	46,0	kcal
Carbohidratos	11,8	g
Sodio	1,0	mg
Potasio	160	mg
Magnesio	10,0	mg
Calcio	9,0	mg
Proteínas	0,6	g
Fósforo	19,0	mg
Cobre	0,01	mg
Manganeso	0,11	mg
Hierro	0,50	mg
Acido málico	370	mg
Acido cítrico	370	mg
Acido pantoténico	0,12	mg
Acido nicotínico	1,0	mg
Vitamina C	7,0	mg

FUENTE: El cultivo del melocotón, Infoagro (1997) [32].

#### 1.4.6. EL FRUTO DE LA FRESA



**Figura 1.11** Frutos de la Fresa

Familia: Rosáceas

El fruto de la fresa es pequeño de forma ovalada y carne resistente, notablemente sabrosa y perfumada. Su superficie está cubierta de semillas de matiz oscuro y sobresalientes [33].

Las fresas son frutas que aportan pocas calorías, los componentes más abundantes, después del agua, son los carbohidratos (fructosa, glucosa y xilitol). Destaca su aporte de fibra, que mejora el tránsito intestinal [33].

Las fresas constituyen una fuente muy buena de vitamina C, ácido cítrico, ácido salicílico, ácido málico y oxálico, potasio. En menor proporción la fresa contiene vitamina E y flavonoides, pigmentos vegetales que le confieren a estas frutas su color característico [33].

El valor nutricional de las fresas se muestra en la TABLA N° 1.8

**TABLA N° 1.8**

**VALOR NUTRICIONAL DE 100 g DE PULPA DE FRESAS**

<b>COMPONENTE</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Albúminas	10	g
Azúcares	8,0	g
Valor energético	34,7	cal
Fibra	2,2	g
Carbohidratos	7,0	g
Potasio	150	mg
Magnesio	13	mg
Calcio	30	mg
Vitamina C	60	mg
Vitamina E	0,2	mg

Fuente: Frutas Fresas y Fresones, Consumer es EROSKI (1998) [33].

#### 1.4.7. EL FRUTO DE LA GUAYABA



**Figura 1.12** Fruto de la Guayaba  
Familia: Myrtáceas

El fruto de la guayaba es una baya comestible de forma globosa o periforme, comestible. La guayaba presenta un aroma único y fresco, que es termoestable, por lo cual es resistente a cualquier técnica de procesamiento industrial. Contiene mayor cantidad de Vitamina C que otras frutas cítricas y posee cantidades apreciables de Vitamina A [34].

Los frutos de la guayaba pueden ser muy variados. Hay frutos que poseen una cáscara delgada que rodea una pulpa firme con numerosas semillas y otros que tienen una cáscara gruesa y una pulpa blanda con pocas semillas. El sabor del fruto varía de dulce hasta altamente ácido dependiendo de la concentración de sus componentes [34].

La guayaba es cultivada en zonas cálidas y tropicales en las regiones de la Costa y el Oriente y en los valles de las provincias de Pichincha e Imbabura [28].

El componente mayoritario de la guayaba es el agua. La guayaba tiene un bajo valor energético por el escaso aporte de carbohidratos y menor aún de proteínas y grasas. La guayaba destaca su contenido de potasio y aporta en menor medida vitaminas del grupo B [34].



La guayaba presenta un suave efecto laxante debido al elevado aporte de fibra [34]. El valor nutricional de la guayaba se presenta en la TABLA N° 1.9

**TABLA N° 1.9**

VALOR NUTRICIONAL DE 100 g DE PULPA DE GUAYABA

COMPONENTE	VALOR	UNIDAD
Agua	88	g
Proteínas	1,5	g
Valor energético	58	cal
Carbohidratos	9,6	g
Fibra	8,1	g
Potasio	290	mg
Magnesio	16	mg
Cenizas	0,8	g
Calcio	49	mg
Fósforo	26	mg
Hierro	1,3	mg
Vitamina A	208	mg
Tiamina	0,09	mg
Riboflavina	0,11	mg
Niacina	1,6	mg
Acido Ascórbico	600	mg

Fuente: Guayaba, Consumer.es EROSKI (1998) [34].

#### 1.4.8. EL FRUTO DEL KIWI



**Figura 1.13** Fruto de Kiwi

Familia: Actinidiáceas

El fruto de Kiwi posee una cáscara muy fina (marrón y con pelos); la pulpa en su interior es verde, jugosa y dulce, con un alto porcentaje de vitamina C, se trata de una especie introducida que se cultiva en las zonas cálidas y tropicales [35].

El agua constituye el componente mayoritario. El kiwi es de moderado aporte calórico por su cantidad de carbohidratos. Se destaca además su contenido de vitaminas del grupo B, entre ellas el ácido fólico [35].

Es rico en minerales (potasio, magnesio) y fibra (soluble e insoluble) que mejora el tránsito intestinal debido a su alto contenido de sorbitol y demás edulcorantes dándole al kiwi un potente efecto laxante [35]. El valor nutricional del kiwi se muestra en la TABLA N°1.10 .

**TABLA N°1.10**

VALOR NUTRICIONAL DE 100 g DE PULPA DE KIWÍ

<b>COMPONENTE</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Pro Vitamina A	3,0	µg
Valor energético	52,4	cal
Fibra	1,5	g
Carbohidratos	12,1	g
Potasio	314	mg
Magnesio	27	mg
Acido fólico	29,3	µg
Vitamina C	94	mg

Fuente: Kiwi, Consumer es EROSKI (1998) [35].

#### 1.4.9. EL FRUTO DEL MANGO



**Figura 1.14** Frutos de Mango

Familia: Anacardiáceas

El fruto de mango es una gran drupa carnosa que puede contener uno o más embriones. Su peso varía desde 150 g hasta 2000 g. Su forma también es variable, pero generalmente es ovoide-oblonga. El color puede estar entre verde, amarillo y diferentes tonalidades de rosa, rojo y violeta [36].

Los frutos del mango constituyen un valioso suplemento dietético porque son muy ricos en vitaminas A y C, minerales, fibras y anti-oxidantes [36].

El mango aporta una cantidad importante de carbohidratos, por lo que su valor energético es elevado. Posee magnesio y vitamina C y en menor cantidad grasa y sodio [37].

El fruto de mango se cultiva en las regiones de la Costa y el Oriente ecuatoriano, las zonas de cultivo están concentradas más del 70% en la provincia del Guayas y aproximadamente el 30 % restante está en las provincias de los Ríos, Manabí, el Oro y Napo [37].

El valor nutricional del mango se muestra en la TABLA N°1.11

**TABLA N°1.11**

VALOR NUTRICIONAL DE 100 g DE PULPA DE MANGO

COMPONENTE	VALOR	UNIDAD
Pro Vitamina A	478	µg
Valor energético	60,3	cal
Fibra	1,5	g
Carbohidratos	15,3	g
Potasio	190	mg
Magnesio	18	mg
Acido fólico	31	µg
Vitamina C	30	mg

Fuente: Mango, Consumer es EROSKI (1998) [37].

#### 1.4.10. EL FRUTO DE LA MANZANA



**Figura 1.15** Fruto de Manzana

Familia: Rosáceas

El fruto de manzana es pomo globoso, con pedúnculo corto y con semillas de color pardo brillante. El color del fruto puede variar según el tipo de manzana. La pulpa generalmente tiene una coloración verde y amarilla cuando está madura [38].

El fruto de la manzana se cultiva en la región interandina principalmente en las provincias de Pichincha y Tungurahua [38].

Un 85% de la composición de la manzana es agua y posee 12,6% de azúcares de los cuales el mayor porcentaje corresponde a la fructosa y en

menores proporciones se encuentran la glucosa, la sacarosa y el sorbitol. Contiene pequeñas cantidades de vitaminas y minerales. Es rica en fibra, que mejora el tránsito intestinal y entre su contenido mineral sobresale el potasio [39].

La manzana es una fuente discreta de vitamina C es decir que su aporte no es muy significativo. Las propiedades dietéticas que posee la manzana se debe en gran medida a los elementos fitoquímicos que contiene, entre ellos los flavonoides y polifenoles [39].

El valor nutricional de la manzana se muestra en la TABLA N°1.12.

**TABLA N°1.12**

VALOR NUTRICIONAL DE 100 g DE PULPA DE MANZANA

<b>COMPONENTE</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Agua	85	g
Valor energético	40,6	kcal
Fructosa	6,0	g
Glucosa	1,0	g
Sacarosa	4,0	g
Potasio	100	mg
Fibra	2,3	g
Magnesio	5,6	mg
Provitamina A	4	µg
Vitamina C	12,4	mg
Vitamina E	0,4	mg

Fuente: La manzana, Consumer es EROSKI (1998) [38].

#### 1.4.11. EL FRUTO DE LA MORA



**Figura 1.16** Frutos de Mora

Familia: Rosáceas

Las moras son frutas de color rojo y tienden a tomar una coloración negra intensa cuando están en su mayor grado de maduración. Las moras están conformadas por semillas recubiertas de pulpa estas semillas son denominadas drupas y tienen forma redonda. La forma de los frutos de mora es cónica y compacta de unos 2 cm de longitud [40].

El cultivo de la mora se realiza en las zonas frías de la región interandina ecuatoriana, principalmente en las provincias de Imbabura y Tungurahua [40].

En general las moras son ricas en vitamina C y de bajo valor energético por su escaso aporte de carbohidratos. Las moras son una buena fuente de fibra, potasio, hierro y calcio y también se caracterizan por su elevado contenido de pigmentos naturales como antocianos y carotenoides [40].

El valor nutricional de las moras se muestra en la TABLA N°1.13

**TABLA N°1.13.**

**VALOR NUTRICIONAL DE 100 g DE PULPA DE MORA**

<b>COMPONENTE</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Valor energético	35,1	kcal
Carbohidratos	6,0	g
Potasio	210	mg
Fibra	9,0	g
Magnesio	1,0	mg
Provitamina A	29	µg
Vitamina C	18	mg
Vitamina E	13,3	mg

Fuente: Moras, Consumer es EROSKI (1998) [40].

1.4.12. EL FRUTO DEL NONI



**Figura 1.17** Frutos de Noni

Familia: Rubiáceas

El noni es una fruta considerada como un estabilizador de pH. El fruto de noni tiene aproximadamente 8 cm de diámetro y su color puede variar de amarillo a blanco. La pulpa de esta fruta es densa, tiene un mal sabor y olor [42].

El noni posee innumerables ácidos orgánicos, así como un elevado contenido de carbohidratos, alcaloides, hierro y magnesio. El noni es rico en fibra, así como en proteínas, hierro, vitamina C, calcio y zinc. Debido a estos contenidos nutricionales el noni es utilizado como suplemento dietético alimenticio [41].

El noni además contiene oligosacáridos y alcaloides como la xeronina que interviene en la síntesis de las proteínas [41].

El fruto del noni se cultiva en las regiones cálidas y tropicales principalmente en la provincia de Manabí [41].

#### 1.4.13. EL FRUTO DEL ORITO



**Figura 1.18** Fruto de Orito

Familia: Musáceas

El orito es una variedad de banano, por lo tanto se trata de una fruta tropical de piel delgada, posee pulpa carnosa ligeramente amarillenta, de menor tamaño pero de forma similar al banano [42].

El orito es una fruta ecuatoriana cuya especie es cultivada exclusivamente en este territorio. El orito es llamado también “baby banana” al igual que las especies existentes en el Brasil y en el África. Posee una mayor cantidad de azúcares que el banano común, aunque menor cantidad de calorías [42].

Los principales nutrientes del orito son el potasio, el magnesio y el ácido fólico, El orito aporta un elevado valor energético debido a la elevada presencia de carbohidratos [42]. El valor nutricional del orito se reporta en la TABLA N°1.14.

**TABLA N°1.14**  
VALOR NUTRICIONAL DE 100 g DE PULPA DE ORITO

COMPONENTE	VALOR	UNIDAD
Valor energético	87,0	kcal
Carbohidratos	20,6	g
Vitamina C	18,9	mg



Fuente: Plátano, Consumer es EROSKI (1998) [42].

#### 1.4.14. EL FRUTO DE LA PAPAYA



**Figura 1.19** Fruto de Papaya

Familia: Caricáceas

La Papaya es una fruta blanda muy jugosa y de consistencia mantecosa. Pertenece a la familia de las Caricáceas formada por 71 especies de árboles sin ramas que producen grandes frutos y crecen en regiones tropicales de África y Sudamérica [20].

Los frutos tienen diferentes coloraciones entre verde y amarillo o rojo cuando están maduras. El tamaño de la fruta depende de la variedad, su longitud oscila entre 15 a 30 cm [16].

Su principal componente es el agua seguido de los carbohidratos (en su mayoría simples) y su valor energético es bajo. La papaya contiene algunos nutrientes como potasio, magnesio, fibra, ácido fólico y pequeñas cantidades de calcio y hierro [20].

En lo que a vitaminas se refiere, es una fuente muy importante de vitamina C, así como de provitamina A. La corteza especialmente contiene la enzima papaína en estado verde [20].

El valor nutricional de la papaya se reporta en la TABLA N° 1.15

**TABLA N°1.15**

VALOR NUTRICIONAL DE 100 g DE PULPA DE PAPAYA

COMPONENTE	VALOR	UNIDAD
Valor energético	46,67	kcal
Agua	95,0	g
Carbohidratos	2,40	g
Fibra	1,33	g
Grasa	0,01	g
Proteína	0,06	g

Fuente: La papaya, J. V. Arnau [43].

#### 1.4.15. EL FRUTO DEL PEPINO



**Figura 1.20** Fruto de Pepino

Familia: Solanáceas

El pepino es una baya, de color amarillo con manchas moradas cuando está maduro, con una forma que puede variar de redonda a ovalada. Tiene un buen sabor y aroma. El pepino es cultivado en las laderas de los valles de la provincia de Imbabura [16].

La pulpa del pepino es amarilla y muy jugosa, no es muy dulce ni tampoco muy ácida. Posee un 92% de agua y alrededor de 7% de carbohidratos, contiene un alto contenido de Vitamina C y los niveles de azúcar están en el orden de 1 a 1,2% [44]. El valor nutricional del pepino se muestra en la TABLA N°1.16.

**TABLA N° 1.16**

VALOR NUTRICIONAL DE 100 g DE PULPA DE PEPINO

COMPONENTE	VALOR	UNIDAD
Valor energético	26,0	kcal
Carbohidratos	7,0	g
Vitamina C	29,7	mg

Fuente: El pepino dulce y su cultivo Infoagro (1997) [44].

#### 1.4.16. EL FRUTO DE LA PERA



**Figura 1.21** Fruto de Pera

Familia: Rosáceas

La pera es una fruta sabrosa y refrescante que se cultiva en regiones templadas. Su forma depende de la variedad y oscila entre la de una manzana y la de una lágrima, también son características de la variedad el sabor, textura y color, que va desde el amarillo hasta el verde pasando por el rojo y el pardo [45].

La piel del fruto es de color verde que pasa a pardusca o amarillenta al madurar. Su pulpa es dura y muy ácida o astringente primero y al madurar es blanda con células esclerosas esparcidas [45].

El fruto aporta unas 70 calorías y respecto a sus propiedades nutritivas se destaca el aporte de azúcares (13%), fibra, vitaminas (ácido fólico, B2) y minerales como el potasio. Por su composición es diurética y suavemente

astringente (rica en taninos) [45]. El valor nutricional de la pera se muestra en la TABLA N°1.17.

**TABLA N°1.17**

VALOR NUTRICIONAL DE 100 g DE PULPA DE PERA

<b>COMPONENTE</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Agua	83,2	g
Valor energético	61	kcal
Azúcares	13	g
Fibra	1,4	g
Sodio	2,0	mg
Potasio	129	mg
Magnesio	9,0	g
Vitamina A	20	ui
Vitamina E	0,1	mg
Vitamina C	4,0	mg
Vitamina B2	0,04	mg
Proteínas	0,5	g
Grasas	0,4	g
Calcio	8,0	mg
Fósforo	11	mg
Hierro	0,3	mg
Cobre	0,13	mg
Azufre	7,0	mg
Cloro	4,0	mg
Acido cítrico	240	mg

Fuente: El cultivo de la pera, Agroalimentación (1997) [46].

#### 1.4.17. EL FRUTO DE LA PIÑA



**Figura 1.22** Frutos de Piña

Familia: Bromeliáceas

El fruto de la piña es de forma ovalada y gruesa, mide unos 30 cm de largo y tiene aproximadamente 15 cm de diámetro. El peso de este fruto es de aproximadamente 2000 g, pero puede haber variaciones dependiendo del tipo [47].

La pulpa de la piña es de color amarillo o blanco y se encuentra rodeada de brácteas que forman la piel del fruto. Es muy aromática y de sabor dulce [47].

El principal componente de la piña es el agua, posee un valor energético muy bajo, contiene carbohidratos simples o de absorción rápida, que suponen aproximadamente el 11 % de su peso. El contenido de azúcares en la piña se duplica en las últimas semanas de maduración [47].

Además de vitamina C, la piña posee en cantidades inferiores, vitaminas B1 y B6, mientras que las proteínas y las grasas apenas están presentes en esta fruta. En relación con los minerales, el potasio, el magnesio, el cobre y el manganeso son los más abundantes [47].

La piña se cultiva en zonas tropicales principalmente en las provincias de El Oro y el Guayas [15].

El valor nutricional de la piña se muestra en la TABLA N° 1.18

**TABLA N°1.18**

VALOR NUTRICIONAL DE 100 g DE PULPA DE PIÑA

COMPONENTE	VALOR	UNIDAD
Valor energético	49,0	kcal
Carbohidratos	11,2	g
Fibra	1,2	g
Potasio	113	mg
Magnesio	14	mg
Vitamina C	15,4	mg
Vitamina E	0,1	mg
Proteína	0,4	g
Grasa	0,4	g

Fuente: Piña tropical y piña baby, Consumer es EROSKI (1998) [47].

#### 1.4.18. EL FRUTO DE LA PITAHAYA



**Figura 1.23** Frutos de Pitahaya

Familia: Cactáceas

La Pitahaya es una baya con pulpa de consistencia mucilaginosa y blanca. Puede llegar a medir hasta 15 cm de largo y 10 cm de ancho, con una forma ovoide. Se caracteriza por tener una corteza con espinas, la pulpa es muy aromática y está repleta de semillas [48].

Inicialmente la pitahaya es verde y amarillea en la madurez. Su sabor es exquisito, muy fino y delicado [48].

La pitahaya posee alrededor de un 85 % de agua. Es un fruto de muy bajo valor energético y contiene un 13 % de carbohidratos. La porción comestible supone un 55 % del peso total. Es una fruta rica en calcio, fósforo y vitamina C [48].

La pitahaya se cultiva en zonas cálidas en la región amazónica. El valor nutricional de la pitahaya se muestra en la TABLA N° 1.19.

**TABLA N° 1.19**  
VALOR NUTRICIONAL DE 100 g DE PULPA DE PITAHAYA

COMPONENTE	VALOR	UNIDAD
Valor energético	50,0	cal
Agua	85,4	g
Fibra	0,50	g
Carbohidratos	13,2	g
Proteína	0,40	g
Fósforo	16,0	mg
Calcio	10,0	mg
Hierro	0,30	mg

Fuente: Pitahaya, Consumer es EROSKI (1998) [49].

#### 1.4.19. EL FRUTO DEL TAXO



**Figura 1.24** El fruto del Taxo

Familia: Pasifloráceas

El fruto de taxo es una baya oblonga u ovoide similar a la forma del banano, de color amarillo al madurar [16].

Su interior está lleno de semillas redondas cubiertas de un mucílago anaranjado de pulpa jugosa [16]. Contiene proteínas, grasa, hierro y un 92% de agua. El taxo es rico en vitamina A, calcio y fósforo. Se cultiva en zonas templadas [50].

El valor nutricional del taxo se muestra en la TABLA N° 1.20.

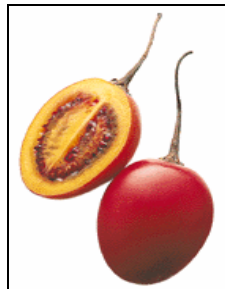
**TABLA N° 1.20**

VALOR NUTRICIONAL DE 100 g DE PULPA DE TAXO

COMPONENTE	VALOR	UNIDAD
Agua	92	g
Valor energético	25	cal
Carbohidratos	6.3	g
Grasa Total	0.1	mg
Fibra	0.3	g
Proteínas	0.6	g
Acido Ascórbico	70	mg
Calcio	4	mg
Fósforo	20	mg
Hierro	0.4	mg
Niacina	2.5	mg
Riboflavina	0.03	mg
Vitamina A	1700	IU

Fuente: Taxo curuba, SICA-GOV-EC [50]

#### 1.4.20. EL FRUTO DEL TOMATE DE ÁRBOL



**Figura 1.25** Frutos de Tomate de árbol

Familia: Solanáceas



El tomate de árbol es una jugosa y agri dulce fruta de piel lisa y brillante, de color variable (morado, rojo, amarillo, anaranjado, listado). La forma más común de la fruta es elipsoide puntiaguda, pero puede ser ovoide o esférica entre otras, de acuerdo con el ecotipo a cultivar. La pulpa es anaranjada, hacia la placentación de las semillas puede ser incolora, anaranjada o morada. El tomate de árbol es cultivado en zonas templadas en las provincias de Imbabura y Tungurahua [51].

Es una excelente fuente de vitamina A (carotenos), vitamina, C, B6 y E, así como de hierro. Tiene un bajo contenido de carbohidratos (5 g por cada 100 g de pulpa) y posee menos de 40 calorías. Su componente mayoritario es el agua y su contenido de fibra es alto [16].

#### 1.4.21. EL FRUTO DE LA TUNA



**Figura 1.26** Frutos de Tuna

Familia: Cactáceas

La tuna es una fruta del tamaño de un huevo de gallina, recubierta por una piel que contiene espinas. Su pulpa puede ser de color blanco, naranja o morado, contiene en ella una cantidad considerable de semillas [52].

La tuna es rica en potasio y como principales componentes contiene vitamina C y un 82.3% de agua [52]. La composición nutricional de la tuna se muestra en la TABLA N° 1.21.

**TABLA N°1.21**

VALOR NUTRICIONAL DE 100 g DE PULPA DE TUNA

COMPONENTE	VALOR	UNIDAD
Agua	82.3	g
Valor energético	58	cal
Carbohidratos	15.4	g
Grasa Total	0	g
Potasio	220	mg
Vitamina C	14	mg
Magnesio	85	mg
Fibra	3.8	g
Proteínas	0.9	g
Cenizas	1.6	g

Fuente: Tuna pirckly pear, SICA-GOV-EC [52].

1.4.22. EL FRUTO DE LA UBILLA



**Figura 1.27** Frutos de Ubilla

Familia: Solanáceas

Las ubillas son bayas, de forma esférica, con coloración dorada. Poseen un exquisito sabor y están protegidas por un cascarón, cuya estructura es semejante a la del papel. La pulpa es de color amarillo casi dorado, que contiene muchas semillas. Alcanzan un tamaño entre 1,25 a 2,00 cm de diámetro [16].

Son una excelente fuente de pro-Vitamina A, y Vitamina C, así como de Complejo B. Poseen elevados contenidos de proteínas y fósforo y bajos niveles de calcio. Son cultivadas en las provincias de Tungurahua y Chimborazo [16].

Las propiedades nutricionales de las ubillas se muestran en la TABLA N° 1.22.

**TABLA N°1.22**

VALOR NUTRICIONAL DE 100 g DE PULPA DE UBILLA

<b>COMPONENTE</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Agua	78,9	g
Proteína	0,05	g
Carbohidratos	16,0	g
Grasa Total	0,16	g
Fibra	4,90	g
Proteínas	0,05	g
Ceniza	1,01	g
Acido Ascórbico	43,0	mg
Calcio	8,0	mg
Fósforo	55,3	mg
Hierro	1,23	mg
Niacina	1,73	mg
Riboflavina	0,03	mg
Vitamina A	1,61	mg

Fuente: Uvilla, PHYSALIS [53].

1.4.23. EL FRUTO DE LA UVA



**Figura 1.28** Frutos de Uva

Familia: Vitáceas

La uva es el fruto que crece formando racimos de la vid común. Es una fruta carnosa, que nace apiñada en largos racimos compuestos por varios granos redondos o alargados [54].

Los frutos alcanzan un tamaño medio de 1.6 cm de diámetro y un racimo de uvas pesa entre 200 g y 300 g. El color de la piel cambia según las variedades, generalmente puede ser verdosa, amarillenta, rojiza o púrpura [54].

Los frutos poseen dos tipos de nutrientes: los azúcares (principalmente glucosa y fructosa) que le dan un elevado valor energético y las vitaminas [54]. Estos valores se reportan a continuación en la TABLA N° 1.23.

**TABLA N° 1.23**

VALOR NUTRICIONAL DE 100 g DE PULPA DE UVA

<b>COMPONENTE</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Valor energético	67	cal
Potasio	320	mg
Carbohidratos	15,5	g
Magnesio	4,0	mg
Fibra	0,4	g
Vitamina B6	0,1	mg
Provitamina A	3,0	µg
Acido fólico	26	µg
Calcio	4,0	mg

Fuente: Uvas, Consumer es EROSKI (1998) [54].

La uva se cultiva en la región interandina principalmente en los valles de la provincia de Pichincha y en la provincia de Tungurahua [16].

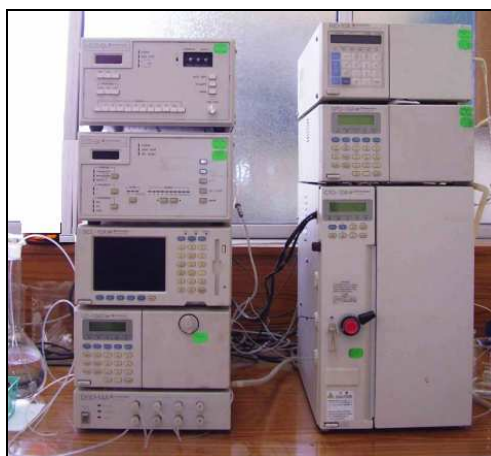
## 2. PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE SORBITOL POR CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTA EFICIENCIA HPLC

Se realizó el análisis cuantitativo de glucosa, fructosa y sorbitol mediante Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia a las siguientes condiciones.

#### 2.1.1. MATERIALES Y EQUIPOS.

- Cromatógrafo Líquido de Alta Eficiencia (HPLC) marca SHIMADZU, modelo 10AVP. (Ver figura 2.1)
- Columna: Varian Inc. Meta Carb Pb+ Analytical Column.
- Detector: Índice de Refracción, modelo RID-10A.
- D-glucosa anhidra marca Hallimckrodt, 96 %
- D-fructosa analítica marca Baker, 91,4 %
- D-sorbitol anhidro, marca Life 99%



**Figura 2.1.** Cromatógrafo Líquido de Alta Eficiencia HPLC, SHIMADZU 10AVP

### 2.1.2. CONDICIONES DE ANÁLISIS

- Temperatura del horno: 60 °C
- Presión de la cámara de bombeo: 78 kgf
- Fase móvil: Agua grado HPLC
- Flujo fase móvil: 1 ml/min
- Volumen de inyección: 20 µl
- Tiempo de corrida: 30 minutos

### 2.1.3. CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE GLUCOSA, FRUCTOSA Y SORBITOL.

- Se prepararon soluciones estándar individuales de glucosa, fructosa y sorbitol, cada una de concentración 3 mg/ml.
- Estas soluciones fueron inyectadas, una a la vez, en el equipo HPLC y analizadas bajo las condiciones indicadas en la sección 2.1.2. De esta manera se estableció el tiempo de retención de cada estándar.
- Se preparó una solución madre de una mezcla de los estándares de glucosa, fructosa y sorbitol, con una concentración de cada estándar de 3 mg/ml.
- Se prepararon diluciones de esta solución madre, con relaciones en volumen a las concentraciones que se muestran a continuación en la TABLA N°2.1.

**TABLA N°2.1**

DILUCIONES DE LA SOLUCIÓN MADRE DE GLUCOSA, FRUCTOSA Y SORBITOL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN

<b>N°</b>	<b>DILUCIÓN (v/v)</b>	<b>CONCENTRACIÓN ( mg/ml )</b>
1	1:10	0,3
2	3:10	0,9
3	5:10	1,5
4	7:10	2,1
5	1:1	3,0

- Las diluciones mostradas en la TABLA N° 2.1 fueron inyectadas en el HPLC bajo las condiciones de análisis mencionadas en la sección 2.1.2.
- Con los valores obtenidos de área de pico de las diferentes diluciones inyectadas se construyeron las curvas de calibración área vs. concentración.
- La ecuación de la recta y el factor de correlación de las curvas de concentración construidas para cada estándar fueron calculados mediante regresión lineal.

## **2.2. SÍNTESIS DE SORBITOL A PARTIR DE GLUCOSA POR VÍA ELECTROQUÍMICA**

### **2.2.1. MATERIALES Y EQUIPOS**

- Material utilizado como celda: Vaso de precipitación de 250 ml
- Electrodo: Cátodo de Pb, Ánodo de acero inoxidable.
- Fuente de poder de 4,7 voltios
- Multímetro: Digital Multimeter M3800
- Plancha de Calentamiento: Magnetic stirrer with hot plate, M4803-00 Cole Palmer, 115V, 60Mz, 4 A.
- Alambre de cobre, pinzas de asbesto y soportes para electrodos

### **2.2.2. CONDICIONES DE ANÁLISIS**

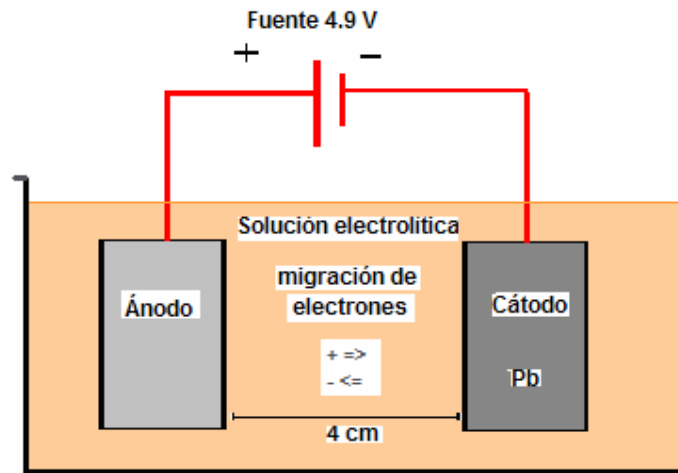
- Volumen de Celda: 250 ml
- Voltaje: 4.7 V
- Distancia entre electrodos: 4 cm

### **2.2.3. CONSTRUCCIÓN DE LA CELDA ELECTROQUÍMICA.**

Se construyó la celda electroquímica a escala de laboratorio, la misma que estuvo provista de un cátodo de Plomo y un ánodo de Zinc. Posteriormente se reemplazó el ánodo de Zinc por uno de Acero Inoxidable. Los electrodos consistieron en láminas de 5 mm de espesor y 31 cm<sup>2</sup> de área.

El sistema de alimentación de corriente directa de la celda fue de 120 V regulada mediante una fuente de poder a 4,7 V. La capacidad de la celda fue de 250 ml con alimentación manual.

La Figura 2.2 muestra el diseño del sistema electroquímico.



**Figura 2.2** Esquema del equipo utilizado en la Síntesis Electroquímica

El calentamiento del baño electrolítico fue provisto por el sistema de regulación de una plancha de calentamiento y controlado mediante un termómetro. Las conexiones se realizaron con alambre de cobre.

#### 2.2.4. SÍNTESIS ELECTROQUÍMICA.

Para realizar la síntesis electroquímica de sorbitol a partir de glucosa se prepararon soluciones de electrolitos de 250 ml que contenían: glucosa,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y  $\text{NaOH}$ , las condiciones de los ensayos realizados se muestran en la TABLA N°2.2.

Se conectó el circuito mostrado en La Figura 2.2 utilizando una fuente de poder de 4,9 V y conectando esta fuente con alimentación normal de 110 V. Para los ensayos preliminares de la síntesis electroquímica se utilizó un ánodo de Zinc que debido a su comportamiento en la solución electrolítica alcalina fue sustituido por un ánodo de Acero inoxidable.



Se controló la intensidad de corriente mediante un multímetro digital, el control de la temperatura se realizó con un termómetro durante el transcurso de la reacción.

**TABLA N° 2.2**  
**SOLUCIONES ELECTROLÍTICAS UTILIZADAS EN LOS ENSAYOS REALIZADOS**

<b>SOLUCIÓN ELECTROLÍTICA</b>	<b>CONCENTRACIÓN DE GLUCOSA (mol/l)</b>	<b>CONCENTRACIÓN DE Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (%)</b>	<b>CONCENTRACIÓN DE NaOH (%)</b>
1	0.2	2,5	1,0
2		2,5	2,5
3	0.4	2,5	1,0
4		2,5	2,5
5	0.6	5,0	5,0

Los ensayos mostrados en la TABLA N° 2.2 se realizaron en la celda electroquímica individualmente con cada electrolito en las condiciones especificadas en la sección 2.2.2.

Se tomaron muestras de 1 ml de las soluciones electrolíticas sometidas a la síntesis electroquímica cada hora.

#### 2.2.5. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS EN LA SÍNTESIS ELECTROQUÍMICA PREVIO SU ANÁLISIS.

Se realizaron diluciones de las muestras de las soluciones electrolíticas tomadas, en una relación de volumen de (1:10), debido a la elevada concentración de las mismas.

Las diluciones obtenidas, fueron filtradas con un filtro microporo de 0,45 micras, para asegurar que no haya presencia de sólidos.

2.2.6. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE GLUCOSA Y SORBITOL EN LAS MUESTRAS OBTENIDAS EN LA SÍNTESIS ELECTROQUÍMICA.

Las muestras obtenidas de la síntesis electroquímica, fueron analizadas mediante Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia en las condiciones especificadas en la sección 2.1

Con los datos obtenidos en los cromatogramas, se determinó el contenido de glucosa y sorbitol en las muestras analizadas. Para el cálculo de la concentración de los mismos se utilizó el valor del área del pico correspondiente y mediante las curvas de calibración construidas se determinó el valor de la concentración en mg/l.

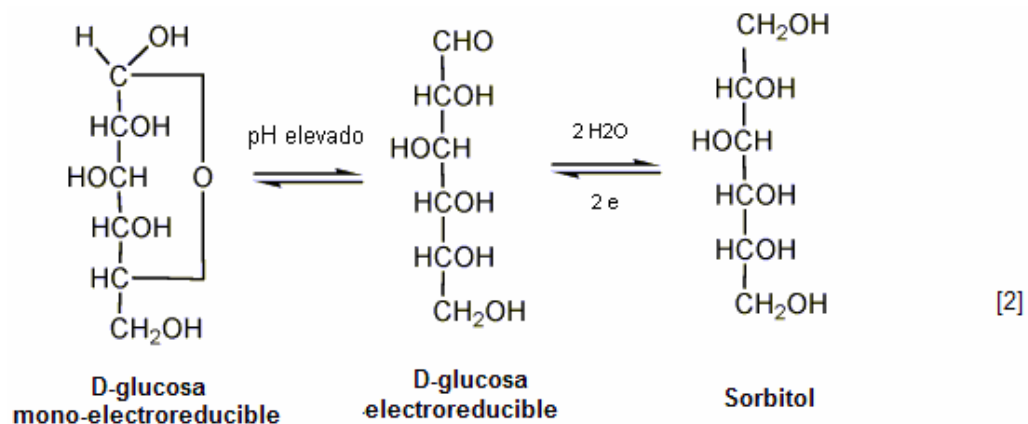
El cambio de unidades de mg/l a mol/l se realizó de la siguiente manera:

$$1 \frac{\text{mg glucosa}}{\text{ml solución}} = \frac{1 \text{g glucosa}}{1 \text{l solución}} \times \frac{1 \text{ mol glucosa}}{180 \text{ g glucosa}}$$

$$1 \frac{\text{mg glucosa}}{\text{ml solución}} = \frac{1}{180} \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

2.2.7. RENDIMIENTO DE LA REACCIÓN DE REDUCCIÓN DE GLUCOSA A SORBITOL.

Mediante la ecuación [2] mostrada en La Figura 2.3 es posible determinar el rendimiento de la conversión de glucosa a sorbitol.



**Figura 2.3** Reacción de conversión de glucosa a sorbitol por vía electroquímica.

Considerando que una mol de glucosa produce una mol de sorbitol es posible establecer la siguiente relación:

$$\eta = \frac{\text{Valor Real}}{\text{Valor Teórico}} \times 100 \quad [3]$$

Donde:

$\eta$  = Porcentaje de conversión de glucosa a sorbitol

Valor Real: es la cantidad de sorbitol que se produce en la síntesis electroquímica.

Valor Teórico: es la cantidad de sorbitol que debería producirse en la síntesis electroquímica según la estequiometría de la reacción de la ecuación [2].

### **2.3. ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROCESO DE SÍNTESIS DE SORBITOL A PARTIR DE GLUCOSA A ESCALA DE LABORATORIO.**

La TABLA N° 2.3. muestra los costos de los materiales, equipos y reactivos utilizados para el proceso de síntesis de sorbitol a partir de glucosa a escala de laboratorio.

**TABLA N° 2.3**  
**DESCRIPCIÓN Y COSTOS DE LOS MATERIALES Y EQUIPOS**  
**UTILIZADOS**

<b>MATERIALES Y EQUIPOS</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>COSTO (USD)</b>
Termómetro Cole Palmer, Modelo 9290D30	Rango: -10 a +200 °C Precisión: 1 °C	32,25
Multímetro Digital M3800	Rango voltaje: 200 mV- 200 V Rango corriente: 20 mA- 10 A	94,00
Plancha de calentamiento, M4803-00 Cole Palmer	115V, 60Hz, 4 A	347,00
Plomo metálico	Gránulos 99.5 %, 100 g	20,50
Zinc metálico	Gránulos 99.8 %, 250 g	32,20
Acero Inoxidable	Plancha 122 x 244 cm <sup>2</sup>	100,00
Alambre de Cobre	Cobre 99.99 %, diámetro 0.5 mm, presentación 90 g	20,60
Corriente eléctrica	kW/h	0,10
Glucosa	D-glucosa anhidra 96 %, 500 g	15,90
Sulfato de sodio	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 99.99%, 500 g	29,30
Hidróxido de sodio	NaOH 97% pellets, 500 g	33,40
Agua destilada	500 ml	14,40

Fuente: Manual Cole Palmer 03/04 [55], Manual Aldrich 03/04[56];

## **2.4. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SORBITOL EN 23 FRUTAS COMUNES Y EXOTICAS DEL ECUADOR.**

Las determinaciones del contenido de glucosa, fructosa y sorbitol en las 23 frutas estudiadas, se realizaron de forma cualitativa y cuantitativa, utilizando métodos analíticos de Cromatografía de Capa Fina (TLC) y Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC).

Las 23 frutas estudiadas son aquellas frutas que comúnmente se cultivan en el territorio ecuatoriano y se trata de especies nativas e introducidas.

Las especies analizadas fueron: Arazá, Banano, Borojón, Claudia, Durazno, Fresa, Guayaba, Kiwi, Mango, Manzana, Mora, Noni, Orito, Papaya, Pepino, Pera, Piña, Pitahaya, Taxo, Tomate de árbol, Tuna, Ubilla y Uva.

### **2.4.1. PREPARACIÓN DE LA PULPA DE LAS FRUTAS SELECCIONADAS.**

Para la extracción de la pulpa de las frutas seleccionadas, se tomaron porciones de las frutas a las que se retiraron la cáscara y las semillas y fueron procesados en un extractor de frutas.

Se tomaron 20 de gramos de pulpa procesada de cada fruta y se colocaron en un erlenmeyer de 250 ml.

Se añadieron 50 ml de agua destilada en cada erlenmeyer, como se muestra en La Figura 2.4



**Figura 2.4** Preparación de las muestras

Se agitaron las muestras durante una hora, en un agitador eléctrico, como se muestra en La Figura 2.5



**Figura 2.5** Agitación de las muestras

Posteriormente las muestras agitadas, fueron sometidas a centrifugación por 20 minutos, con una centrífuga DAMON/IEC DIVISION HN-S.

Los sobrenadantes obtenidos de la centrifugación fueron filtrados consecutivamente al vacío, mediante un filtro microporo de 0,45  $\mu\text{m}$  y luego utilizando un filtro microporo de 0,2  $\mu\text{m}$  para asegurar que no existan sólidos en las muestras de las frutas.

#### 2.4.2. ESTÁNDARES UTILIZADOS EN LOS MÉTODOS ANALÍTICOS CROMATOGRÁFICOS.

Para la detección y cuantificación del contenido de sorbitol en frutas 23 ecuatorianas, se utilizaron los estándares de glucosa, fructosa y sorbitol cuyas propiedades se encuentran descritas en la sección 2.1.1.

### 2.4.3. ANÁLISIS CUALITATIVO DE SORBITOL POR CROMATOGRAFÍA DE CAPA FINA (TLC) EN LAS 23 FRUTAS ECUATORIANAS ESTUDIADAS.

#### 2.4.3.1. *Materiales*

- Placas de Silica Gel G, marca Redi/Plate, GF234 de 20 x 20 cm, espesor 250  $\mu\text{m}$
- Cámara de vidrio.
- Equipo de revelado compuesto de un compresor y un aspersor de vidrio
- Estufa

#### 2.4.3.2. *Condiciones de análisis*

- Solvente 1: acetonitrilo-agua (50:18)(v/v)
- Solvente 2: n-propanol-acetato de etilo-agua (7:1:2) (v/v/v)
- Revelador: ácido bórico (0.1M) 33.3ml, sosa cáustica (0.1 M) 26.6 ml, rojo de metilo (0.02 % en etanol al 60 %) 40 ml
- Temperatura de la cámara: 17 °C
- Tiempo de corrida: 15 minutos
- Temperatura de revelado de las placas: 100 °C

#### 2.4.3.3. *Determinación de los valores de Rf de los estándares y de los extractos de las 23 frutas estudiadas*

- Para la determinación del valor de Rf de cada de los estándares, se prepararon independientemente soluciones madre de glucosa, fructosa y sorbitol, al 10% de concentración.
- Para observar el comportamiento de los estándares dentro de una mezcla y determinar su Rf, se preparó una solución madre que contenía los tres azúcares a una concentración total del 10%.
- Estas soluciones fueron aplicadas sobre placas de Silicagel.
- Las placas fueron llevadas a elusión, para lo cual se las colocó en las cámaras de corrida, las mismas que se encontraban saturadas con el solvente 1 y el solvente 2 respectivamente.

- Transcurrido el tiempo de corrida, las placas fueron retiradas de las cámaras y reveladas utilizando el equipo de aspersión y el revelador mencionado en 2.4.3.2
- Como parte del proceso de revelado, las placas fueron colocadas en la estufa por diez minutos a 100 °C.
- Los valores de Rf de cada estándar y de la mezcla de los mismos fueron calculados mediante la siguiente relación:

$$R_f = \frac{d_m}{d_s} \quad [1]$$

Donde:

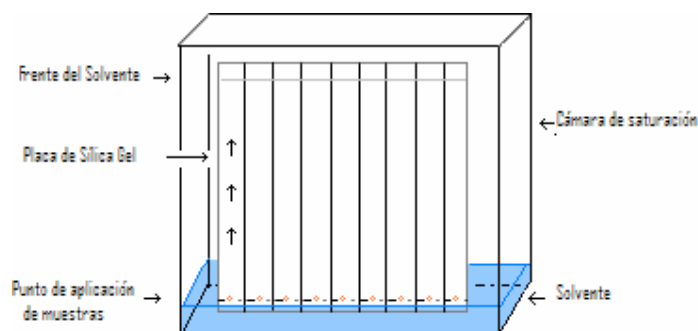
Rf: Recorrido relativo de la muestra respecto al solvente

ds: Recorrido del solvente (cm)

dm: Recorrido de la muestra (cm)

- Se aplicaron sobre la placa de Silicagel las muestras de las soluciones de los estándares de glucosa, fructosa, sorbitol y las muestras de cada una de las frutas estudiadas y se realizó el procedimiento antes mencionado.
- Todas las placas fueron analizadas y los valores de Rf fueron determinados mediante la ecuación [1].
- Mediante comparación, se detectó la presencia de la glucosa, la fructosa y el sorbitol de forma cualitativa en las muestras analizadas.

La Figura 2.6 muestra el sistema utilizado para los ensayos de Cromatografía de Capa Fina (TLC).



**Figura 2.6** Diseño del sistema utilizado para los análisis de T.L.C.



#### 2.4.4. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE SORBITOL POR CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTA EFICIENCIA (HPLC) EN LAS 23 FRUTAS ECUATORIANAS ESTUDIADAS.

Las muestras de las 23 frutas estudiadas obtenidas en la sección 2.4.1 fueron inyectadas en el equipo HPLC y analizadas a las condiciones establecidas en la sección 2.1.

Mediante los cromatogramas obtenidos de los análisis en HPLC fue posible detectar y cuantificar la presencia de sorbitol, glucosa y fructosa en las 23 frutas estudiadas.

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE SORBITOL POR CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTA EFICIENCIA HPLC.**

El análisis cuantitativo de sorbitol, glucosa y fructosa por Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia HPLC, se realizó para determinar el contenido de los mismos y establecer su comportamiento en una mezcla que los contiene y poder identificarlos en análisis posteriores.

Los tiempos de retención de los estándares de glucosa, fructosa y sorbitol, bajo las condiciones de trabajo indicadas en la sección 2.1, se muestran en la TABLA N°3.1

**TABLA N°3.1**  
TIEMPOS DE RETENCIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE GLUCOSA, FRUCTOSA Y SORBITOL

<b>ESTÁNDAR</b>	<b>TIEMPO DE RETENCIÓN (min)</b>
Glucosa	7,5
Fructosa	11,2
Sorbitol	27,5

La TABLA N° 3.2 muestra los valores de las áreas y tiempos de retención obtenidos mediante el análisis cuantitativo de las diluciones de la mezcla de glucosa, fructosa y sorbitol inyectadas en el equipo HPLC (Ver sección 2.1.3).

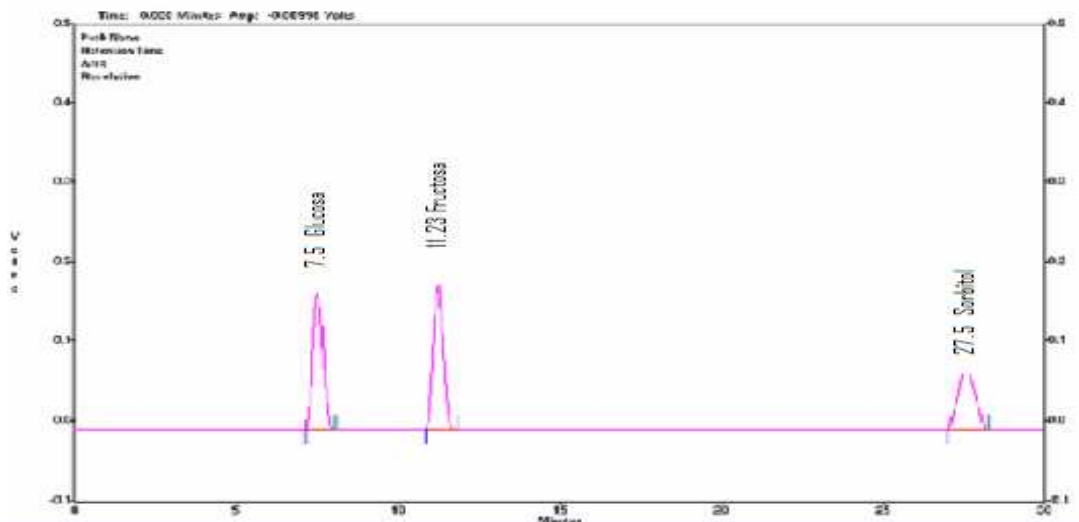
Con los valores reportados en la TABLA N°3.2 se construyeron de las curvas de calibración de los estándares de la glucosa, la fructosa y el sorbitol respectivamente.

**TABLA N°3.2**

VALORES EXPERIMENTALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN DE: SORBITOL, FRUCTOSA Y GLUCOSA

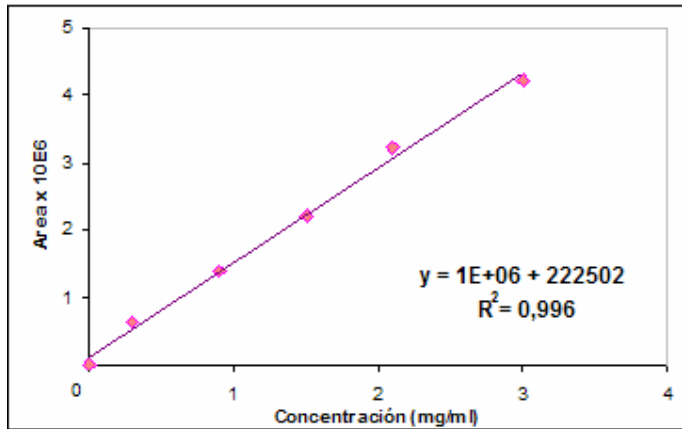
Concentración mg/ml	Glucosa		Fructosa		Sorbitol	
	tr (min)	Área	tr (min)	Área	Tr (min)	Área
0.3	7,52	643877	11,23	649659	27,49	490768
0.9	7,52	1384808	11,22	1528518	27,49	1284103
1.5	7,52	2226154	11,23	2346341	27,49	2381938
2.1	7,52	3224211	11,23	3592047	27,48	3276844
3	7,53	4222268	11,22	4973812	27,48	4374679

La Figura 3.1, muestra el Cromatograma donde se observan los tiempos de retención de la glucosa, la fructosa y el sorbitol, respectivamente.

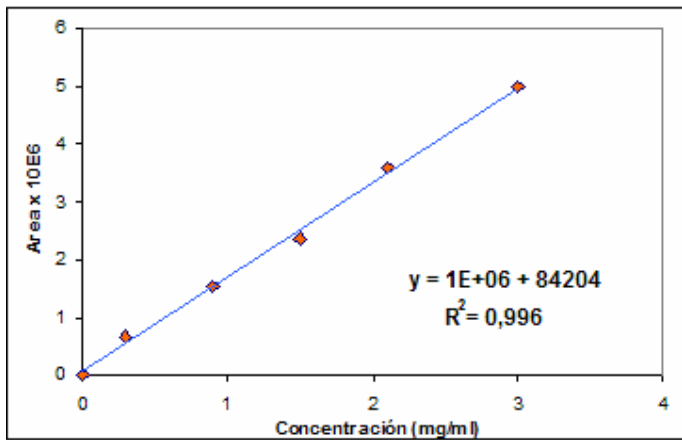


**Figura 3.1** Cromatograma de la separación de una solución de 3 mg/ml de glucosa, fructosa y sorbitol utilizando el equipo HPLC.

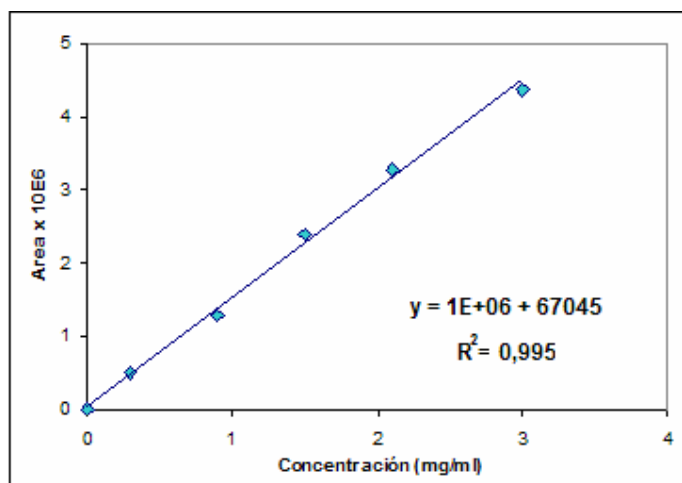
Los gráficos 3.1, 3.2 y 3.3 corresponden a las curvas de calibración de la glucosa, la fructosa y el sorbitol respectivamente, presentan una relación lineal entre las áreas de los picos con la concentración (mg/ml), en un rango comprendido entre 0,0 a 3,0 mg/ml, con un factor de correlación mayor a 0,995 en todos los casos.



**Gráfico 3.1** Curva de calibración de la glucosa



**Gráfico 3.2** Curva de calibración de la fructosa



**Gráfico 3.3** Curva de calibración del sorbitol

### 3.2. SÍNTESIS DE SORBITOL A PARTIR DE GLUCOSA POR VÍA ELECTROQUÍMICA

Los ensayos realizados en la síntesis de sorbitol a partir de glucosa utilizando las soluciones mostradas en la TABLA N° 2.2 presentan los siguientes resultados:

#### 3.2.1. ENSAYOS 1 y 2:

Las condiciones a las que se llevó a cabo la síntesis de sorbitol por vía electroquímica son las siguientes:

**TABLA N° 3.3**

VALORES EXPERIMENTALES OBTENIDOS PARA LOS ENSAYOS 1 Y 2

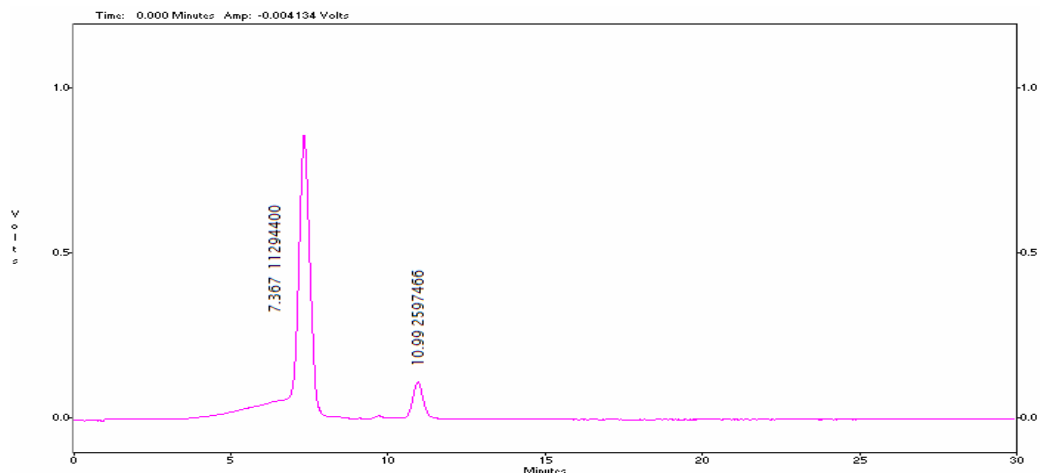
PARAMETRO	ENSAYO 1	ENSAYO 2
Concentración de glucosa (mol/l)	0,2	0,2
Concentración de Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (%)	2,5	2,5
Concentración de NaOH (%)	1,0	2,5
Voltaje (V)	4,7	4,7
Tiempo de reacción (h)	7	7
Temperatura (°C)	40	40
Intensidad de corriente (A)	0,06	0,06

A las condiciones mostradas en la TABLA N° 3.3 en las que se realizaron las síntesis no se produjo transformación de la glucosa a sorbitol en ninguno de los dos casos (Ensayo 1 y 2), debido a que la concentración de glucosa es baja ya que según los autores Li y Hongmei [10] el rango de concentración de glucosa en el que debe realizarse la síntesis es de 0,4 a 0,6 mol/l.

Los datos experimentales obtenidos para los ensayos 1 y 2 se muestran en las TABLA N°s A.1 y A.2 (Ver anexos). Las muestras fueron tomadas en intervalos de una hora, durante 7 horas, manteniendo la temperatura constante de 40°C durante todo el ensayo.

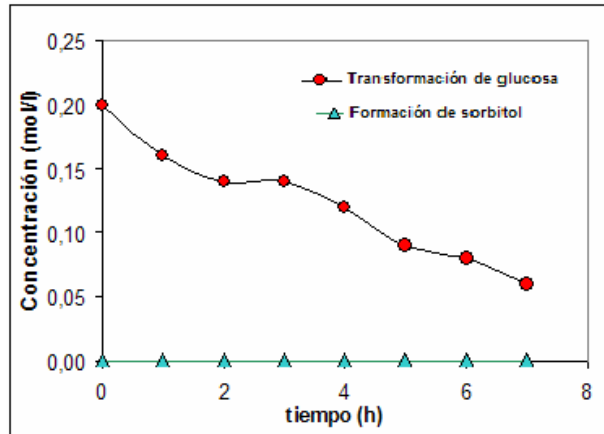
La Figura A.1 (Ver anexos), que corresponde al cromatograma de la muestra tomada a la primera hora de reacción, presenta 2 picos. El primero corresponde a la glucosa mientras que el segundo pico muestra la formación de un producto secundario no identificado y debido a que su tiempo de retención es similar al de la fructosa, se podría asumir que existe la formación de esta.

La Figura 3.2 correspondiente al cromatograma de la muestra final (hora 7) del Ensayo 2, presenta dos picos: el primer pico corresponde a la glucosa, con el tiempo de retención y el valor del área del pico, respectivamente; el segundo pico corresponde al producto secundario formado, confirmando que no hay producción de sorbitol a las condiciones de este ensayo.



**Figura 3.2** Cromatograma de la muestra final de la síntesis electroquímica correspondiente al Ensayo 2 tomada a la hora 7 de la reacción.

El gráfico 3.4 muestra el comportamiento de la glucosa sin formación de sorbitol durante las 7 horas de reacción en el ensayo 2.



**Gráfico 3.4** Conversión de glucosa a sorbitol, a las condiciones del ensayo 2  
 Al no obtenerse resultados de conversión de glucosa a sorbitol y debido al agotamiento del baño se finalizó el ensayo después de 7 horas de reacción.

### 3.2.2. ENSAYO 3

Los valores experimentales de la síntesis de sorbitol, correspondiente a la solución de electrolito 3, se muestran en la TABLA N°3.4.

**TABLA N°3.4**

**ENSAYO 3 DE LA SINTESIS DE SORBITOL A PARTIR DE GLUCOSA**

<b>ENSAYO 3: T=50 °C; I= 0,07 A; t=12h</b>				
<b>SOLUCIÓN ELECTROLÍTICA: 0,4 mol/l glucosa, 2,5 % Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1,0 % NaOH</b>				
<b>TIEMPO DE REACCIÓN (h)</b>	<b>GLUCOSA</b>		<b>SORBITOL</b>	
	<b>AREA (1 x 10<sup>7</sup>)</b>	<b>CONCENTRACIÓN ( mol/l )</b>	<b>AREA (1 x 10<sup>7</sup>)</b>	<b>CONCENTRACIÓN ( mol/l )</b>
0	7,22	0,40	-	0,00
1	4,82	0,27	0,76	0,04
2	4,62	0,26	1,18	0,06
3	3,44	0,19	1,31	0,07
4	3,23	0,18	1,45	0,08
5	2,87	0,16	1,48	0,08
6	2,22	0,12	1,73	0,09
7	2,17	0,12	1,79	0,09
8	2,16	0,12	3,44	0,19
9	2,01	0,11	4,24	0,23
10	1,52	0,08	4,92	0,27

11	1,08	0,06	5,59	0,31
----	------	------	------	------

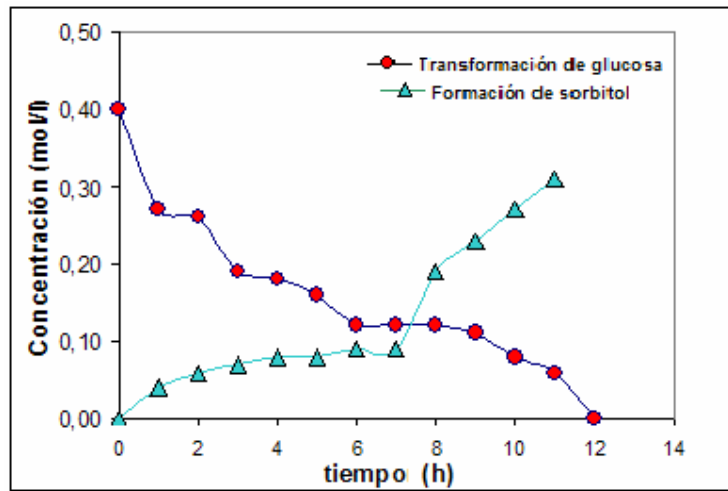
Los valores presentados en la TABLA N° 3.4 muestran que a las condiciones establecidas para el Ensayo 3, se produce la transformación de la glucosa a sorbitol, con una conversión del 77% después de 11 horas de reacción.

El valor de la conversión fue establecido mediante la ecuación [3] de la sección 2.2.7 de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{0,31 \text{ mol sorbitol producidos}}{0,4 \text{ mol sorbitol}} \times 100 \%$$

$$\eta = 77 \% \text{ de conversión}$$

Los valores presentados en la TABLA N° 3.4 fueron tomados durante 12 horas de análisis. El gráfico 3.5 muestra la transformación de la glucosa en sorbitol durante las 12 horas de ensayo.

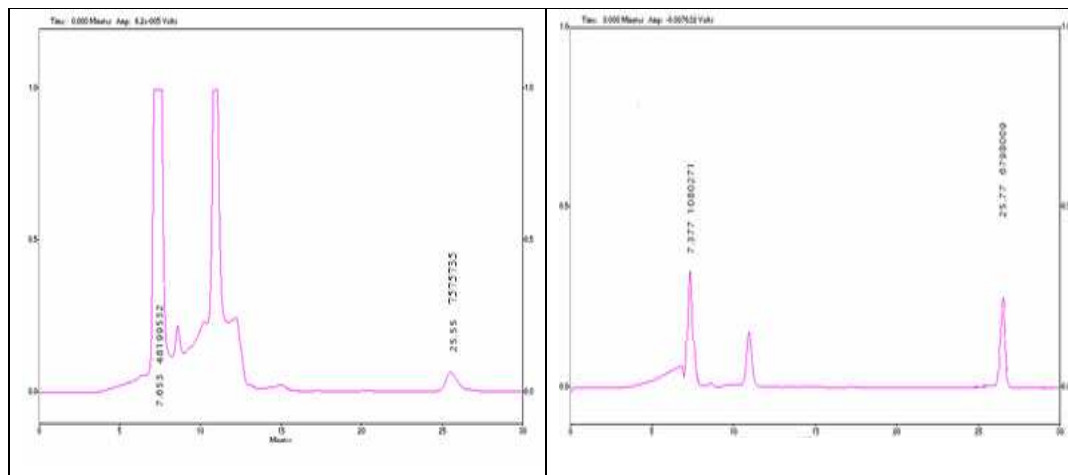


**Gráfico 3.5** Conversión de glucosa a sorbitol a las condiciones del ensayo 3

La transformación de glucosa a sorbitol durante las 12 horas de reacción se muestra en la Figura 3.3 donde la Figura 3.3.1 corresponde al cromatograma de la muestra 2 tomada a la primera hora de reacción y La Figura 3.3.2 al cromatograma de la muestra 12 tomada después de 11 horas de reacción.



El cromatograma de la Figura 3.3.2 presenta el pico más grande de sorbitol durante las doce horas de análisis. Siendo este el punto máximo de formación del sorbitol desde glucosa.



**3.3.1** Cromatograma correspondiente a la primera hora de reacción.

**3.3.2** Cromatograma correspondiente a la hora 11 de reacción.

**Figura 3.3** Cromatogramas de la síntesis electroquímica correspondiente al Ensayo 3 durante las 12 horas de reacción.

### 3.2.3. ENSAYO 4

El ensayo 4 se realizó a las condiciones que se muestran a continuación en la TABLA N°3.5, bajo estas condiciones no fue posible realizar la síntesis por más de dos horas ya que se produjo precipitación de óxidos de plomo en la primera hora de reacción, debido a la alcalinidad del baño electrolítico.

**TABLA N°3.5**

VALORES EXPERIMENTALES OBTENIDOS PARA EL ENSAYO 4

PARAMETRO	ENSAYO 4
Concentración de glucosa (mol/l)	0,4
Concentración de Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (%)	2,5
Concentración de NaOH (%)	2,5
Voltaje (V)	4,7
Tiempo de reacción (h)	2
Temperatura (°C)	40
Intensidad de corriente (A)	0,07

### 3.2.4. ENSAYO 5

El Ensayo 5 se realizó a las condiciones que se muestran en la TABLA N° 3.6, considerando que la solución electrolítica debe poseer un valor elevado de pH para facilitar la transferencia de electrones debido a que la concentración de glucosa utilizada es la máxima permitida en la síntesis electroquímica de sorbitol a partir de glucosa según los autores Li y Hongmei [10].

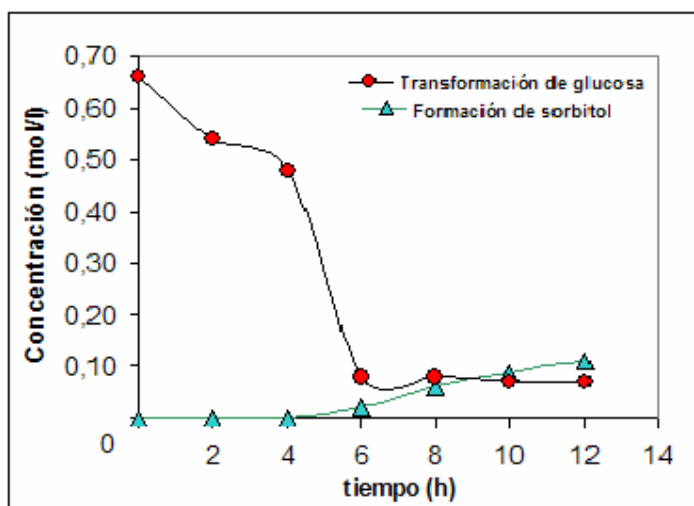
**TABLA N°3.6**

**ENSAYO 5 DE LA SINTESIS DE SORBITOL A PARTIR DE GLUCOSA**

<b>ENSAYO 5: T=40 °C; I= 0,07 A; t=12h</b>				
<b>SOLUCIÓN ELECTROLÍTICA: 0,6 mol/l glucosa, 5 % Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 5 % NaOH</b>				
<b>TIEMPO DE REACCIÓN (h)</b>	<b>GLUCOSA</b>		<b>SORBITOL</b>	
	<b>AREA (1 x 10<sup>7</sup>)</b>	<b>CONCENTRACIÓN ( mol/l )</b>	<b>AREA (1 x 10<sup>7</sup>)</b>	<b>CONCENTRACIÓN ( mol/l )</b>
0	9,97	0,66	0,00	0,00
2	9,72	0,54	0,00	0,00
4	8,69	0,48	0,00	0,00
6	1,46	0,08	0,49	0,02
8	1,45	0,08	1,22	0,06
10	1,43	0,07	1,69	0,09
12	1,33	0,07	2,09	0,11

Los valores presentados en la TABLA N°3.6 muestran que a las condiciones establecidas para el Ensayo 5 a las que se realizó el análisis, se produce la transformación de la glucosa a sorbitol, con una conversión muy baja de alrededor del 28 % debido a la presencia de precipitaciones de óxido durante el transcurso de la síntesis y así como a la formación de productos secundarios en el proceso.

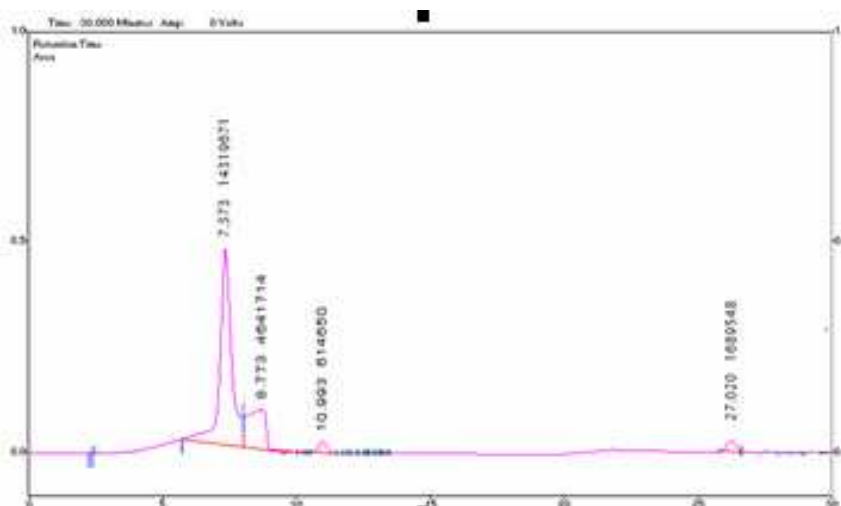
Las muestras fueron tomadas durante las 12 horas de análisis, en intervalos de 2 horas. El gráfico 3.6 muestra la transformación de glucosa en sorbitol durante las 12 horas de ensayo.



**Gráfico 3.6** Conversión de glucosa a sorbitol a las condiciones del ensayo 5

Las A.7 y A.8 (Ver anexos), muestran la transformación de la glucosa en sorbitol y en productos secundarios, durante las 12 horas de ensayo. La Figura A.7 corresponde al cromatograma de la muestra 2, tomada a la segunda hora de análisis, que presenta el pico de la glucosa.

La Figura A.8 corresponde al cromatograma de la muestra 5, tomada a la hora 10 de reacción, que presenta el área más grande de sorbitol durante las doce horas de análisis. Siendo este el punto máximo de formación del sorbitol desde glucosa, a estas condiciones.



**Figura 3.4** Cromatograma de la muestra 5 de la síntesis electroquímica correspondiente al Ensayo 5 tomada a la hora 10 de la reacción.

Al considerar una concentración de la glucosa menor de 0,4 mol/l, no se obtuvo ningún tipo de conversión incluso al aumentar la concentración de sulfato de sodio y sosa.

Un incremento de la concentración de glucosa no produjo mejores resultados que los antes mostrados debido a que a mayor concentración de glucosa se produce un aumento en la viscosidad de la solución, lo que dificulta la transferencia de electrones.

En aquellos ensayos donde se consideró el incremento de las concentraciones de sulfato de sodio y sosa, se obtuvo la formación de óxidos de plomo por el aumento del valor de pH produciéndose precipitaciones en el baño electrolítico ocasionando problemas en la fase de filtración e interferencias en la detección. Además que a altas concentraciones de sales de sodio producen el rompimiento de la molécula de glucosa según el autor Li [10].

No se consideró variar la intensidad de la corriente eléctrica ni la cantidad de voltaje suministrados, debido a que se utilizó una fuente de poder que actuó además como transformador cambiando la alimentación normal de voltaje de 120 V a una alimentación constante de 4.9 V. Además según el estudio realizado por los autores Li y Hongmei [10], mejores rendimientos de conversión son obtenidos al utilizar un circuito de corriente directa que contenga un transformador.

La síntesis de sorbitol a partir de glucosa por vía electroquímica realizada a nivel de laboratorio a las condiciones del ensayo 3 muestra que la glucosa se reduce a sorbitol de manera similar aunque un 20 % menos eficiente que la síntesis llevada a cabo por los autores Li y Hongmei, la misma que produce sorbitol con una conversión mayor al 90 % y que ha sido denominada "Síntesis electroquímica apareada de ácido glucónico y sorbitol" [10].

### 3.3. ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROCESO DE SÍNTESIS DE SORBITOL A PARTIR DE GLUCOSA A ESCALA DE LABORATORIO.

Con los datos de los costos de materiales, equipos y reactivos reportados en la TABLA N°2.3 se calculó el costo del proceso de síntesis de sorbitol a partir de glucosa a escala de laboratorio. La TABLA N° 3.7 muestra los costos de las cantidades de materiales, equipos y reactivos utilizados en la síntesis electroquímica.

**TABLA N°3.7**

**COSTO DEL PROCESO DE SÍNTESIS DE SORBITOL A PARTIR DE GLUCOSA A ESCALA DE LABORATORIO**

MATERIALES Y EQUIPOS	CANTIDAD UTILIZADA	UNIDAD	COSTO (USD)
Termómetro Cole Palmer	1		32,5
Multímetro Digital M3800	1		94,0
Plancha de calentamiento	1		347,0
Fuente de poder	1		50,0
Plomo metálico	176	g	36,08
Zinc metálico	110	g	14,25
Acero Inoxidable	31,0	cm <sup>2</sup>	0,10
Alambre de Cobre	10,0	g	2,28
Corriente eléctrica	12,0	kW/h	1,2
Glucosa	18,0	g	0,57
Sulfato de sodio	6,25	g	0,37
Hidróxido de sodio	2,50	g	0,17
Agua destilada	250	ml	7,2
<b>TOTAL USD</b>			<b>585,48</b>

La TABLA N° 3.7 reporta que el costo de la síntesis de sorbitol a partir de glucosa aproximadamente es de USD 585.

El costo en el mercado de 100 g de D-sorbitol 99 % es de USD 31,50; según los resultados obtenidos en el Ensayo 3 se producen 0,3 mol de sorbitol de 0,4 mol de glucosa con una conversión del 77%. Bajo estas condiciones se producirían 54,6 g de sorbitol que en el mercado tienen un valor de USD 17,20 mientras que el precio de la glucosa utilizada es de USD 0,57; por lo que se estaría produciendo un producto de mayor valor.

Bajo estas condiciones resultaría factible sintetizar sorbitol desde glucosa por vía electroquímica añadiendo al proceso un sistema de separación de productos, como por ejemplo una membrana colocada en la celda entre los electrodos y que permita el intercambio de electrones durante la síntesis, como es el caso de la membrana propuesta por los autores Li y Hongmei [10].

### **3.4. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SORBITOL EN 23 FRUTAS COMUNES Y EXÓTICAS DEL ECUADOR.**

La detección y cuantificación del contenido de sorbitol en las 23 frutas ecuatorianas estudiadas presenta los siguientes resultados.

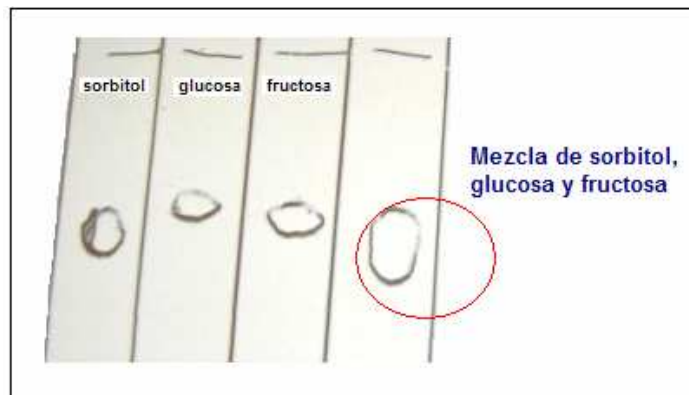
#### **3.4.1. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SORBITOL EN FRUTAS COMUNES Y EXÓTICAS DEL ECUADOR MEDIANTE CROMATOGRAFÍA DE CAPA FINA.**

Para detectar la presencia de sorbitol en las frutas estudiadas mediante Cromatografía de Capa Fina fue necesario detectar además la presencia de la glucosa y la fructosa, debido a que estos azúcares poseen un comportamiento similar al sorbitol frente a determinados solventes.

Los valores experimentales del recorrido relativo de la muestra  $R_f$  correspondientes a la glucosa, la fructosa y el sorbitol separados con el solvente 1 compuesto de acetonitrilo-agua, así como los correspondientes a la separación con el solvente 2 compuesto de n-propanol-acetato de etilo-agua se muestran en la TABLA N°3.8.

En la TABLA N° 3.8 se observa que los valores del recorrido de cada muestra, es decir de los estándares y de su mezcla, son muy similares al utilizar el solvente 2, mientras que al utilizar el solvente 1 (acetonitrilo-agua) estos valores presentan una ligera desviación, permitiendo una mejor separación. Los valores promedio de  $R_f$ , para los estándares de la glucosa, la fructosa y el sorbitol, analizados con el solvente 1 y el solvente 2, se muestran en la TABLA N°3.8.

La Figura 3.5 muestra la fotografía de una placa de silicagel donde se puede observar el comportamiento de los estándares dentro de una mezcla que los contiene.



**Figura 3.5:** Placa de Silicagel con las manchas de sorbitol, glucosa, fructosa y de la mezcla de los mismos, utilizando el solvente acetonitrilo-agua (50:18).

En La Figura 3.5 se puede observar que no existe una buena separación de la mezcla de los estándares de glucosa, fructosa y sorbitol. Se observa también que las manchas que corresponde a los estándares individuales se encuentran en posiciones similares con respecto al punto de aplicación, dando como resultado valores parecidos de  $R_f$ , lo que dificulta su separación.

**TABLA N° 3.8****VALORES DEL RECORRIDO RELATIVO DE LA MUESTRA Rf PARA TLC**

SOLVENTE	GLUCOSA			FRUCTOSA			SORBITOL			MEZCLA		
	dm(cm)	ds(cm)	Rf	dm(cm)	Ds(cm)	Rf	dm(cm)	ds(cm)	Rf	dm(cm)	ds(cm)	Rf
1 acetonitrilo- agua	13.42	17.30	0.776	13.70	17.30	0.792	12.91	17.30	0.746	13.27	17.30	0.767
2 n- propanol- acetato de etilo-agua	10.40	17.30	0.601	10.40	17.30	0.601	9.70	17.30	0.561	10.30	17.30	0.595

Donde:

ds: es el recorrido del solvente, desde su punto de aplicación hasta el frente de avance del solvente y se expresa en centímetros (cm).

dm: es el recorrido de la muestra, desde su punto de aplicación, hasta el centro geométrico de la mancha y se expresa en centímetros (cm).



Al utilizar el solvente 2 n-propanol-acetato de etilo-agua no se obtiene separación y las muestras de las frutas se quedan retenidas en el punto de aplicación, por lo que no es posible determinar la presencia o no de sorbitol en las frutas estudiadas.

La TABLA N° 3.9 muestra que los valores de Rf de los estándares de glucosa, fructosa y sorbitol son muy similares, dificultando su separación en una mezcla que los contenga, como es el caso de las muestras de frutas.

Los valores de Rf de los estándares de la glucosa, la fructosa, el sorbitol y de los extractos de las pulpas de las frutas analizadas a las condiciones descritas en la sección 2.4.3, se muestran a continuación en la TABLA N° 3.9.

**TABLA N° 3.9**

VALORES COMPARATIVOS DE R<sub>f</sub> CORRESPONDIENTES A GLUCOSA, FRUCTOSA Y SORBITOL Y A LOS EXTRACTOS DE LA PULPA DE LAS FRUTAS ESTUDIADAS UTILIZANDO EL SOLVENTE 1

<b>Muestra</b>	<b>Valores de R<sub>f</sub></b>
Glucosa	0,776
Fructosa	0,792
Sorbitol	0,746
Mezcla	0,767
Arazá	0,000
Banano	0,750
Borojó	0,000
Claudia	0,590
Durazno	0,703
Fresa	0,740
Guayaba	0,805
Kivi	0,760
Mango	0,746
Manzana	0,750
Mora	0,800
Noni	0,000
Orito	0,760
Papaya	0,800
Pepino	0,567
Pera	0,746
Piña	0,450
Pitahaya	0,800
Taxo	0,540
Tomate de Árbol	0,560
Tuna	0,800
Uvilla	0,780
Uva	0,800

Los resultados que se presentan en la TABLA N° 3.9 muestran que el banano, el durazno, la fresa, el kiwi, el mango, la manzana, el orito y la pera podrían contener sorbitol, debido a la proximidad de los valores de Rf de estas frutas y los Rf de los estándares.

Los valores de Rf de cero significan que no existió recorrido de las muestras, es decir que las muestras se quedaron retenidas en el punto de aplicación, este fenómeno pudo ser debido a la no afinidad de la muestra con el solvente de elusión o debido a que en la separación estuvieron interviniendo otros componentes de las muestras como las ceras o pectinas que comúnmente están presentes en las frutas.

#### 3.4.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SORBITOL EN FRUTAS COMUNES Y EXÓTICAS DEL ECUADOR MEDIANTE CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTA EFICIENCIA

La cuantificación del contenido de la glucosa, la fructosa y el sorbitol en las frutas estudiadas se efectuó utilizando las curvas de calibración de los estándares presentados en los Gráficos 3.1, 3.2 y 3.3.

La TABLA N° 3.10 muestra los valores del contenido de la glucosa, la fructosa y el sorbitol en las frutas analizadas expresadas en mg/ml de solución y en mg/g de muestra.

Según los valores reportados en la TABLA N° 3.10, el método cuantitativo mediante Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC) indicó la presencia de sorbitol en 9 de las 23 frutas estudiadas. Además la glucosa estuvo presente en 21 frutas y la fructosa en 22 de las mismas.

Los cromatogramas de las frutas que contienen sorbitol en menor concentración como son el banano, la claudia, la fresa, el kiwi, el orito y la tuna, así como de aquellas que carecen de sorbitol o cuya concentración no

es posible detectar, aparecen en los anexos desde la Figura A.9 hasta la Figura A.28.

**TABLA N° 3.10**

**CONCENTRACIÓN DE GLUCOSA, FRUCTOSA Y SORBITOL EN MUESTRAS DE LAS FRUTAS ESTUDIADAS**

MUESTRA	GLUCOSA		FRUCTOSA		SORBITOL	
	mg / ml	mg / g	mg / ml	mg / g	mg / ml	mg / g
Arazá	0,55	1,85	0,38	1,29	N.D.	N.D.
Banano	30,11	97,64	14,51	47,04	0,10	0,32
Borojón	7,44	23,39	4,78	15,03	N.D.	N.D.
Claudia	17,29	48,19	18,03	50,49	1,42	3,97
Durazno	11,61	39,09	15,15	51,01	6,86	23,07
Fresa	12,93	43,98	8,90	30,25	0,19	0,65
Guayaba	7,53	25,45	2,99	10,12	N.D.	N.D.
Kivi	29,90	100,15	14,83	49,69	0,10	0,00
Mango	9,30	30,24	13,77	44,74	0,36	1,16
Manzana	38,37	128,52	F.R.	F.R.	14,25	47,74
Mora	N.D.	N.D.	0,09	0,31	N.D.	N.D.
Noni	30,81	98,60	12,24	39,55	N.D.	N.D.
Orito	0,31	0,98	0,24	0,78	0,30	0,96
Papaya	28,46	95,62	13,00	43,69	N.D.	N.D.
Pepino	30,11	102,98	14,51	49,61	N.D.	N.D.
Pera	5,42	18,06	8,77	29,22	5,32	17,74
Piña	N.D.	N.D.	0,01	0,03	0,00	0,00
Pitahaya	11,46	38,96	8,57	29,14	0,00	0,00
Taxo	32,36	110,96	16,77	57,34	0,00	0,00
Tomate de Árbol	15,00	48,29	9,42	30,34	0,00	0,00
Tuna	39,36	130,78	17,87	59,38	0,02	0,07
Ubilla	37,53	123,42	1,85	6,09	N.D.	N.D.
Uva	50,11	172,88	27,97	96,50	N.D.	N.D.

**Donde:**

**N.D.:** No detectable, nomenclatura asignada a aquellos valores de concentración que no pueden reportarse debido a que son muy bajos.

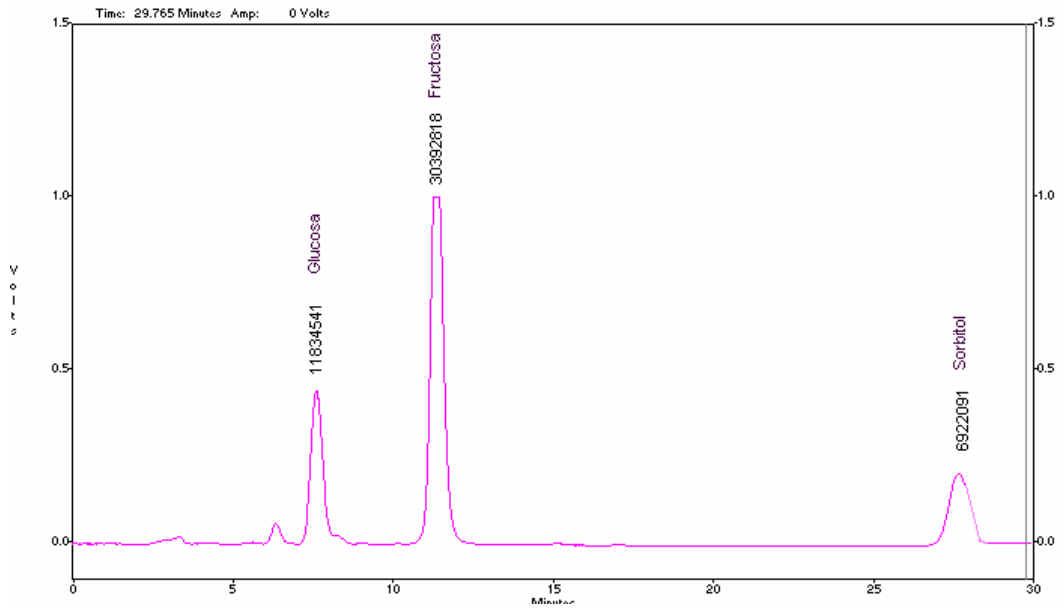
**F.R.:** Fuera del rango de detección, nomenclatura asignada a valores de concentración que se encuentran fuera el rango de detección del equipo HPLC.

Aquellos valores de concentración reportados como no detectables son valores inapreciables de área del pico correspondiente, mientras que los valores reportados fuera del rango de detección son valores altos sin posibilidad de cuantificación debido a que por su alta concentración superan los límites de detección del equipo HPLC, aún después de realizar diluciones consecutivas, las mismas que producen la no detección de los otros azúcares presentes en la muestra.

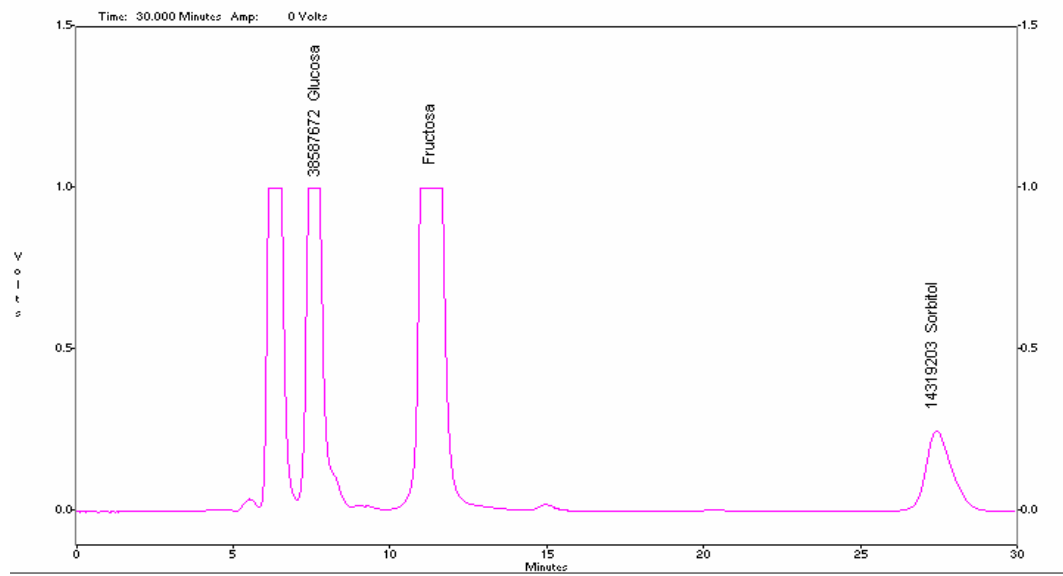
Los resultados reportados en la TABLA N° 3.10 de la determinación cuantitativa del contenido de sorbitol en las frutas estudiadas no se relacionan totalmente con aquellos que se reportan en la TABLA N° 3.10, como es el caso del arazá, el borjón y el noni que en la determinación cualitativa de sorbitol por TLC no presentan resultados, mientras que en HPLC presentan valores considerables.

Si bien se utilizaron técnicas cromatográficas en ambos casos es necesario anotar que el método de HPLC es un método más sensible que el TLC y se basa principalmente en la afinidad de los componentes de la muestra (soluto) con el material de empaque de la columna que corresponde a la fase estacionaria, debido a la selectividad de esta columna los componentes de la muestra son separados para luego ser detectados, impidiéndose así interferencias ocasionadas por componentes no deseados.

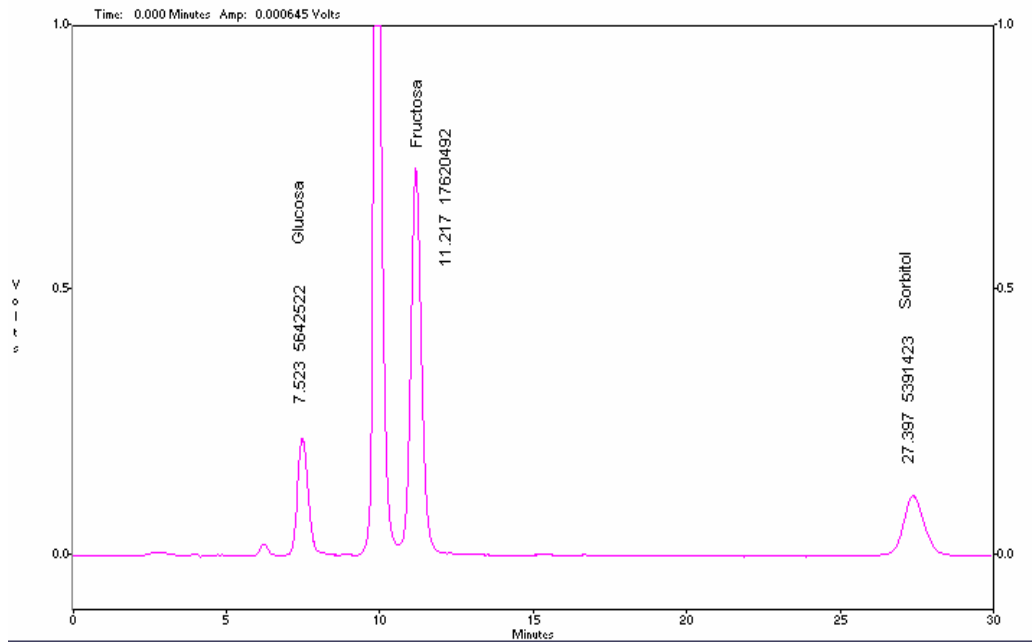
Las Figuras 3.6, 3.7 y 3.8 muestran los cromatogramas de las frutas que tienen un mayor contenido de sorbitol como son el durazno, la manzana y la pera.



**Figura 3.6** Cromatograma de la muestra de Durazno analizada por HPLC.



**Figura 3.7** Cromatograma de la muestra de Manzana analizada por HPLC.



**Figura 3.8** Cromatograma de la muestra de Pera analizada por HPLC.

Según estudios realizados sobre el contenido de sorbitol en frutas, la manzana es una de las frutas que más posee edulcorantes como el sorbitol por lo que su consumo es recomendado para diabéticos [17], concordando así con el resultado de los cromatogramas anteriores que muestran que las concentraciones de glucosa, fructosa y sorbitol son considerables en las muestras de la manzana, el durazno y la pera.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. CONCLUSIONES**

Se puede concluir que buenas condiciones para la síntesis de sorbitol a partir de glucosa por vía electroquímica fueron obtenidas, limitando la concentración de glucosa a 0,4 mol/l en la solución electrolítica.

En la solución electrolítica la concentración de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> fue del 2,5 % y la concentración de NaOH fue del 1 %, la reacción fue llevada a cabo a una temperatura de 50 °C, intensidad de corriente eléctrica de 0,07 A. Obteniéndose bajo estas condiciones un 77% de conversión de glucosa a sorbitol, altos valores de conversión son referidos por el autor Li, dicha información está incluida en la fuente bibliográfica [10].

Los ensayos realizados en la síntesis de sorbitol a partir de glucosa muestran que esta síntesis no es selectiva, debido a que existe la formación de productos secundarios cuyos tiempos de retención son similares al tiempo de retención de la fructosa.

El análisis de costos muestra que la síntesis de sorbitol a partir de glucosa es un proceso posible de realizar a gran escala debido a la alta conversión obtenida en este trabajo de investigación y al bajo costo que ha significado.

El método analítico de Cromatografía de Capa Fina TLC que se utilizó para detectar la presencia de glucosa, fructosa y sorbitol en las frutas estudiadas aunque no es un método muy sensible permitió mediante la comparación de los valores de R<sub>f</sub> de los estándares de glucosa, fructosa y sorbitol con los valores obtenidos de R<sub>f</sub> de las frutas estudiadas, determinar que frutas como



el banano, el durazno, la fresa, el kiwi, el mango, la manzana, el orito y la pera podrían contener sorbitol dentro de su contenido de azúcares.

El método cuantitativo mediante Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC) permitió la detección cualitativa y cuantitativa del contenido de glucosa, fructosa y sorbitol en las frutas estudiadas e indicó la presencia de sorbitol en alrededor del 80% de las frutas estudiadas, así como la presencia de la glucosa y de la fructosa en más del 90 % de las frutas estudiadas. En vista de estos resultados, se puede concluir que este método es más sensible y confiable que el método de detección por Cromatografía de Capa Fina.

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

Se recomienda diseñar un nuevo sistema que permita el control de las variables consideradas en la síntesis electroquímica, principalmente la alimentación del baño electrolítico, el control de la intensidad de corriente y voltaje, para de esta manera poder realizar variaciones de estos parámetros y analizar los posibles efectos que ellos poseen en la síntesis electroquímica.

Se recomienda ensayar otros métodos de síntesis de sorbitol a partir de glucosa, como por ejemplo a partir de reducción enzimática de glucosa y fructosa, considerando el presente trabajo como una fuente bibliográfica que permite la identificación del sorbitol, glucosa y fructosa mediante técnicas cromatográficas reproducibles.

Se recomienda que al realizar la detección y cuantificación de sorbitol por los métodos analíticos cromatográficos utilizados en este estudio se considere la utilización de las mismas muestras de frutas en ambos ensayos (es decir en TLC y HPLC), debido a que la composición de las frutas varía de acuerdo a cada ejemplar.

Se recomienda realizar un análisis de la influencia del grado de madurez de las frutas en el contenido de sorbitol, glucosa y fructosa, en caso de que las frutas sean utilizadas como materia prima para producción de edulcorantes.

## BIBLIOGRAFÍA

1. WHAT ARE POLYOLS, SPI Polyols Inc, (2003), (Diciembre 2005).  
<http://www.spipolyols.com/whatarepolyols.html>
2. CHEMICAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF SACCHARIDES, Tomasik P., CRC Press, U.S.A 2004, pgs 37-40,139,160
3. SORBITOL, I/EC Staff Industry, Walter S. Fedor Associate Editor, New York 2000.
4. REDUCE-CALORIE SWEETNESS SORBITOL, Calorie control, <http://www.caloriecontrol.org/sorbitol.html>, (Diciembre 2005).
5. HANDBOOK OF FRUIT SCIENCE AND TECHNOLOGY PRODUCTION, COMPOSITION, STORAGE AND PROCESSING, Sawnkhe D.K., Marcel Dekker Inc., New York 1995, pgs 32,33,245.
6. CHEMICAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF FOOD COMPONENTS, Zdzislaw, TECHNOMIC Publishing Company Inc., Library of Congress Catalog card N° 96-61440, Lancaster Pennsylvania 1997.
7. AGENTES ESPESANTES, Productos alimentarios intermedios, Gráficas Arias, Montano S.A., Junio 2000.
8. REDUCTION PRODUCTS, Grimshaw, Marcel Dekker Inc., New York, pg 413-417.
9. INTRODUCTION TO ORGANIC ELECTROCHEMISTRY, Rifi M.R., Marcel Dekker Inc., New York 1974, pgs 168-181.
10. THE PAIRED ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS OF GLUCONIC ACID AND SORBITOL, Li-Hongmei, Collection of Czechoslovak Chemical Communications, Academic of Sciences of the Czech Republic, Vol 60, Number 6, 1995, pgs. 928-934.
11. ELECTROCATALYTIC HYDROGENATION OF ORGANIC COMPOUNDS, Lipkowski J., Wiley-VCH Inc. Canada 1998, pgs 184-187.
12. HYDROGENATION OF LIQUID DEXTROSE USING A NOBLE METAL CATALYST, Sorbitol Technology-Process highlights, Fubrpop J., Marcel Dekker Inc., New York 1989.
13. HYBRID NEUTRAL NETWORK MODEL FOR SIMULATING SORBITOL SYNTHESIS BY GLUCOSE-FRUCTOSE

- OXIDOREDUCTASE IN "ZYMOMONAS MOBILIS CP4", Bravo S., Brazilian Journal Chemical Eng., Vol 21, N° 4, Sao Paulo Oct-Dec 2004.
14. LOS RECURSOS NATURALES DEL ECUADOR, Acosta Solís M., Quito 1978, pg 145.
  15. FRUTAS Y FRUTOS SECOS, SALUDALIA, [http://www.saludalia.com/saludalia/web\\_saludalia/vivirsano/doc/nutricion/frutas.htm](http://www.saludalia.com/saludalia/web_saludalia/vivirsano/doc/nutricion/frutas.htm) (Abril 2006).
  16. LOST CROPS OF THE INCAS, Ruskin F.R., BOSTID Editor, Washington DC 1989, Part V, pgs. 217,241,253,288,297,307.
  17. LAS FRUTAS ENGORDAN?, Alimentación sana, <http://www.alimentacionsana.com.ar/informaciones/novedades/frutoterapia.htm>, (Abril 2006).
  18. LOS EDULCORANTES, Farmaceuticonline, <http://www.farmaceuticonline.com/cast/centre:c.htm>, (Diciembre 2005).
  19. FRUTAS PRODUCIDAS EN LA AMAZONÍA ECUATORIANA, Rios M., Revista Poema, N°5, Ecuador Enero/Julio 2000, pgs 8-22.
  20. USEFUL PLANTS OF NEOTROPICAL ORIGIN, Brücher H., Springer-Verlag, Germany 1989, pgs. 70,88,205,221,222,240,250,256,306.
  21. ARAZÁ, PLANTA AMAZÓNICA IDÓNEA PARA COSTA RICA, Sanchez P., <http://www.una.ac.cr/ambi/Ambien-Tico/103/pablo.htm>, Abril 2006).
  22. ASPECTOS GENERALES DEL ARAZÁ, Pronatta, (Abril 2006) <http://www.200.13.202.26.90/pronatta/proyectos/pdf/public/971185013capitulo2.pdf>.
  23. PULPA DE ARAZÁ, Bolsa Amazonía, [http://www.bolsamazonia.com/ecuador/texto\\_productos.asp](http://www.bolsamazonia.com/ecuador/texto_productos.asp), (1998), (Abril 2006).
  24. IDENTIFICACION DE AZÚCARES, MINERALES, VITAMINAS, PROTEÍNAS DEL BANANO FRUTA Y DE LA MEZCLA DULCE BANANO ENRIQUECIDO CON SOYA, Cabrera I., Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Departamento de Química, Quito 1986.
  25. RED INTERNACIONAL PARA EL MEJORAMIENTO DEL BANANO Y EL PLATANO, INIABAP, <http://www.inibap.org/index.php?lang=es>, (2001), (Abril 2006).

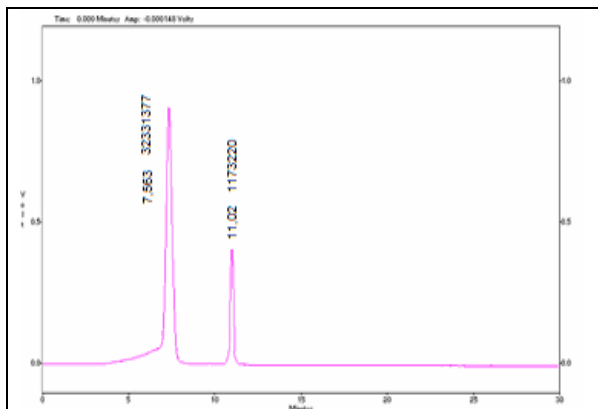
26. BOROJO ENERGIA NATURAL, Alimentación sana,  
<http://www.alimentacionsana.com.ar/informaciones/novedades/borojo.htm>,  
(Abril 2006)
27. QUE ES BOROJO?, BOROJO, <http://www.borojo.net/whatisborojo.html>,  
(Abril 2006).
28. FRUTAS ECUADOR, (2005), (Diciembre 2005).  
[www.bioplaguicidas.org/pppbagatz/Documentos/paises/ecuador/oferta/Frutasecuador.pdf](http://www.bioplaguicidas.org/pppbagatz/Documentos/paises/ecuador/oferta/Frutasecuador.pdf) -
29. LAS CIRUELAS, CONSUMER.es EROSKI,  
[http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/en\\_la\\_cocina/alimentos\\_de\\_temporada/2006/04/24/151229.php](http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/en_la_cocina/alimentos_de_temporada/2006/04/24/151229.php), (1998), (Abril 2006).
30. CULTIVO DEL CIRUELO, Infojardín,  
<http://www.infojardin.com/cultivodelciruelo.html>, (1998), (Abril 2006).
31. MELOCOTON O DURAZNO, Propiedades nutricionales de las frutas,  
[http://www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tradicionales/melocoton.htm](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/melocoton.htm), (1998),  
(Abril 2006).
32. EL CULTIVO DEL MELOCOTON, AGROALIMENTACION,  
[http://www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tradicionales/melocoton.htm](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/melocoton.htm), (1997),  
(Abril 2006).
33. FRESAS Y FRESONES, Frutas consumer.es ,  
[http://www.consumer.es/web/frutas/frutas.consumer.es/Fresas\\_yfresones.htm](http://www.consumer.es/web/frutas/frutas.consumer.es/Fresas_yfresones.htm),  
(1998), (Abril 2006).
34. GUAYABA, Frutas consumer.es,  
<http://www.consumer.es/web/frutas/frutas.consumer.es/guayaba.html>,  
(1998), (Abril 2006).
35. KIWI Frutas consumer.es,  
<http://www.consumer.es/web/frutas/frutas.consumer.es/kiwi.htm>, (1998),  
(Abril 2006).
36. DE LOS CULTIVO TROPICALES, León J, Servicio Editorial IICA, Costa Rica 1987, pg 220.
37. MANGO, Frutas consumer.es,  
<http://frutas.consumer.es/documentos/tropicales/mango/intro.php>, (1998),  
(Abril 2006).

38. CULTIVO DE MANZANA, Infojardín,  
<http://www.infojardin.com/cultivodelamanzana.html>, (2000), (Abril 2006),
39. LA MANZANA, Frutas consumer.es,  
<http://frutas.consumer.es/documentos/frescas/manzana/intro.php> , (1998),  
(Abril 2006).
40. MORAS, Frutas consumer.es  
<http://frutas.consumer.es/documentos/frescas/mora/intro.php> , (1998), (Abril  
2006).
41. QUE ES EL NONI? , NONI.COM.PA,  
<http://www.noni.com.pa/estudiosnoni.html>, (Abril 2006).
42. PLATANO, Frutas consumer.es,  
<http://frutas.consumer.es/documentos/fresacas/platano/intro.php> (1998),  
(Abril 2006).
43. LA PAPAYA (CARICA PAPAYA), Josep Vicent Arnau,  
<http://www.enbuenasmanos.com/articulos/muestra.asp?art 1203>, (Abril 2006).
44. EL PEPINO DULCE Y SU CULTIVO, Agroalimentación,  
[http://canales.hoy.es/canalagro/datos/hortalizas/pepino\\_dulce.htm#1.%20Introducción](http://canales.hoy.es/canalagro/datos/hortalizas/pepino_dulce.htm#1.%20Introducción), (Abril 2006)
45. LA PERA, Frutas consumer.es,  
<http://frutas.consumer.es/documentos/frescas/pera/intro.php>, (1998), (Abril  
2006).
46. EL CULTIVO DE LA PERA, Agroalimentación,  
[http://www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tradicionales/lapera.htm](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/lapera.htm), (1997),  
(Abril 2006).
47. PIÑA TROPICAL Y PIÑA BABY, Frutas consumer.es,  
<http://frutas.consumer.es/documentos/frescas/piña/intro.php>, (1998), (Abril  
2006).
48. MANUAL\_PITAHAYA, PROEXANT.  
[http://www.proexant.com/frutas/tropicales/pitahaya\\_hoja/manual.pdf](http://www.proexant.com/frutas/tropicales/pitahaya_hoja/manual.pdf), (Abril  
2006).
49. PITAHAYA, Frutas consumer.es,  
<http://frutas.consumer.es/documentos/tropicales/pitahaya/intro.php>, (1998),  
(Abril 2006).

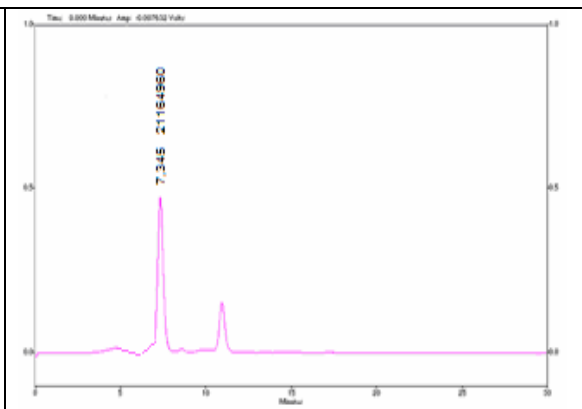
50. TAXO CURUBA, SICA-GOV-EC,  
[http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productosparainvertir/taxo/taxo\\_mag.pdf](http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productosparainvertir/taxo/taxo_mag.pdf)  
(Abril 2006)
51. TECNOLOGIA DEL CULTIVO DE TOMATE DE ARBOL, Proyecto SICA,  
Soria Norman, Quito-Ecuador Mayo 2001, pgs 1-35.
52. TUNA PRICKLY PEAR, SICA-GOV-EC,  
[http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productosparainvertir/tuna/tuna\\_mag.pdf](http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productosparainvertir/tuna/tuna_mag.pdf)  
(Abril 2006)
53. UVILLA[PHYSALIS], Uvilla.com,  
<http://www.uvilla.com/propiedadesnutricionales.html>, (Abril 2006).
54. UVAS, Frutas consumer.es,  
<http://frutas.consumer.es/documentos/frescas/uvass/intro.php> , (1998), (Abril 2006).
55. COLE PALMER 2003/2004, Cole-Palmer Instrument CO., pgs. 1798,
56. ALDRICH 2003/2004 HANDBOOK OF FIEN CHEMICALS AND LAB EQUIPMENT, Aldrich CO.

# ANEXO I

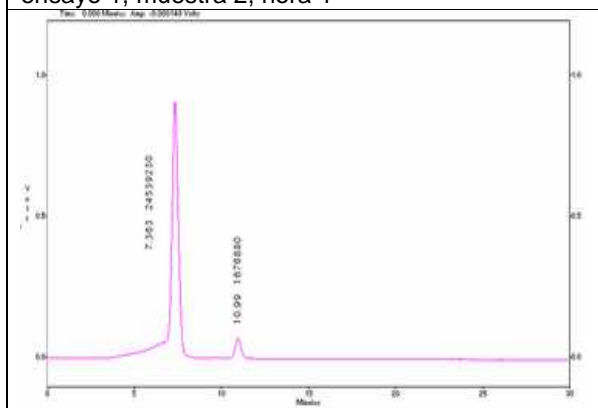
## FIGURAS



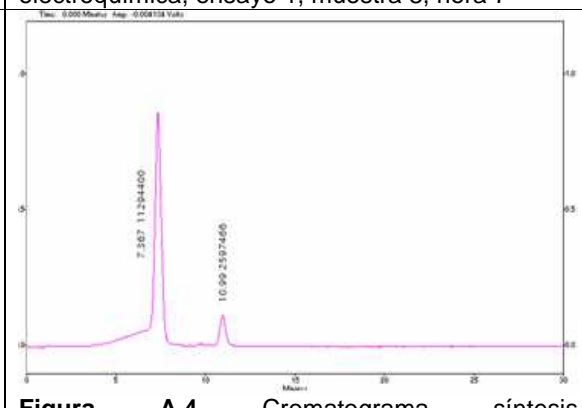
**Figura A.1** Cromatograma síntesis electroquímica, ensayo 1, muestra 2, hora 1



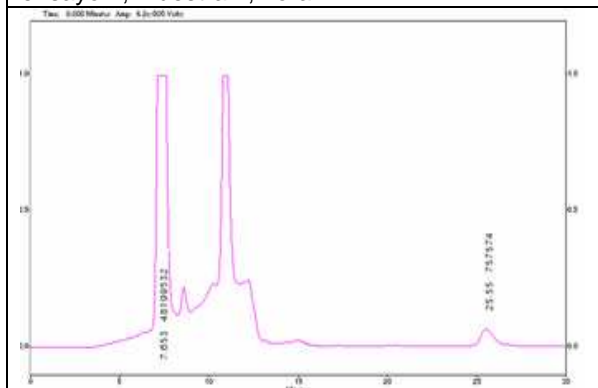
**Figura A.2** Cromatograma síntesis electroquímica, ensayo 1, muestra 8, hora 7



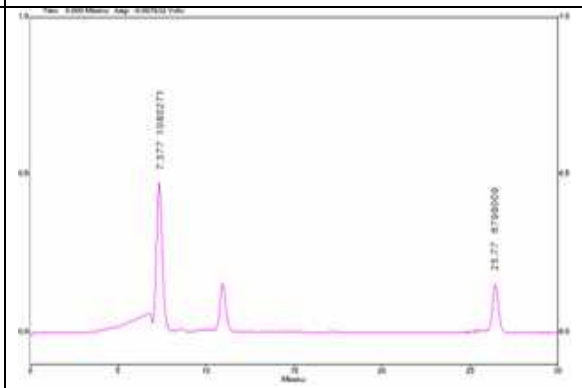
**Figura A.3** Cromatograma síntesis electroquímica, ensayo 2, muestra 2, hora 1



**Figura A.4** Cromatograma síntesis electroquímica, ensayo 2, muestra 8, hora 7

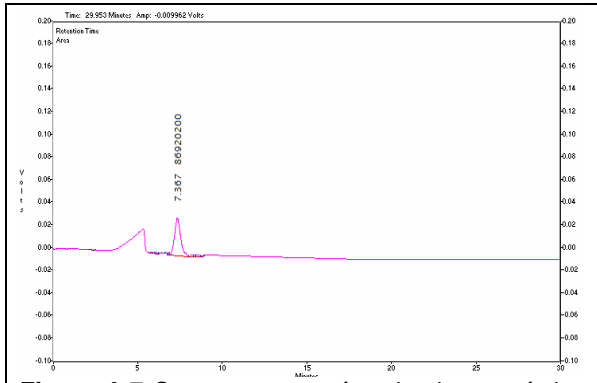


**Figura A.5** Cromatograma síntesis electroquímica, ensayo 3, muestra 2, hora 1

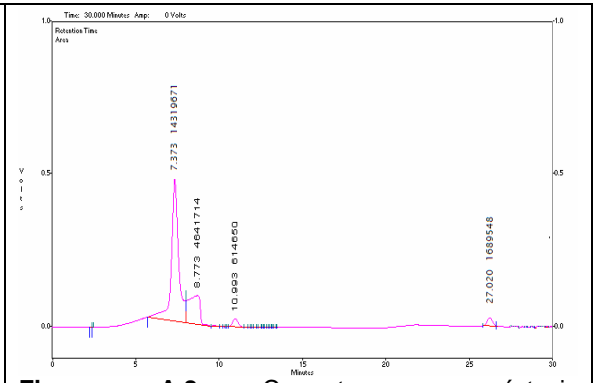


**Figura A.6** Cromatograma síntesis electroquímica, ensayo 3, muestra 2, hora 11

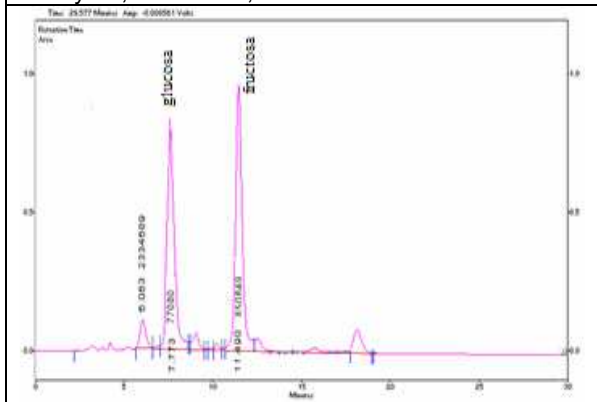




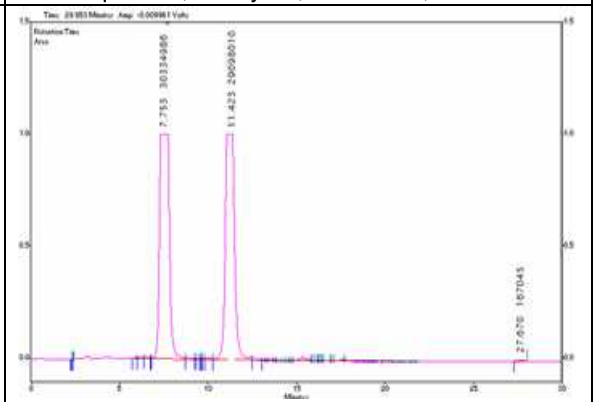
**Figura A.7** Cromatograma síntesis electroquímica, ensayo 5, muestra 2, hora 1



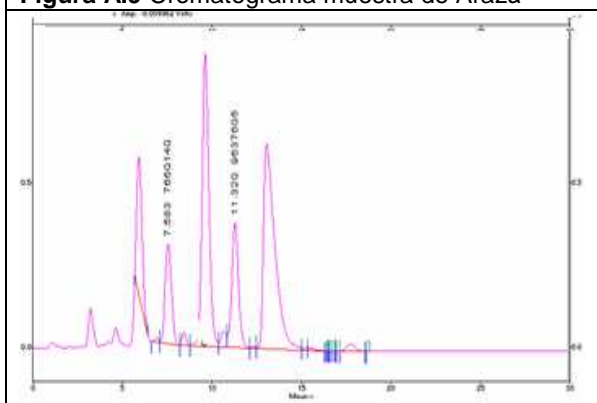
**Figura A.8** Cromatograma síntesis electroquímica, ensayo 5, muestra 2, hora 10



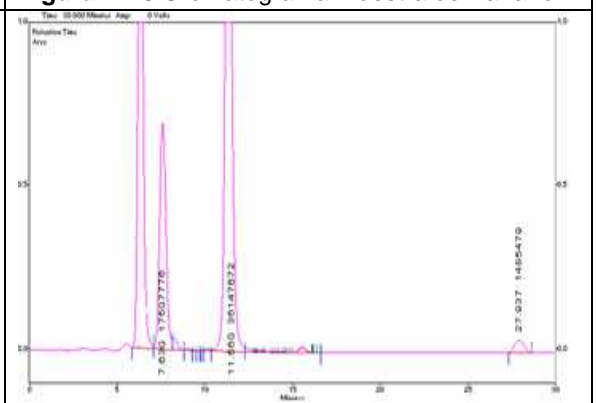
**Figura A.9** Cromatograma muestra de Arazá



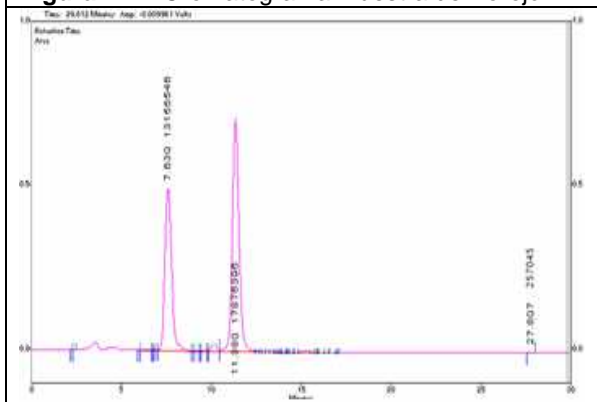
**Figura A.10** Cromatograma muestra de Banano



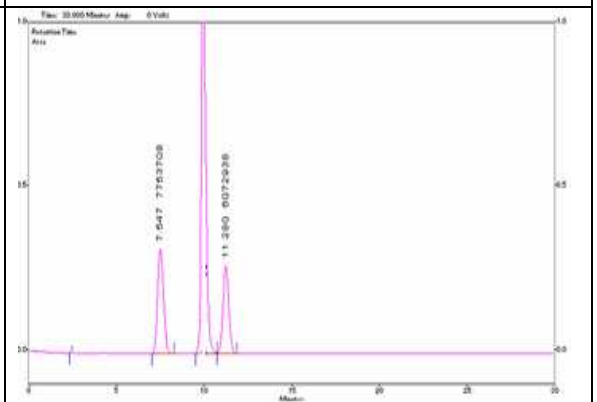
**Figura A.11** Cromatograma muestra de Borojó



**Figura A.12** Cromatograma muestra de Claudia



**Figura A.13** Cromatograma muestra de Fresa



**Figura A.14** Cromatograma muestra de Guayaba

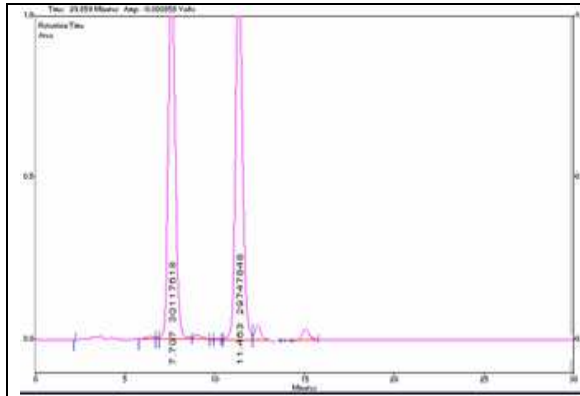


Figura A1.15 Cromatograma muestra de Kiwi

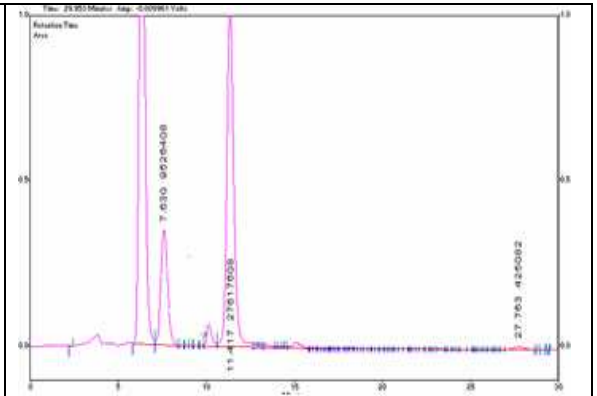


Figura A1.16 Cromatograma muestra de Mango

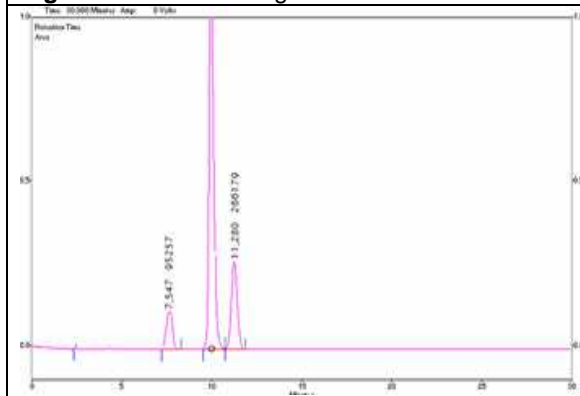


Figura A1.17 Cromatograma muestra de Mora

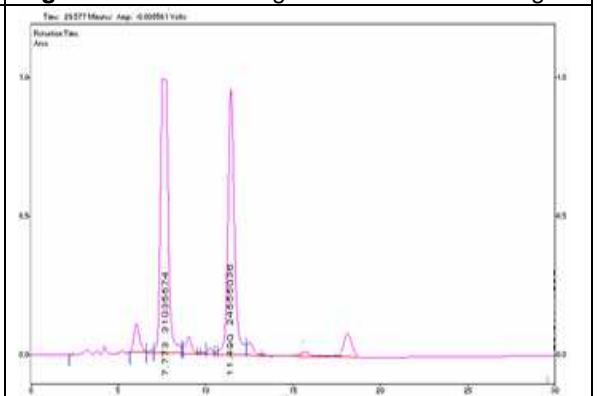


Figura A.18 Cromatograma muestra de Noni

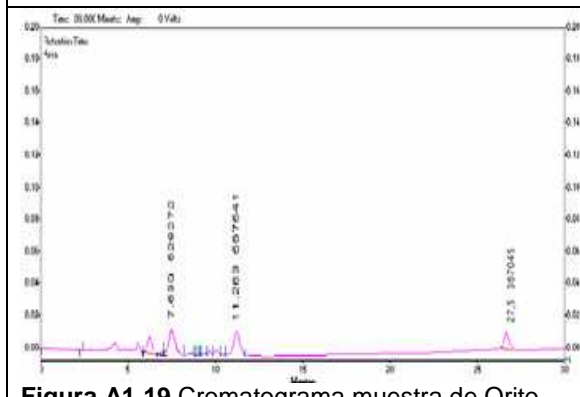


Figura A1.19 Cromatograma muestra de Orito

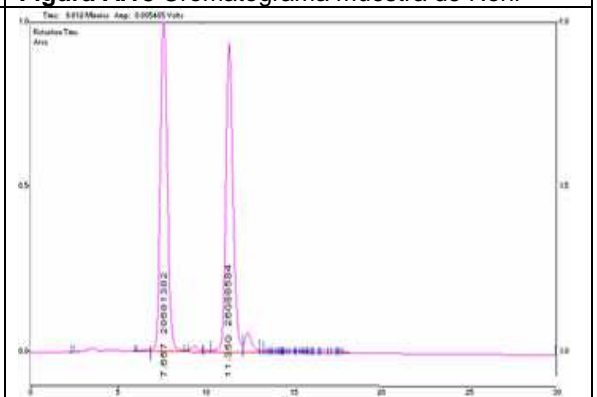


Figura A1.20 Cromatograma muestra de Papaya

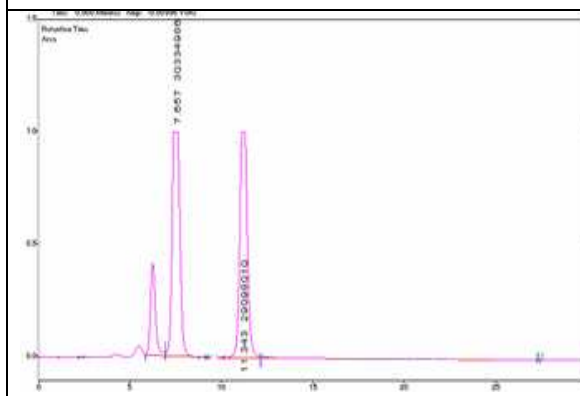


Figura A.21 Cromatograma muestra de Pepino

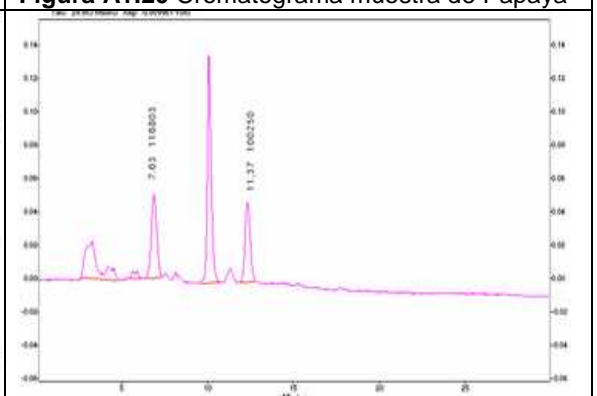


Figura A.22 Cromatograma muestra de Piña

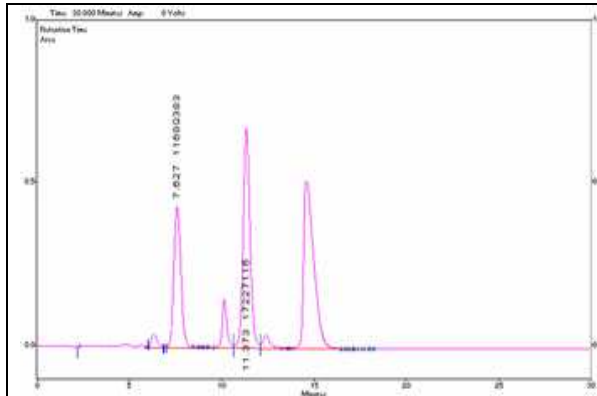


Figura A.23 Cromatograma muestra de Pitahaya

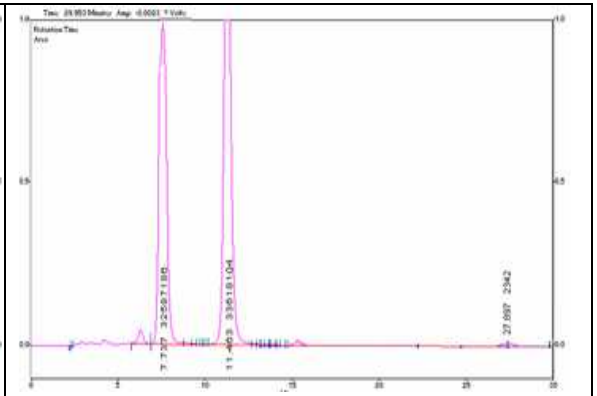


Figura A.24 Cromatograma muestra de Taxo

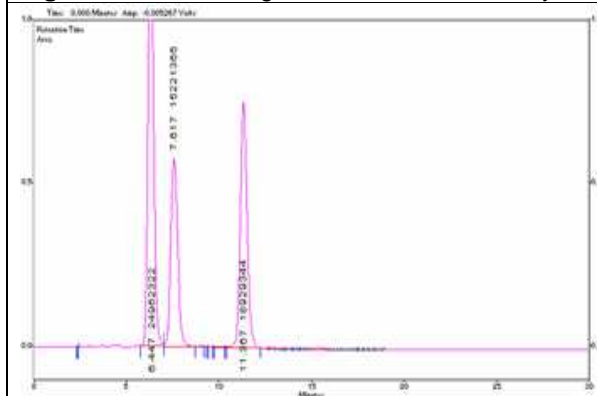


Figura A.25 Cromatograma muestra de Tomate  
Árbol

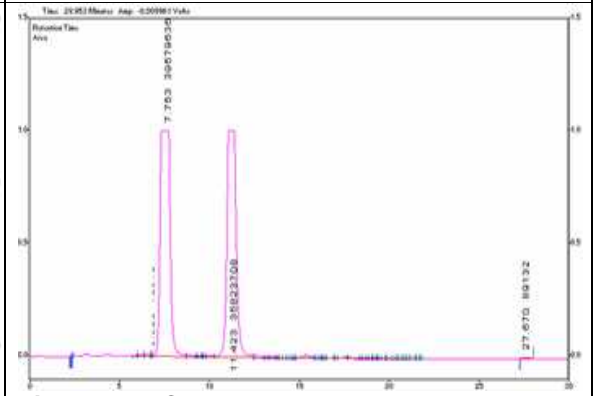


Figura A.26 Cromatograma muestra de Tuna

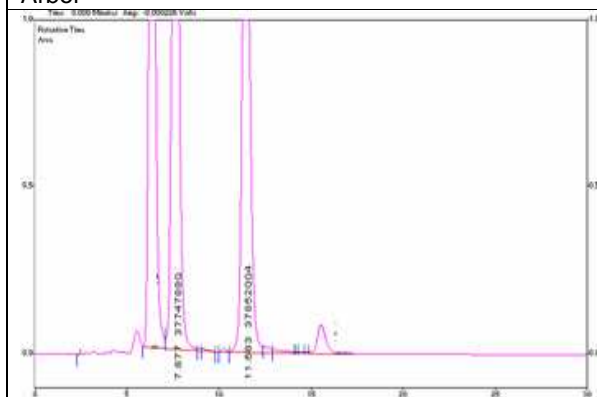


Figura A.27 Cromatograma muestra de Ubilla

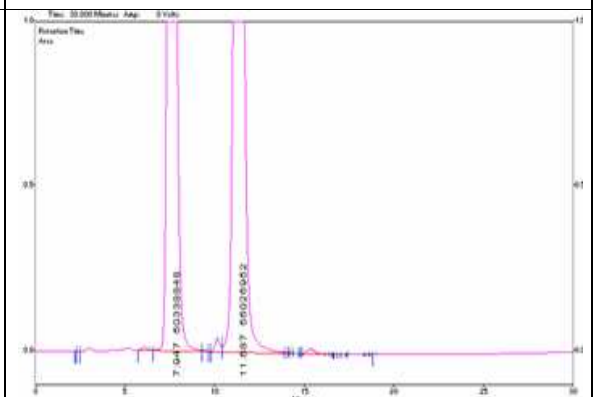


Figura A.28 Cromatograma muestra de Uva

## ANEXO 2

### TABLAS

**TABLA A.1**  
ENSAYO 1 DE LA SÍNTESIS DE SORBITOL A PARTIR DE GLUCOSA

<b>ENSAYO 1: T=40 °C; I= 0,06 A; t=7h</b>				
<b>SOLUCIÓN ELECTROLÍTICA: 0,2 mol/l glucosa, 2,5 % Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1,0 % NaOH</b>				
<b>TIEMPO DE REACCIÓN (h)</b>	<b>GLUCOSA</b>		<b>SORBITOL</b>	
	<b>AREA DEL PICO</b>	<b>CONCENTRACIÓN ( mol/l )</b>	<b>AREA DEL PICO</b>	<b>CONCENTRACIÓN ( mol/l )</b>
0	36222502	0,20	-	-
1	32331377	0,18	-	-
2	31085307	0,17	-	-
3	29354947	0,16	-	-
4	28274547	0,16	-	-
5	25416856	0,14	-	-
6	22847380	0,13	-	-
7	21164960	0,12	-	-

**TABLA A.2**  
ENSAYO 2 DE LA SÍNTESIS DE SORBITOL A PARTIR DE GLUCOSA

<b>ENSAYO 1: T=40 °C; I= 0,06 A; t=7h</b>				
<b>SOLUCIÓN ELECTROLÍTICA: 0,2 mol/l glucosa, 2,5 % Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 2,5 % NaOH</b>				
<b>TIEMPO DE REACCIÓN (h)</b>	<b>GLUCOSA</b>		<b>SORBITOL</b>	
	<b>AREA DEL PICO</b>	<b>CONCENTRACIÓN ( mol/l )</b>	<b>AREA DEL PICO</b>	<b>CONCENTRACIÓN ( mol/l )</b>
0	36222502	0,20	-	-
1	29822502	0,16	-	-
2	24539230	0,14	-	-
3	22770526	0,13	-	-
4	20305052	0,12	-	-
5	16941600	0,09	-	-
6	14118000	0,08	-	-
7	11294400	0,06	-	-

**TABLA A.3**  
**ENSAYO 3 DE LA SÍNTESIS DE SORBITOL A PARTIR DE GLUCOSA**

<b>ENSAYO 1: T=50 °C; I= 0,07 A; t=12h</b>				
<b>SOLUCIÓN ELECTROLÍTICA: 0,4 mol/l glucosa, 2,5 % Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1,0 % NaOH</b>				
<b>TIEMPO DE REACCIÓN (h)</b>	<b>GLUCOSA</b>		<b>SORBITOL</b>	
	<b>AREA DEL PICO</b>	<b>CONCENTRACIÓN ( mol/l )</b>	<b>AREA DEL PICO</b>	<b>CONCENTRACIÓN ( mol/l )</b>
0	72222502	0,40	-	0,00
1	48199532	0,27	7575735	0,04
2	46167656	0,26	11825285	0,06
3	34384926	0,19	13064701	0,07
4	32267819	0,18	14516660	0,08
5	28732589	0,16	14787320	0,08
6	22158825	0,12	17322590	0,09
7	21711440	0,12	17983340	0,09
8	21605419	0,12	34411680	0,19
9	20080920	0,11	42429610	0,23
10	15155000	0,08	49232640	0,27
11	10802710	0,06	55911201	0,31

**TABLA A.4**  
**ENSAYO 5 DE LA SÍNTESIS DE SORBITOL A PARTIR DE GLUCOSA**

<b>ENSAYO 1: T=40 °C; I= 0,07 A; t=12h</b>				
<b>SOLUCIÓN ELECTROLÍTICA: 0,6 mol/l glucosa, 5,0 % Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 5,0 % NaOH</b>				
<b>TIEMPO DE REACCIÓN (h)</b>	<b>GLUCOSA</b>		<b>SORBITOL</b>	
	<b>AREA DEL PICO</b>	<b>CONCENTRACIÓN ( mol/l )</b>	<b>AREA DEL PICO</b>	<b>CONCENTRACIÓN ( mol/l )</b>
0	99667045	0,66	-	0,00
2	97250600	0,54	-	0,00
4	86920200	0,48	-	0,00
6	14626284	0,08	488632	0,02
8	14547446	0,08	1222500	0,06
10	14319671	0,07	1689548	0,09
12	13299014	0,07	2086311	0,11

**TABLA A.5**  
**COSTO DE LOS MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LA SÍNTESIS**  
**ELECTROQUÍMICA**

MATERIALES Y EQUIPOS	DESCRIPCION	Cantidad utilizada	Costo (USD)	COSTO total(USD)
Termómetro Cole Palmer, Modelo 9290D30	Rango: -10 a +200 °C Precisión: 1 °C	1	32,5	32,5
Multímetro Digital M3800	Rango voltaje: 200 mV-200 V Rango corriente: 20 mA-10 A	1	94,0	94,0
Plancha de calentamiento, M4803-00 Cole Palmer	115V, 60Hz, 4 A	1	347,0	347,0
Plomo metálico	Gránulos 99.5 %, 100 g	176 g	20,50	36,08
Zinc metálico	Gránulos 99.8 %, 250 g	110,67 g	32,20	14,25
Acero Inoxidable	Plancha 122 x 244 cm <sup>2</sup>	31 cm <sup>2</sup>	100,00	0,10
Alambre de Cobre	Cobre 99.99 %, diámetro 0.5 mm, presentación 90 g	10 g	20,60	2,28
Convertidor	4,9 V	1	50	50,0
Corriente eléctrica	kW/h	12 h	0,10	1,2
Glucosa	D-glucosa anhidra 96 %, 500 g	18 g	15,90	0,57
Sulfato de sodio	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 99.99%, 500 g	6,25 g	29,30	0,37
Hidróxido de sodio	NaOH 97% pellets, 500 g	2,5 g	33,40	0,17
Agua destilada	500 ml	250 ml	14,40	7,2
Total USD				585,48

Ejemplo de cálculo:

100 g de Plomo metálico cuestan: USD 20,50

En la síntesis se utilizaron 176 g de modo que su costo sería de:

$$x = \frac{176 \text{ g Plomo} \times \$ 20,50}{100 \text{ g Plomo}}$$

$$x = \$ 36,08$$

De esta manera se establecieron los costos unitarios de los materiales y equipos utilizados.

**TABLA A.6**

VALORES EXPERIMENTALES DE LAS ÁREAS DE GLUCOSA, FRUCTOSA Y SORBITOL EN MUESTRAS DE LAS FRUTAS ESTUDIADAS

<b>MUESTRA</b>	<b>ÁREA GLUCOSA</b>	<b>ÁREA FRUCTOSA</b>	<b>ÁREA SORBITOL</b>
Arazá	772502	464204	No detectable
Banano	30332502	14594204	167045
Borojó	7662502	4864204	No detectable
Claudia	17512502	18114204	1487045
Durazno	11832502	15234204	6927045
Fresa	13152502	8984204	257045
Guayaba	7752502	3074204	No detectable
Kivi	30122502	14914204	167045
Mango	9522502	13854204	427045
Manzana	38592502	28054204	14317045
Mora	No detectable	No detectable	No detectable
Noni	31032502	174204	No detectable
Orito	532502	12324204	367045
Papaya	28682502	324204	No detectable
Pepino	30332502	13084204	No detectable
Pera	5642502	14594204	5387045
Piña	No detectable	8854204	67045
Pitahaya	11682502	94204	67045
Taxo	32582502	8654204	67045
Tomate de Árbol	15222502	16854204	67045
Tuna	39582502	9504204	87045
Ubilla	37752502	17954204	No detectable
Uva	50332502	1934204	No detectable

## **ANEXO 3**

### **GLOSARIO**

**Alcaloides.-** m. *Quím.* Cada uno de los compuestos orgánicos nitrogenados de carácter básico producidos casi exclusivamente por vegetales. En su mayoría producen acciones fisiológicas características, en que se basa la acción de ciertas drogas, como la morfina, la cocaína y la nicotina. Muchos se obtienen por síntesis química.

**Ánodo.-** m. *Electr.* Electrodo positivo.

**Antioxidante.-** adj. Que evita la oxidación

**Carotenoides.-** adj. *Bioquím.* Semejante al caroteno en estructura y propiedades.

**Cátodo.-** m. *Electr.* Electrodo negativo.

**Catalizador.-** m. *Quím.* Cuerpo capaz de producir la transformación catalítica.

**Edulcorante.-** 1. adj. Que edulcora.

2. m. Sustancia que edulcora los alimentos o medicamentos

**Electrólisis.-** f. *Quím.* Descomposición de una sustancia en disolución mediante la corriente eléctrica

**Flavonoides.-** f. *Quím.* Descomposición de una sustancia en disolución mediante la corriente eléctrica

**Fotoquímico.-** 2. f. Parte de la química que estudia la interacción de las radiaciones luminosas y las moléculas, así como los cambios físicos y químicos que resultan de ella.



**Fructosa.-** f. *Bioquím.* Azúcar de la fruta; monosacárido que, unido a la glucosa, constituye la sacarosa.

**Glucosa.-** f. *Quím.* Aldohexosa de seis átomos de carbono. Sólido blanco, muy soluble en agua, de sabor muy dulce, que se encuentra en muchos frutos maduros.

**Maillard.-** Nombre que reciben las reacciones que producen efecto de caramelo en los azúcares, al ser estos expuestos a temperaturas elevadas.

**Sacarosa.-** *Amb.* Cuerpo sólido cristalizado, perteneciente al grupo químico de los hidratos de carbono, de color blanco en estado puro, soluble en el agua y en el alcohol y de sabor muy dulce. Se obtiene de la caña dulce, de la remolacha y de otros vegetales. Según su estado de pureza o refinación, se distinguen diversas clases