

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Análisis de mercado y de etapas en la producción a escala
laboratorio de PLA, por fermentación de melaza

Trabajo de graduación en modalidad Megaproyecto presentado por:
Diego Rodrigo Nájera Borón, Dieter Andrés Marroquín Padilla, Jorge Andrés
Galindo Porta y Katherinee Amarilis Sandoval Acevedo para optar al grado
académico de Licenciados en Ingeniería Química; y Hillary Nancy Christine Meda
Albizurez para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Ciencia
de la Administración.

Guatemala
2016

Análisis de mercado y de etapas en la producción a escala
laboratorio de PLA, por fermentación de melaza

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería

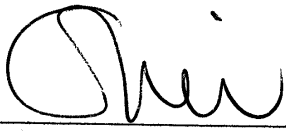


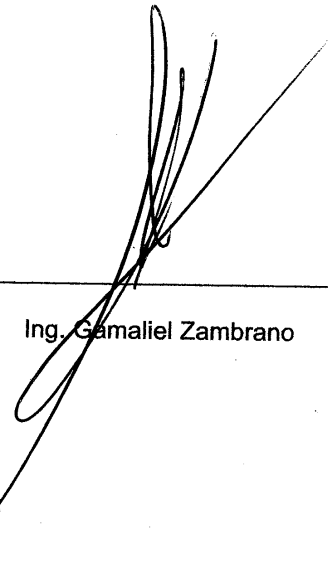
Análisis de mercado y de etapas en la producción a escala
laboratorio de PLA, por fermentación de melaza

Trabajo de graduación en modalidad Megaproyecto presentado por:
Diego Rodrigo Nájera Borón, Dieter Andrés Marroquín Padilla, Jorge Andrés
Galindo Porta y Katherinee Amarilis Sandoval Acevedo para optar al grado
académico de Licenciados en Ingeniería Química; y Hillary Nancy Christine Meda
Albizurez para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Ciencia
de la Administración.

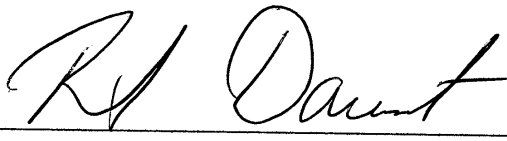
Guatemala
2016

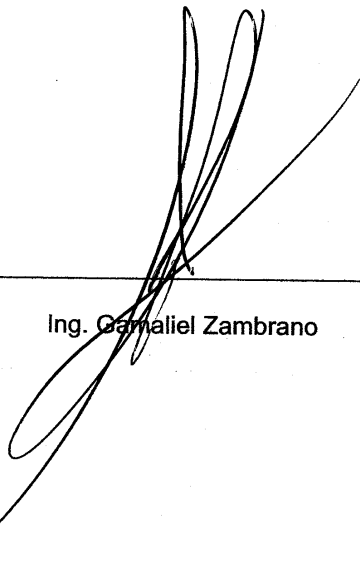
Vo. Bo. :

(f) 
Ing. Cristián Rossi

(f) 
Ing. Gamaliel Zambrano

Directores de los estudiantes que trabajaron el Megaproyecto:

(f) 
Lic. Raúl Dacaret

(f) 
Ing. Gamaliel Zambrano

Fecha de Aprobación: Guatemala 15 de noviembre de 2016

Contenido

Lista de tablas	xi
Lista de figuras	xiv
Resumen	xviii
I. Introducción.....	1
II. Objetivos.....	3
A. General del Megaproyecto.....	3
B. Específicos.....	3
III. Justificación	6
IV. Marco teórico	8
A. Proceso de producción de azúcar	8
B. Melaza.....	10
C. Composición de la melaza	10
D. Microorganismos de la melaza	11
E. Ácido láctico	11
F. Usos y aplicaciones de ácido láctico	12
G. Microorganismos productores de ácido láctico	12
H. <i>Rhizopus oryzae</i>	13
I. Cultivos lácticos	13
J. Fermentación láctica	14
K. Producción de ácidos carboxílicos.....	14
L. Bacterias lácticas.....	15
M. Ácido poliláctico	15
N. Solventes	16
O. Extracción líquido-líquido	17
P. Solubilidad	17
Q. Extracción líquido-líquido	17
R. Aparatos.....	19
S. Elección de líquido orgánico	19
T. Factores que pueden afectar la extracción	19
U. Agente salino	20
V. Coeficiente de reparto.....	20
W. Selectividad de disolvente	21
X. Sistemas de tres líquidos con miscibilidad parcial.....	23
Y. Efecto de la temperatura sobre los equilibrios de fase en sistemas líquidos ternarios	25
Z. Equilibrio líquido.....	25
AA. Oligómero.....	25
BB. Polímero.....	25
CC. Poli (ácido láctico).....	26
DD. Polimerización.....	26
EE. Polimerización de crecimiento por pasos	28
FF. Técnicas de polimerización.....	29
GG. NMR	30
HH. Bases para estudio de mercado	31
II. Modelo de análisis VRIO	32
JJ. FODA	32
KK. Tendencias de mercado	32
LL. Estudio de mercado	33
MM. Plan de mercadeo	34
NN. Árbol de decisión	35

V.	Antecedentes.....	36
VI.	Metodología.....	47
A.	Selección de condiciones de fermentación a trabajar.....	47
B.	Caracterización melaza.....	47
C.	Medición de pH y temperatura.....	47
D.	Medición de conductividad.....	48
E.	Fermentación para láctica con cultivos de ácido láctico.....	48
F.	Fermentación láctica, utilizando <i>Rhizopus oryzae</i>	49
G.	Análisis ácido láctico.....	49
H.	Análisis azúcares.....	50
I.	Análisis factorial.....	50
J.	Reacción de polimerización.....	51
K.	Método de análisis NMR.....	54
L.	Método de análisis por condensados.....	54
M.	Ecuación cinética de ácidos carboxílicos.....	54
N.	Evaluación del efecto de triocilamina.....	55
O.	Estudio de mercado.....	57
VII.	Resultados.....	59
VIII.	Discusión de resultados.....	98
IX.	Conclusiones.....	114
X.	Recomendaciones.....	118
XI.	Bibliografía.....	121
XII.	Anexos.....	127
XIII.	Glosario.....	206

Lista de tablas

Tabla 1: Comparación de polimerizaciones	27
Tabla 2: Reacciones por grupos funcionales	28
Tabla 3: Pesos moleculares reportados en experimentaciones anteriores de oligómeros	41
Tabla 4: Tipos de polímeros sustituibles en 2013	45
Tabla 5: Escenarios propuestos de la demanda de PLA en toneladas métricas	45
Tabla 6: Precios FOB (colocado en puerto de China) y precios CIF (colocado en bodega) de PLA	46
Tabla 7: Importaciones de PLA en Guatemala en los últimos tres años.....	46
Tabla 8: Listado de reactivos utilizados en la metodología.....	56
Tabla 9: Listado de equipos utilizados en la metodología.....	57
Tabla 10: Rangos de propiedades fisicoquímicas de melaza de caña de azúcar proveniente del ingenio Magdalena TK#4, zafra 15-16.	59
Tabla 11: Concentración de azúcares iniciales de melaza de caña de azúcar proveniente del ingenio Magdalena TK#4, zafra 15-16 para una melaza al 20% (m/v).	59
Tabla 12: Rangos de propiedades fisico-químicas de melaza de caña de azúcar proveniente del ingenio Tzululá, zafra 15-16.....	59
Tabla 13: Concentración de azúcares iniciales de melaza de caña de azúcar proveniente del Ingenio Tzululá, zafra 15-16 para una melaza al 20% (m/v).	59
Tabla 14: Concentración final de ácido láctico para cada set de condiciones de operación para el cultivo ABY-3 para una melaza al 20% (m/v).....	64
Tabla 15: Concentración final de ácido láctico para cada set de combinaciones de operación para el cultivo YC-370 para una melaza al 20% (m/v).....	64
Tabla 16: Producción final de ácido láctico y las mejores condiciones determinadas.	64
Tabla 17: Resumen de resultados obtenidos en fermentaciones lácticas realizadas a escala laboratorio.	65
Tabla 18: Propiedades fisicoquímicas de soluciones de melaza con agua Ingenio Magdalena.....	65
Tabla 19: Propiedades fisicoquímicas de melaza Ingenio Tzululá	66
Tabla 20: Modelo de negocio	68
Tabla 21: Demanda en dólares de polímeros sustituibles, enero 2011 a julio 2016	69
Tabla 22: Promedio, desviación estándar y desviación en porcentaje de demanda en dólares de polímeros sustituibles, enero 2011 a diciembre 2015	69
Tabla 23: Importaciones de polímeros sustituibles en kilogramos, enero 2011 a julio 2016	70
Tabla 24: Promedio, desviación y porcentaje de desviación de Polímeros Sustituibles en kilogramos, enero 2011 a diciembre 2015	70
Tabla 25: Producción a nivel mundial y crecimiento real del PIB en Guatemala	70
Tabla 26: Estimaciones pesimista, realista y optimista de producción de PLA en Guatemala	71
Tabla 27: Objetivo de participación de mercado en kilogramos.....	71
Tabla 28: Objetivo de participación de mercado por polímero para el primer año en dólares	71
Tabla 29: Estimación de precios	72
Tabla 30: Matriz de Porter del Mercado y competencia de PLA	73
Tabla 31: Análisis de Ventajas Competitivas del PLA (Análisis VRIO).....	74
Tabla 32: Matriz de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del PLA y su mercado (FODA).....	75
Tabla 33: Ejemplos de productos por polímero.....	77
Tabla 34: Perfiles de principales productores de PLA en el mundo.....	80

Tabla 35: Matriz de confusión de árbol de decisión	85
Tabla 36: Plan de mercadeo de PLA para consumidores finales	89
Tabla 37: Plan de mercadeo de PLA para clientes	89
Tabla 38: Variables para el cálculo de costos a escala laboratorio	89
Tabla 39: Costo de producción de ácido láctico utilizando <i>Rhizopus oryzae</i>	90
Tabla 40: Costo de producción de ácido láctico utilizando cultivos lácticos	91
Tabla 41: Costo de producción de módulo de oligomerización.....	91
Tabla 42: Costos del megaproyecto.....	91
Tabla 43: Comparación del peso molecular obtenido contra el reportado en experimentaciones anteriores a un tiempo de reacción de 8 horas.....	92
Tabla 44: Modelos cinéticos obtenidos	92
Tabla 45: Comparación de modelos cinéticos de pesos moleculares contra el tiempo.....	93
Tabla 46: Fracciones en masa máximas de ácido láctico en las fases orgánicas con y sin TOA ...	94
Tabla 47: Propiedades fisicoquímicas de melaza de caña de azúcar proveniente del ingenio Magdalena TK#4, zafra 15-16 al 10% (m/v).	127
Tabla 48: Propiedades fisicoquímicas de melaza de caña de azúcar proveniente del ingenio Magdalena TK#4, zafra 15-16 al 30% (m/v).	127
Tabla 49: Propiedades fisicoquímicas de melaza de caña de azúcar proveniente del ingenio Magdalena TK#4, zafra 15-16 al 50% (m/v).	127
Tabla 50: Propiedades fisicoquímicas de melaza de caña de azúcar proveniente del ingenio Magdalena TK#4, zafra 15-16 al 90% (m/v).	128
Tabla 51: Variación de la concentración de ácido láctico y sacarosa respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 37°C y 100 rpm para el cultivo ABY-3.....	128
Tabla 52: Variación de la concentración de ácido láctico y sacarosa respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 37°C y 150 rpm para el cultivo ABY-3.....	128
Tabla 53: Variación de la concentración de ácido láctico y sacarosa respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 43°C y 100 rpm para el cultivo ABY-3.....	129
Tabla 54: Variación de la concentración de ácido láctico y sacarosa respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 43°C y 150 rpm para el cultivo ABY-3.....	129
Tabla 55: Variación de la concentración de ácido láctico y sacarosa respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 37°C y 100 rpm para el cultivo YC-370.....	130
Tabla 56: Variación de la concentración de ácido láctico y sacarosa respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 37°C y 150 rpm para el cultivo YC-370.....	130
Tabla 57: Variación de la concentración de ácido láctico y sacarosa respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 43°C y 100 rpm para el cultivo YC-370.....	131
Tabla 58: Variación de la concentración de ácido láctico y sacarosa respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 43°C y 150 rpm para el cultivo YC-370.....	131
Tabla 59: Factores y niveles para análisis factorial de ABY-3 y YC-370.	150
Tabla 60: Matriz del diseño factorial para los factores determinados para ABY-3.....	150
Tabla 61: Matriz del diseño factorial para los factores determinados para YC-370.....	150
Tabla 62: Matriz para el análisis factorial de dos niveles	154
Tabla 63: Fermentación a escala laboratorio no. 1 a una temperatura de 30 °C y velocidad de agitación de 150 rpm, utilizando melaza de ingenio Tululá al 20 % (m/v).	159
Tabla 64: Fermentación a escala laboratorio no. 2 a una temperatura de 30 °C y velocidad de agitación de 200 rpm, utilizando melaza de ingenio Tululá al 20 % (m/v).	160
Tabla 65: Fermentación a escala laboratorio no. 3 a una temperatura de 35 °C y velocidad de agitación de 150 rpm, utilizando melaza de ingenio Magdalena al 20 % (m/v).	160
Tabla 66: Fermentación a escala laboratorio no. 4 a una temperatura de 35 °C y velocidad de agitación de 200 rpm, utilizando melaza de ingenio Tululá al 20 % (m/v).	161

Tabla 67: Información SAC, importaciones de polímeros de los años 2013 a 2016.....	177
Tabla 68: Peso de condensados de las diferentes experimentaciones	182
Tabla 69: Datos teóricos de pesos moleculares contra tiempo.....	182
Tabla 70: Cantidades de Ácido Láctico y Ácido Sulfúrico a utilizar.....	183
Tabla 71: Pesos Moleculares de los grupos en el oligómero.....	183
Tabla 72: Protones en la molécula.....	184
Tabla 73: Protones en oligómeros obtenidos.....	184
Tabla 74: Pesos moleculares calculados por método NMR y método de condensados	184
Tabla 75: Datos calculados para calcular el peso molecular por medio del método de condensados.....	184
Tabla 76: Datos calculados para linealización de la concentración de COOH (Ca) por medio del método integral.....	185
Tabla 77: Masas iniciales de ácido láctico, agua y heptano	195
Tabla 78: Masas iniciales de ácido láctico, agua y octanol.....	195
Tabla 79: Masas iniciales de ácido láctico, agua y dodecanol.....	196
Tabla 80: Masas iniciales de ácido láctico, agua y heptano/trioctilamina	196
Tabla 81: Masas iniciales de ácido láctico, agua y octanol/trioctilamina.....	197
Tabla 82: Masas iniciales de ácido láctico, agua y dodecanol/trioctilamina.....	197
Tabla 83: Áreas de soluciones en el equilibrio de ácido láctico, agua y heptano obtenida con cromatógrafo de gases	197
Tabla 84: Áreas de soluciones en el equilibrio de ácido láctico, agua y heptano/trioctilamina obtenida con cromatógrafo de gases.....	198
Tabla 85: Áreas de soluciones en el equilibrio de ácido láctico, agua y octanol obtenida con cromatógrafo de gases	198
Tabla 86: Áreas de soluciones en el equilibrio de ácido láctico, agua y octanol/trioctilamina obtenida con cromatógrafo de gases.....	198
Tabla 87: Áreas de soluciones en el equilibrio de ácido láctico, agua y dodecanol obtenida con cromatógrafo de gases	199
Tabla 88: Áreas de soluciones en el equilibrio de ácido láctico, agua y dodecanol/trioctilamina obtenida con cromatógrafo de gases.....	199
Tabla 89: Ácido láctico, fracción masa, en fase acuosa y oleosa, y coeficiente de reparto en el sistema: ácido láctico, agua y heptano	201
Tabla 90: Ácido láctico, fracción masa, en fase acuosa y oleosa, y coeficiente de reparto en el sistema: ácido láctico, agua y heptano/ trioctilamina	202
Tabla 91: Ácido láctico, fracción masa, en fase acuosa y oleosa, y coeficiente de reparto en el sistema: ácido láctico, agua y dodecanol.....	202
Tabla 92: Ácido láctico, fracción masa, en fase acuosa y oleosa, y coeficiente de reparto en el sistema: ácido láctico, agua y dodecanol/ trioctilamina	202
Tabla 93: Ácido láctico, fracción masa, en fase acuosa y oleosa, y coeficiente de reparto en el sistema: ácido láctico, agua y octanol.....	203
Tabla 94: Ácido láctico, fracción masa, en fase acuosa y oleosa, y coeficiente de reparto en el sistema: ácido láctico, agua y octanol/ trioctilamina	203

Lista de figuras

Figura 1: Proceso de fabricación del azúcar a partir de la caña.	9
Figura 2: Estructuras moleculares de Isómeros L(+) y D(-) del ácido láctico.	11
Figura 3: Extracción líquido-líquido por etapas: (a) contacto en contracorriente, (b) contacto simple.	18
Figura 4: Extracción líquido-líquido por contacto continuo, con recuperación del disolvente	18
Figura 5: Extractor separador horizontal con placas perforadas.	19
Figura 6: Selectividad en la extracción de disolvente	21
Figura 7: Diagrama de selectividad	22
Figura 8: Sistema de tres líquidos, A y B parcialmente solubles	23
Figura 9: Sistema de tres líquidos, A-B y B-C parcialmente miscibles	24
Figura 10: Diagramas de sistemas ternarios con tres pares parcialmente miscibles	25
Figura 11 Reacción General de polimerización de crecimiento por pasos	28
Figura 12: Proceso de Polimerización de Ácido Láctico	30
Figura 13: Parte de estudio de mercado tradicional.....	34
Figura 14: Tiempo de producción de ácido láctico de (a) melaza de caña de azúcar (b) jugo de caña de azúcar (c) azúcar de jugo de remolacha por L. delbrueckii JCM 1148: (▪) ácido láctico g L-1, (Δ) azúcar residual g L-1.	37
Figura 15: Productividad de ácido láctico en la fermentación de melaza	39
Figura 16: Concentraciones de glucosa, biomasa, ácido láctico, etanol y ácido fumárico en un período de 72 horas con condiciones limitadas de oxígeno y adición de carbonato de calcio (CaCO ₃).....	40
Figura 17: Variación de peso molecular de PLA en función de la reacción a presión reducida (cuadrado) y atmosférica (círculo).	42
Figura 18: Espectro HNMR de PLA de bajo peso molecular	42
Figura 19: Espectro HNMR del prepolímero de PLA	43
Figura 20: Sistema de reacción vista frontal	51
Figura 21: Sistema de reacción vista trasera	52
Figura 22: Sistema de reacción acercamiento vista frontal.....	53
Figura 23: Recipiente para realización de extracción de ácido láctico.....	55
Figura 24: Baño térmico para mantener la temperatura de la extracción de ácido láctico	56
Figura 25: Variación de la concentración de ácido láctico respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 37°C y 100 rpm para el cultivo ABY-3.....	60
Figura 26: Variación de la concentración de ácido láctico respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 37°C y 150 rpm para el cultivo ABY-3.....	60
Figura 27: Variación de la concentración de ácido láctico respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 43°C y 100 rpm para el cultivo ABY-3.....	61
Figura 28: Variación de la concentración de ácido láctico respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 43°C y 150 rpm para el cultivo ABY-3.....	61
Figura 29: Variación de la concentración de ácido láctico respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 37°C y 100 rpm para el cultivo YC-370.	62
Figura 30: Variación de la concentración de ácido láctico respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 37°C y 150 rpm para el cultivo YC-370.	62
Figura 31: Variación de la concentración de ácido láctico respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 43°C y 100 rpm para el cultivo YC-370.	63
Figura 32: Variación de la concentración de ácido láctico respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 43°C y 150 rpm para el cultivo YC-370.	63
Figura 33: Variación en la concentración de ácido láctico en una fermentación láctica	

a 30 °C y 150 rpm utilizando mosto con agua de la melaza del ingenio Tululá al 20% (m/v)...	66
Figura 34: Variación en la concentración de ácido láctico en una fermentación a escala laboratorio a 30 °C y 200 rpm utilizando mosto con agua de la melaza del ingenio Tululá al 20% (m/v)	67
Figura 35: Variación en la concentración de ácido láctico en una fermentación a escala laboratorio a 35 °C y 150 rpm utilizando mosto con agua de la melaza del ingenio Magdalena al 20% (m/v)	67
Figura 36: Variación en la concentración de ácido láctico en una fermentación a escala laboratorio a 35 °C y 200 rpm utilizando mosto con agua de la melaza del ingenio Tululá al 20% (m/v).	68
Figura 37: Importaciones de polímeros sustituibles en dólares, enero 2011 a diciembre 2015	69
Figura 38: Demanda de polímeros sustituibles en kilogramos, enero 2011 a julio 2016	70
Figura 39: Participación de mercado simulada 2015 en dólares	71
Figura 40: Participación de mercado simulada en kilogramos, 2015	72
Figura 41: Cadena de suministro de PLA	81
Figura 42: Resultados de Encuesta, división de género	81
Figura 43: Resultados de encuesta, segmentación por generación	81
Figura 44: Resultados de encuesta, nivel de educación	82
Figura 45: Resultado de encuesta, utilización de redes sociales	82
Figura 46: Resultados de encuesta, importancia del medio ambiente	82
Figura 47: Resultados de encuesta, acciones para cuidar el ambiente	83
Figura 48: Resultados de encuesta, conocimiento material biodegradable	83
Figura 49: Resultados de encuesta, productos biodegradables	83
Figura 50: Resultados de encuesta, mención de empresas	84
Figura 51: Resultados de encuesta, cambio de marcas	84
Figura 52: Árbol de decisión sobre el impacto de marca con productos biodegradables	85
Figura 53: Propuestas para logo de PLA producido a partir de melaza	86
Figura 54: Propuesta de vaso desechable de PLA	87
Figura 55: Propuesta de utensilios para comida a partir de PLA	87
Figura 56: Propuesta de botella de agua a partir de PLA	88
Figura 57: Propuesta de bolsa de PLA	88
Figura 58: Comparación de los pesos moleculares obtenidos en la experimentación por el método de NMR y el método de condensados	92
Figura 59: Variación de modelos cinéticos de pesos moleculares contra tiempo	93
Figura 60: Curva de distribución para octanol con TOA y sin TOA	95
Figura 61: Curva de distribución para dodecanol con TOA y sin TOA	95
Figura 62: Curva de distribución para heptano con TOA y sin TOA	96
Figura 63: Curva de distribución para octanol, heptano y dodecanol sin TOA	96
Figura 64: Curva de distribución para octanol, heptano y dodecanol con TOA	97
Figura 65: Concentración inicial de azúcares fermentables presentes en melaza del Ingenio Magdalena.	132
Figura 66: Concentración inicial de azúcares fermentables presentes en melaza del Ingenio Tululá.	133
Figura 67: Concentración inicial de ácido láctico a 37°C y 100 rpm para del cultivo ABY-3	134
Figura 68: Concentración final de ácido láctico a 37°C y 100 rpm para del cultivo ABY-3	135
Figura 69: Concentración inicial de ácido láctico a 37°C y 100 rpm para del cultivo YC-370	136
Figura 70: Concentración final de ácido láctico a 37°C y 100 rpm para del cultivo YC-370	137
Figura 71: Concentración inicial de ácido láctico a 37°C y 150 rpm para del cultivo ABY-3	138
Figura 72: Concentración final de ácido láctico a 37°C y 150 rpm para del cultivo ABY-3	139

Figura 73: Concentración inicial de ácido láctico a 37°C y 150 rpm para del cultivo YC-370.....	140
Figura 74: Concentración final de ácido láctico a 37°C y 150 rpm para del cultivo YC-370.	141
Figura 75: Concentración inicial de ácido láctico a 43°C y 100 rpm para del cultivo ABY-3.....	142
Figura 76: Concentración final de ácido láctico a 43°C y 100 rpm para del cultivo ABY-3.	143
Figura 77: Concentración inicial de ácido láctico a 43°C y 100 rpm para del cultivo YC-370.....	144
Figura 78: Concentración final de ácido láctico a 43°C y 100 rpm para del cultivo YC-370.	145
Figura 79: Concentración inicial de ácido láctico a 43°C y 150 rpm para del cultivo ABY-3.....	146
Figura 80: Concentración final de ácido láctico a 43°C y 150 rpm para del cultivo ABY-3.	147
Figura 81: Concentración inicial de ácido láctico a 43°C y 150 rpm para del cultivo YC-370.....	148
Figura 82: Concentración final de ácido láctico a 43°C y 150 rpm para del cultivo YC-370.	149
Figura 83: Efectos principales para concentración de ácido láctico para ABY-3	151
Figura 84: Efectos principales para concentración de ácido láctico para YC-370.	151
Figura 85: Interacción para concentración de ácido láctico para ABY-3.....	152
Figura 86: Interacción para concentración de ácido láctico para YC-370.....	152
Figura 87: Gráfico de cubos para concentración de ácido láctico para ABY-3.	153
Figura 88: Gráfico de cubos para concentración de ácido láctico para YC-370.	153
Figura 89: Análisis de varianza para la concentración de ácido láctico	155
Figura 90: Datos para la regresión factorial de la concentración de ácido láctico	155
Figura 91: Análisis de varianza para la concentración de glucosa	156
Figura 92: Datos para la regresión factorial de la concentración de glucosa.....	156
Figura 93: Gráfica de probabilidad normal de los efectos de los factores con la concentración de ácido láctico	157
Figura 94: Gráfica de probabilidad normal de los efectos de los factores con la concentración de glucosa.....	157
Figura 95: Regresión factorial del factor Temperatura contra la concentración de ácido láctico...	158
Figura 96: Regresión factorial del factor Velocidad de agitación contra la concentración de glucosa.	158
Figura 97: Concentración de glucosa vs tiempo para fermentación no. 1 a temperatura de 30 °C y 150 °C.	161
Figura 98: Concentración de glucosa vs tiempo para fermentación no. 1 a temperatura de 30 °C y 200 °C.	162
Figura 99: Concentración de glucosa vs tiempo para fermentación no. 1 a temperatura de 35 °C y 150 °C.	163
Figura 100: Concentración de glucosa vs tiempo para fermentación no. 1 a temperatura de 35 °C y 200 °C.	163
Figura 101: Cromatograma para muestra X0 de ácido láctico de fermentación no.1	164
Figura 102: Cromatograma para muestra X9 de ácido láctico de fermentación no.1	164
Figura 103: Cromatograma para muestra X0 de ácido láctico de fermentación no.2	165
Figura 104: Cromatograma para muestra X9 de ácido láctico de fermentación no.2	165
Figura 105: Cromatograma para muestra X0 de ácido láctico de fermentación no.3	166
Figura 106: Cromatograma para muestra X9 de ácido láctico de fermentación no.3	166
Figura 107: Cromatograma para muestra X0 de ácido láctico de fermentación no.4	167
Figura 108: Cromatograma para muestra X9 de ácido láctico de fermentación no.4	167
Figura 109: Cromatograma para muestra X0 de glucosa de fermentación no.1	168
Figura 110: Cromatograma para muestra X9 de glucosa de fermentación no.1	168
Figura 111: Cromatograma para muestra X0 de glucosa de fermentación no.2	169
Figura 112: Cromatograma para muestra X9 de glucosa de fermentación no.2	169
Figura 113: Cromatograma para muestra X0 de glucosa de fermentación no.3	170
Figura 114: Cromatograma para muestra X9 de glucosa de fermentación no.3	170

Figura 115: Cromatograma para muestra X0 de glucosa de fermentación no.4	171
Figura 116: Cromatograma para muestra X9 de glucosa de fermentación no.4	171
Figura 117: Autoclave utilizado para esterilización de cristalería.....	172
Figura 118: Incubadora <i>Shaker</i> series 25 utilizada para proceso de fermentación.	173
Figura 119: Control de temperatura de la incubadora.....	173
Figura 120: Control de velocidad de la incubadora.....	174
Figura 121: Autoclave utilizado para esterilizar el caldo de fermentación	174
Figura 122: Incubadora utilizada para controlar la temperatura y la velocidad de agitación de las fermentaciones a escala laboratorio.....	175
Figura 123: Refractómetro utilizado para medir los grados Brix de las melazas utilizadas.	175
Figura 124: Equipo HACH utilizado para propiedades fisicoquímicas	176
Figura 125: Viscosímetro utilizado	176
Figura 126: Regresión lineal de datos linealizados de la concentración de COOH por método integral	185
Figura 127: Ajuste cuadrático para pesos moleculares experimentales por método NMR.....	186
Figura 128: Ajuste cuadrático para pesos moleculares teóricos.....	186
Figura 129: Espectro NMR de Oligómero 1	189
Figura 130: Espectro NMR de Oligómero 2	190
Figura 131: Espectro NMR de Oligómero 3	191
Figura 132: Espectro NMR de Oligómero 4	192
Figura 133: Espectro NMR de Oligómero 5	193
Figura 134: Oligómero reaccionando	194
Figura 135: Oligómero Final.....	194
Figura 136: Curva de distribución completa para heptano con TOA y sin TOA.....	204
Figura 137: Curva de distribución completa para dodecanol con TOA y sin TOA	204
Figura 138: Curva de distribución completa para octanol con TOA y sin TOA.....	205

Resumen

En el presente trabajo se realizó un análisis de etapas en la producción de ácido láctico y PLA por fermentación de melaza, para concluir con un estudio de mercado de PLA en Guatemala.

Para ello se realizaron distintos módulos los cuales fueron: a) Estudio técnico para el análisis de efectos variando condiciones de fermentación de melaza utilizando diferentes cultivos productores de ácido láctico. b) Estudio técnico para el análisis de los efectos en variación de condiciones en la fermentación de melaza utilizando *Rhizopus oryzae*. c) Evaluación del efecto de la trioctilamina en distintos solventes para la extracción líquido-líquido de ácido láctico en una solución acuosa. d) Comparación de pesos moleculares de oligómero de PLA utilizando una reacción alternativa a la utilizada en la fase anterior del megaproyecto. e) Comparación de pesos moleculares de oligómero de PLA utilizando una reacción alternativa a la utilizada en la fase anterior del megaproyecto. f) Estudio cualitativo de mercado del PLA proveniente de la fermentación de melaza en Guatemala.

Para evaluar la influencia de parámetros básicos de reacción como la temperatura, velocidad de agitación y concentración en la producción de ácido láctico utilizando *Rhizopus oryzae* y los cultivos ABY-3 y YC-370, se realizaron fermentaciones a escala laboratorio a las diferentes condiciones de operación a partir de dos distintas melazas caracterizadas previamente y se monitoreó la concentración de ácido láctico durante un proceso de 72 horas con el fin de desarrollar gráficas que permitieran estudiar el comportamiento de las variables mencionadas. Asimismo, se realizó un análisis factorial de dos niveles con una sola réplica para comparar las condiciones evaluadas y respaldar estadísticamente los resultados obtenidos.

Se determinó, usando un análisis factorial, que la prueba a escala laboratorio que presentó la máxima producción de ácido láctico con *Rhizopus oryzae*, se realizó a una temperatura de 35 °C y una velocidad de agitación de 200 rpm, utilizando un mosto de melaza con agua a 20% (m/v) proveniente del ingenio Tzulá. Para los cultivos ABY-3 y YC-370, la fermentación que presentó una mayor concentración de ácido láctico producido fue a 43°C y 150 rpm. Además, comparando dos cultivos trabajados, el cultivo denominado como ABY-3 produjo la mayor concentración de ácido láctico a las condiciones mencionadas con anterioridad, siendo esta un valor de 11.03 g/L.

El siguiente paso del proceso, consistió en la evaluación del efecto de la trioctilamina en heptano, octanol, dodecanol, para favorecer la selectividad en estos solventes al hacer la extracción líquido-líquido de ácido láctico en una solución acuosa. Después de realizar el estudio, al comparar la curva de distribución de los tres sistemas (Figura 12) se pudo evaluar que la curva con el solvente octanol obtuvo mayor alargamiento hacia el eje de la ordenada (eje Y), lo que permite inferir que la

concentración del ácido láctico en éste solvente, por lo consiguiente su selectividad, fue mayor que en los otros dos solventes. El dodecanol no presentó una extracción favorable, una de las razones por las cuales puede que la extracción con 1-dodecanol no haya tenido mayor efectividad con respecto a los otros solventes, pudo deberse a que el dodecanol posee un temperatura de solidificación (22 °C) que entra entre el rango de temperatura en la que se estaba operando (22-25 °C). Por otro lado, al adicionar trioctilamina a cada sistema las curvas de distribución mostraron un cambio en el alargamiento hacia la ordenada o bien en el rango de extracción del solvente, por lo que la trioctilamina favorece la selectividad de los solventes o bien el rango de porcentaje en masa en el cual el solvente puede extraer el ácido. El sistema de heptano con trioctilamina tuvo mayor extracción que los otros solventes, pero se favorece menos la concentración de ácido láctico en la fase oleosa. Evaluando las gráficas (Figura 13), al agregar 12% en masa de trioctilamina (en relación al peso total de la mezcla) en la extracción, el solvente con mayor extracción fue el heptano.

Para cerrar la fase de producción a escala laboratorio, se sintetizó un oligómero de PLA con una reacción que buscaba sintetizar un oligómero con mayor peso molecular y éste obtenido se comparó contra el reportado en la fase anterior del megaproyecto. Para ello, se realizaron 5 síntesis de oligómero de PLA utilizando la nueva reacción utilizando como variante a la anterior la adición de un catalizador, que en este caso fue ácido sulfúrico. Las condiciones a las cual fue llevada la reacción fueron: una temperatura de 200-210°C y vacío de 0-20 cmH₂O. Se compararon los métodos de análisis usando condensados y el método de NMR para el cálculo del peso molecular y el que resultara con mejores pesos moleculares se utilizaría para realizar la comparación contra el oligómero reportado en experimentaciones anteriores. El mayor peso molecular que se obtuvo fue de 2720.28 g/mol, con un tiempo de reacción de 9 horas, a las condiciones antes establecidas. Se comparó el peso molecular obtenido a las 8 horas de reacción contra el reportado en experimentaciones anteriores proporcionando una relación de 3.33 más grande el oligómero sintetizado que el reportado en experimentaciones anteriores. Así mismo, se encontraron expresiones cinéticas para el consumo de sustrato (ácidos carboxílicos) y respecto al peso molecular a lo largo del tiempo.

Con respecto al estudio cualitativo de mercado se presentó un estudio del desarrollo de producto, el mercado objetivo, la competencia, las tendencias y motivaciones de por qué se produce este tipo de producto y por qué se consumen enfocado netamente en el entorno guatemalteco. Este estudio profundizó en las características y tendencias del mercado objetivo, el potencial de mercado, las características del producto sustituible y la motivación para que el producto sea adquirido. El producto se comparó con su competencia directa y con un FODA se plantearon estrategias para impulsar el consumo del mismo. Asimismo, se definieron las características mercadológicas como nombre y marca del producto para generar una idea y modelo de negocios realista. Además del estudio externo, también se trabajaron temas de costeo en el proceso que se hizo a nivel laboratorio.

Toda la información se extrajo desde fuentes primarias y secundarias; es decir de informes científicos, entrevistas, observaciones y consultas a expertos en el tema. Como conclusión, se presentó un estudio que aporte a la decisión de producir o no PLA en el país, qué productos y hacia qué mercado deben estar enfocados, de la mano con un plan de mercadeo que permita comercializar y haga atractiva la introducción de los productos al mercado de polímeros en Guatemala. Además se resaltó las fortalezas del mercado de materiales biodegradables, un panorama del crecimiento y el futuro de éste.

I. Introducción

El PLA es un biopolímero producido a base de ácido láctico por medio de reacciones de polimerización. Este biopolímero es capaz de replicar características de polímeros convencionales como lo es el PET a diferencia que este es biodegradable, es decir, se degrada por medio de actividad bacteriana y por eso mismo su descomposición tiene un tiempo mucho menor de hasta meses en comparación al tiempo de descomposición del polímero convencional que puede tardar de 100-1000 años en su descomposición en las mismas condiciones.

La materia prima para poder realizar las reacciones de polimerización es el ácido láctico. Este ácido puede ser obtenido de fermentaciones utilizando de diferentes microorganismos procesando azúcares (en especial glucosa) para la producción del ácido láctico. Los microorganismos utilizados en la investigación realizada fueron: *Rhizopus oryzae* y *Lactobacillus delbrueckii*. Modificando condiciones de operación como temperatura y concentraciones, se obtuvieron diferentes datos para poder realizar el análisis de los mismos para poder determinar las condiciones más acertadas para trabajar la fermentación. Para analizar los datos se utilizó el método factorial.

Para extraer el ácido láctico del medio donde fue obtenido, a partir de la fermentación, se pueden utilizar diferentes métodos de extracción. En esta investigación se enfocó la técnica de extracción líquido-líquido, comparando varios solventes. Los solventes utilizados en esta investigación fueron: heptano, octanol y dodecanol. Se hicieron curvas de distribución de los tres solventes utilizados para poder determinar cuál de ellos era más favorable en la extracción del ácido láctico y poder concentrarlo.

Por último, se llevó a cabo análisis de una reacción que buscaba obtener un oligomero con mayor peso molecular, esta reacción es una variación a las utilizadas en investigaciones anteriores en esta institución. La reacción tuvo como variantes principales la adición de un catalizador diferente siendo el nuevo catalizador ácido sulfúrico, una temperatura de 200-210°C y una mayor concentración inicial de sustrato. Se analizó el NMR para poder determinar si la molécula obtenida al final de la experimentación era, en efecto, PLA. Tras haber confirmado que se obtuvo PLA, se realizaron dos diferentes métodos de análisis para poder determinar el peso molecular. Los métodos de análisis fueron: integración de picos de espectro NMR y por determinación de condensados obtenidos. A partir de los resultados del análisis de integración de picos de espectro NMR se construyó un modelo cinético para calcular el peso molecular desarrollado con respecto al tiempo de reacción.

Para poder sustentar la factibilidad del trabajo, al igual que su rentabilidad, se realizó un estudio cualitativo de mercado donde se investigaron las tendencias y estadísticas actuales de polímeros para obtener una demanda potencial del PLA, ya que en Guatemala no existe una demanda de este polímero. Las estadísticas fueron obtenidas de documentos, artículos de periódico, estadísticas del

Banco de Guatemala, entre otras. En este trabajo podrá encontrar estadísticas de polímeros en Guatemala, así como también estadísticas del PLA a nivel mundial, comparaciones entre los otros polímeros y el PLA, las ventajas y desventajas del PLA, el costo que tuvo esta investigación y un plan de mercadeo para consumidores finales.

Los resultados obtenidos en esta investigación son sustentados a partir de antecedentes que se encuentran en la sección de antecedentes distribuidos de acuerdo a la experimentación que afectaban, así como también teoría que puede ser consultada en la sección de Marco Teórico.

Las conclusiones y recomendaciones presentadas para cada experimentación llevada a cabo se basaron en los objetivos propuestos por cada módulo. Los objetivos, conclusiones y recomendaciones pueden consultarse en la sección correspondiente, divididos de acuerdo al tema al cual pertenecen.

II. Objetivos

A. General del Megaproyecto

Realizar el análisis de mercado y de etapas en la producción a escala laboratorio de PLA, por fermentación de melaza.

B. Específicos

Determinar con qué grupo de combinaciones de parámetros básicos y cultivos lácticos se produce la mayor concentración de ácido láctico en una fermentación de melaza de caña de azúcar, utilizando reactores a escala laboratorio.

- Realizar la caracterización de la melaza a trabajar para determinar rangos de propiedades fisicoquímicas, evaluando teóricamente cuál de sus características pueden afectar la producción de ácido láctico.
- Evaluar la variación de la concentración de ácido láctico con el tiempo en función de la temperatura a lo largo de la reacción en una fermentación láctica utilizando los diferentes cultivos a trabajar.
- Evaluar la variación de la concentración de ácido láctico con el tiempo en función de la velocidad de agitación, a lo largo de la reacción en una fermentación láctica, utilizando los diferentes cultivos a trabajar.
- Analizar las diferentes condiciones de fermentación con un análisis estadístico factorial para determinar las condiciones con mayor producción de ácido láctico para los diferentes cultivos a trabajar.

Determinar con qué combinación de parámetros básicos de reacción (como la temperatura, velocidad de agitación, entre otras) se maximiza la producción de ácido láctico utilizando *Rhizopus oryzae*, en fermentaciones lácticas a escala laboratorio.

- Caracterizar fisicoquímicamente la melaza utilizada en la fermentación utilizando equipos específicos de medición de grados Brix, temperatura, pH y conductividad.
- Evaluar la dependencia de la concentración de ácido láctico con el tiempo, en función de la velocidad de agitación en la mezcla a lo largo de la operación, usando fermentaciones lácticas a escala de laboratorio.
- Evaluar la dependencia de la concentración de ácido láctico con el tiempo, en función de la temperatura de la mezcla a lo largo de la operación, usando fermentaciones lácticas a escala de laboratorio

Comparar el peso molecular obtenido utilizando la alternativa que busca generar un oligomero con mayor peso molecular, contra el reportado en investigaciones anteriores a un tiempo de 8 horas.

- Comparar el peso molecular de oligómero producido utilizando el método de análisis por medio de NMR y el método de condensados para determinar si el método de cálculo de condensados proporciona datos confiables.
- Determinar una expresión cinética para la producción de oligómero de PLA usando el peso molecular y la concentración de ácidos carboxílicos presentes en la solución.
- Comparar el modelo obtenido en la reacción experimental contra el reportado en las fuentes bibliográficas y antecedentes, a diferentes tiempos de reacción de con ácido sulfúrico como catalizador, 200-210°C de temperatura y condiciones de vacío de 0-30 cm H₂O

Evaluar experimentalmente el efecto de la trioctilamina en distintos solventes para la extracción líquido-líquido de ácido láctico, en solución acuosa, para determinar el solvente más eficaz.

- Realizar pruebas de concentración de ácido láctico en los distintos solventes al hacer la extracción de solución acuosa, para obtener datos del equilibrio ternario de las mezclas.
- Determinar cuál de los solventes seleccionados posee la mayor selectividad con ácido láctico después del proceso.
- Evaluar el efecto de la trioctilamina en la selectividad del solvente seleccionado para separar ácido láctico de la solución acuosa, determinando, a partir de métodos gráficos, el efecto de la misma.

Realizar un estudio cualitativo de mercado para evaluar la factibilidad de comercialización del PLA en el entorno guatemalteco.

- Determinar el potencial de mercado del PLA en Guatemala, con un estudio cualitativo de mercado que incluya demanda, competencia y oferta, para establecer los límites de producción y venta del producto y evaluar la oportunidad de negocio.
- Estudiar la competencia directa e indirecta del PLA en Guatemala, a través de una evaluación comparativa o "benchmarking" y ventajas competitivas, para construir un FODA que exponga las oportunidades de mercado y proponer estrategias para abordar las debilidades y amenazas.
- Identificar y estudiar el consumidor, sus tendencias, costumbres y comportamiento con los actuales polímeros, con entrevistas, encuestas y observaciones para crear un perfil del mercado objetivo que pueda ser utilizado para definir las características más importantes del producto.

- Establecer un plan de mercadeo del producto para determinar la forma adecuada de producir y presentar el polímero, a qué mercado orientarlo, la percepción, aceptación del producto y su rentabilidad.
- Documentar los costos de realización de los módulos a escala laboratorio que componen el megaproyecto “Análisis cualitativo de mercado y de etapas en la producción a escala laboratorio de PLA, por fermentación de melaza” para que sean de utilidad en presupuestos para futuros módulos de megaproyectos similares.

III. Justificación

La industria guatemalteca de azúcar ha incrementado su producción en los últimos años, produciendo una cantidad de 3, 000, 000 t de azúcar durante el año 2015, habiendo aumentado un 4 % con respecto al año anterior, y siguiendo la tendencia de los últimos 4 años. Un 75% de la producción se utiliza para exportación, lo que se traduce a que Guatemala posee una entrada fuerte de ingresos por impuestos debido a la demanda de azúcar de Guatemala que se tiene en el extranjero, lo que promueve que el PIB del país se mantenga al alza. Cerca del 20% de la masa que se genera en azúcar, es decir 600,000 t, se genera en melaza, la cual es un residuo del proceso. Este residuo se utiliza para la producción de etanol, pero este es un producto sujeto al precio del mercado internacional y por lo tanto, es necesario encontrar otros productos más competitivos, cerrar los ciclos de los ingenios y aportar un desarrollo sostenible en la industria azucarera y en el país. En 2015, se registraron 269 millones de litros producidos de etanol a partir de melaza, los cuales se exportaron a países como Estados Unidos, el Caribe y Europa.

Una de las aplicaciones recientemente encontradas por los centros de investigación a nivel mundial, es la producción de biopolímeros a partir de ácido láctico, los cuales se pueden obtener fermentando la melaza en condiciones específicas. Este bioplástico puede llegar a ser un sustituto formidable de los polímeros que actualmente se utilizan para crear bolsas de plástico (PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS, PE), las cuales siempre resultan causando un impacto ambiental negativo debido al manejo inadecuado de la población guatemalteca. Es importante mencionar que existe dos familias de los bioplásticos: están plásticos biodegradables, los cuales son aptos para ser degradados por microorganismos y producir compuestos como agua, dióxido de carbono y biomasa, por otro lado están bioplásticos que son materiales hechos de recursos renovables y biológicos como los granos, maíz, papas, melaza o aceites vegetales.

El objetivo es evaluar, por medio de fermentaciones a escala laboratorio, la influencia de los parámetros básicos de reacción en la producción de ácido láctico utilizando *Rhizopus oryzae* y melaza como sustrato, así como también utilizando diferentes cultivos lácticos (ABY-3, YC-370) para determinar la composición adecuada para maximizar el rendimiento de la producción de ácido láctico. La principal ventaja de utilizar cultivos lácticos sobre el hongo *Rhizopus* es la velocidad de actividad microbiológica, sin embargo, el rendimiento utilizando estos puede ser menor contra el hongo ya que los cultivos son mezclas de distintas bacterias. La extracción líquido-líquido es la técnica más eficiente en términos de purificación, teniendo en cuenta que el ácido láctico es un compuesto bastante complejo de manejar al momento de producirlo en base a fermentaciones lácticas. Asimismo, se trabajó con extracción líquido-líquido puesto que se han realizado estudios para determinar la cinética que presenta una pureza aproximada de 0.7 g/L por lo que estos trabajos eran muy valiosos para continuar con la evaluación en este megaproyecto.

Los bioplásticos actualmente representan el 1% de casi 300 millones de toneladas de plástico producido anualmente, sin embargo, la demanda va en aumento con materiales, tecnologías, productos y aplicaciones sofisticadas emergiendo cada día. Según los últimos datos recopilados por Bioplásticos Europeos (PlasticsEurope, 2015) se espera que la producción de biopolímeros se cuadruplique de 1.7 millones de toneladas en 2014 a 7.8 millones de toneladas métricas en el 2019. De esos 1.7 millones, el 12.2% pertenece al PLA (ácido poliláctico), es decir, 208,000 t. El mayor productor de biopolímeros es Asia con casi el 60% de la producción total. El mayor consumidor de plásticos en el mundo es Alemania que consume el 24.6% de 49 toneladas métricas en Europa, equivalente a 12 toneladas métricas anuales. De esa demanda anual, el 3.3% es para agricultura, 5.8% para electrónicos, 8.9% para automóviles, 19.7% para construcciones, 39.9% para empaques 22.4% para otros usos.

IV. Marco teórico

A. Proceso de producción de azúcar

El proceso industrial para la fabricación de azúcar implica la aplicación de varios procesos para convertir el jugo de caña de azúcar en cristales y depurarlos de manera natural de impurezas que pudieran resultar dañinas para el organismo.

El proceso de fabricación consta de los siguientes subprocesos:

1. Recepción
2. Molienda
3. Clarificación
4. Evaporación
5. Cristalización
6. Separación
7. Refinado
8. Secado
9. Envasado

El proceso de entrada inicia con los contenedores que transportan la caña a los ingenios azucareros. Se determina el peso de la caña que iniciará el proceso de producción de azúcar y se inicia la fase de preparación. La preparación es independiente para cada productor de azúcar, pero podría resumirse en limpieza y clasificación del producto a utilizarse. La caña de azúcar se transporta hacia los molinos, donde comienza la extracción de la sacarosa.

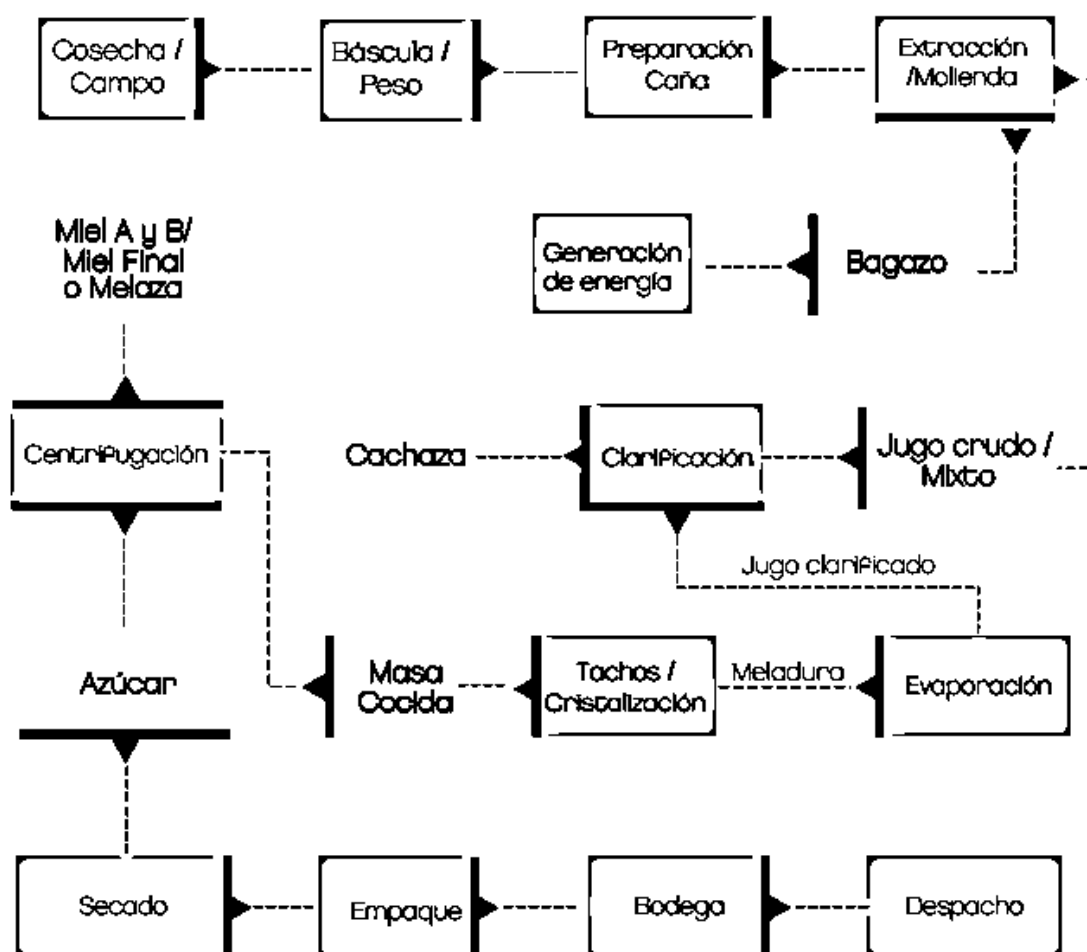
En los molinos se exprime la caña para permitir la extracción de la sacarosa. Esto se lleva a cabo agregándole agua caliente, para que sea más fácil de moler y la extracción sea la máxima posible. La caña desmenuzada se hace circular entre los filtros y una serie de molinos consecutivos. De este proceso se obtiene el primer subproducto: el bagazo o fibra de caña. Este subproducto se utiliza como combustible en las calderas para generar vapor y energía.

En el proceso de clarificación se eliminan la mayor cantidad de impurezas presentes en el jugo mixto, conservando la mayor cantidad de sacarosa y entregando el jugo a la etapa de evaporación en las mejores condiciones según estándares del productor. Para conseguir este objetivo, se utilizan procesos de calentamiento, con posterior decantación y filtración de los barros. El barro decantado, tiene por nombre cachaza, que constituye un segundo subproducto y se filtra para recuperar el jugo que aún pueda contener, además puede ser utilizado como abono en los campos.

Cuando el jugo ya se encuentra en las condiciones de limpieza adecuadas, pasa al proceso de evaporación, donde en evaporadores se evapora hasta que el 80% del líquido, formando una especie de jarabe concentrado llamado meladura. El siguiente punto es la cristalización que se produce en tachos de cocimiento. Al aplicar una combinación determinada de presión y temperatura, se transforma el jarabe en cristales. Luego se deben separar de la solución madre en donde están contenidos, y para ello se utilizan centrifugas de altas velocidades.

En las centrifugas se separan los cristales del azúcar crudo de la **melaza**, tercer subproducto que actualmente se utiliza para la producción de alcohol. Luego de la separación, se secan y se tamizan los cristales. Antes de ser empacados, se realizan análisis de laboratorio para garantizar la calidad. Luego se empaican en sacos de diferentes presentaciones y se almacenan en depósitos especialmente acondicionados para su conservación y posterior despacho.

Figura 1: Proceso de fabricación del azúcar a partir de la caña.



Fuente: Ingenio Magdalena.

B. Melaza

La melaza es el subproducto ya sea de la fabricación o la refinación del azúcar crudo. Se trata de un líquido denso y viscoso que se separa de la masa cocida final de bajo grado a partir de que no es posible cristalizar azúcar adicional mediante los métodos corrientes (Cheng 2000).

La melaza contiene la mayor porción de no azúcares del jugo del cual se deriva; junto con una porción de sacarosa y azúcares reductores. La composición de la melaza depende de la variedad y madurez de la caña, las condiciones climáticas y del terreno, el grado de la molienda, la naturaleza de los procedimientos de clarificación y otros factores. Debido a esto, no es posible formular un análisis típico de la melaza, pero en general se conocen ciertas cifras generales de su composición. Como por ejemplo, esta puede contener de 85 a 92 Brix o alrededor de 77 a 84% de sólidos por desecación. La sacarosa varía entre 25 y 40% y los azúcares reductores de 35 a 12% con la suma de los dos (azúcares totales) igual o mayor a 50% (Cheng 2000).

Los principales azúcares que se encuentran en las mieles finales (melaza) son sacarosa, glucosa y fructosa, las dos últimas constituyen la porción principal de los "azúcares reductores". También se han encontrado azúcares raros en cantidades minúsculas, como la manosa y la psicosa (Cheng 2000).

La composición de las cenizas es cualitativamente semejante a la del jugo a partir del que se ha obtenido la miel. Normalmente, la ceniza en la melaza muestra un valor mayor del 10 al 11%, pero también es común un valor del 12 al 15%. También se tienen datos de potasio, el cual varía alrededor del 40% de la ceniza total de carbonato; luego la cal con variaciones entre 10 al 20%; los sulfatos entre el 10 al 20% y el resto está constituido por sales de magnesio, sílice, cloruros, fosfatos, sodio, aluminio y óxidos de hierro (Cheng 2000).

C. Composición de la melaza

La melaza puede considerarse como un material que contiene cerca de 20 % de agua, 30 % de azúcar y cantidades muy variables de azúcares reductores, cenizas y ácidos orgánicos. La composición de la melaza es controlada por la composición inicial del jugo. No obstante, los límites de la composición de la melaza pueden ser colocados como 15 -25 % de agua, 75 – 85% de sólidos totales, 25 – 40 % de sacarosa, 5 – 30 % de azúcares reductores, 7 – 15 % de cenizas y una pureza de 35 – 50% (Deerr, 1911).

D. Microorganismos de la melaza

Se ha demostrado en las melazas que a pesar de su bajo contenido de fósforo, constituyen un buen medio nutritivo para muchos microorganismos, tales como levaduras, hongos y bacterias (Ariza y González 1997).

Es importante considerar la presencia de microorganismos mesófilos y termófilos dentro de la melaza. Los organismos mesófilos se desarrollan productivamente durante la dilución de las melazas (Ariza y González 1997).

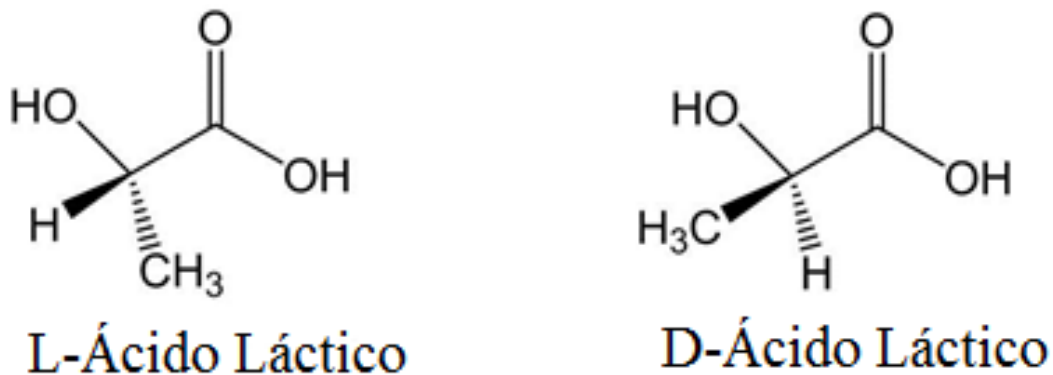
E. Ácido láctico

El ácido láctico se ha utilizado a lo largo de la historia para fermentación y preservación de los productos alimenticios humanos. Fue descubierto por Scheele en 1780 en la leche agria, por lo que fue considerado como un componente de la leche en primera instancia. En 1789, fue nombrado por Lavoisier como ácido láctico, sin embargo, Pasteur descubrió que este no era un componente de la leche, sino más bien una fermentación metabólica generada por ciertos microorganismos (Y.-J *et al*, 2006).

El ácido láctico puede ser fabricado con una fermentación o una síntesis química. El ácido láctico puede ser purificado con una precipitación de lactatos metálicos seguido por una reacción de neutralización con ácido sulfúrico o por esterificación por alcohol, destilación e hidrólisis del éster formado (Ren J, 2010).

El ácido láctico existe en dos formas isoméricas ópticamente activas las cuales son: L(+)-ácido láctico y D(-)-ácido láctico. En donde el L-ácido láctico es el isómero importante biológicamente.

Figura 2: Estructuras moleculares de Isómeros L(+) y D(-) del ácido láctico.



(Y.-J *et al*, 2006)

El ácido láctico ópticamente puro, L(+) o D(-), se puede obtener con fermentación con el microorganismo u hongo apropiado para producir uno de los isómeros seleccionados. La pureza óptica del ácido láctico es crucial para las propiedades físicas del ácido poliláctico (PLA), y un L(+) o D(-) ácido láctico ópticamente puro puede ser polimerizado a un PLA altamente cristalino el cual puede ser utilizado comercialmente (Y.-J *et al*, 2006).

F. Usos y aplicaciones de ácido láctico

El ácido láctico es utilizado frecuentemente en la industria alimenticia, farmacéutica, química, cosmética, de plásticos, textil, agricultura, alimentación de animales, petróleo, entre otros (Serna *et al* 2003).

En la industria alimenticia se usa como preservante y acidulante. Es utilizado como solubilizador y como agente controlador de pH en las industrias químicas. En la industria textil es utilizado como ayudante en el teñido e impresión. En la agricultura se utiliza como acidulante. En la producción de pinturas y resinas es utilizado como solvente y como removedor biodegradable. En la industria farmacéutica, las sales de hierro y calcio son utilizados en la producción de drogas para uso terapéutico y en la industria de plástico es utilizado como precursor del ácido poliláctico (Serna *et al* 2003).

G. Microorganismos productores de ácido láctico

Los microorganismos utilizados para la producción de ácido láctico se pueden dividir en dos categorías: las bacterias y los hongos. La mayoría de investigaciones de producción de ácido láctico se llevaron a cabo con bacterias productoras de ácido láctico (LAB por sus siglas en inglés). Los hongos filamentosos, como el *Rhizopus*, utilizan glucosa aeróbica para la producción del ácido láctico. Algunas especies de *Rhizopus*, como *R. oryzae* y *R. Arrizhus* poseen enzimas con actividad amilolítica, lo que les permite convertir el almidón directamente a L(+) ácido láctico. La fermentación fúngica presenta ciertas ventajas, en las que el *R. oryzae* requiere solamente un medio simple para la producción de ácido láctico, pero también requiere aireación vigorosa porque este tipo de hongo es un aeróbico obligado. En la fermentación fúngica, la baja tasa de producción, por debajo de 3 g/(L-h), es debido a la baja velocidad de reacción causada por la limitación de transferencia de masa. El bajo rendimiento de la fermentación fúngica es atribuido parcialmente a la formación de subproductos, tales como ácido fumárico y etanol. Debido a las desventajas mencionadas anteriormente al realizar una fermentación fúngica, hoy en día se utilizan principalmente fermentaciones con bacterias. (Y.-J *et al*, 2006).

Las bacterias que producen ácido láctico se pueden clasificar en dos grupos: las homofermentativas y las heterofermentativas. Mientras que las homofermentativas convierten la

glucosa casi exclusivamente en ácido láctico, las heterofermentativas catabolizan la glucosa en etanol y CO₂ así como en ácido láctico (Y.-J *et al*, 2006).

Recientemente, las cepas utilizadas en la producción comercial de ácido láctico se han vuelto casi exclusivas, y se cree que la mayoría de bacterias productoras de ácido láctico son del género *Lactobacillus*. Dentro de este género, *L. delbrueckii* ha sido utilizado comúnmente en investigaciones sobre la producción de ácido láctico (Y.-J *et al*, 2006).

H. *Rhizopus oryzae*

Este es un hongo perteneciente a la clase Zygomycetes y al orden de los Mucorales. Los representantes de este orden son a menudo llamados mohos negros, debido a que sus micelios, cuando han formado las cigosporas, son negruzcos por los pigmentos que estas poseen. Su micelio, bien desarrollado, está formado por numerosas hifas (Herrera y Ulloa, 1990).

Las colonias se van formando con un crecimiento muy veloz, con un espesor de 5-8 mm aproximadamente. Al principio, tiene un color blanco parecido al algodón y luego se va tornando a un color café o gris dependiendo de la cantidad de esporulación (Herrera y Ulloa, 1990).

El *Rhizopus oryzae* posee gran poder amilolítico, es decir, tiene la capacidad de convertir almidones en azúcares fermentables, por lo que es muy utilizada en destilerías de granos como agente sacarificante. Se utiliza también en la producción de enzimas comerciales, elaboración de ácido fumárico y sobre todo de ácido láctico (no compite en precio con el producido en base a bacterias lácticas, sin embargo, es más fácil de purificar). Puede crecer hasta la temperatura de 37° C (Herrera y Ulloa, 1990).

Las especies de *Rhizopus* han mostrado ciertas ventajas en comparación a las bacterias lácticas cuando se habla de convertir materiales con carbohidratos a ácido láctico. Estas ventajas incluyen: característica amilolíticas, bajos requerimientos de nutrientes, bajo costo de separación de biomasa, valuable biomasa de hongos (puede ser utilizada para purificar efluentes contaminados) (Zhang *et.al* 2007).

I. Cultivos lácticos

Los cultivos lácticos están conformados por grupos de microorganismos, que han sido seleccionados en laboratorios y son utilizados para producir fermentación en sustratos lácteos. Una de sus funciones principales es la producción de ácido láctico por fermentación de lactosa (Hernández A, 2003).

Se pueden encontrar los cultivos en distintas formas, como por ejemplos, los cultivos liofilizados. Estos son preparados con una desecación en estado de congelamiento. Su humedad es inferior al 2%. Son estables por varias semanas a temperatura ambiente y por varios meses a

temperaturas de 3 a -5°C. Se debe de tomar en cuenta los microorganismos que conforman el cultivo. Por ello, existen los cultivos mesófilos que su temperatura de crecimiento es entre 20-30°C y los termófilos que su temperatura de crecimiento es entre 37-45°C (Hernández A, 2003).

Entre los cultivos mesófilos se encuentra el *Streptococcus*, y entre los cultivos lácticos termófilos se encuentra el *Lactobacillus*, que se caracteriza por producir una gran cantidad de ácido láctico y resistir altas concentraciones del mismo (Hernández A, 2003).

J. Fermentación láctica

La fermentación láctica es un proceso biológico en el que los azúcares como la glucosa, fructosa y sacarosa se convierten en energía celular y el producto metabólico es el ácido fermentado. Es la forma de respiración anaeróbica usada por algunas bacterias y células de animales, en ausencia de oxígeno. Durante la fermentación homoláctica de ácido, una molécula de glucosa se convierte en última instancia, a dos moléculas de ácido láctico. En la fermentación heteroláctica, los productos de fermentación son: una molécula de dióxido de carbono, una molécula de etanol, y una molécula de ácido láctico (Ren J, 2010).

En el proceso de fermentación por glucólisis se producen 2 moléculas de ATP, se reducen dos moléculas de NAD^+ a NADH y se forman 2 moléculas de piruvato. La mayoría de la energía química de la glucosa, alrededor del 95%, está todavía atrapada en el piruvato. El desglose completo de la glucosa a CO_2 requiere de la oxidación del piruvato a través del ciclo de Krebs y del sistema de transporte de electrones (ETS por sus sílabas en inglés). Cuando el ciclo de Krebs y el ETS están trabajando a su capacidad máxima (esta acción requiere de oxígeno), otras necesidades de ATP local cubren con el aumento en la glucólisis. El piruvato resultante se convierte en ácido láctico por fermentación láctica (Ren J, 2010).

K. Producción de ácidos carboxílicos

En la producción de ácidos carboxílicos, la fermentación produce multicomponentes en solución acuosa, con una producción de ácido típica del 10% m/m a lo sumo, y usualmente menos. En consecuencia, la separación, purificación y concentración de estos ácidos es difícil debido a la alta afinidad del ácido con el agua. La destilación de ácidos diluidos no volátiles implica gran consumo de energía para la vaporización del agua. Además, la destilación no puede fraccionar los ácidos no volátiles. La baja actividad acuosa de ácidos carboxílicos resulta en coeficientes de distribución bajos de estos en los disolventes convencionales. Por lo tanto, la extracción con disolventes convencionales requeriría muy altas tasas de flujo de disolvente y dilución sustancial del ácido (Tamada, 1990).

Las aminas de cadena larga son extractantes eficaces para ácidos carboxílicos. La interacción fuerte entre el ácido y la amina permite la formación de los complejos ácido-amina y por lo tanto proporciona para alta proporciones de distribución de equilibrio. Además, la alta afinidad de las bases orgánicas por los ácidos, proporciona mayor selectividad por los ácidos sobre otros compuestos no ácidos en la mezcla. En este proceso de extracción, también se conoce como extracción reactiva, ya que el agente de extracción en la fase orgánica reacciona con un material en la fase acuosa y el complejo que se obtiene de la reacción se solubiliza en la fase orgánica (Tamada, 1990).

Esta reacción es reversible, lo que permite la recuperación del ácido y reciclar el disolvente (Tamada, 1990).

Son necesarios dos pasos para una separación extractiva y el proceso de recuperación. El primero es la extracción del ácido para producir un extracto de ácido-cargado y un refinado ácido-libre. El segundo paso es transferir el ácido del disolvente a una fase de producto y regenerar la mezcla de extractante, que se recicla de nuevo al extractor. La regeneración es un paso crucial para el desarrollo de una operación práctica (Tamada, 1990).

L. Bacterias lácticas

Las bacterias del ácido láctico constituyen un grupo muy heterogéneo desde el punto de vista taxonómico. Tienen como punto en común que producen ácido láctico como catabolito único o mayoritario (normalmente más de la mitad) en la fermentación de azúcares. Los miembros más comunes en el grupo de bacterias lácticas son los cocos o bacilos grampositivos, inmóviles y catalasa negativos.

Los cocos grampositivos se distribuyen en tres grupos: aerobios, facultativos y anaerobios. Los aerobios se distinguen por su desarrollo en anaerobiosis estricta, por otro lado, dentro de los facultativos existen algunos que pueden alternar un metabolismo oxidativo aerobio con otro fermentativo y otros que nunca pueden utilizar el O₂ como aceptor final de electrones, pero fermentan indistintamente en presencia y en ausencia de aire. Este último grupo descrito es el de las bacterias lácticas incluidas dentro de los cocos grampositivos (Parés, 2002).

M. Ácido poliláctico

La fabricación de ácido poliláctico ha tenido gran acrecentamiento en la última década, sobre todo porque es un polímero biodegradable con diversas aplicaciones industriales y médicas muy importantes. Este biopolímero se obtiene de la polimerización del ácido láctico monómero producido bio-tecnológicamente a partir de sustratos como glucosa, lactosa, almidón, y celulosa, que son de alto costo, lo que coloca el proceso en desventajas frente a otras fuentes de producción de biopolímeros y polímeros derivados del petróleo, sin embargo, para disminuir costos de producción

se han inducido nuevas investigaciones para encontrar fuentes y sustratos viables y más económicos. (Serna & Albán, 2011).

N. Solventes

1. Heptano. Heptano, n-heptano o dipropilmetano es un hidrocarburo líquido incoloro volátil.

Algunas de sus propiedades físico-químicas:

- Peso molecular: $100.20 \frac{g}{mol}$
- Fórmula: C_7H_{16}
- Solubilidad: insoluble en agua, miscible con disolventes no polares y soluble, pero no completamente, en alcoholes.

Se utiliza como disolvente industrial (para adhesivos, lacas y tintas), como disolvente de extracción y en la fabricación de espumas plásticas y, síntesis de tolueno y alquilbencenos (Serna-Cock, 2004).

2. 1-Octanol. 1-octanol, n-octanol, octil alcohol, entre otros términos, es un líquido incoloro, ligeramente viscoso utilizado como un antiespumante o agente humectante. También se utiliza como disolvente para los revestimientos protectores, ceras y aceites, y como materia prima para PLAstificantes.

Algunas de sus propiedades físico-químicas:

- Peso molecular: $130.231 \frac{g}{mol}$
- Fórmula: $C_8H_{18}O$
- Solubilidad: insoluble en agua y flota en agua (Serna-Cock, 2004).

3. 1-Dodecanol. Es un alcohol graso, usado para hacer surfactantes, aceites lubricantes, productos farmacéuticos, en la formación de polímeros monolíticos y como un sabor aditivo potenciador de alimentos.

- Peso molecular: $186.34 \frac{g}{mol}$
- Fórmula: $C_{12}H_{26}O$
- Solubilidad: soluble en agua (0.004g/l) (Serna-Cock, 2004).

4. Trioctilamina. Se utiliza como agente de extracción para los ácidos orgánicos (tales como TCA, ácido succínico, y ácido acético), y metales preciosos. Es una amina con 3 cadenas de 8 carbonos.

- Peso molecular: $353.679 \frac{g}{mol}$

- Fórmula: $C_{24}H_{51}N$
- Solubilidad en agua a 25°C (0.05 mg/l) (Serna-Cock, 2004).

O. Extracción líquido-líquido

El método de extracción líquido-líquido, para separar constituyentes de una disolución acuosa, puede aplicarse cuando uno o más de estos constituyentes son apreciablemente solubles en un líquido orgánico, prácticamente inmisible con el agua, mientras que los restantes son mucho menos solubles. Al poner el líquido orgánico en contacto íntimo con la disolución acuosa, las sustancias presentes se distribuyen entre las dos fases, acuosa y orgánica. El constituyente, o constituyentes, de mayor solubilidad en el medio orgánico tenderá a pasar a dicha fase, mientras que los demás tenderán a permanecer en la disolución acuosa. Se logra así una separación parcial de los constituyentes de la disolución (Costa 1991). En la práctica, además de haber un soluto y dos líquidos inmiscibles entre sí, pueden estar presentes otros como: extractantes, modificadores y agentes sinérgicos. La función de estos otros compuestos es para favorecer el coeficiente de distribución del soluto de una fase a la otra (Carreto).

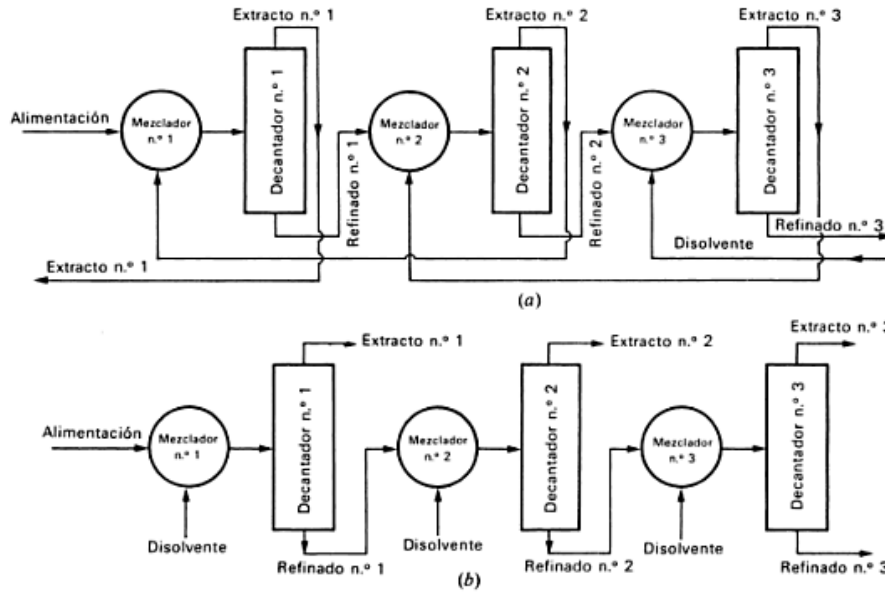
P. Solubilidad

A una temperatura determinada, existe una cantidad máxima de soluto que se puede disolver en un solvente. La máxima cantidad de soluto que se puede disolver por cantidad de solvente se denomina solubilidad del soluto a una temperatura determinada y constituye una solución saturada (Riaño, 2007).

Q. Extracción líquido-líquido

Son muy variadas las formas en las que se lleva a cabo la extracción líquido-líquido. Normalmente se trabaja en continuo, y cabe distinguir, como en la destilación y la absorción, dos modos básicos de contacto: contacto por etapas y contacto continuo (Figura 2). El contacto por etapas puede realizarse de distintas maneras según la forma como el disolvente extractor pasa de etapa a etapa en sentido contrario al líquido que está siendo refinado. Nótese que en cada etapa se realizan dos operaciones sucesivas: la mezcla del disolvente extractor y el alimento, y a continuación la separación por decantación de los dos líquidos inmiscibles. El extracto es la corriente de disolvente extractor una vez ha recibido el soluto contenido en la alimentación. El refinado es la corriente de alimentación una vez se le ha extraído el soluto (Costa, 1991).

Figura 3: Extracción líquido-líquido por etapas: (a) contacto en contracorriente, (b) contacto simple.



(Costa, 1991)

El contacto continuo en extracción líquido-líquido es análogo a la operación de absorción (Figura No. 3). El disolvente contenido en las corrientes de extracto y refinado debe separarse y recircularse, para la economía de la operación; ello se consigue generalmente por destilación (Costa, 1991).

Figura 4: Extracción líquido-líquido por contacto continuo, con recuperación del disolvente

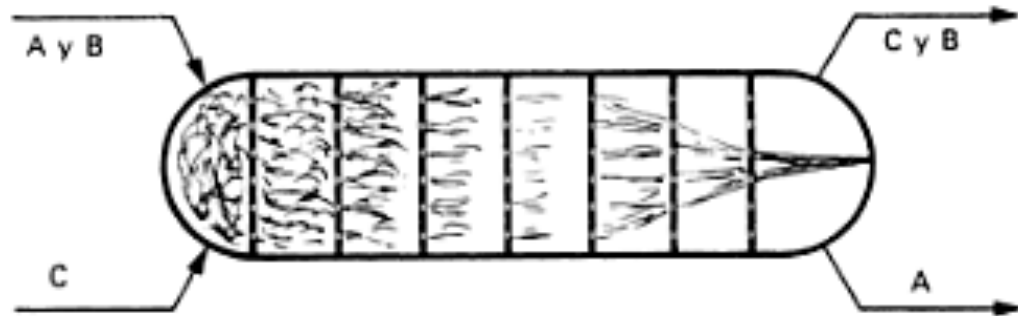


(Costa, 1991)

R. Aparatos

Los aparatos en los que se lleva a cabo la extracción líquido-líquido deberán poner en adecuado contacto las fases inmiscibles. Pueden emplearse columnas de relleno en contracorriente, y mejor si son pulsadas (dotadas de un movimiento de agitación a lo largo de la columna) o columnas horizontales pulsadas con placas perforadas (Figura 4) (Costa 1991).

Figura 5: Extractor separador horizontal con placas perforadas.



(Costa 1991)

Se emplean también, para el contacto por etapas, tanques agitados combinados con decantadores colocados a continuación de los mismos (Costa, 1991).

S. Elección de líquido orgánico

Al decidir qué líquido orgánico se utilizará para la extracción, se debe tomar en cuenta muchos factores como lo es la selectividad o capacidad del líquido orgánico de extraer uno o más componentes. La selectividad se expresa usando el factor de separación, que se define como la relación entre los coeficientes de reparto de las sustancias a separar, entre las dos fases, una vez alcanzado el equilibrio (Glasstone 2005).

Un buen disolvente para extracción es aquel en el que un componente determinado tiene un coeficiente de distribución grande y un factor de separación, muy grande o muy pequeño. También, el solvente debe satisfacer que sea inmiscible en la disolución a extraer, tener estabilidad química alta para soportar la acción de concentración bastante alta de agentes oxidantes y reductores (Glasstone, 2005).

T. Factores que pueden afectar la extracción

La extracción de un compuesto inorgánico en disolución acuosa, por ejemplo un nitrato, mediante un disolvente orgánico, está influida por la presencia de: agentes salinos, agentes oxidantes y reductores, aniones complejos (Glasstone, 2005).

U. Agente salino

Es una sal o un ácido, que posee el mismo anión que el compuesto inorgánico a extraer, cuya presencia en la disolución acuosa incrementa el coeficiente de distribución, antes definido. En la extracción del nitrato de uranio, por ejemplo, pueden utilizarse como agentes salinos el ácido nítrico o una cualquiera de sus sales: nitrato sódico, potásico, etc. Todos estos compuestos son solubles en la fase acuosa, pero no en el disolvente orgánico (Glasstone, 2005).

V. Coeficiente de reparto

Cuando una sustancia se distribuye entre dos líquidos inmiscibles o parcialmente miscibles, existe una relación constante entre la concentración de esta sustancia en las dos fases, la cual es independiente de la cantidad de soluto que se disuelva o del volumen del líquido empleado. La distribución de la sustancia de interés depende de las siguientes condiciones:

- La operación de extracción se debe efectuar a una temperatura constante durante todo el proceso, ya que la temperatura tiene influencia en la cantidad de soluto que se disuelve y además de la solubilidad de los mismos.
- No debe producirse reacción química entre los componentes debido a que, si la hubiese, la concentración del soluto se vería afectada por la producción de nuevos compuestos.
- Las disoluciones deben ser diluidas. A altas concentraciones aparecen interacciones entre soluto y disolventes que interfieren en la proporción en la que el soluto se distribuye en las distintas fases (Carreto).

Bajo estas condiciones se puede decir que el coeficiente de reparto es:

$$k = C1/C2$$

Donde:

C1 = concentración del soluto en la fase 1

C2 = concentración del soluto en la fase 2

k = constante adimensional denominada

Coeficiente de reparto o distribución

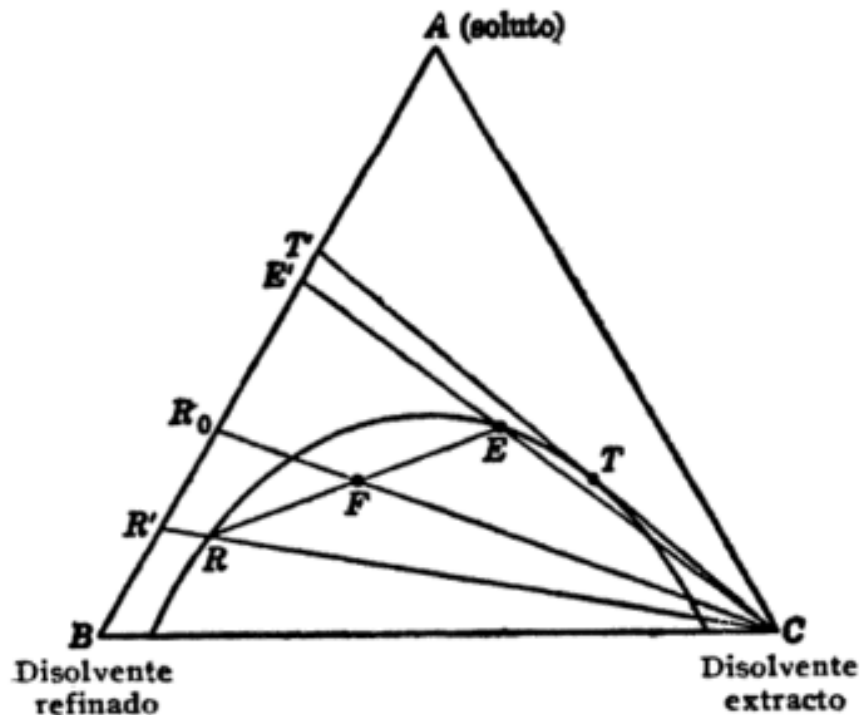
Esta relación permite predecir la concentración final del soluto en ambas fases, siempre y cuando se trabaje a las mismas condiciones en las cuales está definido el coeficiente de reparto. En la bibliografía podemos encontrar tablas en las que se listan valores de coeficientes de reparto para distintos sistemas. Experimentalmente, cuando se realizan sucesivamente una serie de determinaciones con concentraciones diferentes, pocas veces se encuentra que el coeficiente de reparto permanece constante (Carreto).

Un aspecto muy importante de la técnica de extracción es que para un mismo volumen de disolvente orgánico es más efectivo realizar varias extracciones con un volumen menor, aunque se mantenga el volumen total de disolvente, que una única extracción con todo el volumen (Carreto).

W. Selectividad de disolvente

En la extracción de disolvente, pueden separarse dos componentes miscibles en todas las proporciones por adición de un tercer componente líquido que origina una región inmisible y de ahí una separación en dos fases conjugadas. Por ejemplo, si se añade un disolvente C a una disolución binaria de composición R_0 como se muestra en la Fig.5, se alcanza una composición F que se separa en dos fases: fase E más rica en componente A y fase R más pobre en componente A que la disolución original. En extracción por disolvente, la fase R, que es pobre en soluto A y rica en disolvente B, se considera como refinado, y la fase E, que es rica en soluto A y en disolvente extracto, se considera como fase extracto (Herráez, 2006).

Figura 6: Selectividad en la extracción de disolvente

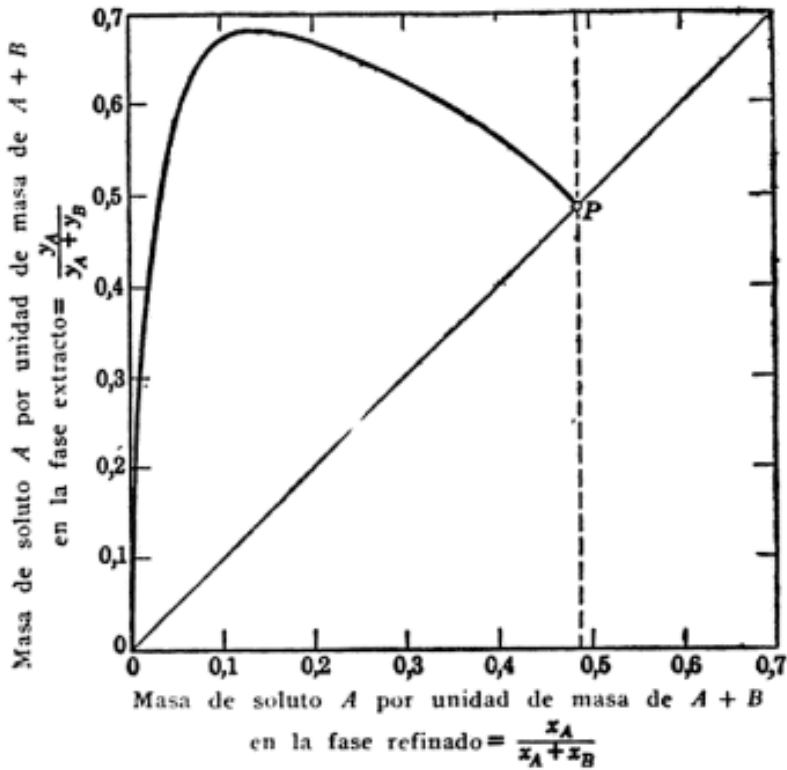


(Herráez, 2006)

De la Figura 6, se verá que la separación del sistema binario AB por extracción con el disolvente C solo puede tener lugar en un intervalo de composición de B a T' donde la línea CT' es tangente en el punto T a la curva de solubilidad. Un disolvente es selectivo para un soluto dado cuando la fracción de masa del soluto en la capa extracto es mayor que en la capa refinado, cuando ambas fracciones de masa están expresadas sobre una base de extracto exento de disolvente. En el sistema de la Figura 6, A es absorbido selectivamente por la capa extracto. Por proyección de CE a E' y de CR a R' la relación de BE'/BR' representa la selectividad del disolvente en la separación de A y B. La extracción de disolvente C a partir de E produce una disolución binaria E' y la extracción de disolvente C de R, una disolución binaria R'. La selectividad de un disolvente para diferentes sistemas aumenta cuando el punto crítico se aproxima al punto B (Herráez, 2006).

En la Figura 7, el diagrama de selectividad para el sistema dado está construido representando valores de BE', fracción de masa de A en la capa extracto, frente a valores de BR', fracción de masa de A en la capa refinado, ambos sobre una base de disolvente exento de C. La máxima selectividad se obtiene en la mayor divergencia de la línea de 45°. La selectividad cero tiene lugar en el punto crítico P (Herráez, 2006).

Figura 7: Diagrama de selectividad



(Herráez 2006)

X. Sistemas de tres líquidos con miscibilidad parcial

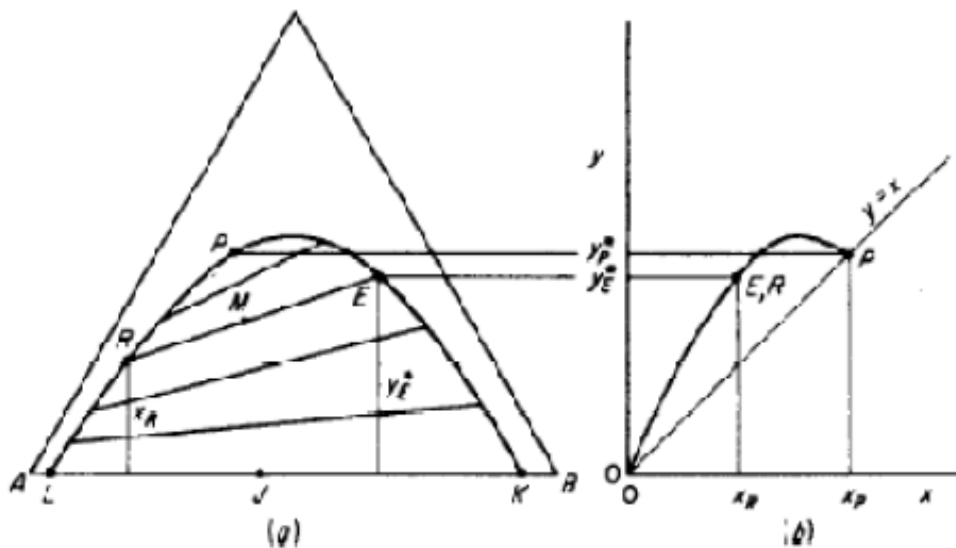
El estudio de tres líquidos que presentan miscibilidad parcial, se clasifican así:

Tipo I: Formación de dos líquidos parcialmente miscibles

En los sistemas de interés para la extracción líquido-líquido los dos disolventes implicados son inmiscibles o parcialmente inmiscibles entre sí. Es decir, su mezcla en las proporciones adecuadas puede dar lugar a la formación de dos fases. Además, la presencia de un soluto modifica la solubilidad de un disolvente en otro. En la Figura 8 se observa que el líquido C se disuelve completamente en A y B, pero A y B sólo se disuelven entre sí, hasta cierto grado, para dar lugar a las soluciones líquidas saturadas en L (rica en A) y en K (rica en B).

La curva formada por los puntos LRPEK, se denomina curva binodal de solubilidad, que indica el cambio en la solubilidad de las fases ricas en A y B al agregar C. Una mezcla fuera de esta curva será una solución homogénea de una fase líquida. Una mezcla ternaria por debajo de la curva, como M, forma dos fases líquidas insolubles saturadas de composiciones en el equilibrio, indicadas por R (rico en A) y E (rico en B). La línea RE que une estas composiciones en el equilibrio es una línea de unión, que rara vez son paralelas; por lo general, su pendiente cambia lentamente en una dirección, como se muestra. La dirección de la pendiente de la línea de unión cambia relativamente pocos sistemas; una línea de unión será horizontal. Se dice que estos sistemas son "solutrópicos". El punto P, punto de pliegue, la última de las líneas de unión y el punto en donde se encuentran las curvas de solubilidad del rico en A y rico en B, generalmente no se encuentra en el valor máximo de C sobre la curva de solubilidad (Treybal, 2007).

Figura 8: Sistema de tres líquidos, A y B parcialmente solubles

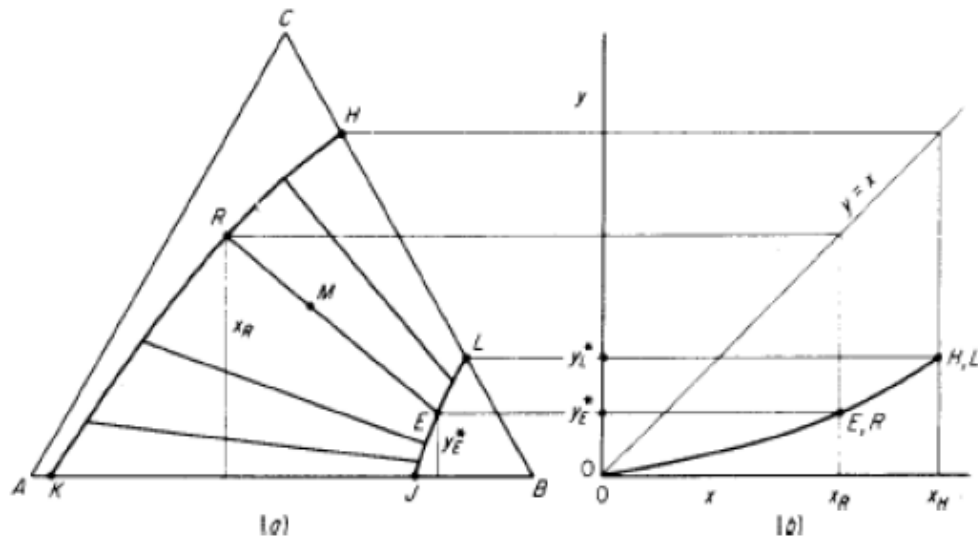


(Treybal, 2007)

Tipo II: Formación de cuatro líquidos parcialmente miscibles

En este sistema ternario dos de los pares binarios resultan inmiscibles, por ejemplo: cuando el soluto no es totalmente miscible en una de las fases líquidas. Al observar la Figura 8, A y C son completamente solubles, mientras que los pares A-B y B-C presentan únicamente una solubilidad limitada. Los puntos K y J representan las solubilidades mutuas de A y B y los puntos H y L, las de B y C. Las curvas KRH (rica en A) y JEL (rica en B) son las curvas de solubilidad ternarias; las mezclas fuera de la banda entre estas curvas forman soluciones líquidas homogéneas de una sola fase. Las mezclas como M dentro del área heterogénea, forman dos fases líquidas en el equilibrio, en E y R unidas mediante líneas de unión (Treybal, 2007).

Figura 9: Sistema de tres líquidos, A-B y B-C parcialmente miscibles

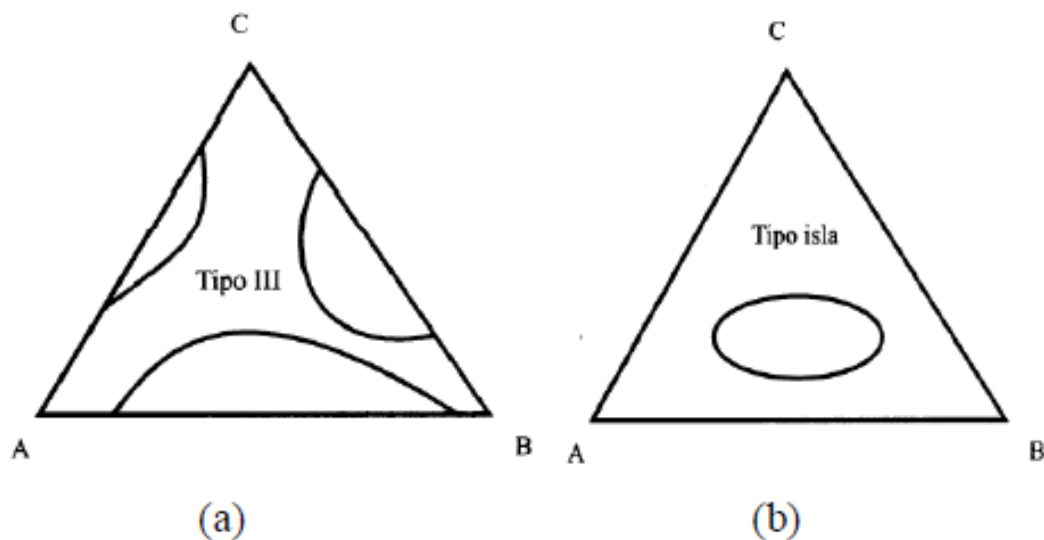


(Treybal, 2007)

Tipo III: formación de tres pares de líquidos parcialmente miscibles

El incremento en la temperatura puede cambiar un sistema, si se sobre pasa la temperatura crítica del sistema binario formado por el soluto y el disolvente. Cuando los tres líquidos son parcialmente solubles entre sí, se producen tres curvas binodales (Figura 9a), a temperaturas lo suficientemente elevadas, como para que no existan intersecciones entre dichas curvas. Aquí de nuevo, las áreas dentro de las curvas indican regiones líquidas bifásicas, mientras que en las áreas externas sólo existe una fase presente. Sin embargo, a temperaturas más bajas puede suceder que, como en la Figura 5b las curvas se intercepten, haciendo que el diagrama adopte la forma mostrada.

Figura 10: Diagramas de sistemas ternarios con tres pares parcialmente miscibles



(Perry 1993)

Y. Efecto de la temperatura sobre los equilibrios de fase en sistemas líquidos ternarios

Normalmente el área de inmiscibilidad de un sistema ternario disminuye con un aumento de la temperatura (Treybal, 2007).

Z. Equilibrio líquido

La extracción supone el uso de sistemas compuestos por tres sustancias cuando menos; aunque las fases insolubles son predominantemente muy distintas desde el punto de vista químico, en la mayoría de los casos los tres componentes aparecen en cierto grado en las dos fases.

AA. Oligómero

Un oligómero es una molécula orgánica de bajo peso molecular en comparación con el de un polímero, ya que esta está constituida por muchos menos monómeros que un polímero. La oligomerización es utilizada como una fase previa a la polimerización. (McMurry, 2010)

BB. Polímero

Es una molécula orgánica de cadena larga formada por las uniones repetitivas de varias moléculas llamadas monómeros. Existen polímeros naturales y polímeros sintéticos; la naturaleza hace un gran uso de polímeros como la celulosa o las proteínas formadas por glucosa y aminoácidos respectivamente.

Los polímeros sintéticos usualmente terminan en vertederos, ya que hay cierto tipo de estos polímeros que son muy costosos de reciclar e incluso otros que son imposibles de reutilizar. Los polímeros se acumulan y pasan más de 100 y 500 años en su lugar de depósito final, algunos terminan en cuerpos de agua o en hábitat naturales afectando a la fauna de casi cualquier parte del mundo; en realidad nunca llegan a degradarse por completo, las partículas se separan hasta hacerse tan pequeñas que no se pueden ver y se confunden con el suelo. (McMurry, 2010)

Debido a este tipo de problemas ambientales que se ha generado por estos polímeros, se han buscado alternativas, como los polímeros biodegradables. Unos ejemplos de este tipo de polímeros son: poli (ácido glicólico), el polihidroxibutirato y el poli (ácido láctico). Estos polímeros poseen la ventaja de que pueden ser degradados, de forma natural, por bacterias mitigando así el impacto ambiental que pueden producir los polímeros sintéticos. (McMurry, 2010)

CC. Poli (ácido láctico)

El poliácido láctico (PLA) es un termoplástico, poliéster y biodegradable con propiedades similares a las de algunos termoplásticos comerciales como el polietileno y el polipropileno, se pueden encontrar de varios pesos moleculares. Una de las mayores ventajas que posee este termoplástico sobre sus competidores es que es biodegradable, es decir, que existen bacterias capaces de degradar este plástico a su estado inicial como monómero, que es encontrado en la naturaleza, por lo que no afectaría de una manera significativa al medio ambiente como lo hacen los plásticos a base de petróleo. (Bonilla & al, 2012)

DD. Polimerización

La polimerización es la reacción por la cual varios monómeros se unen para crear cadenas más largas del mismo y así crear un polímero. La polimerización se puede dividir en “polimerización por crecimiento de cadena y polimerización de crecimiento por pasos.” Las características de ambas polimerizaciones se presentan a continuación: (Asua, 2007)

Tabla 1: Comparación de polimerizaciones

	Crecimiento en cadena	Crecimiento por pasos
Monómeros	Doble enlace C-C	Dos grupos funcionales
Principio de crecimiento	Reacción del monómero con el centro activo. Actividad de cadena iniciada por un catalizador o un iniciador.	Reacción entre el grupo funcional y el monómero o cadena en crecimiento. No se necesita iniciador. Catalizador utilizado para acelerar la velocidad de reacción.
Especies reaccionando	Monómero y cadena en crecimiento	Dos grupos funcionales distintos
Número de cadenas creciendo	Pocas (10^{-8} - 10^{-7} mol*L ⁻¹) ^a	Todas las macromoléculas en la mezcla de reacción
Tiempo de vida de la cadena en crecimiento	Muy corta (0.5-10s)	Las cadenas crecen durante todo el proceso
Consumo de monómero	Consumo constante durante toda la reacción	Más rápido que el crecimiento en cadena.
Termodinámica	Exotérmica irreversible	Exotérmica reversible
Viscosidad de la reacción	Aumento drástico (PM)	Moderada
Control de temperatura	Desafiante por el alto calor de reacción y viscosidad	Más fácil

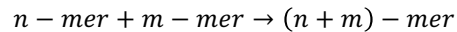
(Asua, 2007)

Debido a la estructura del ácido láctico, la reacción que se llevará a cabo será una polimerización de crecimiento por pasos, ya que posee dos grupos activos. La reacción por la cual el ácido láctico se polimeriza es por esterificación.

EE. Polimerización de crecimiento por pasos

Este tipo de polimerización sucede cuando los grupos funcionales reaccionan entre sí para crear cadenas más largas de manera escalonada, es decir, de monómero a dímero, dímero con monómero a trímero y así sucesivamente. La reacción general se presenta a continuación: (Asua, 2007)

Figura 11 Reacción General de polimerización de crecimiento por pasos



(Asua, 2007)

Como se mencionó anteriormente, esta reacción depende de los grupos funcionales que posee el monómero a polimerizar. A continuación, se muestran ejemplos de algunos grupos funcionales que funcionan para la polimerización y la reacción por la cual polimerizan: (Asua, 2007)

Tabla 2: Reacciones por grupos funcionales

Reacción	Monómero/grupo funcional	Grupo de enlace	Ejemplo de polímero
Esterificación	-COOH; -OH	-COO-	Poli(etileno tereftalato)
Amidación	-COOH; -NH ₂	-CONH-	Nylon 6,6
Transesterificación	Φ-O-CO-O-Φ; HO-R-OH	-O-CO-O-	Policarbonato
Formación de uretano	-N=C=O; -OH	-NH-CO-O-	Polyuretano

(Asua, 2007)

Haciendo referencia a la Figura 11 se puede ver que la molécula posee el grupo funcional -COOH, por lo que la reacción a utilizar, en este caso, sería una esterificación en este caso.

Todas las reacciones de la polimerización de crecimiento por pasos caen en dos grupos dependiendo del tipo de monómero utilizado. La primera requiere que el monómero posea por lo menos dos monómeros bifuncionales y/o polifuncionales, que posean un solo tipo de grupo activo. Normalmente este tipo de reacción se representa como A-A y B-B donde A y B son grupos de reactivos diferentes. El segundo tipo de reacción es la utilización de diferentes grupos funcionales en la misma molécula, tipo de monómero A-B. (Asua, 2007)

Monómeros bifuncionales como A-A, B-B y A-B producen polímeros lineales. (Asua, 2007)

En este tipo de polimerización el peso molecular del polímero crece continuamente con el tiempo y para tener un polímero lo bastante pesado para ser usado en aplicaciones reales requiere una conversión muy alta (>98-99%). Las reacciones como esterificación, amidación y transesterificación son reversibles, por lo que se debe de cuidar el equilibrio de las reacciones. La Polimerización de crecimiento por pasos es una reacción exotérmica y su equilibrio puede decrecer con la temperatura. En un sistema batch, el equilibrio es tal que se forman oligómeros. La forma de eliminar subproductos como agua en la esterificación es por medio de aplicación de vacío y/o gas interno. Esto ayuda a trasladar el equilibrio hacia los productos deseados y así obtener conversiones altas y pesos moleculares altos. (Asua, 2007)

Debido a que la viscosidad de la mezcla de polímeros crece con el tiempo, normalmente se usan reactores en serie con un sistema de agitación especial para cada una de las viscosidades esperadas. (Asua, 2007)

FF. Técnicas de polimerización

Las clases de polimerización presentadas anteriormente pueden ser implementadas de diferentes formas: polimerización por lotes, polimerización en solución, polimerización en fase gaseosa, “slurry polymerization” y polimerización por emulsión. (Asua, 2007)

Debido a la naturaleza del proyecto solo se extenderá Polimerización por Lotes que será la utilizada en la conversión de oligómeros. (Asua, 2007)

1. Polimerización en lotes. En esta técnica los únicos componentes de la formulación es el monómero a tratar y su catalizador. Cuando el polímero es soluble en el monómero, la mezcla de la reacción es uniforme durante todo el proceso. En caso que no sea soluble el polímero dentro de su monómero se producen dos fases en la mezcla reactiva. Un ejemplo de esto son polímeros como el PVC y i-PP, por lo tanto estos precipitan y se producen mediante una “slurry polymerization” en su propio monómero. (Asua, 2007)

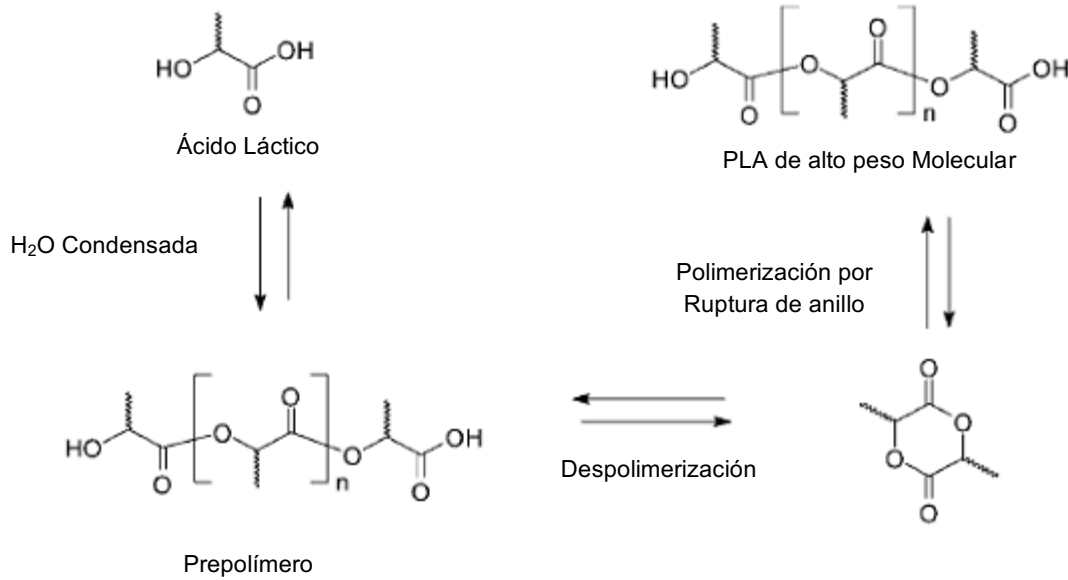
Las ventajas que tiene esta técnica es que se produce un polímero bastante puro a una velocidad de producción bastante alta por unidad de volumen del reactor. (Asua, 2007)

La desventaja es remover el calor de polimerización debido a la alta viscosidad de la mezcla de reacción con relación a la alta concentración del polímero. (Asua, 2007)

Controlar la temperatura del reactor es más fácil si el monómero se encuentra en solución, ya que el solvente disminuye la concentración del monómero y, por lo tanto, la generación de calor por unidad de volumen del reactor. (Asua, 2007)

2. Proceso de polimerización de ácido láctico

Figura 12: Proceso de Polimerización de Ácido Láctico



(Keun Yoo & Kim, 2005)

La Figura No. 12 demuestra el proceso de polimerización de ácido láctico para obtener PLA de alto peso molecular (Keun Yoo & Kim, 2005).

GG. NMR

La espectroscopia de resonancia magnética nuclear, NMR por sus siglas en inglés, es una técnica que aprovecha las propiedades magnéticas de un núcleo de un átomo para determinar características químicas de las moléculas sintetizadas. (Edwards, 2015)

Este proceso funciona excitando un electrón al absorber energía por de irradiar la molécula con radiación electromagnética en la frecuencia adecuada para que el protón absorba energía. A este proceso de absorción de energía se llama resonancia porque la frecuencia de la radiación y la precesión coinciden o entran en resonancia. La precesión de una molécula está determinada por el "spin" de la misma. (Edwards, 2015)

Conociendo los espectros e integrando los picos de interés en el espectro se puede llegar a obtener el peso molecular usando el método del análisis por grupo final.

1. Análisis de grupo final: Este es un método para la determinación de la masa molecular de oligómeros debajo de 3000 g/mol. Este funciona como alternativa para los métodos de osmometría de membrana, cromatografía de permeación en gel, análisis de viscosidad y

espectrometría de masa, ya que este método permite determinar el peso molecular de una manera aceptable y se utiliza un equipo encontrado comúnmente en los laboratorios de análisis y no requiere de mucho tiempo para obtener los resultados. (Sigma-Aldrich, 2016)

HH. Bases para estudio de mercado

1. Análisis del entorno. Previo a que una organización Plantee o formule su estrategia, es necesario un análisis adecuado de las posibles oportunidades y amenazas existentes, así como las fortalezas y debilidades internas para asegurar su éxito a largo Plazo. El análisis del entorno se basa en monitorear, evaluar y comunicar información externa e interna a sujetos clave en las corporaciones (Wheelen & Hunger, 2013).

2. Análisis del entorno de trabajo. Una industria es un grupo de empresas produciendo un producto similar. Un análisis de las entidades más importantes que participan en este grupo, como proveedores y consumidores, es de sum importancia en el análisis del entorno industrial (Wheelen & Hunger, 2013).

3. Análisis de porter. Es un análisis que se enfoca en estudiar la intensidad de la competencia dentro de la industria. El nivel de intensidad se determina a partir de cinco fuerzas básicas y la acción de estas fuerzas determinar el potencial máximo de utilidades en la industria, en donde este potencial se mide por el retorno en las inversiones a largo plazo. Las fuerzas que se deben analizar son (Wheelen & Hunger, 2013):

a. Amenaza de nuevos competidores o participantes. Son un peligro para corporaciones establecidas. Buscan aumentar la capacidad de la industria, ganar participación de mercado y recursos.

b. Rivalidad entre competidores actuales. En la mayoría de industrias, las compañías son dependientes una de otras. Cuando alguna compañía ejecuta alguna estrategia para volverse competitiva, un efecto puede observarse en sus competidores y estos pueden actuar para oponerse a este efecto. Según Porter, la rivalidad está relacionada a varios factores incluyendo: número de competidores, crecimiento de la industria, características del producto o servicio, capacidad de producción, diversidad de los rivales, entre otros.

c. Amenaza de productos o servicios sustitutos. Son aquellos productos que parecen ser diferentes pero pueden satisfacer la necesidad de igual forma que otro producto. Un ejemplo muy claro podría ser los endulzantes con azúcar normal.

d. Poder de negociación de los clientes. Los clientes, o compradores, tienen un efecto en forzar los precios hacia abajo, negociando alta calidad y haciendo que haya más competencia en la industria.

e. Poder de negociación de los proveedores. Afectan los precios, tienen capacidad de aumentar los precios o reducir la calidad de los bienes y servicios adquiridos.

f. Poder relativo de otros participantes. Mide la participación, el poder, que podría llegar a tener el gobierno, comunidades o algún grupo de trabajo que afecte el ambiente o las actividades industriales. (Wheelen & Hunger, 2013)

II. Modelo de análisis VRIO

Evalúa las competencias de una entidad a través de cuatro preguntas. Si las respuestas a estas preguntas son todas positivas, entonces es una fortaleza, por lo tanto una competencia distintiva. Estas cuatro preguntas son (Wheelen & Hunger, 2013):

- A. Valor: ¿Proporciona valor al cliente y una ventaja competitiva?
- B. Rareza: ¿Cuentan con ella otros competidores?
- C. Imitabilidad: ¿Sería costoso para otros imitarla?
- D. Organización: ¿Está la empresa organizada para explotar el recurso?

(Wheelen & Hunger, 2013)

JJ. FODA

Es una herramienta que se encarga de encontrar un sentido entre las oportunidades externas y las fortalezas internas y al mismo tiempo analiza los factores estratégicos de la situación actual. Sus siglas son un acrónimo de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas. Esta matriz debe mostrar las oportunidades que no están siendo aprovechadas además de las capacidades y recursos que si están siendo potenciadas. El análisis FODA puede utilizarse para tener una amplia visión de la estrategia (Wheelen & Hunger, 2013).

En el análisis FODA, las fortalezas son internas al igual que las debilidades y las oportunidades y amenazas son externas. Las combinaciones de dichos factores pueden generar estrategias de crecimiento o reducción y aprovechar los recursos que han sido dejados a un lado. Se pueden crear cuatro tipos de estrategias: FO que provienen de analizar las formas en que una organización aprovecha sus oportunidades, las estrategias FA que se generan a partir de la forma en que una organización evita amenazas utilizando sus fortalezas, las estrategias DO que aprovechan las oportunidades para superar las debilidades y las estrategias DA que sirven para reducir el impacto de las debilidades y evitar amenazas (Wheelen & Hunger, 2013).

KK. Tendencias de mercado

Generalmente, son señales que indican hacia dónde se mueve el mercado a futuro. Al inicio de una tendencia, los indicadores son mínimos. Se requiere de habilidades puntuales para poder percibir y hacer interconexiones para tendencias futuras. Esto no solo sucede a nivel externo, también hay tendencias en la vida personal que marcan el futuro de las compras y el comportamiento que alguien puede tener (Internacional, 2015).

Una tendencia es capaz de mover mercados, la clave es la anticipación o bien, especulación. Predecir tendencias correctamente puede aportar a la toma de buenas decisiones, no solo en el ámbito empresarial, también en las áreas importantes de la vida (salud, medicina, alimentación y más) No necesariamente se debe seguir la dirección que tiene la tendencia, muchas veces ir en contra de la tendencia puede ser una decisión que guarde la integridad de quien tome esa decisión. Un ejemplo puede ser la tendencia económica mundial del 2008-2009. Quienes no se endeudaron en bienes inmuebles en ese entonces, fueron en contra de la tendencia de comprar y comprar, o bien los bancos que no decidieron hacer préstamos a quienes no iban a ser capaces de pagarlos, es muy probable que su economía no haya colapsado (Internacional, 2015).

Tendencias de consumo 2015

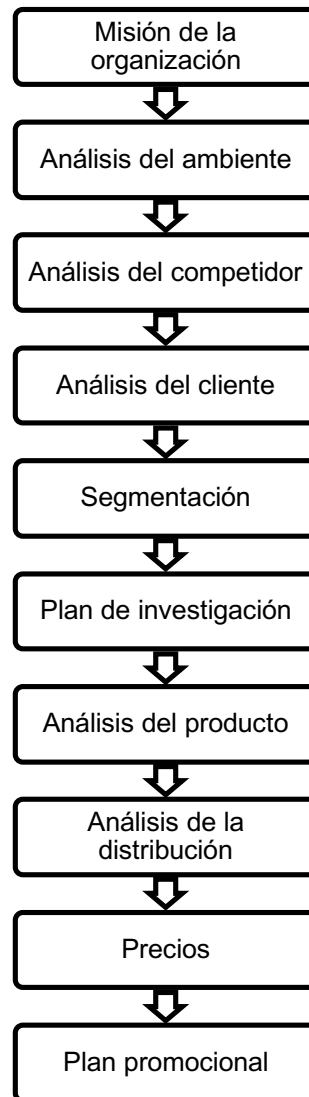
- Compras en camino: con el fin de optimizar el tiempo, las compras se hacen rápido y eficientemente.
- Malls y centros comerciales en modo comunidad: los centros comerciales están cerca y equipados con todo lo necesario
- La privacidad importa: el cuidado y producción de los datos es un tema de suma relevancia.
- Consumo responsable: consumir de forma medida y como ruta al progreso.
- Personas influyentes: las personas influyentes son reales, no son estándares difíciles de alcanzar.
- Los millennials son los consumidores del presente
- Economía colaborativa: compartir, viajar sin equipaje extra y sin carga innecesaria
- De compras por el mundo online: ya no es necesario ir a una tienda, internet es una forma accesible para hacer cualquier compra.
- De lo virtual hacia lo real y de regreso: los consumidores se conectan en todas partes
- Conexión y bienestar: aplicaciones, gadgets y aparatos para estar más saludable

(Trends & Insights, 2014) (Lemus, 2015)

LL. Estudio de mercado

Para tener clara una idea negocio y orientar todos los esfuerzos de una nueva o ya establecida organización, es de suma importancia realizar un estudio de mercado. Estos estudios proporcionan información del consumidor y sus necesidades, el segmento de consumidor al que debe ser enfocado el producto y su comportamiento. Según la Asociación Americana de Mercadeo, un estudio de mercado es una función que conecta el productor, consumidor y el público a través de información que identifica y define las oportunidades y los problemas, genera, afina y evalúa las acciones, monitorea los resultados de la organización y mejora la comprensión del proceso de mercado (Kolb, 2008). Se divide, tradicionalmente, de la siguiente forma:

Figura 13: Parte de estudio de mercado tradicional



Fuente: (Kolb, 2008)

MM. Plan de mercadeo

Un plan de mercadeo define un producto, le da un precio y una forma de distribución y comunicación. Sin embargo, no existe un concepto universal y cada autor tiene su enfoque en lo que verdaderamente es una mezcla de marketing. La mayoría de autores acuerdan que se compone de tres grandes áreas: investigación, Planificación y control y ejecución (Marketing Publishing Center, 1991).

En la parte de investigación se reúne toda la información pertinente a un producto y su mercado: consumidores, distribución actual, comunicación y más. Esto es una investigación de mercadeo.

Luego de haberse adentrado en el producto, se realizan actividades y planificación y control para definir objetivos y estrategias puntuales y medibles para desarrollo y posicionamiento de un producto. Las actividades de ejecución dentro del plan de mercadeo no son más que realizar las estrategias de producto, precio, distribución y comunicación para la empresa o el producto que se esté estudiando. Esta metodología permite que la empresa crezca y alcance la participación de mercado que desee y si algo no es funcional, es necesario inicial de nuevo hasta que se alcance el objetivo (Marketing Publishing Center, 1991).

NN. Árbol de decisión

Es un modelo que predice el valor de una variable objetivo, tomando información de las reglas de decisión de una serie de datos. Este modelo tiene una serie de ventajas, por ejemplo, que puede ser comprendido y explicado fácilmente, pues puede ser visualizado. También, requiere poca interpretación de los datos; no hay que normalizarla. Estos modelos pueden utilizar datos numéricos y categóricos, por lo que su aplicación es amplia. También, es posible validar el modelo utilizando modelos estadísticos (Scikit-learn developers, 2016).

Aunque presenta esta serie de ventajas, algunas de sus principales desventajas son, que en ciertas ocasiones, los modelos pueden volverse complejos. Puede existir sobreajuste y puede llevar a una conclusión equivocada. Además, los árboles pueden ser inestables a variaciones pequeñas en los datos y por último, puede existir sesgos si alguna variable domina. En ciertas ocasiones es mejor limpiar el juego de datos (Scikit-learn developers, 2016).

V. Antecedentes

En octubre del 2014 fue presentado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle de Guatemala, el trabajo de graduación *Diseño de una planta para la producción de poliácido láctico por policondensación a partir de ácido láctico proveniente de la fermentación de melaza utilizando el hongo *Rhizopus oryzae** por Balsells L., Alarcón P., Rossell S., Maldonado J., Aceituno P., como requisito para optar por el título de graduación.

La investigación es un estudio para implementar una planta productora del polímero llamado ácido poliláctico (PLA por sus iniciales en inglés) con el fin de promover la producción de este polímero biodegradable que fácilmente puede sustituir a los polímeros convencionales utilizados en la actualidad que no son biodegradables. Este trabajo se enfoca principalmente en el proceso y diseño de una línea de producción, pero consta también de la parte experimental para la producción de ácido láctico utilizando melaza como sustrato a partir de una fermentación microbiana utilizando el hongo *Rhizopus oryzae* que es conocido por su capacidad de producir ácido láctico a partir de las azúcares fermentables presentes en la melaza de caña de azúcar. Uno de los objetivos a tomar en cuenta es determinar la posibilidad de producir ácido láctico a partir del proceso mencionado con anterioridad.

En la etapa de fermentación, se trabajó con cuatro frascos de caldo. En donde el medio de cultivo consistía en una solución de melaza al 20% (v/v), disuelta en agua. En cada frasco se agregaron 100 mL del caldo de melaza. Tres de los cuatro frascos fueron esterilizados a 121°C y 16 psi, y luego fueron inoculados con el *Rhizopus oryzae*. Luego se dejaron los frascos en una incubadora a 30°C por 98 horas. El cuarto frasco se colocó también en la incubadora pero este no contenía el inóculo. Luego de terminada la fermentación, para determinar la presencia de ácido láctico se utilizó el método de HPLC para medir la concentración de las diferentes muestras tomadas durante la fermentación. Además, se midió la biomasa presente en cada frasco para poder determinar el rendimiento de producción de ácido láctico. Como resultados se obtuvo un rendimiento de ácido láctico respecto a la biomasa de 7.71, y un rendimiento de ácido láctico respecto a la sacarosa de 0.75.

Como conclusión del trabajo presentado se puede confirmar la producción de ácido láctico y obtener un rendimiento de 0.75 gramo de ácido láctico por gramo de sacarosa, para una fermentación utilizando el hongo *Rhizopus oryzae* a partir de melaza de caña de azúcar.

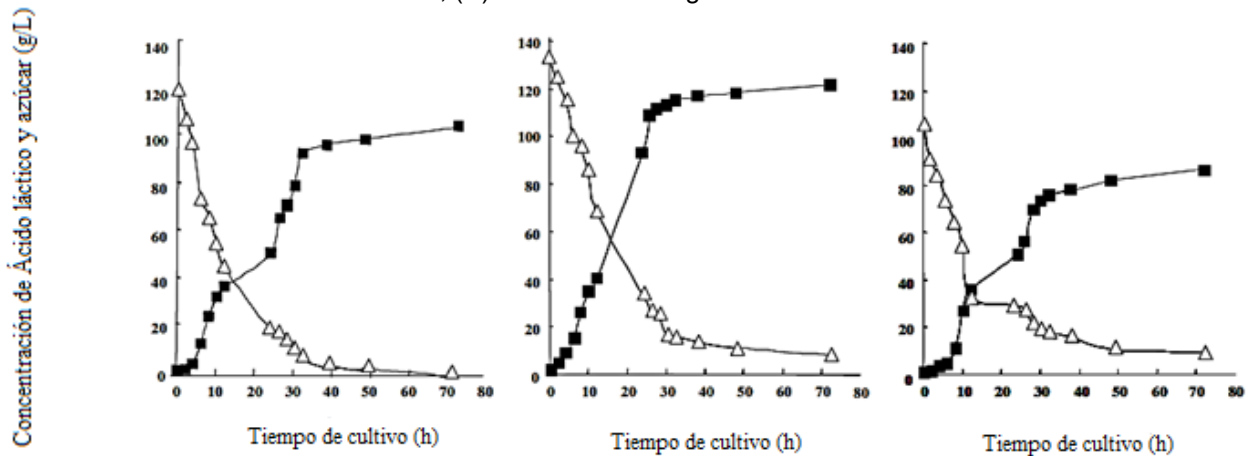
El trabajo presentado anteriormente, como se ha mencionado, se basa en una fermentación utilizando un hongo. Ahora se hablará también de artículos científicos que se basan en una fermentación utilizando bacterias o microorganismos.

Como por ejemplo, se tiene que el 31 de mayo del 2007 fue publicado por la revista *Biotechnol Lett* el artículo científico *Production of D-lactic acid from sugarcane molasses, sugarcane juice and sugar beet juice by Lactobacillus delbrueckii* por Buenaventurada P., Yutaka T.

Este estudio se enfoca principalmente en la producción de ácido láctico, para luego producir ácido poliláctico, a partir de la sacarosa como sustrato presente en melaza de caña de azúcar, jugo de caña de azúcar y jugo de azúcar de remolacha utilizando siempre el mismo microorganismo productor de ácido láctico conocido como *Lactobacillus delbrueckii* y comparar la producción de este ácido orgánico entre los diferentes sustratos mencionados anteriormente. Los resultados presentados en el artículo fueron obtenidos mediante diferentes experimentos a escala laboratorio. Para ello se realizaron fermentaciones por lote en un reactor de 5 L, a un pH controlado de 6, a una temperatura 40°C y una velocidad de agitación de 150 rpm. Se dejó fermentando durante 72 h.

El análisis de los resultados permitió determinar la producción de ácido láctico a lo largo de la 72 h de fermentación. En donde se observa una demora en la producción de ácido láctico entre las 10 y 24 h. Luego de las 24 h, la concentración de ácido láctico se incrementó rápidamente como se observa en la siguiente figura.

Figura 14: Tiempo de producción de ácido láctico de (a) melaza de caña de azúcar (b) jugo de caña de azúcar (c) azúcar de jugo de remolacha por *L. delbrueckii* JCM 1148: (▪) ácido láctico g L⁻¹, (Δ) azúcar residual g L⁻¹.



(Buenaventura, Yutakata 2007)

Cabe mencionar de los resultados que se obtuvo de una solución al 13% (m/v) de melaza de caña de azúcar (119 g azúcar totales L⁻¹), 107 g L⁻¹ de ácido láctico después de 72 h de fermentación. Como conclusión se obtuvo que es posible una producción eficiente de D-ácido láctico de melaza de caña de azúcar utilizando *Lactobacillus delbrueckii*.

También se consultó el artículo científico que en febrero de 2012, fue publicado en la revista *Pakistan journal of Botany* y presentado por Farooq U., Muhammad A., Zahoor T., Rahman S., Randhawa M., Ahmed A. y Akram K. titulado *Optimization of lactic acid production from cheap raw material: Sugarcane molasses*.

Este trabajo establece que el proceso biotecnológico tiene una ventaja sobre el químico, ya que se pueden utilizar materias primas baratas, como subproductos agroindustriales como la melaza de caña de azúcar, para producir ácido láctico de una manera sumamente económica. Para el proceso de fermentación se utilizó el microorganismo *Lactobacillus delbrueckii*. El objetivo del artículo es el de realizar el proceso de fermentación a diferentes condiciones de operación, para determinar de qué depende la formación y crecimiento de ácido láctico en la melaza de caña de azúcar utilizando *L. delbrueckii*.

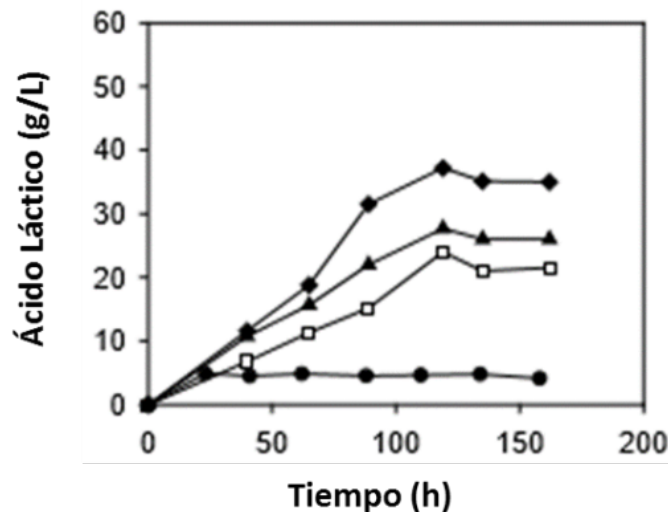
Las condiciones a las que se trabajó fueron a 34°C, 38°C y 42°C con 0, 6, 12, 18 y 24% de sustrato en 100 mL de agua. Para determinar la concentración de ácido láctico producido se utilizó un análisis HPLC. Y para el análisis estadístico de los resultados se utilizó el análisis factorial de tres factores utilizando el software Minitab. El análisis de los resultados obtenidos permitió concluir que la producción de ácido láctico está influenciada por el tiempo de fermentación, la temperatura y los niveles del sustrato

Anteriormente se han realizado estudios sobre la producción de ácido láctico a partir de fuentes ricas en glucosa utilizando el hongo *Rhizopus oryzae*. Miembros del departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Ohio State desarrollaron un biorreactor rotatorio de cama fibrosa para realizar este procedimiento a partir de maicena. Los micelios del hongo fueron inmovilizados en el reactor por un periodo prolongado para estudiar la estabilidad y la cinética del proceso. El pH y el oxígeno disuelto fueron determinados como parámetros que tienen efectos significantes sobre la productividad y el rendimiento del ácido láctico. La fermentación realizada requirió de un 90% de oxígeno disuelto porque la transferencia de este está limitada por la difusión dentro de las capas micelares. Las células inmovilizadas ofrecen la opción de tener un caldo de fermentación libre de células, es decir, libre de sólidos sedimentados al final del proceso.

Por otro lado, el departamento de Ingeniería Química de la universidad de Firat, Turquía realizó un estudio sobre los efectos de diferentes fuentes de carbono sobre la producción de ácido láctico utilizando *Rhizopus oryzae*. En este estudio se trabajó con glucosa, sacarosa, melaza y trigo. La mayor producción de ácido láctico se obtuvo cuando el caldo tenía 150 g/L de glucosa con un rendimiento de 60% (m/m). La fuente de carbón menos efectiva fue el trigo. La pasteurización de la melaza aumenta la producción. La

producción de ácido láctico a partir de diferentes concentraciones de melaza de azúcar, comparada con la sacarosa y glucosa, fueron todas menores. La productividad del proceso de fermentación a partir de la melaza se puede observar en la siguiente gráfica.

Figura 15: Productividad de ácido láctico en la fermentación de melaza



El estudio demuestra claramente que la producción de ácido láctico es afectada por las fuentes de carbono utilizadas para el proceso de fermentación. Lógicamente, los azúcares definidos como la glucosa y la sacarosa son las materias primas más adecuadas para la producción de ácido láctico, sin embargo es posible utilizar sub productos. La productividad con las distintas fuentes fue la siguiente: 60 g/L con glucosa, 21 g/L con sacarosa, y 40 g/L con melaza pasteurizada.

En el 2008, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología realizó un proyecto sobre la obtención de ácido láctico a partir de la caña de azúcar. Se llevaron a cabo pruebas experimentales para comprobar la factibilidad de transformar, sin su previa extracción, los azúcares solubles presentes en la caña de azúcar maduran a ácido láctico. Se utilizó una cepa del hongo *Rhizopus oryzae*.

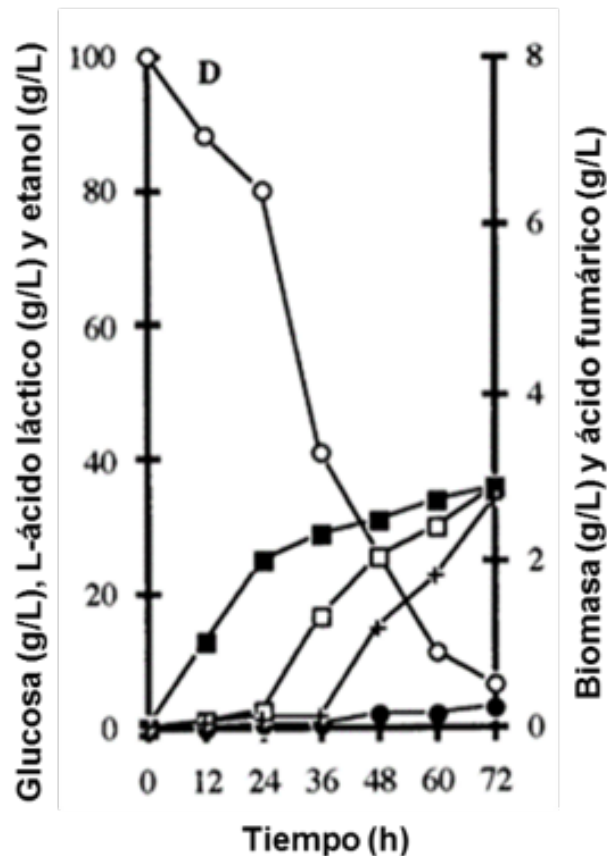
El crecimiento fue notorio y el rendimiento para el caso del hongo de ácido láctico en base al azúcar consumido fue igual a 0.89, valor que estuvo en el rango alto de los rendimientos reportados en la literatura con otros sustratos.

En el caso del hongo *R. oryzae* asimiló sin problemas los tres azúcares presentes en el jugo de caña, sacarosa, fructosa y glucosa. Además, creció mejor al agregar 4 g/L de una fuente de nitrógeno inorgánico, fosfato y magnesio.

El hongo resultó sensible a la disminución del pH en el medio. La acumulación del ácido en el medio inhibió drásticamente el crecimiento microbiano, disminuyendo las tasas de consumo de azúcar y de producción de ácido. La adición de carbonato de calcio sólido a los frascos no aportó ninguna mejoría.

Por último, en un estudio realizado por Soccol, *et al* se obtuvo la siguiente gráfica:

Figura 16: Concentraciones de glucosa, biomasa, ácido láctico, etanol y ácido fumárico en un período de 72 horas con condiciones limitadas de oxígeno y adición de carbonato de calcio (CaCO_3).



Considerando el trabajo de graduación presentado en octubre del 2014 en la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle de Guatemala, *Diseño de una planta para la producción de poliácido láctico por policondensación a partir de ácido láctico proveniente de la fermentación de melaza utilizando el hongo Rhizopus oryzae*, específicamente el módulo de la Ing. Pilar Soto, donde se encuentra calculado el peso molecular del oligómero de PLA sintetizado por medio de la reacción original que consistía en solamente en un sistema de vacío más calentamiento. Se decidió utilizar esta fase, ya que posee más credibilidad que la primera fase debido a las experimentaciones que realizaron.

Los resultados reportados para el peso molecular del oligómero en experimentaciones anteriores se presentan a continuación:

Tabla 3: Pesos moleculares reportados en experimentaciones anteriores de oligómeros

Temperatura (°C)	Peso molecular promedio (g/mol)
140	443.5028
150	557.2567
160	421.9685
170	493.9147

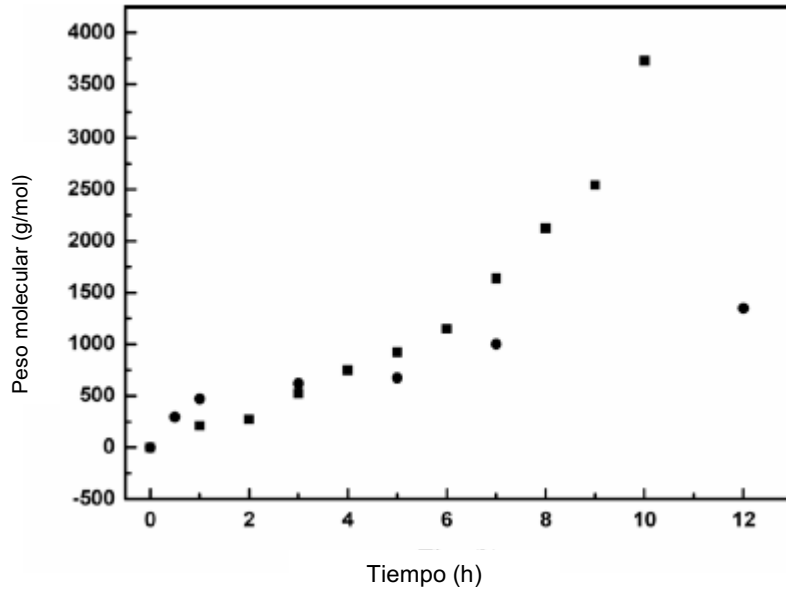
(Soto & *al.*, 2015)

Se propuso una nueva reacción, ya que el mayor peso molecular reportado fue de 557.2567 g/mol a un tiempo de 8 horas con una temperatura de 150°C y este no es comparable contra el propuesto por la literatura para ser un buen precursor que se necesita alrededor de 5000 g/mol (Figura 3). La reacción alternativa fue obtenida a partir de un estudio realizado por la Universidad de Sungkyunkwan en Korea titulado *Reaction Kinetics for the Synthesis of Oligomeric Poly(lactic acid)* donde se presentan diferentes resultados de peso molecular del oligómero de PLA por medio de muchos procedimientos utilizando diferentes catalizadores para la reacción, así como también diferentes temperaturas.

Se realizó la reacción con el catalizador y la temperatura recomendada por los investigadores, ya que proporcionaba la mayor velocidad de reacción. La temperatura utilizada para realizar el experimento fue un intervalo entre 200-210°C y el catalizador utilizado fue ácido sulfúrico (H₂SO₄) buscando un tiempo de reacción de 5-9 horas.

A continuación, se presenta la gráfica a utilizar para comparar el peso molecular obtenido en la experimentación contra un resultado teórico, siendo este el obtenido en el artículo antes mencionado:

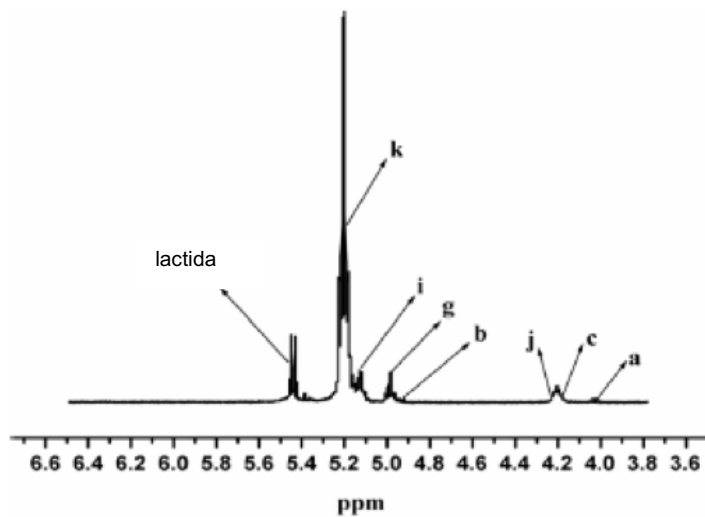
Figura 17: Variación de peso molecular de PLA en función de la reacción a presión reducida (cuadrado) y atmosférica (círculo).



(Keun Yoo & Kim, 2005)

Para calcular dicho peso molecular se utilizará el método de Análisis de Grupo final que puede avocarse en la sección de Marco Teórico para una breve explicación. Para lograr este análisis es necesario saber cuáles son los picos característicos de la molécula y en qué posición aparecerán. El artículo citado para la reacción alternativa presentaba cuáles eran los picos característicos, así como también el rango que aparecerían los mismos. A continuación, se presenta la imagen del espectro NMR para el oligómero de PLA de un rango de 3.6 a 6.6 ppm:

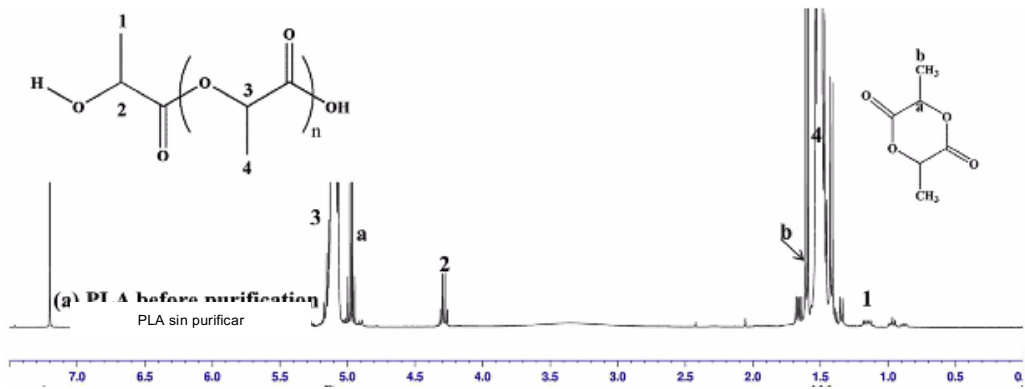
Figura 18: Espectro HNMR de PLA de bajo peso molecular



Los picos de interés, citando al artículo, son los k, i, g y b para los picos característicos de la molécula interior y los picos j y c representan los grupos finales de la molécula.

Sin embargo, esto no es suficiente para determinar si este espectro es el correcto para el PLA, por lo que se buscó otro espectro para su comparación que contuviera todo el espectro y no solo un rango del mismo. Este espectro completo antes de purificación, no se purificará en esta investigación, fue obtenido de un artículo en la revista de ELSEVIER en la sección de polímeros titulado "Bio-based triblock copolymers from natural rubber and poly(lactic acid): Synthesis and application in polymer blending" escrito por (Chumeka, Pasetto, Pilar, & Tanrattanakul, 2014). El espectro es presentado a continuación:

Figura 19: Espectro HNMR del prepolímero de PLA



(Chumeka, Pasetto, Pilar, & Tanrattanakul, 2014)

El trabajo de graduación presentado en octubre del 2014 el trabajo titulado: *Diseño de una planta para la producción de poliláctico por policondensación a partir de ácido láctico proveniente de la fermentación de melaza utilizando el hongo Rhizopus oryzae* por Balsells L., Alarcón P., Rossell S., Maldonado J., Aceituno P., se enfoca principalmente en el proceso y diseño de una línea de producción, con objetivo principal determinar la posibilidad de producir ácido láctico a partir fermentación de melaza utilizando el hongo *Rhizopus oryzae*. Pero no se estudiaron métodos de extracción del ácido láctico producido en la fermentación realizada, por lo que se mencionaran algunos estudios consultados en la literatura.

Se han realizado estudios para una mejor extracción de ácido carboxílicos y en específico del ácido láctico. Debido a que el ácido láctico es un compuesto muy versátil utilizado en las industrias química, farmacéutica, de alimentos y del plástico, se buscan alternativas para obtener una extracción y purificación más eficiente. Varios estudios se han realizado para poder reducir el costo de algunos de los procesos para la obtención del ácido láctico.

Un estudio realizado en la Universidad de Mumbai en el instituto de tecnología química, por Wasewar, Heesink, Versteeg y Pangarkar, muestra la cinética de la extracción del ácido láctico en presencia de una amina llamada Alamina 336, para poder estudiar cómo se ve afectada la cinética de la extracción en presencia de solventes con Alamina 336.

Otro estudio realizado en el 2001 (Instituto de Ciencia y Tecnología de Korea, Yean Ki Hong, Won Hi Hong y Dong Hoon Han) pero en relación al efecto del largo de la cadena de la amina para extracción, en el cual la extracción con aminas terciarias aumenta la extracción con solvente, aunque se debe tener en cuenta el pH. En la experimentación de este estudio, la extracción con aminas y solventes orgánicos se da por medio de los puentes de hidrógeno formados con las moléculas de ácido láctico no disociadas. Por lo que a pH más ácidos (mayor disociación del ácido) se disminuye la extracción de ácido láctico.

En el Departamento de Ingeniería Química, en la Universidad Berkeley de California, se realizó una investigación (Extracción de ácidos carboxílicos con aminas extractantes; efecto de la temperatura, concentración de agua y consideraciones de procesos) realizada por Janet A, Tamada y C. Judson King. Este estudio permite analizar que la extracción de ácidos carboxílicos con distintos solventes, disminuye en relación al aumento de temperatura. Por lo que se recomienda trabajar a temperaturas bajas, no más de 50 °C, dependiendo del solvente. Otro aspecto que se analiza en este estudio es la importancia de la polaridad de los solventes con los que se trabaja, por lo que probaron con alcoholes (como el 1-octanol) y compuestos más apolares como el heptano. Solventes utilizados también en el estudio realizado por Agnieszka Krzyaniak, en la Universidad de Eindhoven de Tecnología en Eindhoven. En esta investigación, *proyección de extracción líquido-líquido en vías de producción ambientalmente benignos*, se plantean distintos métodos de extracción líquido-líquido, como la extracción con aminas (que es el caso del presente trabajo de megaproyecto), extracción con amidas y extracción con superbases. El ácido láctico en esta investigación se trabajó al 0.13M, con porcentajes en masa de solvente de 20% hasta 100% y un porcentaje de trioctilamina (TOA) de 20% en masa de solvente agregado.

Por otra parte, haciendo referencia nuevamente al trabajo presentado en octubre del 2014 fue presentado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle de Guatemala, el trabajo de graduación *Diseño de una planta para la producción de poliácido láctico por policondensación a partir de ácido láctico proveniente de la fermentación de melaza utilizando el hongo Rhizopus oryzae*, por Balsells L., Alarcón P., Rossell S., Maldonado J., Aceituno P., como requisito para optar por el título de graduación, en la investigación se hace un análisis con utilizando datos del Sistema Arancelario Centromericano de los polimeros que en ese entonces de importaban a Guatemala y podían ser sustituidos por PLA.

Tabla 4: Tipos de polímeros sustituibles en 2013

Polímeros de etileno (polietileno)	Polietileno <0.94
	Polietileno >0.94
	Copolímeros de etileno
	De alta densidad, tipo twist
	Las demás
	Flexibles de espesor inferior o igual a 0.10
Polímeros de propileno (Polipropileno)	Polipropileno
	Copolímeros de polipropileno
	Estratificadas, reforzadas o combinadas
Polímeros de estireno	Copolímeros de estireno-acrilonitrilo (san)
	Copolímeros de acrilonitrilo-butadieno-estireno
PET	Poli(terefalato de etileno) (pet)
	Estratificadas, reforzadas o combinadas

Fuente: Sistema Arancelario Centroamericano y *Diseño de una planta para la producción de poliácido láctico por policondensación a partir de ácido láctico proveniente de la fermentación de melaza utilizando el hongo Rhizopus oryzae*

Además, en el mismo trabajo de graduación, se hace una propuesta de demanda optimista, más probable y pesimista de los polímeros considerados. Estas demandas se presentan en la Tabla No. 4. Estos cálculos se determinaron a partir del comportamiento del crecimiento de la importación de polímeros en el país.

Tabla 5: Escenarios propuestos de la demanda de PLA en toneladas métricas

Año	Optimista (t)	Más probable (t)	Pesimista (t)
2014	9,477	684	180
2015	10,102	373	193
2016	10,818	453	276
2017	11,618	523	349
2018	12,462	551	379
2019	13,391	619	449
2020	14,419	699	531
2021	15,563	794	628
2022	16,842	905	742
2023	18,281	1037	876
2024	19,905	1193	1,034

Fuente: *Diseño de una planta para la producción de poliácido láctico por policondensación a partir de ácido láctico proveniente de la fermentación de melaza utilizando el hongo Rhizopus oryzae*.

Además de calcular la demanda producida, se realizaron cotizaciones de importaciones de PLA, con el objetivo de comprar si el precio al que se produciría el polímero en Guatemala era competitivo.

Tabla 6: Precios FOB (colocado en puerto de China) y precios CIF (colocado en bodega) de PLA

PLA						
Empresa	Localización	Precio/ t (FOB)	Capacidad de oferta (t)	Días	Precio/ t (CIF)	
Shanghai tong-jie-liang biomaterial	Shangai, china	\$ 3,750.00	1,000	60	\$ 4,262.72	
Dalian bona biological technology	Liaoning, china	\$ 1,390.00	1,100	60	\$ 1,595.67	
Glory tang technology	Tianjin, china	\$ 2,875.00	1,600	66	\$ 3,273.64	
Tianjin tiger international trade	Tianjin, china	\$ 3,250.00	1,600	66	\$ 3,697.39	
Shanghai guanghe bio-tech	Shangai, china	\$ 4,150.00	200	60	\$ 4,721.72	
Wuhu bridge trade	Anhui, china	\$ 5,500.00	350	60	\$ 6,243.07	
Hangszhou ruijiang chemical	Zhejiang, china	\$ 3,950.00	375	60	\$ 4,491.70	
Guangzhou baochu chemical	Guangdong, china	\$ 2,700.00	1,600	66	\$ 3,075.44	
Dongguan pionner trading	Guangdong, china	\$ 3,840.00	1,600	54	\$ 4,363.64	
Suzhou hanfeng new material	Jiangsu, china	\$ 1,400.00	1,000	60	\$ 1,607.22	
Nota: se hace referencia a medidas en toneladas (t) del Sistema Métrico Internacional					Promedio	\$ 3,733.22

Fuente: Focus Technology Co., Ltd, "Megaproyecto: Diseño de una planta para la producción de poliácido láctico por policondensación a partir de ácido láctico proveniente de la fermentación de melaza utilizando el hongo *Rhizopus oryzae*"

Por último, en el trabajo de graduación mencionado, se presenta un tabla que muestra la demanda real en los años 2010 a 2013 de PLA en Guatemala. Esta información es de acceso público, a través del Banco de Guatemala.

Tabla 7: Importaciones de PLA en Guatemala en los últimos tres años

Año	Valor CIF	Peso en kg	Precio/ kg	Precio/t (CIF)
2010	\$7,205	3,110	\$2	\$2,317
2011	\$2019	795	\$3	\$2,540
2013	\$ 408	47	\$9	\$8,673
PROMEDIO				\$ 4,510

Fuente: Banco de Guatemala, "Megaproyecto: Diseño de una planta para la producción de poliácido láctico por policondensación a partir de ácido láctico proveniente de la fermentación de melaza utilizando el hongo *Rhizopus oryzae*"

VI. Metodología

A. Selección de condiciones de fermentación a trabajar.

1. Investigación literaria para determinar las condiciones trabajadas en estudios para la producción de ácido láctico.
2. Las condiciones que producen más cantidad de ácido láctico son a 40°C y a 150 rpm, según literatura.
3. Para el estudio técnico se decidió trabajar a dos temperaturas diferentes de 37°C y 43°C, y dos velocidades diferentes de 100 rpm y 150 rpm para determinar la influencia de estos parámetros básicos en la producción de ácido láctico.

B. Caracterización melaza

1. En un beaker de 150 mL, se agregaron 10 g de melaza pura, los cuales se pesaron en una balanza analítica.
2. Se agregaron 100 mL de agua destilada en el beaker para tratar de disolver la mayor cantidad de melaza posible.
3. Se agitó la solución vigorosamente con una varilla de vidrio hasta que ya no quedaran grumos de melaza. (Aproximadamente 3 mins para garantizar la homogeneización).
4. En un balón de 100 mL, se agregó la solución y se aforó con agua destilada.
5. Trasvasar la solución a un beaker de tamaño adecuado que permita una manipulación apropiada.
6. Se rotuló el beaker con masking tape con la etiqueta 10% (m/v).
7. Se midió la temperatura de la solución con un termómetro de mercurio durante 1 min mínimo para garantizar un valor representativo y se anotó el valor.
8. Se midió la cantidad de sólidos disueltos (grados Brix) con la ayuda de un refractómetro.
9. Se midió la conductividad y el pH utilizando un equipo HACH y seguir el procedimiento para el manejo de los electrodos y su limpieza
10. Se midió la viscosidad con un viscosímetro y se anotó el valor.
11. Se realizó el mismo procedimiento descrito anteriormente, realizando diluciones volumétricas con 30, 50, 90 g de melaza.

C. Medición de pH y temperatura

1. Se calibró el *HACH sension156* para medir pH según el manual, sección 3.3.2 "Performing a Manual Calibration" página 31-32.
2. Se midió el pH y la temperatura siguiendo los pasos del manual, sección 3.4 *Measuring samples* página 34.
3. Se realizó el mismo procedimiento en triplicado.

D. Medición de conductividad

1. Se calibró el *HACH sension156* para medir conductividad según el manual, sección 4.3.1 “*Calibrating with a known NaCl Standard*” página 40-41.
2. Se midió la conductividad siguiendo los pasos del manual, sección 4.4 *Measuring Conductivity*, página 43.
3. Se realizó el mismo procedimiento en triplicado.

E. Fermentación para láctica con cultivos de ácido láctico

1. Para el proceso de fermentación se prepararon dos soluciones madre de mosto al 20% (m/v) utilizando melaza del Ingenio Magdalena TK#4 zafra 15-16.
2. Para cada una se pesaron 400 g de melaza en un beaker de 1 L, y se agregaron 1000 mL de agua destilada. Con una varilla de vidrio se agitó hasta disolver toda la melaza y se trasvasó a un balón aforado de 2 L. Antes de aforar el balón, se preparó el cultivo láctico a trabajar para posteriormente ser agregado a la solución madre.
3. Para preparar el cultivo láctico se esterilizó con alcohol la cristalería, equipo y área a utilizar.
4. Se retiró el cultivo del congelador justo ante de ser utilizado, no se debe de descongelar. Se limpió la parte superior del sobre con alcohol.
5. En un beaker se pesaron 2 g del cultivo, y se agregaron 50 mL de agua destilada. Con la ayuda de una varilla de vidrio se agitó durante 10 minutos hasta disolver por completo el cultivo.
6. La solución preparada del cultivo se agregó a la solución madre del balón de 2 L y finalmente se terminó de aforar con agua destilada.
7. Se trabajó con dos cultivos distintos y se realizó el mismo procedimiento para preparar ambos cultivos.
8. Se preparó una solución de NaOH al 20% (m/v). Se midió el pH con el HACH a la solución madre. Si el pH no era de 6.00, se agregó gota a gota solución de NaOH 20% (m/v) hasta llegar a pH de 6.00.
9. Se prepararon, lavaron y esterilizaron 20 erlenmeyer exclusivamente para uso en la incubadora.
10. Para esterilizar la cristalería se utilizó un autoclave y se dejó esterilizando durante 25 minutos aproximadamente.
11. Se trabajó con 10 erlenmeyer para cada cultivo. Se agregaron 200 mL de la solución madre a cada erlenmeyer.
12. Los reactores se trasladaron a la incubadora, y se ajustó a las condiciones a trabajar, como se muestra en la Figura 24 y 25 en la sección de anexos.

13. Se realizaron cuatro corridas, cada una a 37°C – 100 rpm, 37°C – 150 rpm, 43°C – 100 rpm y 43°C – 150 rpm respectivamente, y se dejó fermentando durante 72 h.
14. Se tomó 10 mL del mosto fermentado para muestreo y se agregaron en viales. Estos fueron almacenados en frío para evitar su descomposición.

F. Fermentación láctica, utilizando *Rhizopus oryzae*

1. Se realizó una solución madre de mosto de 2 L en un balón aforado al 20% (m/v). Para este experimento se utilizaron diez erlenmeyer de incubadora de 250 mL con 200 mL de mosto, los cuales actuaron como los biorreactores.
2. Los diez frascos se esterilizaron a 120 °C y 15 psi durante 20 mins, seguido de lavados con acetona/etanol para garantizar la inocuidad de los mismos.
3. Al estar esterilizados se inoculó cada biorreactor con pellets de 1cm x 1cm de un cultivo en agar nutritivo confinado en una caja Petri del hongo *Rhizopus oryzae*.
4. Luego de haber inoculado el hongo, los frascos se trasladaron a una incubadora con una temperatura de 30 °C y con una velocidad de agitación de 150 rpm, la cual permaneció en esas condiciones durante un período de 72 horas.
5. Después de haber pasado 24 horas, se agregaron 5 g/biorreactor de carbonato de calcio.
6. Se repitió el mismo procedimiento para las siguientes condiciones: 30 °C - 200 rpm, 35 °C - 150 rpm y 35 °C 200 rpm.

G. Análisis ácido láctico

1. El método utilizado para determinar la cantidad de ácido láctico producido fue Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) con un equipo Hewlett Packard 1100 Series y una columna 79916OD-572 ODS Hypersil con dimensiones de 200 x 2.1 mm y un tamaño de partícula de 5 micrones.
2. Las pruebas se realizaron en condiciones isocráticas a 10 °C con una longitud de onda de 224 nm utilizando una fase móvil constituida de una solución 50 mM de fosfato (disolver 6.8 g de fosfato ácido de potasio en 900 mL de agua destilada; el pH debe ser ajustado a un valor de 2.8 con ácido fosfórico y luego aforar a 1000 mL con agua destilada) filtrada en una membrana de poliamida de 0.2 µm y remover el gas con un sistema de vacío.
3. El flujo de la fase móvil fue de 0.7 mL/min para todas las separaciones en la cromatografía. La columna de separación fue balanceada con la fase móvil hasta que la línea base se quedó estable y fue en este momento donde se realizaron las inyecciones de 5 µl de cada una de las diez muestras.
4. Los porcentajes de ácido láctico obtenidos en las muestras se compararon contra estándares con porcentajes de 5%, 7.5%, 15% y 20% (v/v).

5. Para preparar la solución madre se midieron 91.5 mL de ácido láctico grado reactivo y se trasvasaron a un balón aforado de 100 mL y se aforó con agua destilada.
6. Para preparar las soluciones hijas se extrajeron 5, 10, 15 y 20 mL de la madre y se aforaron en balones separados de 25 mL

H. Análisis azúcares

1. El método utilizado para determinar la concentración de azúcares en las muestras de la fermentación láctica fue Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) con una columna Hi Plex Ca serie 0001024728-65.
2. El flujo de la fase móvil (agua) fue de 0.6 mL/min con un tiempo de corrida de 25 min por muestra. El volumen de inyección para cada muestra fue de 20 μ L.
3. Se trabajó bajo condiciones isocráticas con una temperatura de columna de 75 °C y una temperatura del detector de 50 °C.
4. Para las soluciones estándar se deben pesar 5 g de glucosa y fructosa y 20 g de sacarosa en un beaker, disolverlas y luego trasvasar volumétricamente a un balón aforado de 100 mL y aforar para obtener la solución madre.
5. Luego, extraer con pipetas volumétricas 5, 10, 15 y 17.5 mL de la solución madre y aforar en balones de 25 mL.
6. Al final, se obtienen soluciones hijas con concentraciones de 1, 2, 3 y 3.5% (m/v) de glucosa y fructosa y 4, 8, 12 y 14% (m/v) de sacarosa. Al peso teórico de la madre se le debe multiplicar la pureza al momento de obtener las concentraciones reales.

I. Análisis factorial

Para comprobar cuál de las cuatro corridas realizadas a escala laboratorio, se realizó un análisis factorial de dos niveles con una sola réplica y el procedimiento se muestra descrito en el apartado de Anexos, segundo inciso.

J. Reacción de polimerización

1. Se calentó la olla con arena 24h antes de comenzar la experimentación a una temperatura de 375°C utilizando una estufa eléctrica.
2. Se armó sistema de condensación utilizando un kit de destilación.

Figura 20: Sistema de reacción vista frontal

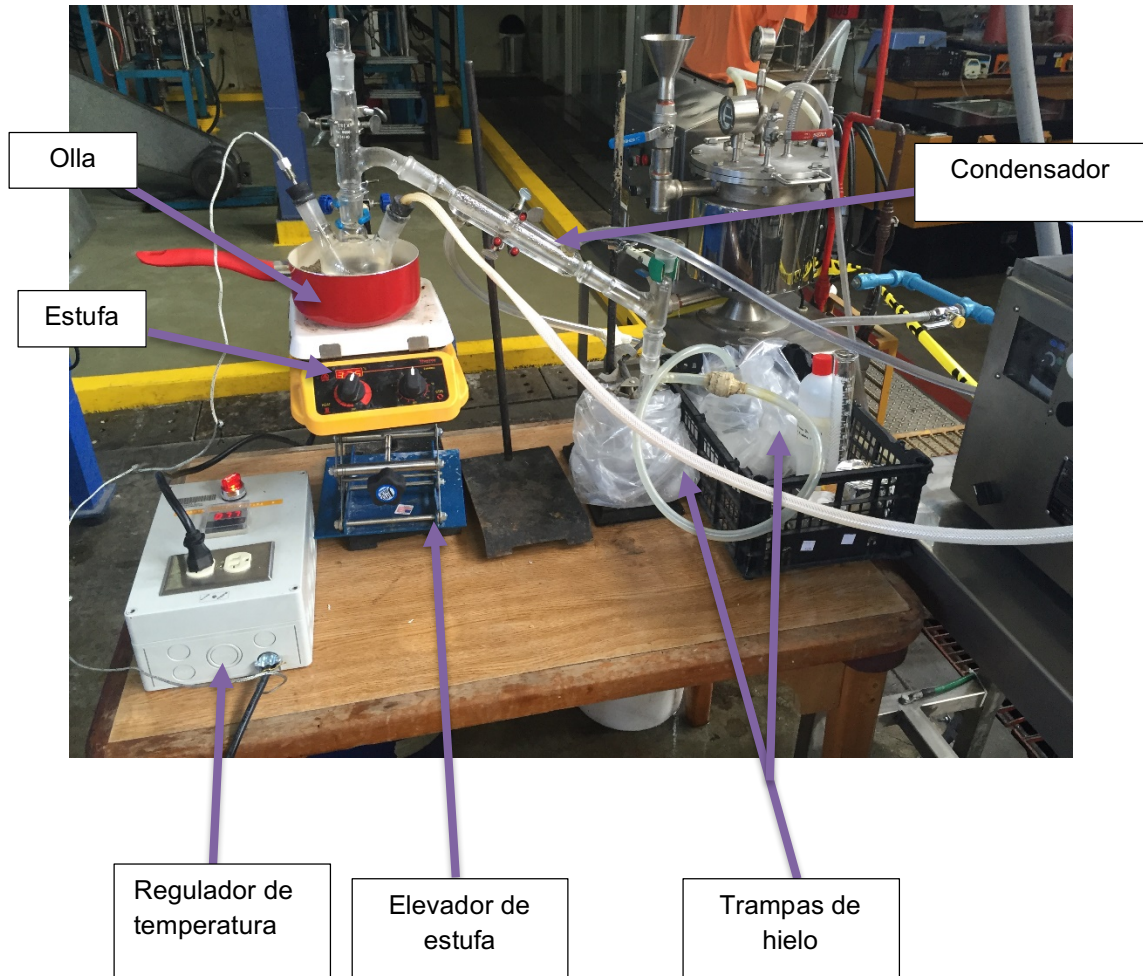
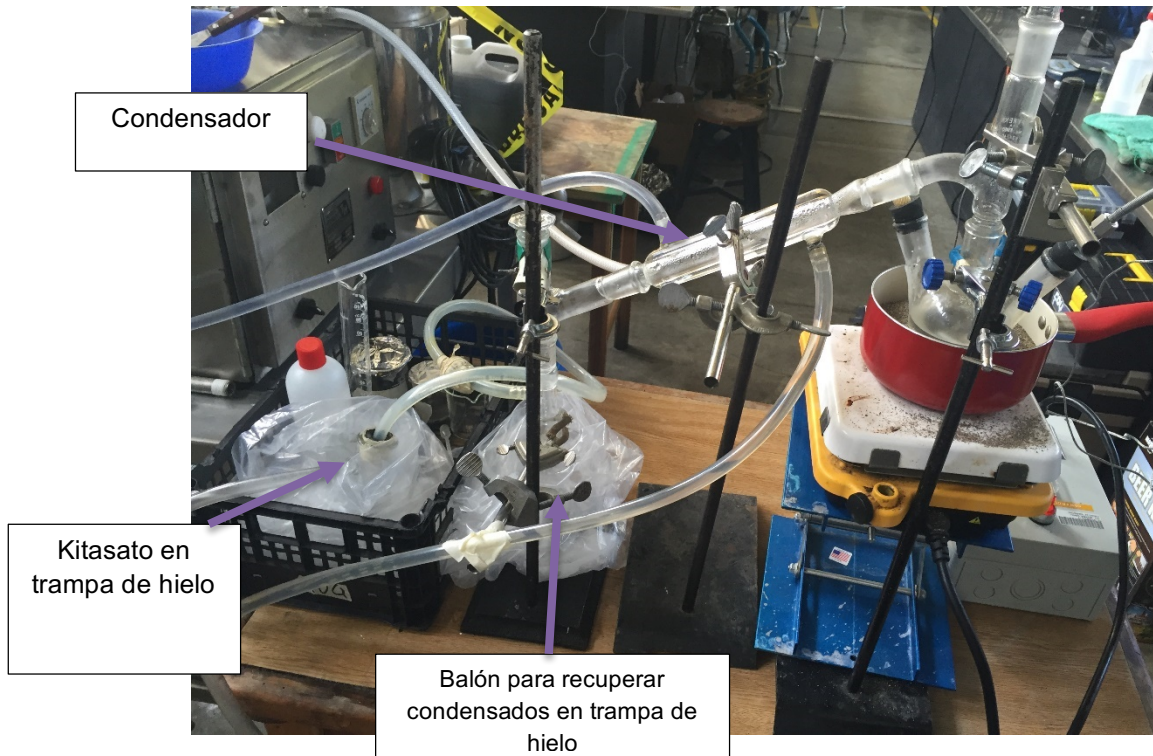
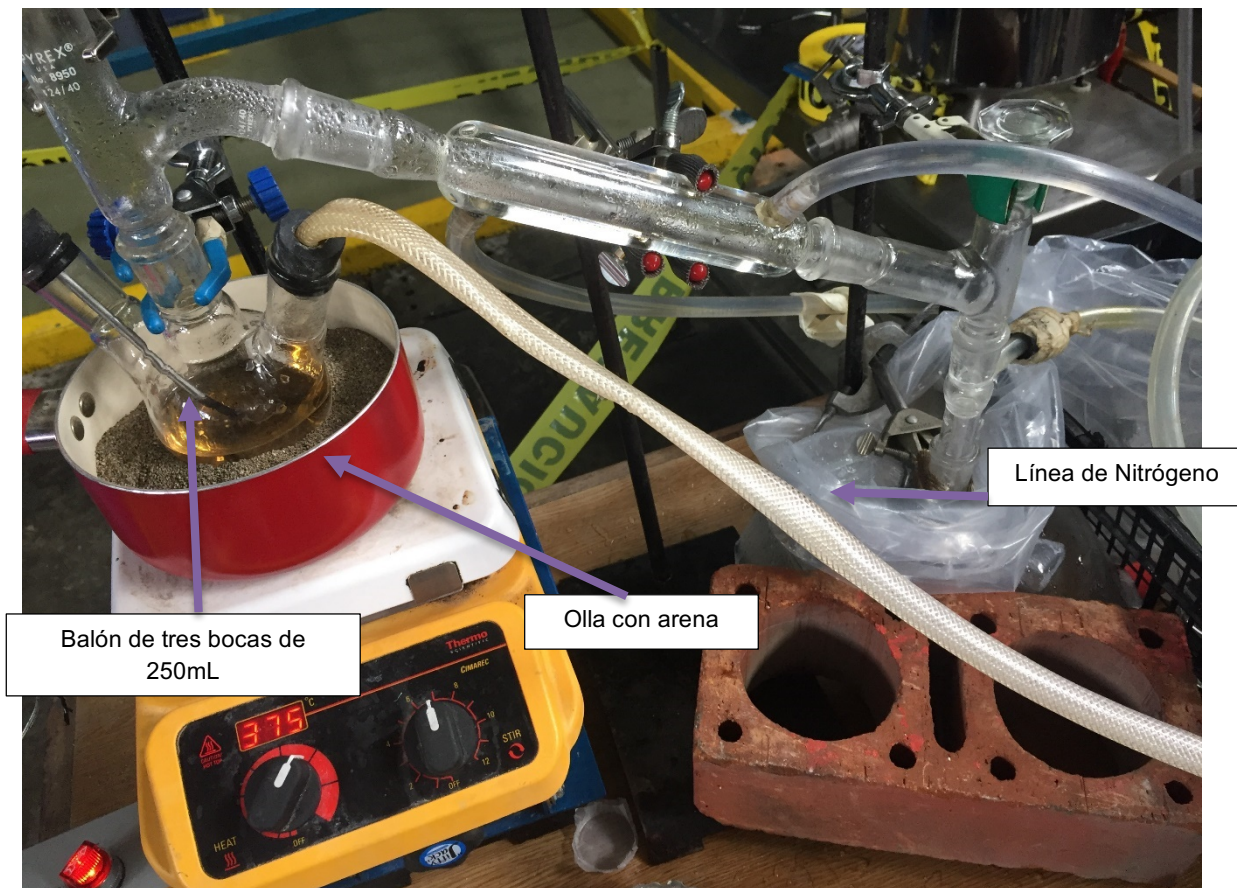


Figura 21: Sistema de reacción vista trasera



3. Se pesó el kitasato para obtener su masa y anotarla para ser utilizada posteriormente en el método de recuperación de condensados (Inciso C de metodología).
4. Se colocó dentro de las bolsas de plástico de 25lb el balón para recuperar condensados y el kitasato.
5. Se vertió agua dentro de la bolsa de tal forma que cubriera la mayoría de la cristalería.
6. Se agregó hielo dentro de la bolsa periódicamente para mantener una baja temperatura en la trampa de hielo, así como también se quitó el exceso de agua formado por el hielo derretido.
7. Se procedió a pesar 150g de S-Ácido láctico marca Merck al 90%, siendo esto aproximadamente de 138 mL utilizando densidad de la solución especificada en el envase con una proporción de 0.1% (p/p) de una solución al 99% de H_2SO_4 siendo alrededor de 0.1 mL de solución de ácido sulfúrico.
8. A continuación, se vertieron los reactivos del paso 7 en un balón de 3 bocas de 250mL y se colocó en el sistema de condensación previamente armado.
9. El balón se introdujo en un baño de arena previamente calentado y se aumentó la temperatura hasta 200-210°C utilizando una estufa Thermo Scientific Cimarec a una temperatura de 375°C y un nivel de agitación de 7.

Figura 22: Sistema de reacción acercamiento vista frontal



10. Se produjo una atmósfera de nitrógeno dentro del sistema haciendo que fluyera gas nitrógeno y un vacío de conectado al kitasato al final del sistema.
11. Se esperó hasta a tener la primera gota de destilado en el balón y a partir de ese momento, se inició a contar tiempo de reacción.
12. Se procedió a cortar latas de aluminio por la mitad como recipientes para obtener el oligómero caliente.
13. Al finalizar la reacción, utilizando guantes de seguridad, se procede a desarmar el sistema y verter la solución de color café oscuro dentro de las latas previamente cortadas.
14. Se debe esperar a que la temperatura bajE y la muestra se debe colocar en el congelador y durante 24h para realizar el método de análisis posterior.

K. Método de análisis NMR

1. Se descongeló oligómero producido.
2. En un beaker de 5mL, se colocó utilizando una pipeta Pasteur suficiente cloroformo deuterado para poder utilizar el equipo de NMR marca Varian, modelo EM360L, núcleo de observación Hidrógeno, campo 14.092 Kgauss y 60 mega Hertz de frecuencia de campo de rotación.
3. Se realizaron pruebas para obtener los espectros NMR.
4. Se comparó el espectro obtenido contra el espectro teórico citado y confirmó que los picos significativos se encuentran en la misma frecuencia.
5. A continuación, se integraron los picos obtenidos con el equipo de NMR.
6. Se encontraron los pesos moleculares utilizando el método de análisis de grupo final.
7. Se comparó el peso molecular obtenido contra el reportado en la teoría y contra el peso molecular reportado en la fase anterior del megaproyecto (557.2567 g/mol)
8. Si resultó el mejor método, se realizó un ajuste utilizando el software Microsoft Excel para obtener la ecuación de cinética.

L. Método de análisis por condensados

1. Se desacopló el kitasato del sistema tras haber detenido la reacción.
2. Se virtieron los condensados obtenidos en el balón dentro del kitasato previamente tarado.
3. Se procedió a pesar el kitasato con los condensados y restarle el peso de la tara para obtener el peso de los condensados obtenidos.
4. El peso de los condensados obtenidos se convirtió a moles de agua.
5. Debido a la relación que existe en la reacción, por cada mol de agua se produce 1 mol de ácido, por lo tanto, los moles de ácidos carboxílicos fueron igual a los moles de agua producidos.
6. Se calculó la conversión de los ácidos carboxílicos, las repeticiones y el peso molecular promedio.
7. Si resultó el mejor método, se realizó un ajuste utilizando el software Microsoft Excel para obtener la ecuación de cinética.

M. Ecuación cinética de ácidos carboxílicos

1. A partir de los pesos moleculares obtenidos por el mejor método de análisis (condensados o NMR) se encontraron las unidades repetitivas.
2. Se determinó la conversión X_a .
3. Se encontró la concentración final de ácidos carboxílicos (COOH).
4. Se linealizaron los datos utilizando el método integral.
5. Se realizó una regresión lineal utilizando el software Microsoft Excel

6. Se obtuvo el mejor ajuste lineal cambiando el orden.
7. Se utilizó el mejor ajuste lineal para obtener la ecuación de cinética.

N. Evaluación del efecto de triocilamina

1. Se prepararon soluciones, 11 soluciones para el heptano, 12 y 11 para el dodecanol y octanol respectivamente, con las cantidades de la tabla 83,84 y 85 que se encuentran en anexos.
2. Se colocó el solvente y la solución acuosa en un recipiente de aproximadamente 100 mL, como el que se muestra en la Figura 23, se agitó y se dejó reposar en un baño térmico (figura 24) durante 17 horas a una temperatura de 25 °C. Se sumergía el frasco aproximadamente 5 cm, para evitar que flotarían.
3. Se extrajo la fase acuosa con una pipeta pasteur de plástico, para luego colocarlo en viales de vidrio de 1.5 mL para su análisis.
4. Se realizaron pruebas con Cromatógrafo de gases con detector de masas, La columna fue una DB-WAX 60 metros de largo, 0.25 mm diámetro interno, 0.25um recubierto. Las condiciones del horno: 50 °C por 3 minutos, 10°C/min hasta 80°C por 4 minutos, 30 °C/min hasta 220°C por 10 min. Inyector 220 °C Split 10:1. Interfase 260°C.1 uL de volumen de inyección. Esto para determinar la concentración de ácido láctico en la fase acuosa.
5. Se realizaron réplicas (10 soluciones para el heptano, 12 y 11 para el dodecanol y el octanol respectivamente) de las soluciones del inciso uno, para luego agregar 12% en masa de triocilamina a las distintas soluciones. Para consultar las cantidades agregadas, se puede consultar las tablas 86,87 y 88 en anexos.
6. Se repitió del paso 2 al 4.

Figura 23: Recipiente para realización de extracción de ácido láctico



Figura 24: Baño térmico para mantener la temperatura de la extracción de ácido láctico



Tabla 8: Listado de reactivos utilizados en la metodología

Reactivo	Marca	Pureza	Toxicidad	Desecho
Melaza	Ingenio Magdalena TK#4, zafra 15-16	-	No tóxico	Diluir en agua
Glucosa	Merck	97%	No tóxico	Lavabo
Sacarosa	Merck	98%	No tóxico	Lavabo
Fructosa	Merck	98%	No tóxico	Lavabo
Ácido láctico	Merck	90%	Irritación cutánea	Lavabo
Ácido fosfórico	Merck	100%	Altamente tóxico	Neutralizar
Carbonato de calcio	Merck	96%	Peligroso inhalarlo	Diluir en agua
Agua destilada	-	-	No tóxico	Lavabo
Hidróxido de Sodio	-	20%	Irritante y corrosivo	Neutralizar
S-Ácido Láctico	Merk	90%	Irritación	Lavabo
Nitrógeno	-	-	No tóxico	-
Cloroformo	-	-	Altamente tóxico	Incinerarse
Trioctilamina para síntesis	Merk	-	Tóxico	Almacenar
1-Octanol	Merk	99%	Tóxico	Almacenar
1-Dodecanol	Merk	98%	Tóxico	Almacenar
n-Heptano	Merk	99%	Tóxico	Almacenar

Tabla 9: Listado de equipos utilizados en la metodología

Equipo	Capacidad
HACH, sesion 156	
Beaker	1L, 5mL
Balon aforado	2L
Erlenmeyer	
HPLC	Columna Hi Plex Ca Serie 0001024728-65
Ollas	
Estufa, Thermo Scientific Cimarec	
Regulador de Temperatura	
Condensador	
Latas de Aluminio	
Pipeta Pasteur	1.5mL
NMR, Varian, EM360L	
Baño tèrmico	50x10 cm
Frascos de vidrio con corcho	10x4cm
Termocupla digital	
Balanza digital analicita	
Cromatogrado de gases con detector de masas	Columna DB-WAX 60 metros de largo, 0.25 mm diámetro interno, 0.25um recubierto

O. Estudio de mercado

Iniciando con una investigación utilizando fuentes de internet, videos, artículos científicos, fuentes bibliográficas y módulos anteriores sobre la producción y comercialización de este polímero se analizó y determinó el potencial de mercado del poliácido láctico como materia prima para productos plásticos. Ya que no existía una demanda actual del PLA en Guatemala, o al menos, no se demandan cantidades altas, los polímeros petroquímicos fueron utilizando como demanda potencial del polímero. Los polímeros petroquímicos más conocidos son el polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno (PP), polietileno (PS), tereftalato de polietileno (PET) y poliamidas (PA); sin embargo, el PLA, en su etapa de inicio como nuevo biopolímero únicamente es capaz de sustituir adecuadamente al polietileno de baja densidad (LDPE), al polipropileno (PP) y al tereftalato de polietileno (PET). Tomando la demanda de estos tres polímeros y en conjunto con la investigación sobre los clientes potenciales brindó una buena estimación sobre el mercado que puede existir en Guatemala.

Por otra parte, a través del estudio de tendencias, perfiles obtenidos de artículos científicos y observación se estudió el consumidor final y mercado meta del polímero a fabricarse. El mercado fue trabajado a profundidad a través de encuestas a consumidores de productos biodegradables o en su defecto, amigables al ambiente, y productores de dichos productos. Los consumidores finales fueron alcanzados vía internet o personalmente, y los productores fueron entrevistados personalmente.

Las empresas que actualmente fabrican productos de polímeros reutilizados, como Europet, y las empresas productoras de productos como bolsas a base de material "bio" fueron las empresas

utilizadas para la evaluación comparativa. Se analizaron sus tipos de productos, su cliente, el tipo de orientación que lleva el producto, la cartera de productos y la variedad de los precios dentro de esta cartera. Además, estas empresas son parte del grupo de clientes objetivo, pues serán, a futuro, los productores de productos a partir de PLA.

Por otro lado, para definir al consumidor final del PLA, quienes son las personas que se quedan con los productos de PLA en última instancia, se utilizaron los datos obtenidos de las entrevistas para generar modelos científicos y analizar las decisiones de los clientes sobre el producto. Se creó un set de datos para hacer un árbol de decisión y un set de datos para probar el modelo, ambas muestras no probabilísticas a conveniencia. Por último, a partir de las opiniones de personas que cumplieran con el perfil establecido, se creó un nombre y un logo para el producto y se proporcionó una cartera de productos que puedan ser fabricados y atractivos para el cliente de PLA.

La parte química del proyecto, el desarrollo del polímero, se realizó a nivel laboratorio. Este procedimiento fue inspeccionado de forma puntual, llevando un registro adecuado de los gastos de todos los solventes, microorganismos, reactores y productos químicos. Una vez definido el proceso y todo el equipo necesario para concretarse, se ejecutó un estudio de rendimiento de cada subproceso elaborado a nivel químico, esto con el objetivo de determinar la parte más costosa y tener un mejor control al realizar la producción de PLA para siguientes módulos de este megaproyecto. Una vez finalizado dicho estudio se procedió a plantear una metodología de desarrollo y posicionamiento del producto tanto para el cliente como el consumidor final. Esta metodología incluyó el perfil del mercado, el desarrollo del producto y de la marca, la publicidad y promoción, las estrategias adecuadas para alcanzar al mercado, los canales de distribución del mismo y el desarrollo de la estrategia de posicionamiento.

VII. Resultados

Tabla 10: Rangos de propiedades fisicoquímicas de melaza de caña de azúcar proveniente del ingenio Magdalena TK#4, zafra 15-16.

% (m/v)	Temperatura (°C)	°Brix	pH	Conductividad (mS/cm)
10	29.80 - 30.20	8.21 – 8.22	5.66 – 5.72	2.00 – 2.04
30	29.80 – 30.30	22.97 – 22.98	5.63 – 5.66	2.21 – 2.36
50	26.70 – 27.30	36.16	5.61 – 5.71	2.18 – 2.33
90	26.10 – 26.30	57.90 – 57.91	5.60 – 5.73	1.97 – 2.13

Nota: no se realizó duplicado y triplicado para estimar media y desviación estándar por falta de tiempo y escasez de materiales.

Tabla 11: Concentración de azúcares iniciales de melaza de caña de azúcar proveniente del ingenio Magdalena TK#4, zafra 15-16 para una melaza al 20% (m/v).

Azúcar	Concentración (g/L)
Sacarosa	8.11
Glucosa	2.19
Fructosa	1.79

Tabla 12: Rangos de propiedades fisico-químicas de melaza de caña de azúcar proveniente del ingenio Tululá, zafra 15-16.

% (m/v)	Temperatura (°C)	°Brix	pH	Conductividad (mS/cm)
10	24.90 – 25.20	8.22 – 8.54	4.96 – 4.98	1.96 – 1.97
30	25.70 – 26.00	23.06 – 23.14	4.96 – 4.99	2.15 – 2.29
50	26.40 – 25.70	36.20 – 26.26	4.96 – 5.00	2.19 – 2.28
90	26.70 – 26.90	58.56 – 59.15	4.98 – 4.99	1.93 – 2.06

Nota: no se realizó duplicado y triplicado para estimar media y desviación estándar por falta de tiempo y escasez de materiales.

Tabla 13: Concentración de azúcares iniciales de melaza de caña de azúcar proveniente del Ingenio Tululá, zafra 15-16 para una melaza al 20% (m/v).

Azúcar	Concentración (g/L)
Sacarosa	6.67
Glucosa	1.73
Fructosa	2.22

Nota: no se realizó duplicado y triplicado para estimar media y desviación estándar por falta de tiempo y escasez de materiales.

Figura 25: Variación de la concentración de ácido láctico respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 37°C y 100 rpm para el cultivo ABY-3.

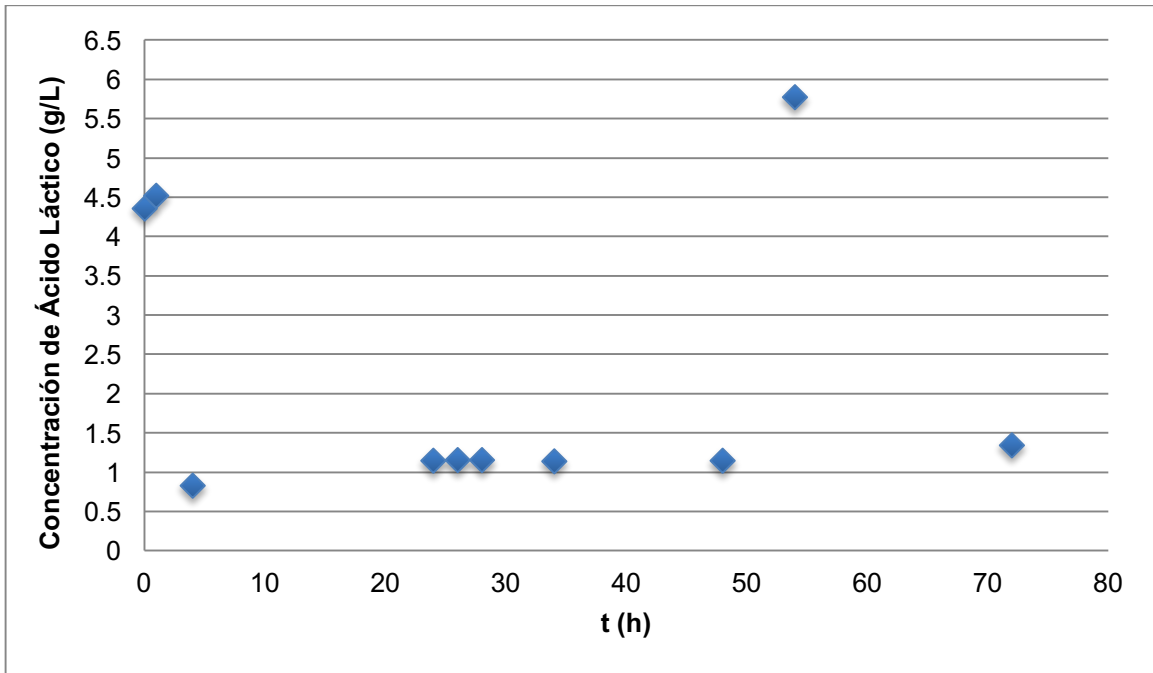


Figura 26: Variación de la concentración de ácido láctico respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 37°C y 150 rpm para el cultivo ABY-3.

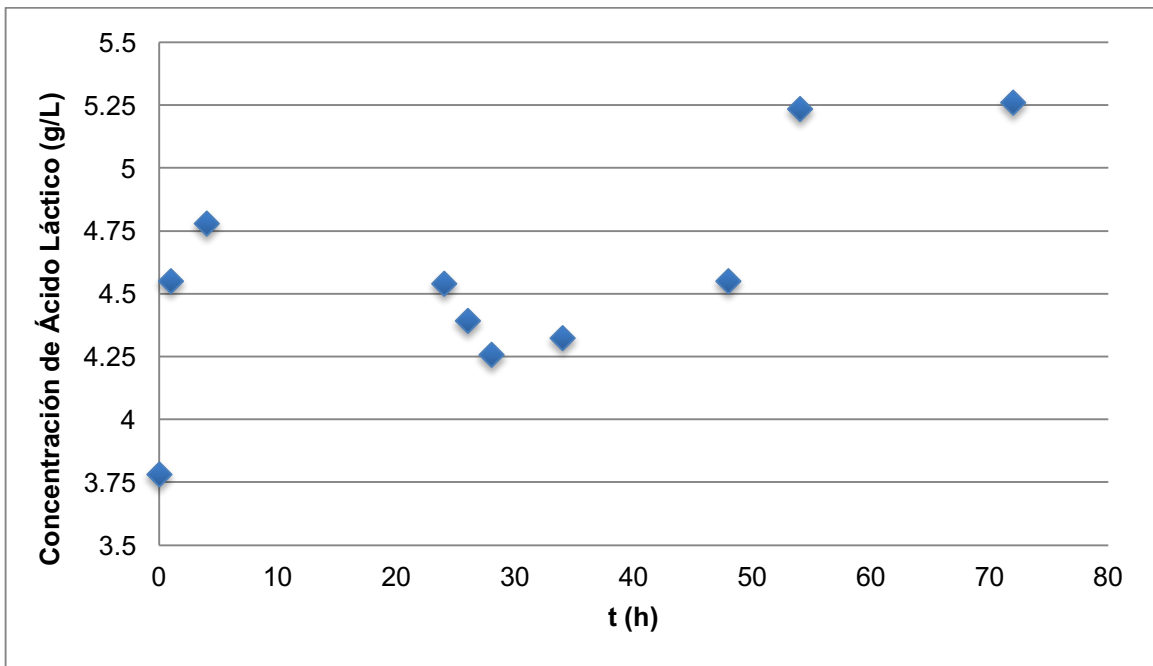


Figura 27: Variación de la concentración de ácido láctico respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 43°C y 100 rpm para el cultivo ABY-3.

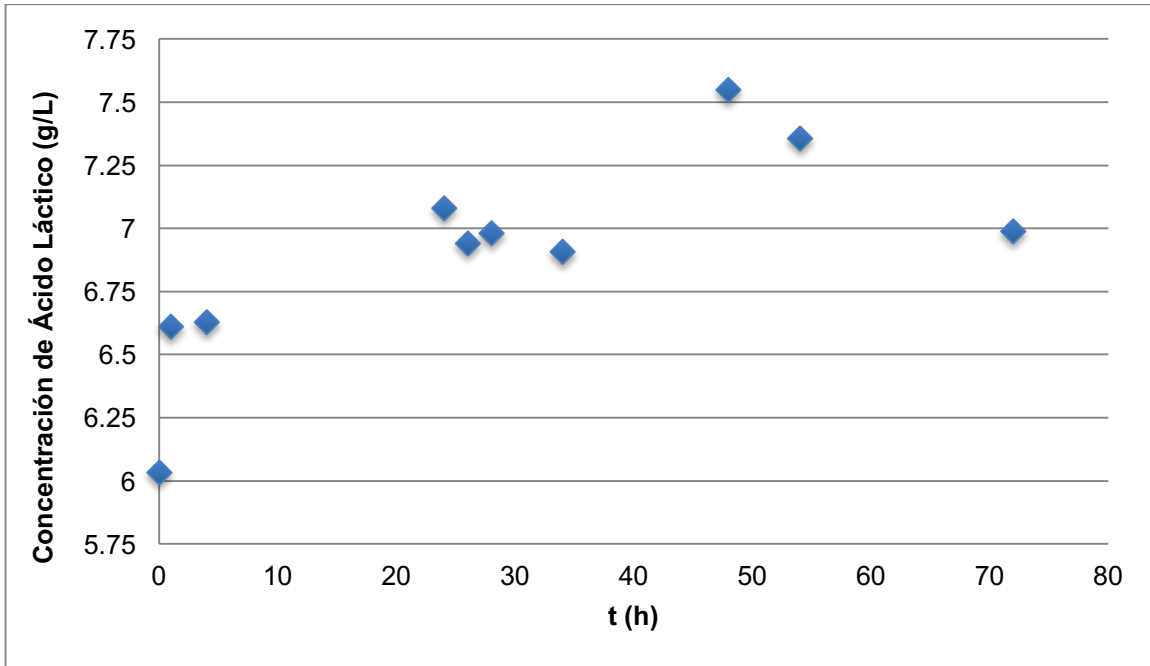


Figura 28: Variación de la concentración de ácido láctico respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 43°C y 150 rpm para el cultivo ABY-3.

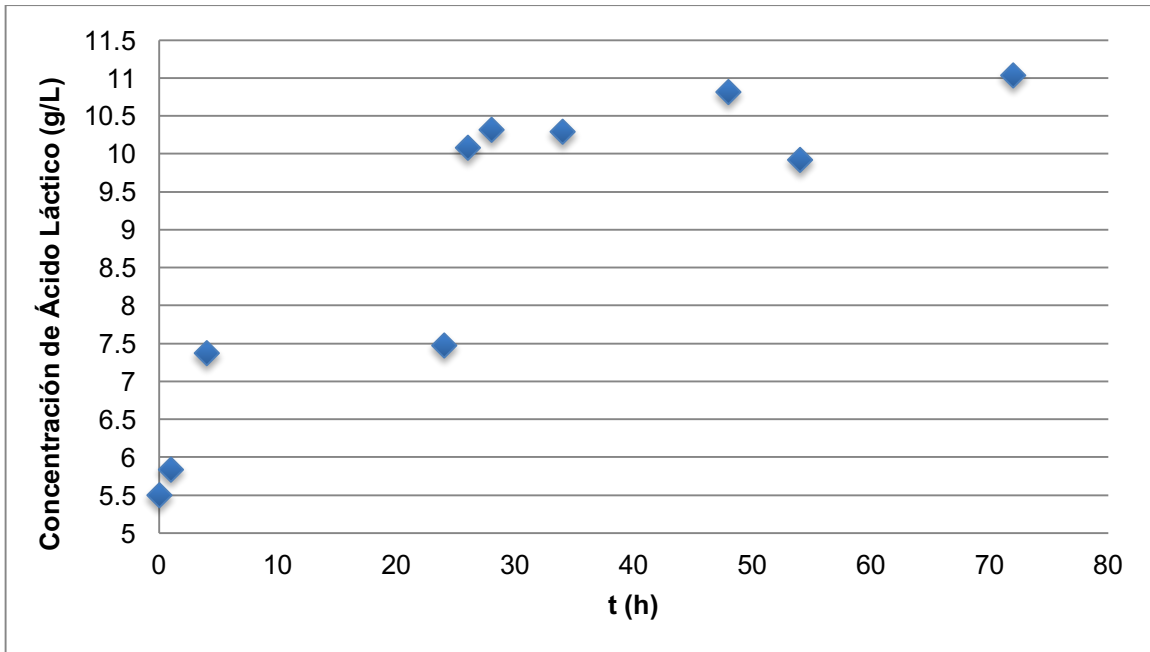


Figura 29: Variación de la concentración de ácido láctico respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 37°C y 100 rpm para el cultivo YC-370.

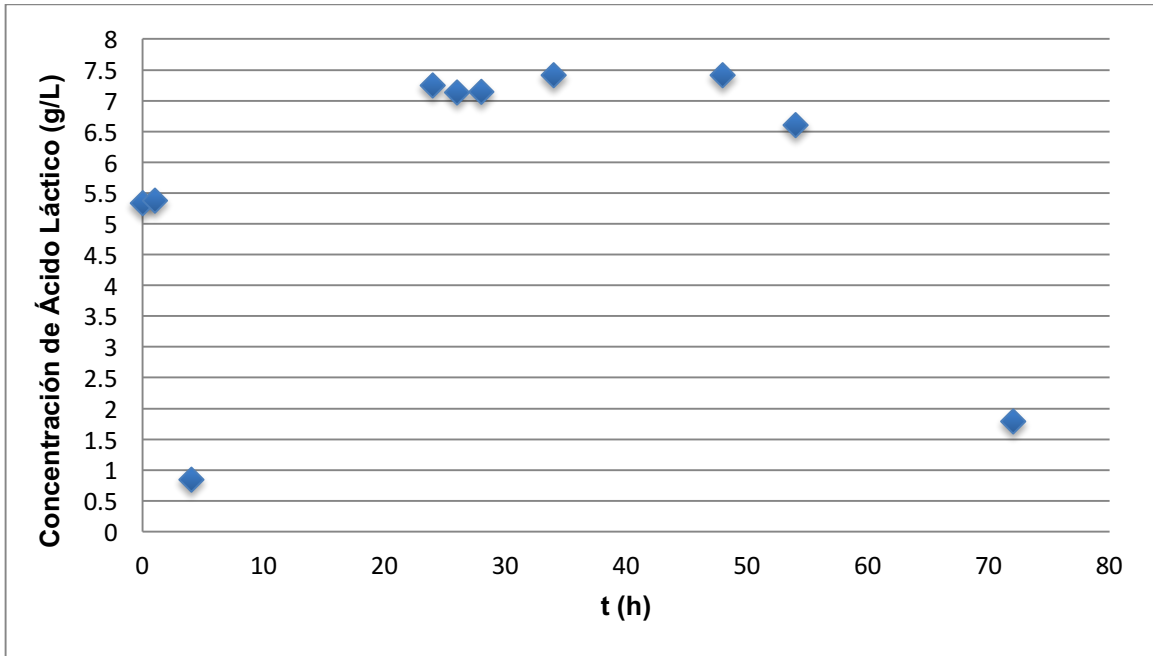


Figura 30: Variación de la concentración de ácido láctico respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 37°C y 150 rpm para el cultivo YC-370.

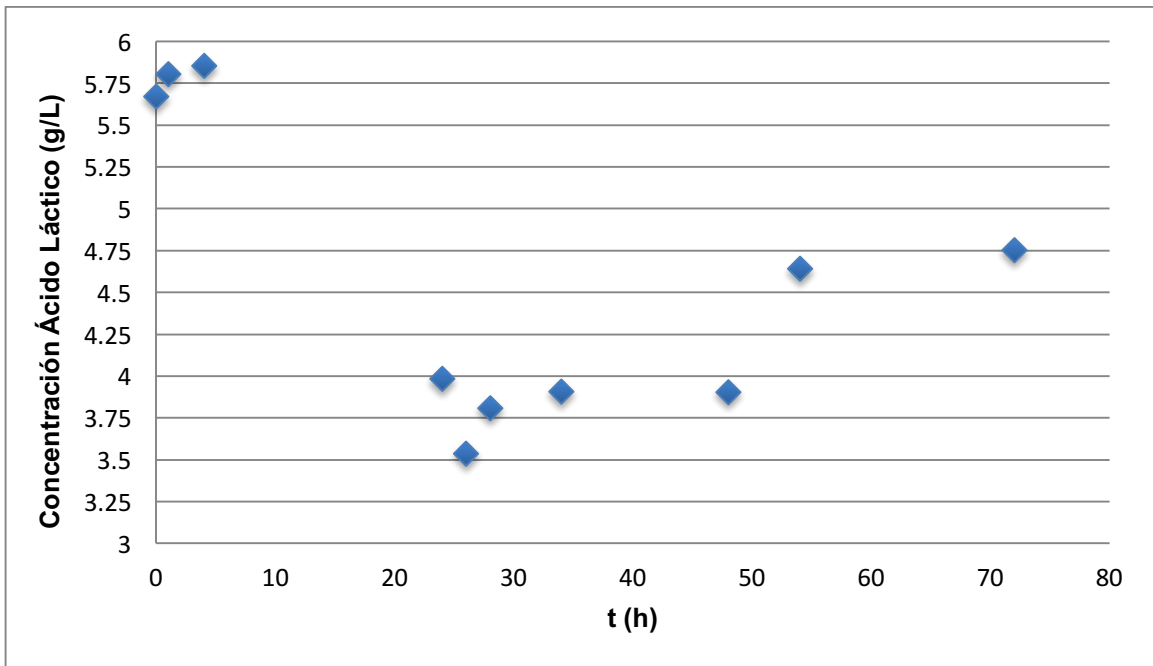


Figura 31: Variación de la concentración de ácido láctico respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 43°C y 100 rpm para el cultivo YC-370.

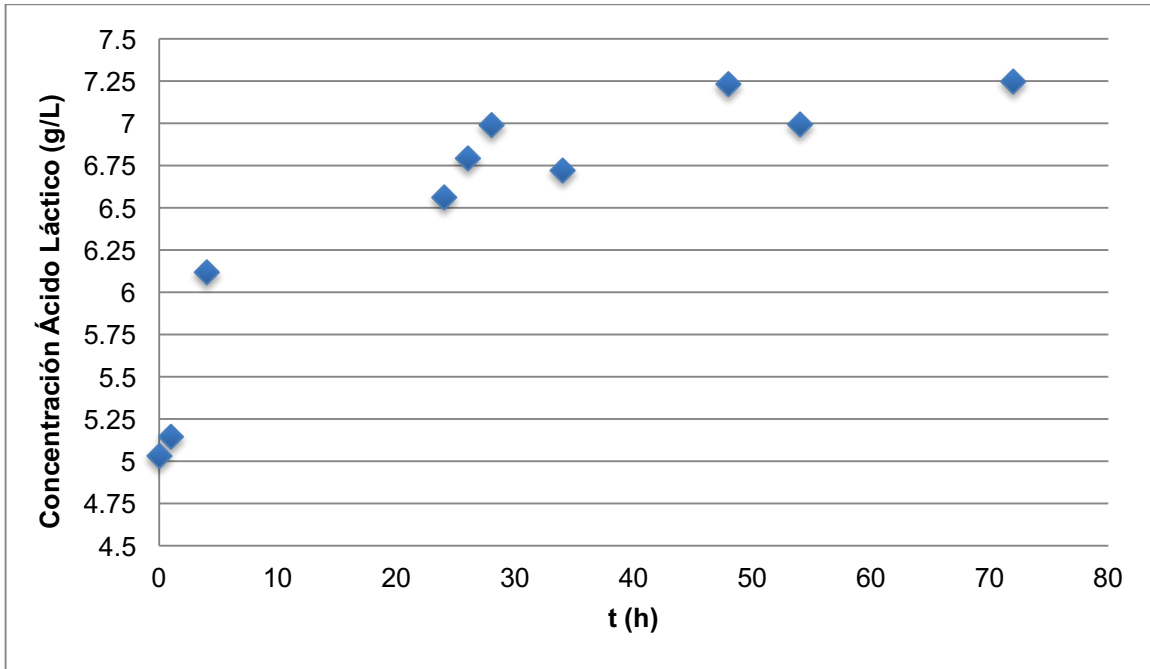


Figura 32: Variación de la concentración de ácido láctico respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 43°C y 150 rpm para el cultivo YC-370.

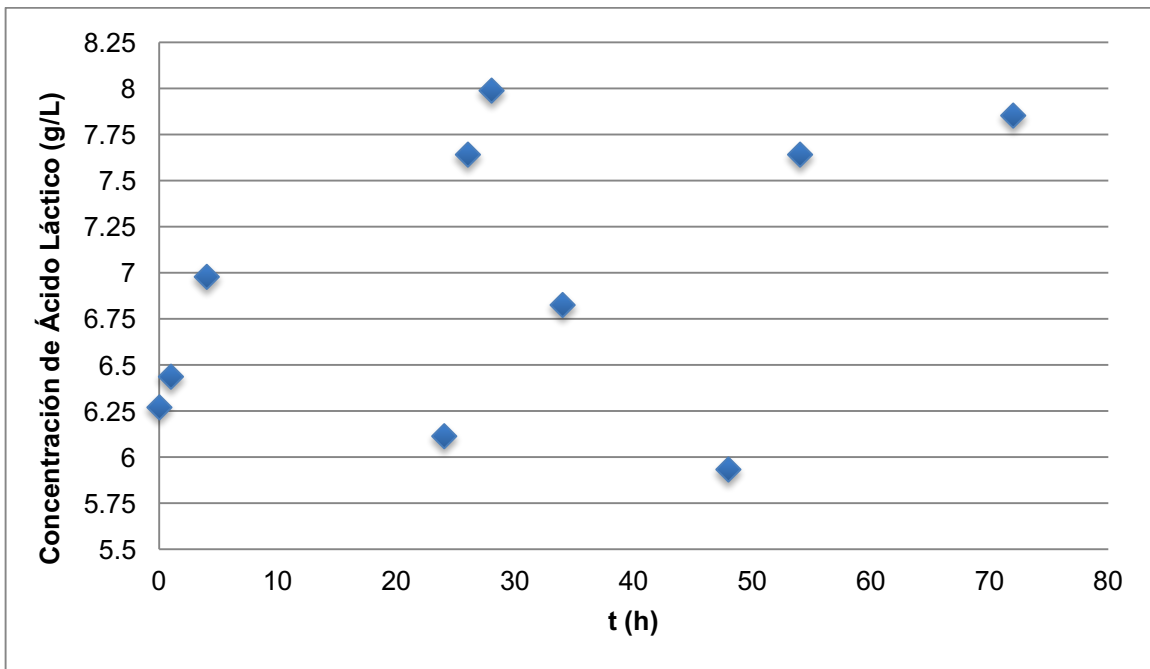


Tabla 14: Concentración final de ácido láctico para cada set de condiciones de operación para el cultivo ABY-3 para una melaza al 20% (m/v).

Temperatura (°C)	Velocidad de agitación (rpm)	Concentración ácido láctico (g/L)
37	100	1.34
37	150	5.26
43	100	6.99
43	150	11.03

Nota: no se realizó duplicado y triplicado para estimar media y desviación estándar por falta de tiempo y escasez de materiales.

Tabla 15: Concentración final de ácido láctico para cada set de combinaciones de operación para el cultivo YC-370 para una melaza al 20% (m/v).

Temperatura (°C)	Velocidad de agitación (rpm)	Concentración ácido láctico (g/L)
37	100	1.79
37	150	4.75
43	100	7.25
43	150	7.86

Nota: no se realizó duplicado y triplicado para estimar media y desviación estándar por falta de tiempo y escasez de materiales.

Tabla 16: Producción final de ácido láctico y las mejores condiciones determinadas.

Melaza	Cultivo láctico	Concentración ácido láctico (g/L)	Temperatura (°C)	Velocidad agitación (rpm)
Ingenio Magdalena	ABY-3	11.03	43	150

Nota: no se realizó duplicado y triplicado para estimar media y desviación estándar por falta de tiempo y escasez de materiales.

Tabla 17: Resumen de resultados obtenidos en fermentaciones lácticas realizadas a escala laboratorio.

Temperatura (°C)	Velocidad de agitación (rpm)	Concentración final de ácido láctico (g/L)
30	150	3.24
30	200	5.13
35	150	6.32
35	200	6.69

Nota: no se realizó duplicado y triplicado para estimar media y desviación estándar por falta de tiempo y escasez de materiales.

Tabla 18: Propiedades fisicoquímicas de soluciones de melaza con agua Ingenio Magdalena

Porcentaje de la solución (± 0.525 m/v)	Temperatura (± 0.068 °C)	°Brix (± 0.0866 °)	Conductividad (± 0.039 mS/cm)	pH (± 0.056)	Viscosidad (± 1.04 mPa*s)
10	29.93	8.21	2.02	5.69	15
30	30.03	22.97	2.28	5.65	20
50	26.90	36.16	2.24	5.64	35
90	26.17	57.91	2.04	5.68	69

Notas: se realizaron diluciones de la melaza con agua. La melaza caracterizada fue un residuo obtenido del proceso de zafra 2,015-2,016 del ingenio Magdalena y las pruebas se realizaron a una presión de 0.986 atm y 26°C.

Tabla 19: Propiedades fisicoquímicas de melaza Ingenio Tululá

Porcentaje de la solución (± 0.525 m/v)	Temperatura (± 0.076 °C)	°Brix (0.0866 °)	Conductividad (± 0.043 mS/cm)	pH (± 0.0045)	Viscosidad (± 0.67 mPa*s)
10	25.03	8.33	1.96	4.97	18
30	25.83	23.08	2.22	4.97	24
50	26.50	36.23	2.24	4.98	34
90	26.80	58.79	2.01	4.98	66

Notas: se realizaron diluciones de la melaza con agua. La melaza caracterizada fue un residuo obtenido del proceso de zafra 2,015-2,016 del Ingenio Tululá y las pruebas se realizaron a una presión de 0.986 atm y 26°C

Figura 33: Variación en la concentración de ácido láctico en una fermentación láctica a 30 °C y 150 rpm utilizando mosto con agua de la melaza del ingenio Tululá al 20% (m/v)

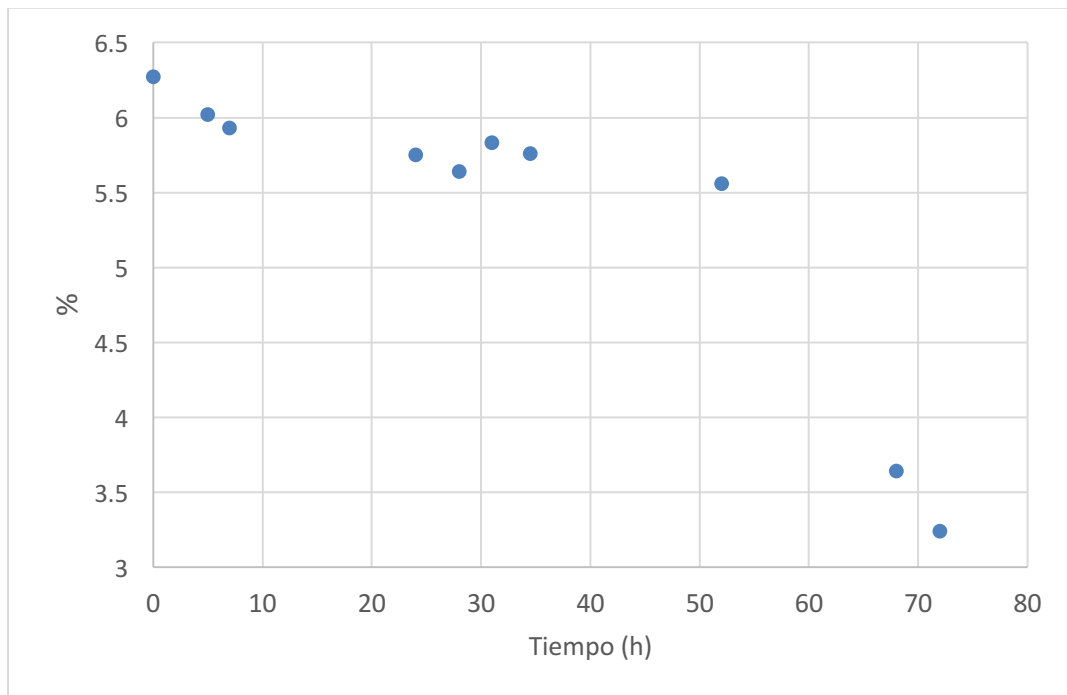


Figura 34: Variación en la concentración de ácido láctico en una fermentación a escala laboratorio a 30 °C y 200 rpm utilizando mosto con agua de la melaza del ingenio Tuluá al 20% (m/v)

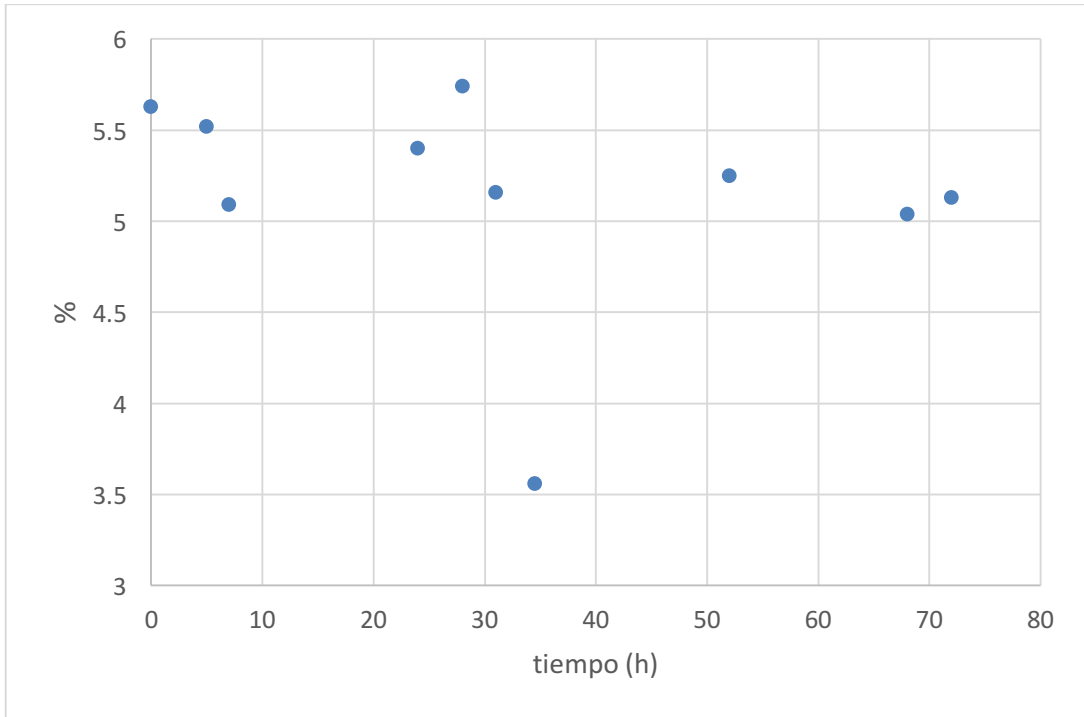


Figura 35: Variación en la concentración de ácido láctico en una fermentación a escala laboratorio a 35 °C y 150 rpm utilizando mosto con agua de la melaza del ingenio Magdalena al 20% (m/v)

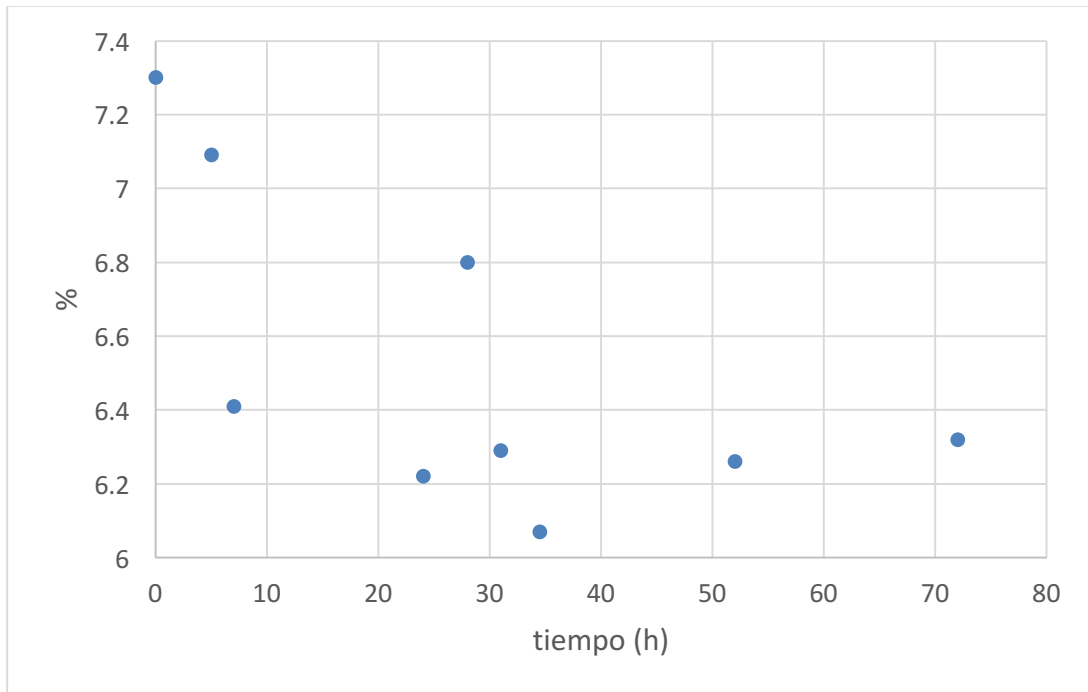


Figura 36: Variación en la concentración de ácido láctico en una fermentación a escala laboratorio a 35 °C y 200 rpm utilizando mosto con agua de la melaza del ingenio Tululá al 20% (m/v).

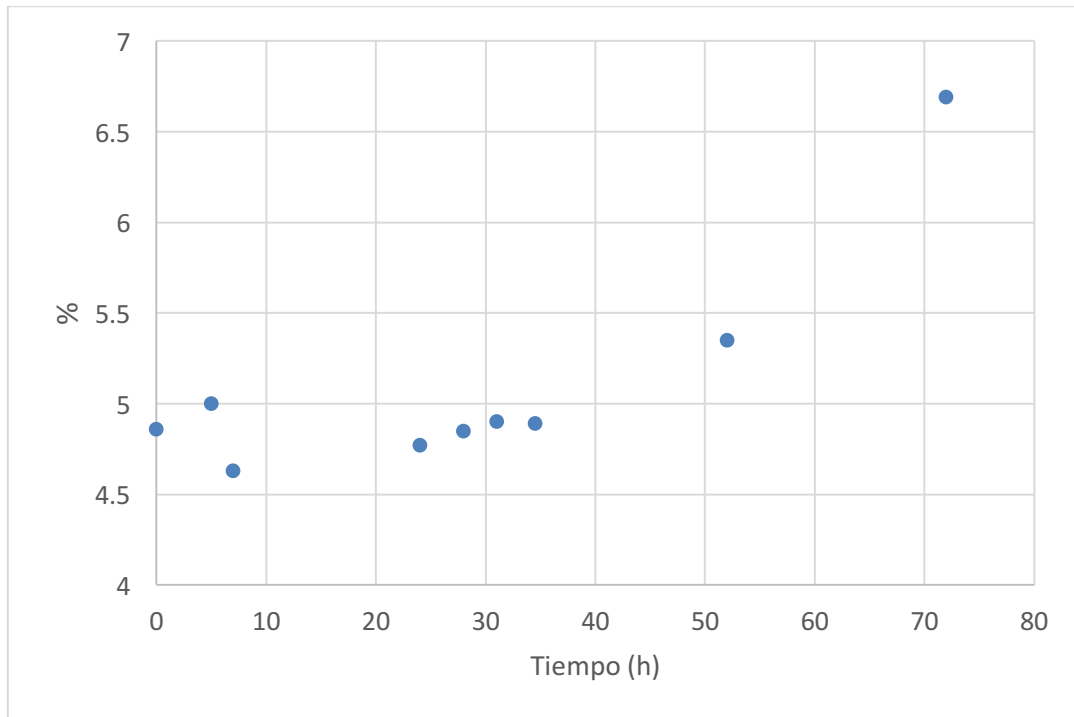


Tabla 20: Modelo de negocio

Modelo de negocio				
Aliados clave - Ingenios - UVG - Distribuidor de productos químicos	Actividades clave 1. Caracterización 2. Fermentación 3. Extracción 4. Purificación 5. Polimerización 6. Oligomerización	Propuesta de valor - Moderno - No Tóxico - Resuelve problemas ambientales - Tendencia - Innovador - Alternativa de subproductos - Novedoso - Biodegradable - Verde	Relaciones con clientes - Experiencias - Demostraciones y Pruebas del producto - Aplicaciones Reales - Videos - Innovando el producto - Relaciones indirectas	Segmentación de consumidores - Productores de plástico actuales - Productores de bolsas plásticas - Productores de utensilios de plástico - Supermercados - Empresas ambientalistas - Marcas con imagen "verde"
	Recursos clave - Melaza - Rhizopues Oryzae - Intercambiador de calor - <i>Lactobacillus del Bruecki</i> - Heptano - Reactor -Aodecanol		Canales - Universidades y colegios - Demostraciones - Redes sociales - Valor agregado a marca - Campañas - Revistas de Ing. Química - Periódicos - Radios	
Estructura de costos - Valor ambiental - Asociación con marcas fuertes - Por el segmento de clientes, el que entiende y puede pagar los beneficios - Innovador			Flujo de ingresos - Actualmente pagan bajos precios por polímeros no biodegradables, contaminantes y tóxicos - El mercado correcto es el que aprecia el factor ambiental - Es un producto exclusivo, difícil de producir. Hay bajo poder de negociación - Los precios no son flexibles	

Análisis de potencial de mercado

Tabla 21: Demanda en dólares de polímeros sustituibles, enero 2011 a julio 2016

Polímero	2011 (USD)	2012 (USD)	2013 (USD)	2014 (USD)	2015 (USD)	2016 (USD)	Total (USD)
LDPE	106,195,940	97,899,979	114,518,446	132,708,915	122,219,720	68,621,019	642,164,019.00
PP	91,625,186	81,372,050	88,805,419	104,055,150	93,114,721	45,508,018	504,480,544.00
PET	52,606,667	45,657,507	54,397,095	53,428,437	34,880,824	18,741,502	259,712,032.00
Total							1,406,356,595.00

Nota: El anterior, así como los cuadros a partir del presente, hacen referencia polímeros petroquímicos sustituibles por el PLA, estos polímeros son: polietileno de baja densidad (LDPE), polipropileno (PP) y tereftalato de polietileno (PET).

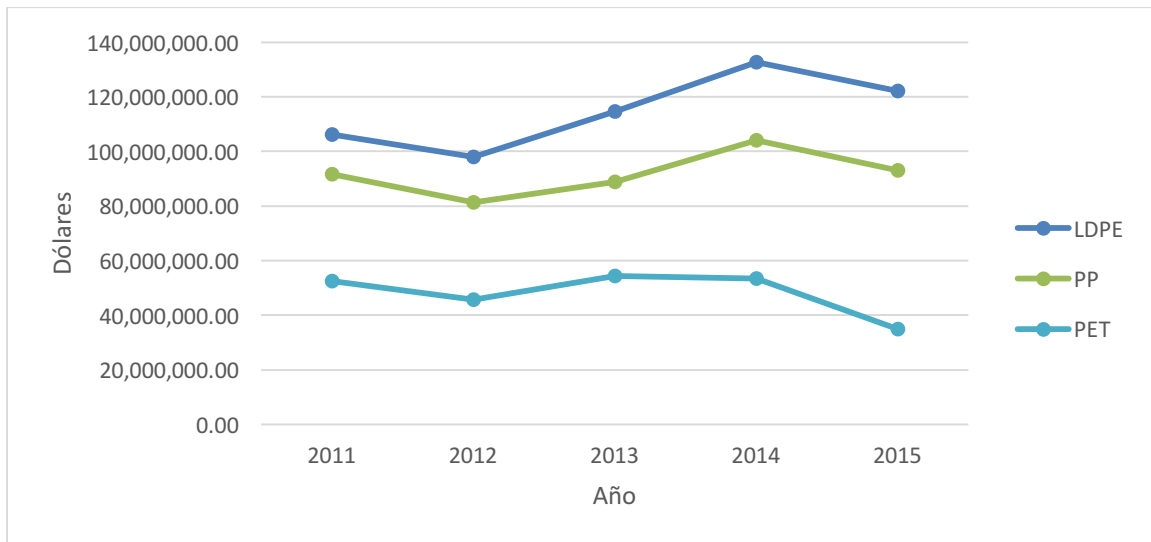
Fuente: Sistema Arancelario Centroamericano, importaciones realizadas por partida, año 2016.

Tabla 22: Promedio, desviación estándar y desviación en porcentaje de demanda en dólares de polímeros sustituibles, enero 2011 a diciembre 2015

Polímero	Promedio (USD)	Desviación	Porcentaje
LDPE	114,708,600.00	13,559,678.67	11.82%
PP	91,794,505.20	8,210,622.06	8.94%
PET	48,194,106.00	8,200,972.51	17.02%
Total	254,697,211.20		

Fuente: Sistema Arancelario Centroamericano, importaciones realizadas por partida, año 2016.

Figura 37: Importaciones de polímeros sustituibles en dólares, enero 2011 a diciembre 2015



Nota: La anterior, así como las figuras a partir de esta, hacen referencia polímeros petroquímicos sustituibles por el PLA, estos polímeros son: polietileno de baja densidad (LDPE), polipropileno (PP) y tereftalato de polietileno (PET).

Fuente: Sistema Arancelario Centroamericano, importaciones realizadas por partida, año 2016.

Tabla 23: Importaciones de polímeros sustituibles en kilogramos, enero 2011 a julio 2016

Polímero	2011 (kg)	2012 (kg)	2013 (kg)	2014 (kg)	2015 (kg)	2016 (kg)	Total
LDPE	71,468,676	63,853,207	71,075,342	71,457,938	80,310,502	50,117,721	408,283,386.00
PP	55,382,071	53,220,512	54,849,986	61,376,185	69,648,791	42,911,382	337,388,927.00
PET	19,965,847	28,334,502	34,970,911	38,547,612	32,450,593	19,965,847	174,235,312.00
Totales							919,907,625.00

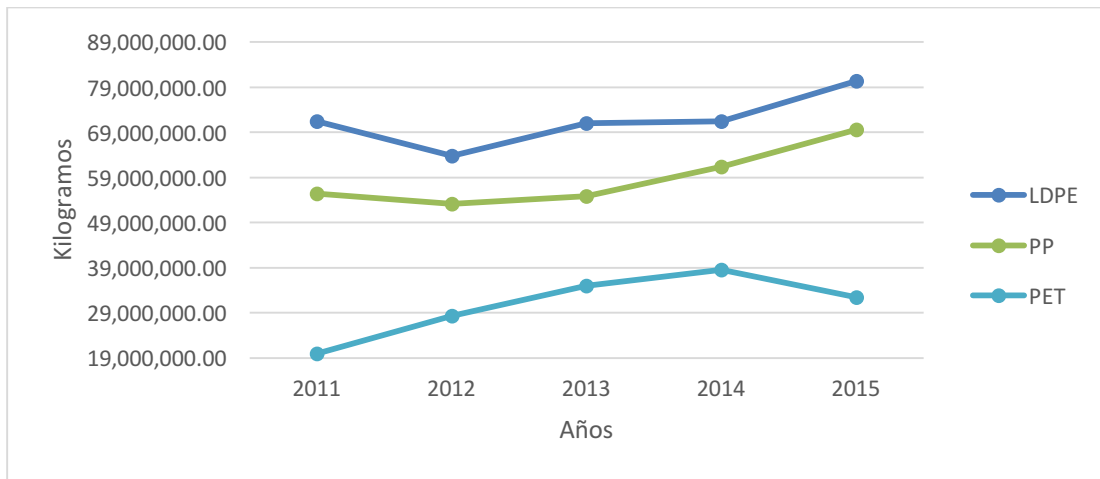
Fuente: Sistema Arancelario Centroamericano, importaciones realizadas por partida, año 2016.

Tabla 24: Promedio, desviación y porcentaje de desviación de Polímeros Sustituibles en kilogramos, enero 2011 a diciembre 2015

Polímero	Promedio (kg)	Desviación	Porcentaje
LDPE	71,633,133	5,835,084.65	8.15%
PP	58,895,509	6,758,382.22	11.48%
PET	30,853,893	7,134,239.22	23.12%
Total	161,382,535.00		

Fuente: Sistema Arancelario Centroamericano, importaciones realizadas por partida, año 2016.

Figura 38: Demanda de polímeros sustituibles en kilogramos, enero 2011 a julio 2016



Fuente: Sistema Arancelario Centroamericano, importaciones realizadas por partida, año 2016.

Tabla 25: Producción a nivel mundial y crecimiento real del PIB en Guatemala

	Kilogramos	Porcentajes
Producción a nivel mundial 2012	180,000,000.0	100%
Máximo productor (NatureWorks) 2012	140,000,000.0	77.77%
Crecimiento real PIB	3.3%	

Fuente: Sistema Arancelario Centroamericano, importaciones realizadas por partida, año 2016 y Banco de Guatemala

Tabla 26: Estimaciones pesimista, realista y optimista de producción de PLA en Guatemala

Años	Pesimista (kg)	Realista (kg)	Optimista (kg)
2017	540,000	900,000	1,800,000
2018	548,910	914,850	1,829,700
2019	557,967	929,945	1,859,890
2020	567,173	945,289	1,890,578
2021	576,532	960,886	1,921,773

Fuente: Sistema Arancelario Centroamericano, importaciones realizadas por partida, año 2016.

Tabla 27: Objetivo de participación de mercado en kilogramos

Polímero	Promedio	Objetivo	Ocupación
LDPE	71,633,133	0.70%	501,431.93
PP	58,895,509	0.50%	294,477.55
PET	30,853,893	0.35%	107,988.63
	Total	1.55%	903,898.10

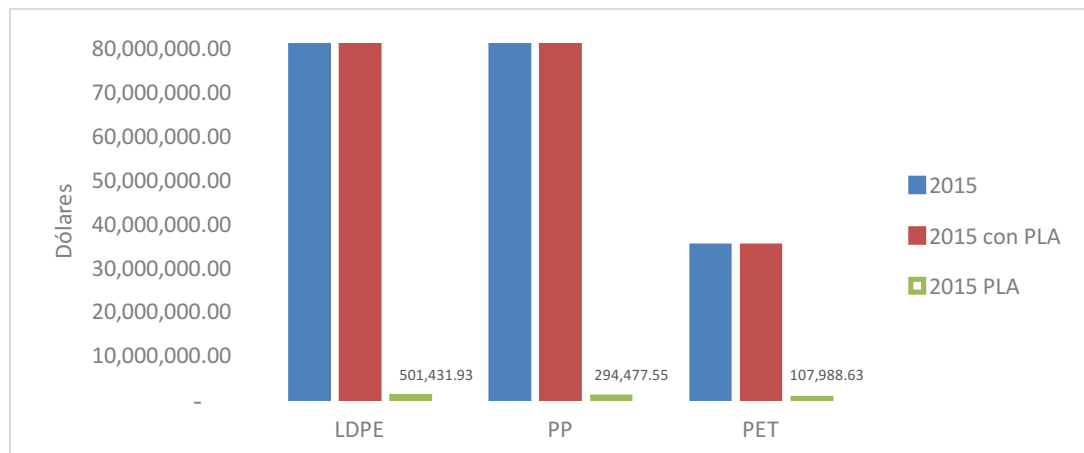
Fuente: Sistema Arancelario Centroamericano, importaciones realizadas por partida, año 2016.

Tabla 28: Objetivo de participación de mercado por polímero para el primer año en dólares

Polímero	Promedio	Objetivo	Ocupación
LDPE	642,164,019.00	0.70%	4,495,148.13
PP	504,480,544.00	0.50%	2,522,402.72
PET	259,712,032.00	0.35%	908,992.11
	Total	1.55%	7,926,542.97

Fuente: Sistema Arancelario Centroamericano, importaciones realizadas por partida, año 2016.

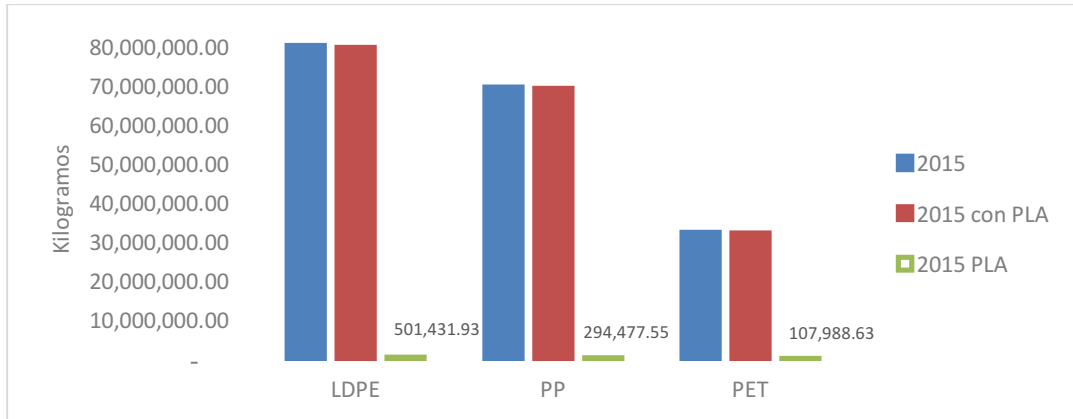
Figura 39: Participación de mercado simulada 2015 en dólares



Nota: los números en la anterior representan la cantidad de dólares de vale el mercado de PLA que se tiene como objetivo. Se pretende comparar, visualmente, contra el mercado actual.

Fuente: Sistema Arancelario Centroamericano, importaciones realizadas por partida, año 2016.

Figura 40: Participación de mercado simulada en kilogramos, 2015



Fuente: Sistema Arancelario Centroamericano, importaciones realizadas por partida, año 2016.

Tabla 29: Estimación de precios

Polímero	Promedio (dólares)	Promedio (kilogramos)	Precio (\$/kilogramo)
LDPE	114,708,600.00	71,633,133	1.60
PP	91,794,505.20	58,895,509	1.56
PET	48,194,106.00	30,853,893	1.56
PLA	1,807,796.20	903,898.10	2.00

Análisis de competencia directa e indirecta

Tabla 30: Matriz de Porter del Mercado y competencia de PLA

Fuerza	Descripción
Amenaza de nuevos participantes / competidores	<p>Polímeros reciclados, que tengan una imagen similar a la imagen ambientalista del PLA. (ejemplo: botella de agua)</p> <p>Otros polímeros biodegradables</p> <p>PLA a con materia base diferente: maíz, remolacha, ácido láctico industrial</p> <p>Los actuales productores de PLA que ya tienen un proceso puntual y han hecho la inversión necesaria</p> <p>Quienes utilizan la melaza como materia prima</p>
Rivalidad entre competidores actuales	<p>Pocos productores, actualmente en estados unidos y brasil</p> <p>En guatemala, solo se producen productos de polímeros no biodegradables.</p>
Amenaza de los productos o servicios sustitutos	<p>Polietileno de alta (LDPE) y baja densidad (HDPE), politereftalato de etileno (PET), poliestireno (PS), poliamida (PA) y polipropileno (PP)</p> <p>Otros polímeros biodegradables: obtenidos de microorganismos y otros obtenido a partir de productos petroquímicos. .</p> <p>El PLA es un producto diferenciado pero tiene una clara desventaja en la complejidad de producción y por lo tanto, el costo de producción.</p>
Poder de negociación de clientes / compradores	<p>Polímeros a partir de combustibles fósiles más accesibles económicamente.</p> <p>El PLA no tiene la misma popularidad que sus competencias no biodegradables.</p>
Poder de negociación de proveedores	<p>Melaza utilizada para producir alcohol. Solo se produce en época de zafra y la producción es finita.</p> <p>Barreras al importar los microorganismos necesarios para la fermentación de melaza</p> <p>Barreras para comprar los solventes y productos necesarios para el proceso químico.</p>

(Serna, Rodriguez, & Albán, 2003) y (Banco de Guatemala, 2016)

Tabla 31: Análisis de Ventajas Competitivas del PLA (Análisis VRIO)

No.	Recurso / capacidad	Valioso	Raro	Inimitable	Organización	¿existe ventaja competitiva?
		¿es valioso para el cliente?	¿es difícil de encontrar?	¿es difícil de imitar?	¿está la empresa organizada para explotar el recurso?	
1	Materia no agotable, mientras se produzca azúcar	No	No	Sí	Sí	No
2	Biodegradable	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
3	Producido a partir de subproducto de producción de azúcar	Sí	Sí	Sí	No	Sí
4	Innovador	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
5	Amigable al ambiente	Sí	No	Sí	Sí	Sí
6	No contiene toxinas	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
7	Aplicación en industria de empaque, sin contaminar el producto	Sí	No	Sí	Sí	Sí
8	Aplicación en industria medica	Sí	No	Sí	No	Sí
9	reduce las emisiones de CO2	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
10	Características industriales amplias y modificables	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

(Markets and Markets, 2014)

Tabla 32: Matriz de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del PLA y su mercado (FODA)





		Factores internos	
		Fortalezas	Debilidades
		Biodegradable, amigable al ambiente	Proceso de producción en desarrollo, en la Universidad del Valle de Guatemala
		Materia prima es desecho para algunos ingenios	Poco conocimiento del significado y beneficios
		Aplicaciones múltiples Amplia investigación Reducción de co2	Complejidad para características de otros polímeros
Factores externos			
Oportunidades		Estrategias FO	
Mercado emergente en Guatemala		<ul style="list-style-type: none"> Considerando la tendencia al consumo responsable y que el producto es biodegradable, puede aprovecharse el mercado emergente para ser una empresa pionera y capturar la mayor cantidad de mercado mientras no haya competidores fuertes. Sus múltiples aplicaciones y el poco mercado existente puede llevar a explorar qué polímero petroquímico será el ideal para sustituir y luego crecer en esa industria. 	Estrategias DO <ul style="list-style-type: none"> El mercado puede capturarse dando a conocer los múltiples beneficios del polímero, no solo ambientales sino para salud: no contiene toxinas que los polímeros petroquímicos si. La poca competencia puede ser una oportunidad para realizar pruebas pilotos como materia prima de productos y así encontrar las características y el proceso ideal para la producción del PLA
Pocos o casi nulos competidores actuales			
Tendencia al consumo responsable			
Variedad de productos que utilizan polímeros petroquímicos como materia prima			
Tendencia al consumo tener una vida saludable y simple			

Continuación Tabla 32



Amenazas	Estrategias FA	Estrategias DA
<p>Precios de polímeros petroquímicos pueden caer</p> <p>Países industrializados que ya lo producen</p> <p>El gobierno de Guatemala no toma un papel crítico para impulsar el uso de este tipo de productos</p>	<p>Estrategias FA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los precios de los polímeros petroquímicos pueden llegar a no sea atractivos para el consumidor final. Allí el PLA puede darse a conocer y valorar por sus cualidades ambientalistas y saludables. Ante una baja de los precios estas cualidades deben ser determinantes. • A partir de una empresa exitosa, pueden crearse iniciativas de ley que incentiven el uso de polímeros como el PLA 	<p>Estrategias DA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los países actualmente productores pueden ser una guía para ser eficientes en el proceso de producción • Los polímeros petroquímicos tienen una clara desventaja del PLA, lo cual puede servir como estrategia de mercado para que el cliente tome consciencia y decida utilizar exclusivamente PLA. • Al hacer públicos todos los beneficios del PLA tanto ambientales como de salud, las iniciativas de leyes pueden volverse una realidad.

Productos de la competencia directa

Tabla 33: Ejemplos de productos por polímero

Polímero	Ejemplos	Fotografías
LDPE	<ul style="list-style-type: none"> - Empaques de comidas seca - Empaques de comida para congelar - Botellas flexibles - Flims de cocina 	 
PP	<ul style="list-style-type: none"> - Platos y cubiertos desechables - Contenedores de comida como yogurt y margarina 	 

Continuación Tabla 33

Polímero	Ejemplos	Fotografías
<p>PET</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Botellas de agua, soda, jugos - Botellas de alimentos (jaleas, jabones) 	
<p>Reciclado</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Bolsas de supermercado - Botellas de agua pura 	

Continuación Tabla 33

Polímero	Ejemplos	Fotografías
"bio"	- Bolsas de supermercado	
Ingeo	- Marca privada de nature works, produce variedad de productos de PLA	

Fuente: Google Images, compra directa

PLA en el mundo:

Tabla 34: Perfiles de principales productores de PLA en el mundo

Empresa	País	Retorno sobre activos	Utilidades	Resumen
BASF S. E	Alemania	4.90%	67.25b	Es una empresa a nivel mundial. En su segmento de químicos ofrece materia prima para diferentes productos y uno de ellos es PLA.
Corbion N.V.	Irlanda	9.39%	921.7m	Opera a nivel mundial y en su segmento de bioquímicos ofrece ácido láctico y sus principales derivados: PLA
The Dow Chemical Company	Estados Unidos	5.20%	46.15b	En general, comercializa materia prima de infinidad de productos. Dentro de segmento de plásticos de rendimiento se encuentra el PLA.
Teijin LTD.	Japón	3.55%		Además de fabricar fibras y poliéster, en su segmento de productos químicos ofrece PLA.
Natureworks LLC.	Estados Unidos	-	-	Fabrica fibras y materiales de empaque a partir de maíz y otras fuentes de ácido láctico. Su principal producto de PLA se llama ingeo.

Fuente: Yahoo Finance y Google Finance

El consumidor

Figura 41: Cadena de suministro de PLA

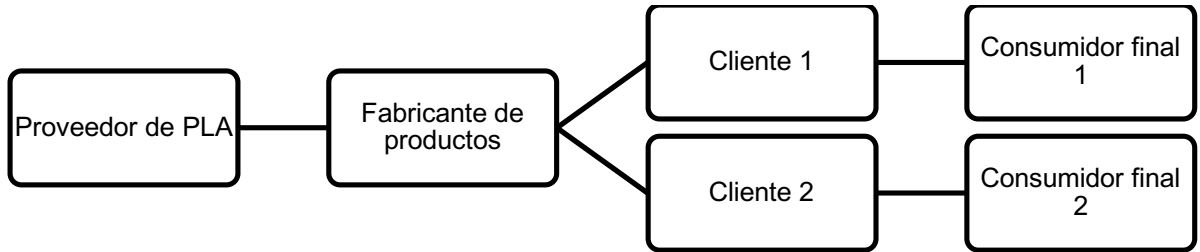


Figura 42: Resultados de Encuesta, división de género

¿Cuál es tú genero? (61 respuestas)

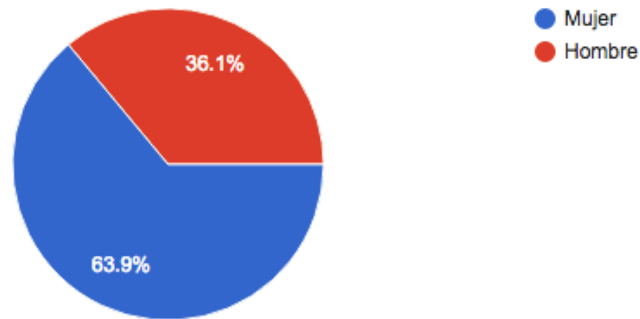


Figura 43: Resultados de encuesta, segmentación por generación

¿Cuántos años tienes? (61 respuestas)

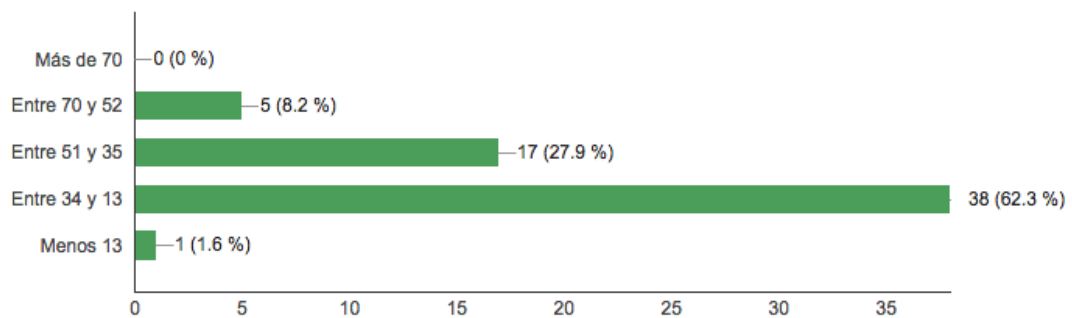


Figura 44: Resultados de encuesta, nivel de educación

¿Cuál es tu nivel de educación? (Terminado o el que actualmente estás cursando)

(61 respuestas)

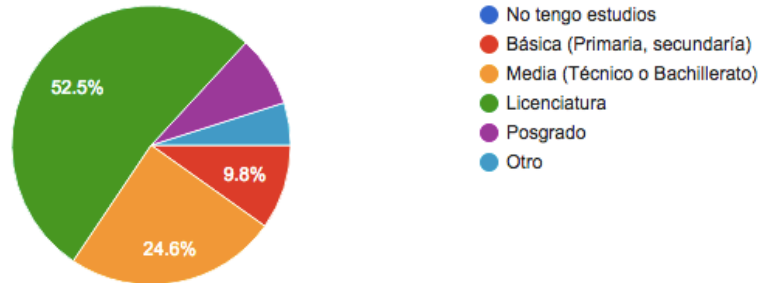


Figura 45: Resultado de encuesta, utilización de redes sociales

¿Qué redes sociales utilizas? (61 respuestas)

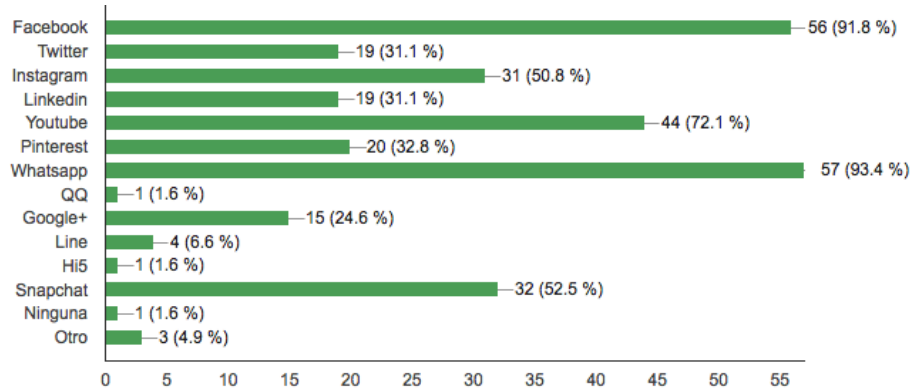


Figura 46: Resultados de encuesta, importancia del medio ambiente

El medio ambiente, ¿es un tema importante en tu vida?

(61 respuestas)

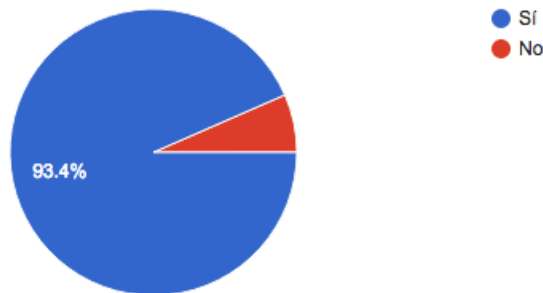


Figura 47: Resultados de encuesta, acciones para cuidar el ambiente

¿Tomas acciones para reducir efecto negativo sobre el medio ambiente?

(61 respuestas)

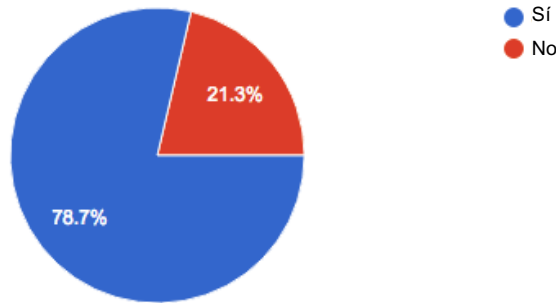


Figura 48: Resultados de encuesta, conocimiento material biodegradable

¿Sabes qué es un material biodegradable? (61 respuestas)

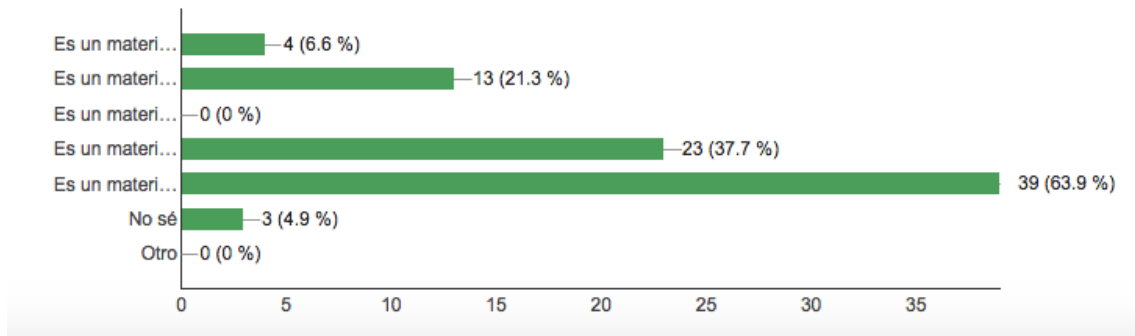


Figura 49: Resultados de encuesta, productos biodegradables

¿Qué productos biodegradables conoces? (61 respuestas)

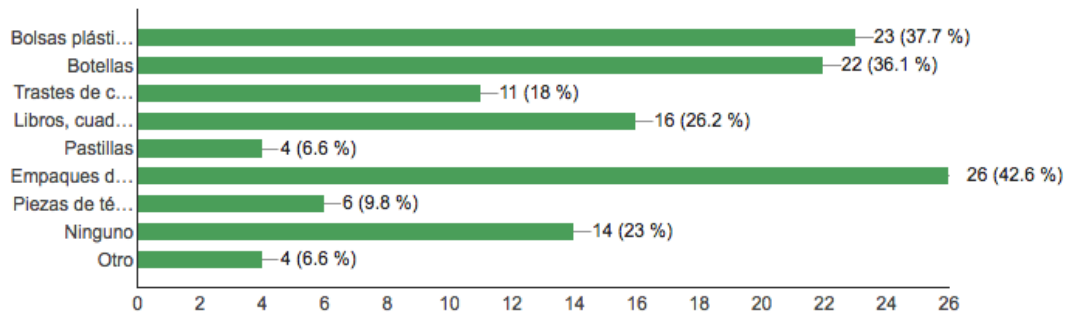


Figura 50: Resultados de encuesta, mención de empresas

**¿Conoces empresas en Guatemala que tengan productos biodegradables?
Menciona algunas:**
(61 respuestas)

No
No
No
No
No
No
No
No
No
No
No
No

Figura 51: Resultados de encuesta, cambio de marcas

**¿Cambiarías alguna de tus marcas de preferencia por otra que utilice
productos biodegradables?**
(61 respuestas)

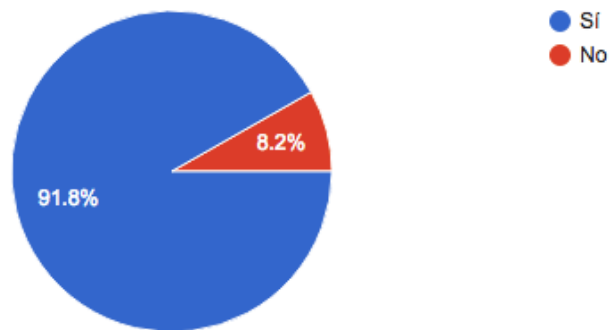
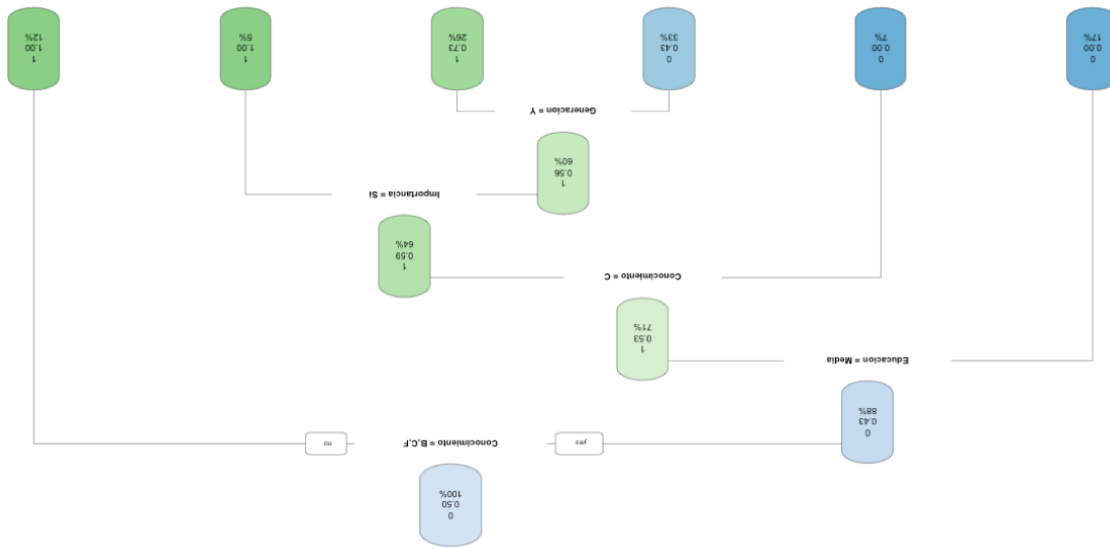


Figura 52: Árbol de decisión sobre el impacto de marca con productos biodegradables



Exactitud: 73.68%

Nota: La interpretación de árbol de decisión se hace a través del primero de valor de las casillas (cero que representa "no" y uno que representa "sí").

Tabla 35: Matriz de confusión de árbol de decisión

		Referencia	
		0	1
Predicción	0	6	2
	1	3	8

Nota: La exactitud de árbol del árbol de decisión se mide a través de la cantidad de ceros que predijo que eran ese valor y la cantidad de unos que predijo que valían uno. La suma de esos aciertos, mostrados en la matriz de confusión del árbol, dividido dentro del total de datos analizados proporciona la exactitud.

Desarrollo de logo

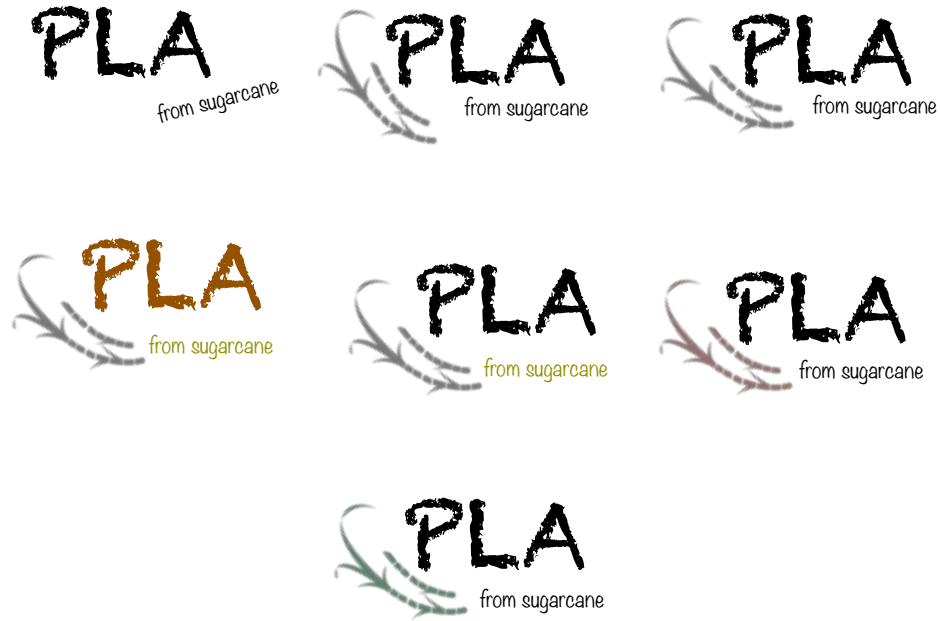
Figura 53: Propuestas para logo de PLA producido a partir de melaza

Inspiración



Los logos de productos biodegradables tienden a ser en tonalidades de verde y presentan un aspecto de naturaleza. Tienen hojas que presentan plantas, y en el caso de PLA tiene la materia prima a partir de la que se produce.

Propuestas:



Es de suma importancia que el nombre del producto tenga directa relación con su nombre científico. En el logo se utilizará sus iniciales en inglés. También, para hacer notar su materia prima, que es melaza, se hizo la relación con caña de azúcar. Se utilizó inglés, para no contradecir el nombre del polímero “polylactic acid”. Por último, para agregarle vida al logo, se utilizó la imagen de caña de azúcar, con variaciones en colores. La tonalidad escogida fue verde, pues va de la mano con los logos de productos biodegradables comunes.

Propuesta de portafolio de productos de PLA en Guatemala
Figura 54: Propuesta de vaso desechable de PLA



Fuente: Google Images

Figura 55: Propuesta de utensilios para comida a partir de PLA



Fuente: Google Images

Figura 56: Propuesta de botella de agua a partir de PLA



Medidas propuestas: Altura 20.32cm, diámetro: 6.35cm, para capacidad de 500ml
Fuente: Google Images

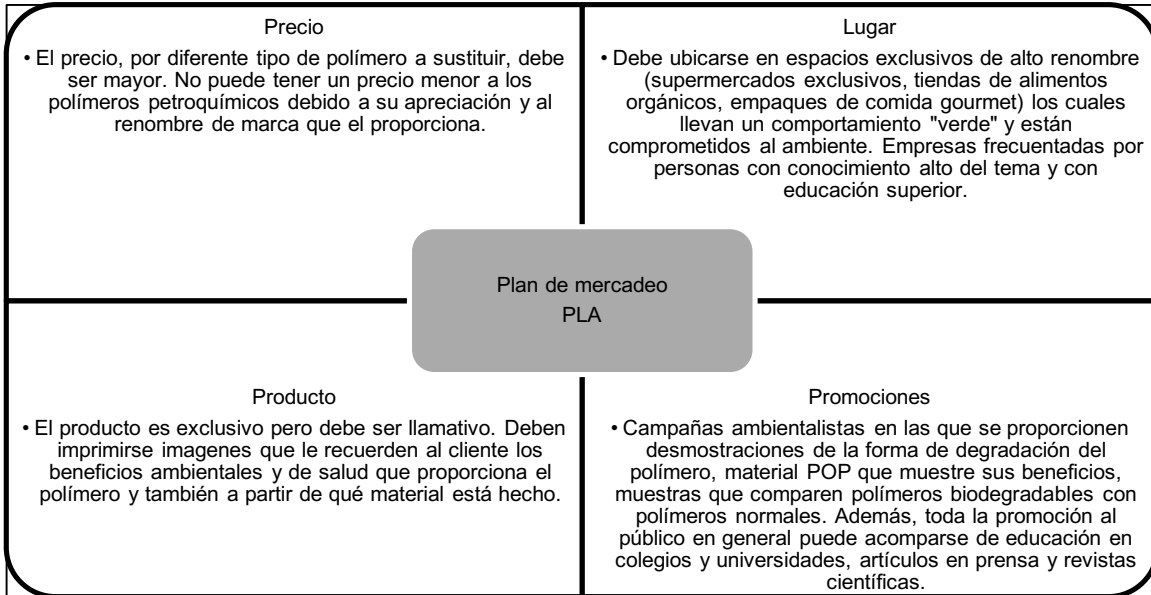
Figura 57: Propuesta de bolsa de PLA



Medidas propuestas: Ancho: 21.00cm, Alto: 29.70cm
Fuente: Google Images

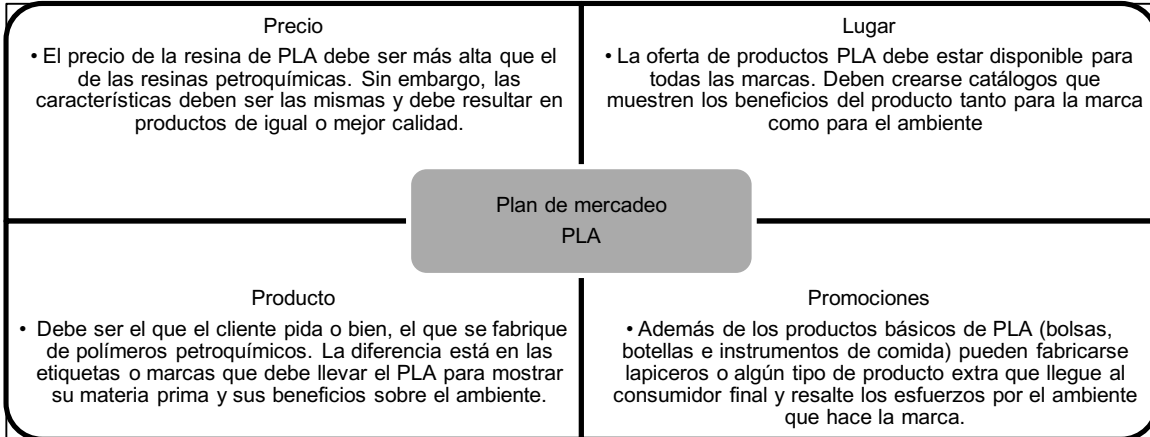
Plan de mercadeo y estudio financiero

Tabla 36: Plan de mercadeo de PLA para consumidores finales



Nota: La matriz de plan de mercadeo que se muestra en la Tabla 36 está destinada para el consumidor final, aquella persona que recibe PLA en bolsas o botellas de agua.

Tabla 37: Plan de mercadeo de PLA para clientes



Nota: La matriz de PLAN de mercadeo que se muestra en Tabla 37 está destinada para el cliente, quien es aquella empresa que a partir de resina fabrica productos plásticos.

Tabla 38: Variables para el cálculo de costos a escala laboratorio

Variable	Costo
Tipo de cambio	1 USD = Q7.60
Costo energía eléctrica	1.142176 Q/kWh
Consumo de energía autoclave	12 kW
Consumo de energía incubadora	1.15 kW

Fuente: Banco de Guatemala, Comisión Nacional de Energía Eléctrica

Tabla 39: Costo de producción de ácido láctico utilizando *Rhizopus oryzae*

Módulo con <i>Rhizopus oryzae</i>	
Materiales	Costo
Balanza analítica	
Beakers	
Balones aforados	
Termómetro	
Refractómetro digital	
Equipo HACH	
Erlenmeyer con baffles	
Etanol	
Fosfato ácido de potasio	
Agua destilada	
Ácido fosfórico	
Ácido láctico	
Sacarosa	
Glucosa	
Fructosa	
HPLC	
Total	GTQ311.00
Agar papa dextrosa	GTQ1,350.00
Incubadora industrial (16 días)	GTQ504.38
Autoclave (320 mins)	GTQ73.10
<i>Rhizopus oryzae</i>	GTQ2,271.42
Total	GTQ4,509.91

Tabla 40: Costo de producción de ácido láctico utilizando cultivos lácticos

Módulo con cultivos lacticos	
Materiales	Costo
Balanza analítica	
Beakers	
Balones aforados	
Termómetro	
Refractómetro digital	
Equipo HACH	
Erlenmeyer con baffles	
Etanol	
Fosfato ácido de potasio	
Agua destilada	
Ácido fosfórico	
Ácido láctico	
Sacarosa	
Glucosa	
Fructosa	
HPLC	
Total	GTQ311.00
Agar papa dextrosa	GTQ1,350.00
Incubadora industrial (16 días)	GTQ504.38
Autoclave (320 mins)	GTQ73.10
Cultivo BB-12	GTQ358.72
Cultivo YC-370	GTQ81.32
Total	GTQ2,678.52

Tabla 41: Costo de producción de módulo de oligomerización

Módulo oligomerización	
Equipo de Laboratorio	GTQ311.00
Ácido Láctico	GTQ172.80
Ácido Sulfúrico	GTQ0.15
Total	GTQ483.95

Tabla 42: Costos del megaproyecto

	Costo	Peso porcentual	Resultados
Total Módulo <i>Rhizopus oryzae</i>	GTQ4,509.91	58.78%	6.7 g/L
Total Módulo Cultivos Lácticos	GTQ2,678.52	34.91%	11.06 g/L
Total Módulo Oligomerización	GTQ483.95	6.31%	
Total Megaproyecto	GTQ7,672.38	100.00%	

Tabla 43: Comparación del peso molecular obtenido contra el reportado en experimentaciones anteriores a un tiempo de reacción de 8 horas.

Peso molecular obtenido (g/mol)	Peso molecular reportado (g/mol)	Relación
1855.56	557.2567	3.33

Figura 58: Comparación de los pesos moleculares obtenidos en la experimentación por el método de NMR y el método de condensados

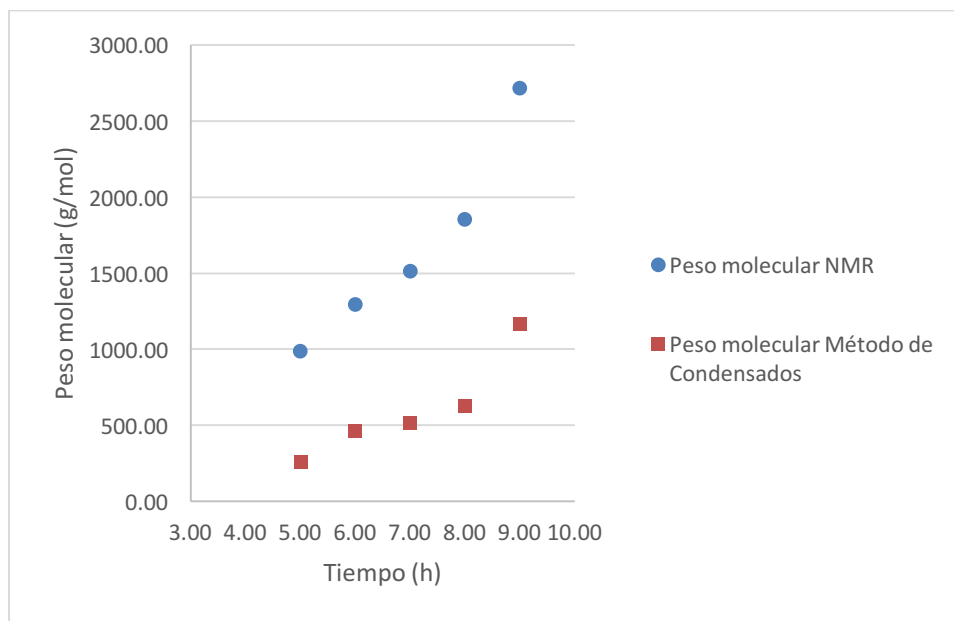


Tabla 44: Modelos cinéticos obtenidos

Concepto	Ecuación	Orden
Respecto al sustrato (ácidos carboxílicos)	$Ca=0.0973*(t)+0.475$	1.3
Respecto a los pesos moleculares experimentales	$26.591(t^2) + 42.434(t) + 18.527$	2
Respecto a los pesos moleculares teóricos	$35.2392) - 26.253(t) + 176.54$	2

*Donde t es el tiempo en horas.

Tabla 45: Comparación de modelos cinéticos de pesos moleculares contra el tiempo

t(h)	Modelo experimental	Modelo teórico
0	0	0
1	2.684	185.53
2	40.023	264.99
3	130.544	414.93
4	274.247	635.35
5	471.132	926.25
6	721.199	1287.63
7	1024.448	1719.48
8	1380.879	2221.81
9	1790.492	2794.62
10	2253.287	3437.91
11	2769.264	4151.68
12	3338.423	4935.92

Figura 59: Variación de modelos cinéticos de pesos moleculares contra tiempo

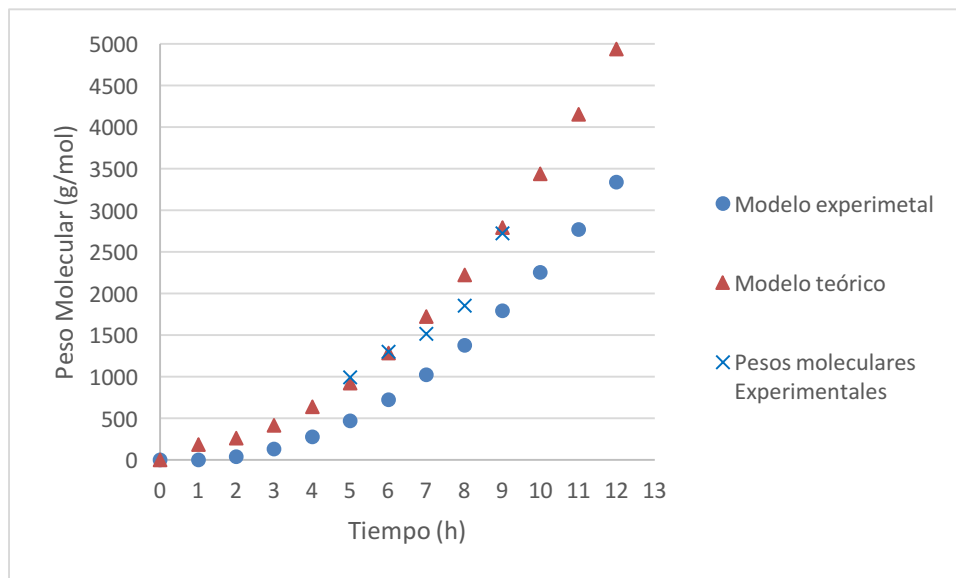


Tabla 46: Fracciones en masa máximas de ácido láctico en las fases orgánicas con y sin TOA

Solvente	Fracciones en masa máxima de ácido láctico en la fase orgánica sin TOA	Fracciones en masa máxima de ácido láctico en la fase orgánica con 12% m/m de TOA
Dodecanol	0.13	0.27
Octanol	0.72	0.23
Heptano	0.52	0.40

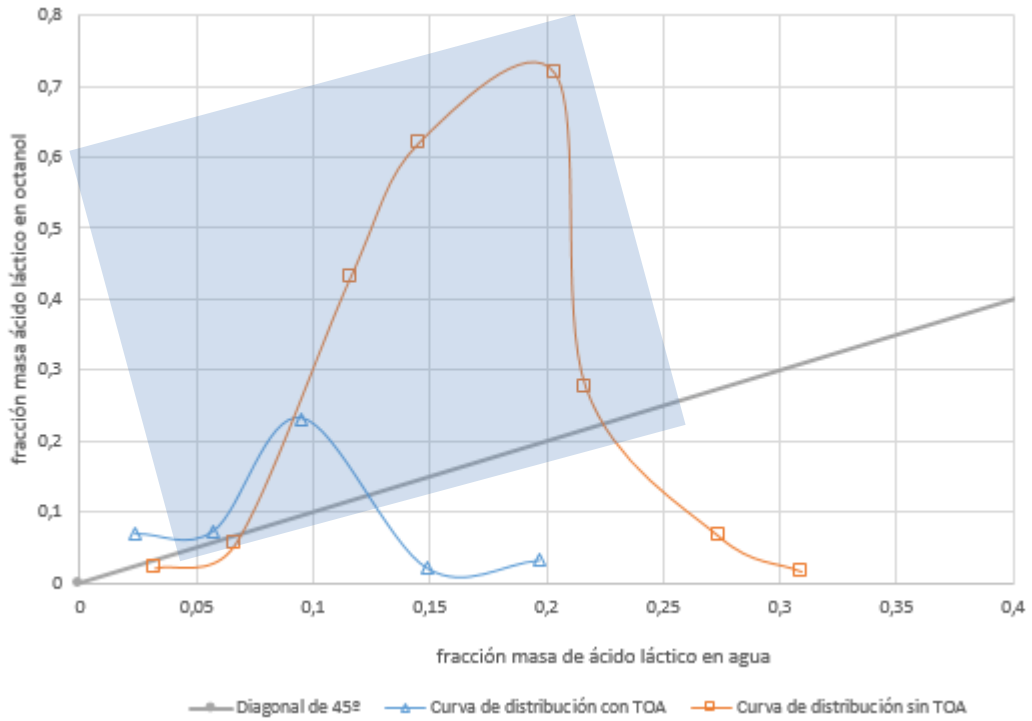
Nota: se menciona trioctilamina como TOA

En la Tabla 46 se muestran las fracciones masa máxima de cada uno de los solvente con y sin TOA. Datos que se pueden observar como los puntos máximos de los valles de las curvas en las figuras 60 a la 64.

En las Figuras 60 a la 64, se muestran las curvas de extracción de los solventes Octanol, Heptano y dodecanol con y sin TOA. La sección de cada curva donde se ve favorecida la extracción en la fase orgánica es la resaltada con el recuadro celeste, sobre la línea de 45°. Se ve favorecida en esta sección debido a que la selectividad es mayor a 1, por lo que la fracción masa de ácido láctico en la fase orgánica es mayor que en la fase acuosa.

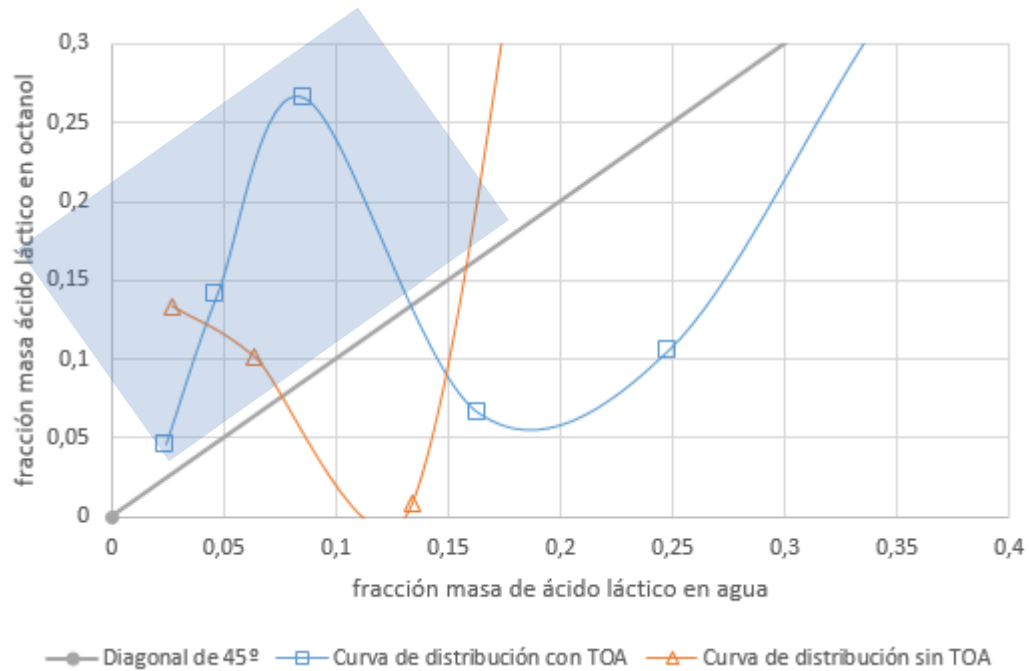
Las curvas completas de las extracciones están en anexos.

Figura 60: Curva de distribución para octanol con TOA y sin TOA



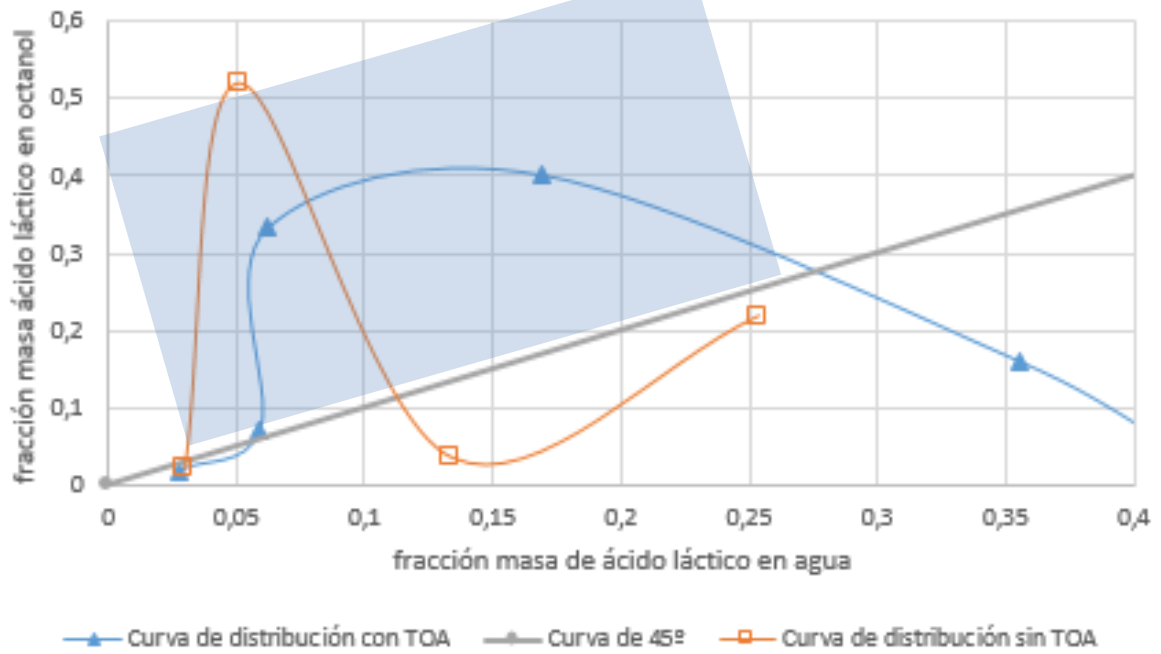
Nota: se menciona trioctilamina como TOA

Figura 61: Curva de distribución para dodecanol con TOA y sin TOA



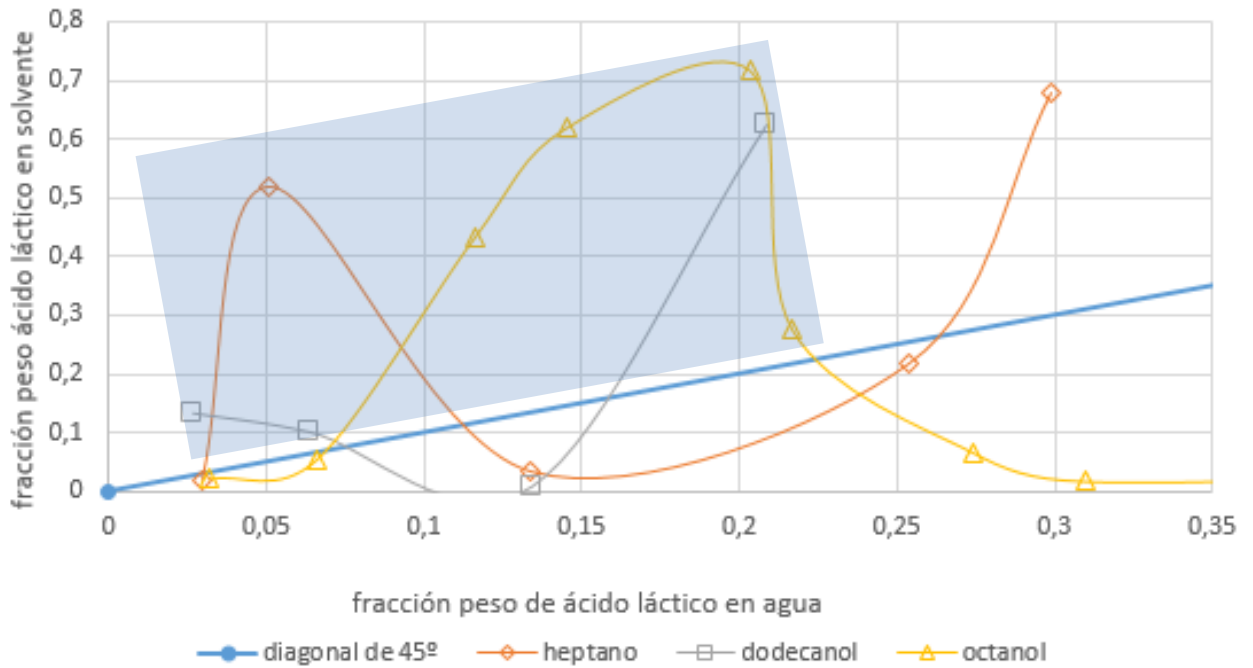
Nota: se menciona trioctilamina como TOA

Figura 62: Curva de distribución para heptano con TOA y sin TOA



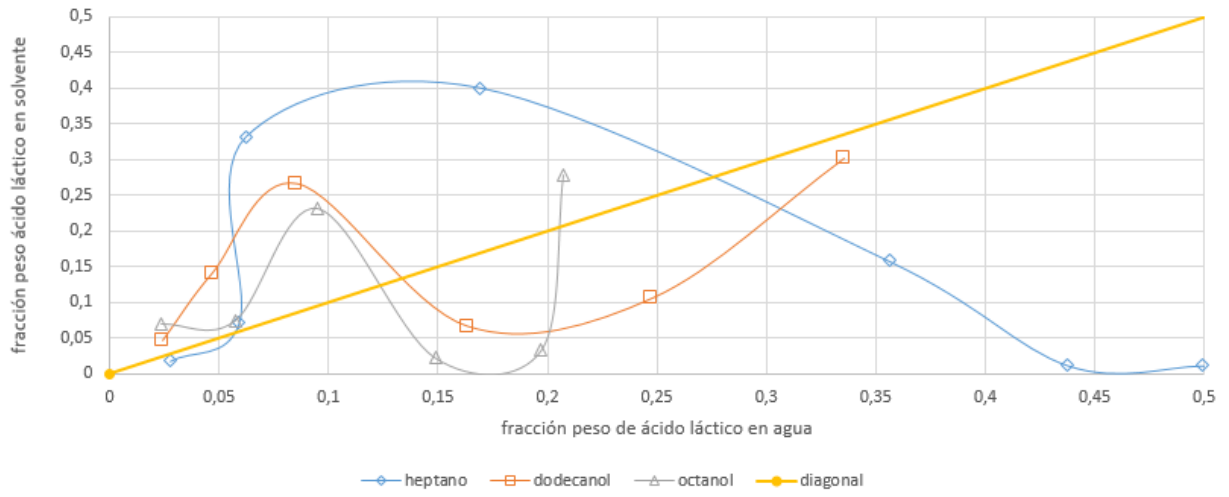
Nota: se menciona triocetilamina como TOA

Figura 63: Curva de distribución para octanol, heptano y dodecanol sin TOA



Nota: se menciona triocetilamina como TOA

Figura 64: Curva de distribución para octanol, heptano y dodecanol con TOA



Nota: se menciona trietilamina como TOA

VIII. Discusión de resultados

En el estudio técnico para el análisis de efectos variando condiciones de fermentación de melaza utilizando diferentes cultivos de ácido láctico, objetivo principal se evaluó influencia de parámetros básicos en la fermentación de caña de azúcar para producir ácido láctico, tales como la temperatura y velocidad de agitación, utilizando dos diferentes cultivos lácticos. Se realizó la caracterización de la melaza a trabajar para determinar rangos de propiedades físicas y químicas y determinar si existe influencia alguna debido a estas propiedades al momento de realizar la reacción de fermentación.

Para las dos melazas trabajadas se observó claramente, en la tabla No.10 y la tabla No. 12 en la sección de Resultados, que los rangos determinados de los grados Brix son relativamente parecidos, con la diferencia en que los grados Brix de la melaza del ingenio Tuluá son levemente mayores. Se debe de tener presente que los grados Brix no representan únicamente los azúcares fermentables que se encuentran presentes en la miel, sino más bien se toman en cuenta aparte de estos azúcares, los sólidos disueltos en la solución de melaza. Por esta razón no se puede tomar una decisión de la mejor melaza a utilizar solo definiendo el rango de los grados Brix de ambas melazas. Para poder determinar cuál melaza es la más adecuada para el proceso es imprescindible determinar las concentraciones de los azúcares reductores y azúcares fermentables en la melaza, en este caso concentraciones de la glucosa, fructosa y sacarosa. Para determinar estas concentraciones se realizaron análisis en un HPLC. Como se puede observar en las tablas No. 11 y No. 13, en la sección de resultados, se obtuvo las concentraciones de las tres azúcares mencionadas con anterioridad, en donde cabe resaltar que la concentración de sacarosa es un 17.75% mayor en el caso de la melaza del Ingenio Magdalena, así como la concentración de glucosa siendo mayor en un 21% para esta misma melaza, lo que quiere decir que esta melaza es más pura debido a que su concentración de azúcares fermentables es mayor. Este es un dato sumamente importante, debido a que es necesario tener una mayor concentración de azúcares fermentables en la solución de melaza para que esta reaccione con el cultivo láctico y así obtener una mayor concentración de ácido láctico.

Otro aspecto a tomar en cuenta son los rangos de pH, ya que a las mismas diluciones de melaza en agua, se tienen pH más ácidos en la melaza del Ingenio Tuluá que en la melaza del Ingenio Magdalena. Se observó también, que a pesar de las diluciones a mayor volumen de agua, el pH casi no cambió respecto a las diluciones con un menor volumen de agua, por lo que cabe mencionar que el agua afecta de manera insignificante el pH de la melaza. Una de las razones por la que la melaza posee valores de pH más ácidos es porque tiene un tiempo de vida mayor o por las condiciones a la que encontraba almacenada que hayan comenzado reacciones

en la melaza que provoquen que esta se acidifique, haciéndola una melaza menos adecuada para el proceso de fermentación. Se debe tomar en cuenta que para que el cultivo láctico funcione correctamente, la solución a fermentar no debe de tener un pH menor a 6, sino se debe controlar el pH y mantenerlo en este valor. Este rango de pH es sumamente importante por la razón mencionada anteriormente, y se debe de tomar en cuenta al momento de elegir la melaza con la cual se debe de trabajar para la fermentación.

Por último, se encuentran los rangos de la conductividad, los cuales tienen una variación baja entre las diluciones trabajadas de melaza. Esto quiere decir que esta propiedad se mantiene y al no poseer valores altos, no se verá afectada la reacción de fermentación. La razón por la que las características fisicoquímicas de la melaza varían es por la variedad y madurez de la caña, las condiciones climáticas y del terreno, el grado de la molienda, la naturaleza de los procedimientos de clarificación y otros factores.

Debido a los datos analizados con anterioridad, se decidió trabajar con la melaza del Ingenio Magdalena para el posterior proceso de fermentación, por la razón de que el pH es más básico que el de la melaza del Ingenio Tuluá.

Al realizar el estudio técnico se determinaron los parámetros básicos de fermentación adecuados para la producción de ácido láctico utilizando dos diferentes cultivos lácticos. Esto se puede observar en las gráficas de la número uno a las número ocho en la sección de resultados, en donde se ve claramente la variación de la concentración de ácido láctico a lo largo de la reacción para los diferentes parámetros básicos de fermentación trabajados. Debido a que se variaron parámetros como la temperatura y la velocidad de agitación, usando dos valores distintos para cada uno de ellos, se realizaron cuatro fermentaciones con las respectivas combinaciones de estos parámetros para cada cultivo, teniendo un total de ocho fermentaciones.

De la Figura No. 25, y la Figura No. 29, a 37°C y 100 rpm, se puede observar claramente cómo la concentración de ácido láctico va decayendo considerablemente, hasta llegar a obtener una concentración de ácido láctico insignificante al final de las 72 horas de fermentación. Esto se puede deber a dos factores: El primero, porque se está trabajando con cultivos termófilos, por lo que la temperatura de operación debe de ser relativamente alta, y en este caso el parámetro que se está experimentando es a una temperatura de 37°C, menor a las temperatura recomendada de 40°C. Además, la velocidad de 100 rpm, la cual afecta también el proceso de fermentación debido a que esta velocidad no puede ser la adecuada, ya que no se está dando una buena transferencia de masa en la reacción, lo que provoca que el cultivo no reaccione correctamente y no produzca cantidades considerables de ácido láctico.

Al comparar la siguiente combinación de los parámetros experimentales, siendo en esta ocasión a 37°C y 150 rpm, se observa en la Figura No. 26 en la sección de resultados que para

el cultivo ABY-3 la concentración de ácido láctico a lo largo del tiempo no varía considerablemente, aunque cabe mencionar que se tiene un porcentaje mayor de ácido láctico comparado con el porcentaje inicial, siendo el final de 5.26 g/L, lo que indica que sí se produjo ácido láctico a estas condiciones con dicho cultivo. Sin embargo, en la Figura No. 30, utilizando los mismos parámetros pero con diferente cultivo, siendo este el YC-370, se observó que se tiene una concentración de ácido láctico menor a la que se encontraba al inicio, por lo que el cultivo YC-370 no produce ácido láctico, sino más bien la concentración del mismo va disminuyendo conforme el tiempo. Esto se puede deber a la temperatura trabajada, ya que puede que este cultivo necesite de temperaturas más elevadas para que reaccione correctamente. A diferencia del cultivo ABY-3 a estos mismos parámetros, ya que este sí produce ácido láctico, y se ha de deber a la velocidad de agitación, ya que esta provoca una mejor transferencia de masa para que se de a cabo la reacción y no necesite de temperaturas tan elevadas como el otro cultivo por lo que se compensa con la velocidad de agitación.

La siguiente combinación de parámetros experimentales fue de 43°C y 100 rpm, y como se observó en la Figura No. 27 y en la Figura No. 31 en la sección de resultados, la concentración de ácido láctico en ambos casos, para los dos diferentes cultivos, es mayor a la que se presentaba al inicio. Por lo que se puede concluir que a los parámetros establecidos, para ambos cultivos, es posible la producción de ácido láctico. Es importante mencionar que a pesar de trabajar a las mismas condiciones, el cultivo YC-370 presenta una concentración de ácido láctico levemente mayor, siendo esta de 7.25 g/L, en comparación con la concentración final de ácido láctico producido por el cultivo ABY-3, siendo esta de 6.99 g/L.

Finalmente se trabajó con la siguiente combinación de parámetros para los dos cultivos, a 43°C y 150 rpm. Como se observó en la Figura No. 28 en la sección de resultados para el cultivo ABY-3, la concentración de ácido láctico es significativamente mayor a la que se tenía al inicio, siendo esta al final de 11.03 g/L, presentando la mayor concentración de ácido láctico obtenida en todas las fermentaciones trabajadas. Al observar la Figura No. 32 en la sección de resultados para el otro cultivo, se tiene también una concentración de ácido láctico mayor a la que se tenía al inicio, siendo esta de 7.86 g/L. Por estos resultados se puede confirmar que es posible la producción de ácido láctico a los parámetros establecidos, además cabe mencionar que a estas condiciones se obtuvo la mayor concentración de ácido láctico producido para ambos cultivos en comparación de las demás fermentaciones trabajadas. Esto se puede deber a que se trabajó con las condiciones más severas. Como se ha mencionado con anterioridad, se trabajó con cultivos termófilos por lo que trabajar a 43°C es la mejor opción para ambos cultivos, y con una velocidad de agitación de 150 rpm se tiene una mejor transferencia de masa para que se de a cabo la reacción.

Cabe mencionar que en las diferentes gráficas presentadas con anterioridad en la sección de resultados, se observaron concentraciones iniciales de ácido láctico al tiempo cero. Esto se puede deber a que la melaza contiene alrededor de 5% de ácidos orgánicos que pueden interferir en la lectura del HPCL. También se observa en todas las gráficas un comportamiento diaúxico de la concentración de ácido láctico, este se debe a que en la reacción de fermentación, los cultivos comienzan reaccionando con los monosacáridos, en este caso con la glucosa y fructosa, una vez se han consumido estos, comienzan a reaccionar con los disacáridos, en este caso sería la sacarosa para la formación del ácido láctico. Es importante mencionar que la columna utilizada por el equipo HPCL no era la indicada para medir únicamente ácido láctico, ya que esta funciona para ácidos orgánicos en general, por lo que al momento de realizar las lecturas, los picos presentados en los cromatogramas pueden abarcar otro tipo de ácidos presentes en la melaza, por lo que los resultados obtenidos están expuestos a este tipo de error.

Otro error a tomar en cuenta se debe a la misma utilización de los cultivos mencionados con anterioridad, ya que estos poseen una combinación de distintos microorganismos, los cuales están fabricados para que reaccionen con la lactosa y así producir ácido láctico. Son utilizados normalmente en la industria láctea. El cultivo ABY-3 contiene *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, y el cultivo YC-370 contiene *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* únicamente. En ambos casos, la bacteria *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*, no tiene la misma capacidad de reacción con cualquier azúcar, como la que tiene con la lactosa para formar ácido láctico. Es por eso que esta bacteria reacciona de manera más lenta para la formación de ácido láctico. El uso del *Streptococcus thermophilus* es para estimular el desarrollo del *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*, por lo que actúa de la misma forma que este. El *Lactobacillus acidophilus* se usa también en conjunto con el *Streptococcus thermophilus*, el uso de esta bacteria no solo produce ácido láctico, sino también produce ácido acético, el cual puede interferir en la lectura de la concentración de ácido láctico que proporciona el HPLC.

Con el fin de tener un respaldo estadístico de los resultados obtenidos, y poder determinar cuantitativamente cuáles son los parámetros adecuados de operación para la fermentación láctica a partir de melaza, se realizó un análisis factorial grado dos de tres factores. En donde los factores significantes eran la temperatura y la velocidad de agitación, además de un tercer factor el cual era el tiempo inicial y el final del proceso de fermentación para determinar la concentración de ácido láctico. Para realizar el análisis factorial se utilizó el software Minitab. Del análisis factorial se obtuvo los siguientes resultados.

Las Figuras No. 83 y No. 84 en los anexos, apartado C análisis estadístico, representan los niveles bajos de los factores, en este caso 37°C y 100 rpm, y los niveles altos de los mismos factores, siendo 43°C y 150 rpm, en relación a la respuesta, la cual es la concentración de ácido

láctico para cada uno de los cultivos. Los puntos en los gráficos son valores promedio de la concentración de ácido láctico a los niveles correspondientes. Finalmente al analizar ambos gráficos, se observó que para los niveles altos, o sea una temperatura y una velocidad de agitación de 43°C y 150 rpm se obtuvo concentraciones de ácido láctico mayores que a los niveles bajos de los factores, o sea a una temperatura y agitación de 37°C y 100 rpm respectivamente, lo cual concuerda con el análisis que se había realizado con anterioridad al observar las gráficas de la concentración a lo largo del tiempo para los diferentes cultivos.

En la Figura No. 85 en los anexos, apartado C análisis estadístico, observó el eje horizontal uno de los factores, en este caso la temperatura y su nivel bajo y alto especificados. Aparte, para cada uno de los niveles se contó con dos puntos que el círculo representa a la velocidad baja de 100 rpm y el cuadrado representa la velocidad máxima de 150 rpm, y en el eje vertical se tiene la concentración de ácido láctico. Entonces se tienen las combinaciones entre el factor de temperatura y velocidad de agitación. Al observar el gráfico se debe identificar las mejores condiciones de los factores, identificando el punto máximo para una concentración máxima de ácido láctico, en este caso se observó que es a una velocidad de 150 rpm y a una temperatura de 43°C. Este mismo análisis se realizó para la Figura No. 86 para el otro cultivo trabajado, en donde se observó también que el punto máximo es a una velocidad de 150 rpm y a una temperatura de 43°C.

En la Figura No. 87 en los anexos, apartado C análisis estadístico, se observó en el eje horizontal uno de los factores, en este caso la temperatura y su nivel bajo y alto, y en el eje vertical se tiene el otro factor el cual es la velocidad de agitación, donde también se representan su nivel bajo y alto. Además, en cada vértice se tiene un promedio de la concentración de ácido láctico dependiendo del factor al cual pertenezca. Se observó claramente el promedio más alto de la concentración de ácido láctico, siendo esta de 8.26 g/L, en el vértice superior derecho que pertenece a los niveles altos de ambos factores, o sea a 43°C y a 150 rpm. De la misma manera se analizó la Figura No. 88 para el otro cultivo en donde nuevamente la concentración de ácido láctico máxima, siendo esta de 7.06 g/L, se encuentra en el vértice superior derecho. Donde nuevamente se puede confirmar que es a los niveles altos de ambos factores, o sea 43°C y 150 rpm.

En las Figuras No. 87 y No. 88 se puede observar también de manera más directa, que además de que el porcentaje máximo de ácido láctico se obtiene a 43°C y a 150 rpm, el cultivo ABY-3 presenta la mayor concentración de ácido láctico obtenida en todas las fermentaciones realizadas.

En el estudio técnico para en análisis de los efectos de condiciones en la fermentación de melaza utilizando *Rhizopus oryzae* se monitoreó la concentración de ácido láctico durante el

proceso de fermentación, variando parámetros básicos de reacción como la temperatura y la velocidad de agitación, asimismo evaluando las propiedades fisicoquímicas previamente del sustrato utilizado que en este caso fueron melazas donadas del ingenio Magdalena y del ingenio Tululá.

La columna de densidades mostradas en la Tabla 18 se trabajó de la forma expuesta con el fin de obtener una correlación con todos los valores de las propiedades fisicoquímicas evaluadas, ya que en la literatura existe escasez de información sobre las mismas, dependiendo del grado de disolución que se tenga de melaza. Las temperaturas mostradas en la segunda columna son las temperaturas a las cuáles fueron tomados los valores de °Brix, los cuales van aumentando conforme la densidad aumenta, sin embargo es necesario remarcar que los °Brix no representan los azúcares que se encuentran presentes en el mosto sino que la cantidad de sólidos disueltos que este tiene los cuáles pueden ser (además de los azúcares) sales de metales, proteínas o colorantes. En la columna de conductividad se puede observar que los valores no varían significativamente en relación al aumento de la densidad, por lo que al tomar en cuenta este factor y que la conductividad no es alta, esta propiedad fisicoquímica no debería de influir de manera significativa durante la fase experimental. El pH se observa que se encuentra en un rango de 5-6, lo cual representa un medio ligeramente ácido y la tendencia de disminuir levemente se debe a la cantidad de agua (pH = 7) agregada. Por último, la viscosidad es un parámetro muy importante a tomar en cuenta al momento de realizar los experimentos a escala laboratorio ya que en base a los datos obtenidos se eligió utilizar una solución con densidad baja puesto que la manipulación de la solución genera menos problemas.

Los resultados para la melaza proveniente del ingenio Tululá (Tabla 19) presentan la misma tendencia, sin embargo, las magnitudes varían ligeramente ya que parámetros como los grados Brix y viscosidad se registraron con valores levemente mayores, a excepción del pH que disminuyó casi en una unidad. La variación de las propiedades entre ambas melazas es importante discutirla puesto que cada ingenio posee distintas características en su proceso las cuales repercuten en que el residuo estudiado posea dichas características fisicoquímicas.

Al observar las incertidumbres proporcionadas por los equipos utilizados para cada parámetro caracterizado se puede decir que los datos poseen alta validez. Se buscó que las medidas fueran lo más directas posibles, es decir, sin la menor cantidad de cálculos intermedios con el fin de disminuir la propagación de error experimental.

Los resultados obtenidos para la fermentación no. 1 a escala laboratorio se puede observar en la Figura No. 33. La tendencia de los puntos graficados hasta las 50 horas, se puede decir que se comporta de manera constante, sin embargo, luego de las 50 horas, la producción de ácido láctico empieza a decaer bajo las condiciones especificadas. Por otro lado, en la Figura

No. 24 se puede analizar el comportamiento de la glucosa a través del tiempo, la cual hasta la hora 50 también parece tener un comportamiento constante hasta que luego empieza a consumirse poco a poco.

En la Figura No. 34, los datos reflejan un comportamiento constante a lo largo del proceso, a excepción del punto 6, que se sale completamente de la línea. Por otro lado, al observar el comportamiento de la glucosa en la gráfica, la concentración aumenta y disminuye levemente en ciertos períodos.

El comportamiento del ácido láctico observado en la Figura No. 35 es muy similar observado en la corrida anterior, ya que ambos reflejan valores aproximadamente constantes a lo largo del proceso de 72 horas, sin embargo en la Figura No. 13 se puede observar que ahora la tendencia de la concentración de la glucosa con respecto al tiempo disminuye de manera más clara.

La Figura No. 36 es la que presenta resultados más congruentes ya que se puede observar que la concentración de ácido láctico al final del periodo de tiempo es más alta que la de la muestra inicial, asimismo la tendencia de los valores es creciente a lo largo de la prueba. Por otro lado, al observar la gráfica de la concentración de glucosa, se puede respaldar lo dicho anteriormente ya que a excepción del punto 3 y 4, se puede decir que la glucosa consume a través del tiempo.

Las tendencias de cada corrida fueron comparadas y evaluadas en base a los resultados obtenidos en los experimentos realizados por Tay, Yang y Bulut, *et.al.*

Para respaldar estadísticamente que la fermentación no. 4 es la que presenta los mejores resultados y las mejores condiciones de operación para la fermentación láctica se realizó un análisis factorial de dos niveles con una sola réplica (Montgomery, 2001) con el fin de obtener un modelo de regresión que relacionara la temperatura, la velocidad de agitación y el tiempo con las variables de respuesta trabajadas, en este caso, el porcentaje de ácido láctico y de glucosa. Se eligió la glucosa porque según Bulut, *et.al.* con esta se obtiene la mayor productividad en el proceso.

En la Figura No. 99, se puede observar el modelo graficado de la temperatura con respecto a la concentración de ácido láctico. Cuando el eje x es igual a -1 significa que la temperatura está en su mínimo, el cual para efectos de este módulo, es 30 °C, mientras que cuando el valor es igual a 1, la temperatura es máxima (35°C), por lo que al analizar la regresión se puede observar que la producción de ácido láctico se verá maximizada cuando la temperatura sea igual a 35 °C.

Para evaluar el factor de velocidad de agitación se analizó la Figura No. 100. Siguiendo las mismas bases explicadas anteriormente, con la diferencia que cuando el valor del eje x sea igual a -1, la velocidad de agitación será de 150 rpm, mientras que cuando sea igual a 1, el valor será de 200 rpm. Teóricamente se busca que la concentración de la glucosa sea la más baja al finalizar la operación por lo que al observar la gráfica se puede respaldar la teoría ya que con una velocidad de agitación de 200 rpm, la concentración de la glucosa se verá minimizada. Es necesario remarcar que el factor tiempo se fijó en condiciones máximas, es decir, en 72 horas.

Uno de los resultados esperados es que la concentración inicial de producto (ácido láctico) del caldo de fermentación sea cero, o al menos un valor muy bajo, sin embargo en las cuatro fermentaciones realizadas el valor esperado estuvo al menos arriba de 4.5 % (g/L), lo cual es argumentable ya que Rein menciona que inicialmente la melaza puede contener alrededor de un 2 - 5 % de ácidos orgánicos.

La producción de ácido láctico depende de la cantidad de glucosa presente en el sustrato, en este caso, melaza; en las pruebas realizadas se utilizó una concentración inicial de sustrato del 20% (m/v). Es importante mencionar que al utilizar una concentración más alta, la posibilidad de que la productividad del proceso aumente es muy alta, sin embargo, en términos de procedimiento, manejar caldos de melaza con concentraciones mayores a la designada se vuelve muy complicado debido a la alta viscosidad, además de que la gran cantidad de sólidos disueltos puede causar interferencias en las distintas mediciones que se le apliquen posteriormente.

Las pruebas a escala laboratorio se realizaron en condiciones anaerobias con el fin de evitar cuantificar la transferencia de masa entre el medio y la atmósfera ya que no se contaba con el equipo necesario para medir la cantidad de materia que se transfería del medio a los alrededores, sin embargo, según el estudio realizado por Tay y Yang, la concentración de oxígeno disuelto en el medio tienen un gran impacto sobre la productividad del proceso ya que bajo condiciones limitadas de oxígeno, es más posible que se genera más etanol y menos ácido láctico debido al aumento de la actividad de la deshidrogenasa, por lo que el hecho de haber realizado los experimentos en las condiciones elegidas puede considerarse como una fuente de error aleatoria.

Asimismo, según Tay y Yang, la baja productividad de una fermentación láctica a partir de un hongo se debe parcialmente a la formación de sub-productos como el etanol y el ácido fumárico. Las limitaciones de transferencia de masa dentro de los micelios del hongo ocasionan una lenta reacción que puede repercutir en bajas productividades.

Otros de los factores importantes a tomar en cuenta en la producción de ácido láctico es el pH. Huang, et.al recomienda que un rango favorable de este parámetro debería de ser de 5.0-6.0. Tay y Yang encontraron que la producción de etanol, ácido láctico y ácido fumárico disminuye cuando el pH disminuye de 6.0 – 4.0. Miura et.al presenta que la productividad más alta de ácido láctico (93 g/L) se alcanza con un pH de 6.0-6.5.

El período de operación se fijó en 72 horas debido a que en la literatura existe escasez de resultados y datos experimentales bajo esas circunstancias por lo que se buscaba corroborar la veracidad de los pocos datos obtenidos en estudios previos, sin embargo, es necesario mencionar que mientras haya un tiempo de operación más prolongado la productividad del ácido láctico incrementará.

Por último, es importante mencionar que los análisis de ácido láctico fueron realizados en un equipo de HPLC con una columna HPX 88-C que es para ácidos orgánicos en general. Bulut et.al utilizaron una columna HPX 87C que es específicamente para ácido láctico. Tay y Yang utilizaron una columna HPX-87H que también es específica para ácido láctico. La variabilidad que pudo haber presentado el método utilizado en este módulo se desconoce exactamente, sin embargo, se debe considerar como una fuente de error.

Por otro lado, la experimentación logró comparar el oligómero producido utilizando la nueva reacción contra el reportado en experimentaciones anteriores otorgando una relación de 3.33 veces más grande el oligómero producido en esta experimentación con un peso molecular de 1855.56 g/mol.

El peso molecular utilizado para la comparación fue calculado usando el método de NMR. Se utilizó este método porque presenta datos más exactos que el método de condensados de agua, ya que es muy probable que el agua que se estuvo evaporando en el sistema se haya perdido en la succión de vacío y esto se puede ver haciendo referencia a la figura 58 de la sección de resultados donde se observa que la tendencia de los pesos moleculares calculados se mantiene, pero sus magnitudes son muy diferentes, por lo que es factible asumir que cierta parte del agua se estaba perdiendo en la succión porque no se lograba condensar, ya sea debido a que el vacío era muy alto o bien el sistema de condensación no era el adecuado para las temperaturas de los vapores salientes de la reacción. Tras realizar esta comparación y determinar que los datos obtenidos por el NMR son más confiables se procedió a utilizar los pesos moleculares calculados por medio de este método para los siguientes análisis y cálculos a realizar en base a pesos moleculares como lo fue la comparación antes mencionada.

Para obtener el modelo cinético basado en la concentración del sustrato (ácidos carboxílicos) se utilizó el método integral. El método integral fue utilizado porque, a diferencia del método diferencial, no es tan susceptible a los datos obtenidos experimentalmente. Otra

razón por la cual fue preferible el uso de este método fue el que hubo errores en la experimentación. La expresión obtenida a partir de las concentraciones finales a diferentes tiempos se puede observar en la Tabla 44 en la cual se observó que el mejor ajuste lineal que se obtenía de los datos fue con un orden de reacción de 1.3. Es posible que este modelo no se ajuste de la mejor manera a los datos, ya que, se observa en las expresiones cinéticas obtenidas a partir de los datos teóricos de peso molecular y los datos de peso molecular obtenidos por medio del método de análisis de NMR, el mejor ajuste que se obtuvo fue con órdenes de reacción 2. Esta diferencia en el orden de reacción puede deberse a que no se obtuvieron datos de pesos moleculares entre 0 a 5 horas de reacción, por lo que pudo haber influenciado de una manera significativa al momento de realizar el ajuste.

Al comparar los modelos cinéticos experimental y teórico se observó que ambos modelos guardan su tendencia, sin embargo, entre más tiempo se prolonga la reacción, menos exacto se vuelve el modelo cinético experimental como se puede observar en la figura 59, que entre más tiempo de reacción se tiene más se separan las curvas de pesos moleculares en el tiempo. Para determinar qué modelo se ajustó mejor a los datos experimentales obtenidos se graficaron los datos de pesos moleculares experimentales obtenidos por medio del método de NMR y se logró observar en la figura 59 que el mejor ajuste para los datos fue el modelo teórico, por lo que el modelo obtenido experimentalmente es erróneo. Es muy probable que por la falta de datos de pesos moleculares entre 0 a 5 horas de reacción haya influenciado la forma de la ecuación cinética, así como sucedió con la ecuación cinética de concentración de ácidos carboxílicos, sin embargo, se logró comprobar que el modelo teórico utilizado como base para esta experimentación es bastante confiable, por lo que se podría utilizar para futuras experimentaciones utilizando las mismas condiciones de reacción utilizadas en esta experimentación.

Por último, en el área de laboratorio de este megaproyecto, al realizar distintas mezclas en porcentajes variables en peso de ácido láctico, agua y solvente se pudo analizar la extracción en cada equilibrio. En el sistema agua-ácido láctico- heptano (Figura 59), se pudo determinar que el coeficiente de reparto tiene un rango de extracción que favorece a la fase oleosa, el rango está entre 0.032 a 0.112 de x (fracción masa de ácido láctico en agua). Para el sistema agua-ácido láctico-octanol (Figura 57), está entre 0.064 a 0.14 y para el sistema agua-ácido láctico-dodecanol (Figura 58) el rango está entre 0 a 0.08. Evaluando el rango de extracción los tres poseen un rango similar de amplitud 0.08 unidades, pero al comparar la curva de distribución de los tres sistemas (Figura 60) se puede evaluar que la curva con el solvente octanol posee mayor alargamiento hacia el eje de la ordenada (eje Y), lo que permite inferir que la concentración del ácido láctico en éste solvente fue mayor que en los otros dos solventes. Al presentar este

comportamiento, se puede decir que las líneas de unión del equilibrio presentan mayor pendiente, por lo que posee mayor coeficiente de reparto.

Una de las posibilidades, por la cual el ácido láctico se extrajo en mayor cantidad en el octanol, pudo deberse a que es un alcohol. La estructura de un alcohol es parecida a la del agua, con un grupo alquilo sustituyendo a uno de los átomos de hidrógeno del agua. El agua y los alcoholes tienen propiedades parecidas, debido a los grupos hidroxilo que pueden formar enlaces por puente de hidrógeno. Los alcoholes pueden ser solubles (cuando poseen 4 carbonos o menos) en agua o no, dependiendo de su peso molecular y en este caso el octanol posee más de 4 carbonos en su estructura, teniendo una solubilidad muy baja en agua a las condiciones de experimentación (25°C). Además, los alcoholes son mejores disolventes que los hidrocarburos para sustancias polares o ligeramente polares, como lo es el ácido láctico. El ácido láctico al ser un ácido carboxílico con más de 4 carbonos en su estructura, tiende a no tener completa solubilidad en agua, por lo que tenderá a ser más afín a formar puentes de hidrógeno con el octanol.

En contraste a lo anterior, el heptano (un hidrocarburo), que es completamente apolar y sin ningún grupo afín al ácido láctico, solo se extrajo cierto porcentaje de ácido láctico por medio de atracción de la parte no polar del ácido carboxílico, pero no con mucho porcentaje ya que los puentes de hidrógeno que el ácido forma con el agua son más afines.

Al analizar el 1-dodecanol, se esperaba que tuviera mayor afinidad que el heptano, ya que este es un alcohol; que a pesar de tener una cadena larga de carbonos, que lo hace más apolar que el octano, tiene un grupo afín al ácido láctico (-OH) que lo hace más propenso a atraer al ácido láctico. Una de las razones por las cuales puede que la extracción con 1-dodecanol no haya tenido mayor efectividad con respecto a los otros solventes, pudo deberse a que el 1-dodecanol posee una temperatura de solidificación (22 °C) que entra entre el rango de temperatura en la que se estaba operando (22-25°C). Por lo que al tener estas variaciones de temperatura, no se podía asegurar que el solvente no se solidificara en algún momento del periodo de tiempo de extracción, interfiriendo así en ella.

Al adicionar la trioctilamina a cada sistema de solventes las curvas de distribución mostraron un cambio en el alargamiento hacia la ordenada o bien en el rango de extracción del solvente (teniendo mayor o menor selectividad dependiendo del solvente).

El sistema de heptano con trioctilamina (Figura 61) tuvo mayor extracción (mayor selectividad) que los otros solventes, pero se favorece menos la concentración de ácido láctico en la fase oleosa en comparación a cuando se extrajo sólo con heptano (Figura 59). El porcentaje de extracción de ácido láctico pudo haberse disminuido debido a que al momento de adicionar la amina, ésta tiende a ser más afín al agua que al heptano, por lo que al estar concentrada la

amina en el agua, ésta tiende a formar el complejo ácido-base en la fase acuosa en vez de realizarlo en la fase del solvente. El rango de extracción es el aspecto que se ve favorecido al agregar la trioctilamina, pasa de tener un rango de 0.032 a 0.112 de x (fracción masa de ácido láctico en agua), a tener un rango de 0.059 a 0.28 de x , por lo que el rango de extracción aumento de 0.08 a 0.221 unidades. Este aumento en el rango de extracción del heptano puede deberse a que las aminas, incluso las aminas terciarias, forman enlaces por puente de hidrógeno con los disolventes hidroxílicos como el agua. Por lo que la trioctilamina, al formar puentes de hidrógeno con el agua, pudo haber dejado mayor cantidad de ácido láctico libre para poder ser atraído por el heptano.

El efecto por el cual la trioctilamina favorece la extracción de ácido láctico en los alcoholes (1-octanol y 1-dodecanol), podría deberse a que la trioctilamina es más afín a éstos solventes y al estar presente en mayor cantidad en ellos, el complejo ácido-amina formado se encuentra en mayor proporción en la fase orgánica. Pero se deben tener en cuenta factores que pueden afectar la extracción con aminas, como por ejemplo el pH. Esto debido a que la extracción con aminas y solventes orgánicos se logra por los puentes de hidrógeno formados con las moléculas de ácido láctico no disociadas. Por lo que a pH más ácidos (mayor disociación del ácido) se disminuye la extracción de ácido láctico.

Este factor pudo afectar la extracción de ácido láctico en el solvente 1-octanol/trioctilamina en comparación con los otros dos solventes. Esto debido a que pudo existir mayor disociación del ácido en el agua, porque el octanol con la trioctilamina se volvía menos afín al ácido láctico en comparación a la mezcla de 1-dodecanol/trioctilamina y heptano/trioctilamina. Por lo que se debe controlar el pH de la solución acuosa, por ejemplo, agregando sal (por ejemplo NaCl) para poder tener mayor cantidad de ácido láctico libre y así ser extraído con mayor facilidad.

Por lo que, evaluando la Figura 60, se puede determinar que en 1-octanol es el solvente que posee mejor extracción de ácido láctico pero al agregar 12% en peso de trioctilamina (en relación al peso total de la mezcla) en la extracción, el solvente con mayor extracción fue el heptano.

Debido al análisis de selectividades que se realizó, es necesario extraer con 1-octanol puro en con el caldo de fermentación, ya que éste obtuvo una mayor extracción y selectividad con el ácido láctico. Con el 1-octanol puro, se logró una máxima concentración en masa de ácido láctico de aproximadamente 0.72 (ver Figura 57). En comparación a un máximo de concentración en masa de ácido láctico de aproximadamente 0.26 (ver Figura 58) y un máximo de 0.5 con heptano (ver Figura 11). Por lo que a pesar de que la trioctilamina puede mejorar la selectividad

o el rango de extracción del solvente, para estas condiciones de experimentación se recomienda el 1-octanol.

Con respecto a la comercialización y mercado de un producto totalmente innovador, PLA, previo a cualquier análisis realizado, en conjunto con todos los participantes del Megaproyecto se realizó un modelo de negocio, que permitió orientar las ideas y extraer la visión que cada participante tenía sobre el polímero que se realizaría. Este ejercicio encontró las principales ventajas y el panorama general de lo que proporcionaría este polímero al mercado existente en Guatemala. Fue el punto de inicio para la idea de negocios, el cliente objetivo y los medios para alcanzar tanto en investigación como para ofrecer el producto en el mercado.

El PLA es un polímero que, por sus beneficios, tiene el potencial de sustituir a los polímeros que actualmente se encuentran en el mercado. Por lo tanto, una forma aceptable de determinar el potencial de mercado del polímero láctico es, determinar el actual mercado de los polímeros petroquímicos y encontrar de ese mercado realista que se pueda ocupar. En los últimos cinco años más los primeros siete meses del 2016, el mercado de los polímeros sustituibles LDPE, PP y PET (Serna, Rodriguez, & Albán, 2003) tuvo un valor de USD 254,697,211.20. Esto equivale a 161,382,535.00kg. Se observó en la Figura 3, que del 2014 al 2015 los mercados han decrecido, lo cual pudo ser debido a los precios del petróleo. Sin embargo, la demanda en kilogramos de todos los polímeros, a excepción del PET ha ido en crecimiento. Por lo tanto, el potencial de mercado se determinó a partir de la demanda en kilogramos. A nivel mundial, en el 2012 se producían 180,000,000 kilogramos de PLA y más del 77.77% era producido NatureWorks, la compañía más grande en el mercado. Tomando como referencia esa producción mundial y el crecimiento del PIB, se pudo tener como objetivo de producción en el primer año un 0.3%, 0.5% y 1%, en escenarios pesimistas, realistas y optimistas, de la producción a nivel mundial. Utilizando la producción realista, esto representó capturar en promedio 0.70% de la demanda de polietileno de baja densidad, 0.50% de polipropileno y 0.35% tereftalato de polietileno, dando como resultado un absorción del 1.55% del mercado total de estos polímeros. Se estarían produciendo entonces, 903,898 kilogramos de PLA con un promedio de ventas de USD 1,807,796.20 en el primer año. Aunque pareciera ser una cifra elevada, si se compara con el tamaño las importaciones del 2015, el mercado del PLA pareciera ser mínimo, manteniendo así la objetividad en que es un producto nuevo, en un país con poco conocimiento sobre el tema, lo cual se discutirá más adelante. Las proyecciones de crecimiento del año 2018 al año 2021 se hicieron en base el PIB. Este análisis se realizó únicamente por cinco años, pues no se tenían datos sobre todo lo que se necesita para una planta de producción de PLA y calcular la recuperación de dicha inversión. En este caso se tomó la mitad del PIB para mantenerse en un escenario realista y seguro, colocando metas realistas fáciles de alcanzar. Es probable que, debido a la consciencia ambiental y la tendencia hacia el

consumo responsable, estas cifras sean bajas en los próximos años. Sin embargo, no se pueden aproximar o simular crecimientos como las empresas actualmente productos pues el contexto y el grado de desarrollo de industrial no es el mismo que Guatemala.

Los polímeros petroquímicos son de común uso en Guatemala. Existe diversidad de productos que pasan desapercibidos en la vida de los guatemaltecos. Sin embargo, el PLA tiene muchas ventajas sobre estos polímeros, ventajas competitivas que pueden ser explotadas por la industria que puede emerger en Guatemala. A partir del análisis VRIO de este producto, se determinó que las ventajas competitivas del producto son: El producto es biodegradable, es innovador, es amigable a ambiente, no contiene toxinas, es aplicable en diversas industrias (alimentos o médica), reduce las emisiones de dióxido de carbono y que sus características industriales pueden ser modificadas a las que el cliente desee durante la reacción. Todo esto es valioso para el cliente, difícil de encontrar, difícil de imitar y en ciertas ocasiones la empresa está organizada para explotar el recurso. A partir de este análisis se creó la Matriz FODA que proporcionó estrategias para la comercialización del producto. Las estrategias FO se centraron en apalancarse de las tendencias de consumo responsable y productos verdes para ser pionero en la industria del PLA en Guatemala y aprovechar esa industria sin explorar. Además, se propuso poder ampliarse a diversas industrias, lo cual puede aportar a explorar en cuál es la más rentable y para cuál el producto es más funcional. Las estrategias DO se centraron en que el mercado puede explotarse dando a conocer todos los beneficios saludables que ofrece el polímero y que la poca competencia puede servir para hacer algunos productos como prueba piloto y encontrar aún más aplicaciones en Guatemala. Las estrategias FA giraron en torno al precio del polímero, el cual puede ser una fortaleza cuando el precio del petróleo se eleve y además, si éste bajase entonces sería momento de presumir las ventajas competitivas del PLA. Por último, las estrategias DA se basaron en que los países productores actuales pueden servir como una guía, para saber cómo hacer más eficiente el proceso de producción y la investigación en los beneficios a nivel salud del polímero puede aportar a adentrar más en el mercado.

La amplia gama de productos a partir de las resinas sustituibles hacen difícil la selección de productos para PLA. Sin embargo, el principal competidor, NatureWorks LLC, quien produce PLA a partir de maíz, tiene una marca exclusiva de PLA: Ingeo. Ingeo produce fibras para textiles y materia prima para recipientes de comida. Se propuso que estos pudieran ser, los primeros productos que se fabriquen de PLA. En conjunto con las bolsas plásticas y las botellas de agua pura, los recipientes y empaques de comida tienen alto reconocimiento en el público guatemalteco como productos a partir de materiales amigables al ambiente (37.3%, 36.1% y 42.6% respectivamente).

Para conocer al consumidor final del PLA, se creó una encuesta en la que se evaluó una serie de variables que podían ser definitivas para el reconocimiento de si una marca utiliza o no

productos biodegradables. Es de suma importancia resaltar que el cliente final de PLA es una persona diferente a su consumidor final. El cliente, se refiere a toda aquella empresa actual productora de productos a base de polímeros; más de 60 empresas (AGEXPORT 2016). Se propuso brindar, a las empresas, una nueva resina biodegradable que cumpla con los estándares de sus resinas actuales pero con los beneficios del PLA.

Además de empresas productoras de productos de polímeros, están los consumidores finales de PLA. Estas personas son quienes no compran productos de PLA por el hecho que sean de este material, sino porque es un agregado del producto o porque no tuvieron elección sobre la compra. Por ejemplo, el consumidor no compra una botella de agua pura por la botella, sino por el agua. Las bolsas de supermercado no son compradas por el cliente, sino son extras en el momento de compra. Este individuo es un consumidor final con cierto poder, porque su compromiso con la marca y su asociación con las tendencias ambientalistas pueden presionar a las marcas a utilizar bolsas o empaques a partir del polímero biodegradable. Ellos fueron analizados a través de una encuesta digital, en las cuales se analizó: el género del individuo, su generación, su nivel de educación, si le daba importancia al medio ambiente en su vida, si tomaba acciones para reducir el efecto negativo sobre el medio ambiente, si realmente sabía qué es un material biodegradable, la cantidad de productos biodegradables que conoce y si estaría dispuesto a cambiar una de sus marcas de preferencia por alguna otra con consciencia ambiental. Con los resultados de esta encuesta, en la que participaron 61 personas de diferentes edades, se creó un árbol de decisión en el software R. Este modelo fue utilizado pues la muestra es no probabilística a conveniencia. Este árbol indica, con una exactitud del 0.7368, que las variables vinculadas a si una persona puede recordar empresas o marcas que utilizan productos biodegradables son: su conocimiento y educación sobre el tema ambiental, la importancia que le da a este tema, y su generación. La matriz de confusión del árbol indica que de una muestra de 19 observaciones, el árbol pudo predecir 14 y se equivocó únicamente en cinco. Con este árbol de decisión puede servir como una estrategia para alcanzar al consumidor final y a las empresas.

A partir de lo que notaba los clientes en los productos biodegradables actuales en el país, se creó un logo para el PLA a partir de melaza. Es importante mencionar que, el nombre más reconocido del polímero es en inglés: PLA y no en español: PAL. Además, la palabra "melaza" no es común en inglés y la materia prima de la melaza es la caña de azúcar. Por esto, el logo que se creó toma el nombre común en inglés, le agrega su materia de proveniencia y color y vida con una imagen de caña de azúcar. Este logo se utilizó como prueba con dos individuos totalmente al azar y tuvo alta aceptación. El propósito de este logo es para utilizarse como sello, así como se utiliza el sello "BIO", o bien como decoración de marca en los productos propuestos de PLA.

Al concluir toda la investigación de mercado, productos competencia, cliente y más, en el plan de mercadeo se propuso un precio 20% por encima del precio de los polímeros. Esto es porque las características biodegradables y positivas para la salud son superiores a las de los polímeros convencionales. Estas características no se pueden subestimar y deben ser tomadas en cuenta en el precio. El lugar del producto debe ser destinado a supermercados, tiendas y productos exclusivos. Especialmente los lugares frecuentados por el perfil del cliente creado. El producto debe ser llamativo y debe resaltar sus beneficios. Por último, las promociones se deben orientar al valor agregado de la marca, a que sus clientes recuerden la marca porque es amigable al ambiente y así crear fidelidad.

El estudio de costos que se pretendía realizar en este módulo incluía todos los subprocesos del proceso de producción. Sin embargo, varios subprocesos no tuvieron sus resultados a tiempo para poder analizar sus costos adecuadamente. Únicamente se estudian los módulos de producción de ácido láctico con *Rhizopus oryzae* y con cultivos lácticos, y el módulo de oligomerización. La producción de ácido láctico con cultivos lácticos no solo fue la menos costosa, también produjo 64% más ácido láctico. Utilizando *Rhizopus oryzae* se obtuvieron 6.7 g/L y de la manera alternativa 11.03 g/L. A partir de la oligomerización se buscaba obtener PLA, sin embargo, al no realizarse la purificación no fue posible obtener la cantidad de producto objetivo por reacción.

IX. Conclusiones

- Las mejores condiciones determinadas de fermentación para la producción de ácido láctico utilizando un análisis factorial fueron a una temperatura de 43°C y a una velocidad de agitación de 150 rpm, utilizando el cultivo ABY-3 y melaza del Ingenio Magdalena al 20% (m/v), obteniendo así una concentración final de ácido láctico de 11.03 g/L.
- Se determinó rangos de propiedades fisicoquímicas en los meses de julio y agosto, de dos melazas para determinar cuál de las dos era la más adecuada para el proceso de fermentación, siendo esta la del Ingenio Magdalena, ya que es más pura por el hecho que presentó una concentración de azúcares fermentables mayor a la del Ingenio Tululá.
- La melaza seleccionada presentó rangos de pH entre 5.60 – 5.73, en comparación a 4.96 – 5.00 de la melaza del Ingenio Tululá, lo que indica que es mejor para realizar este proceso ya que según la teoría las mejores condiciones para que ocurra la fermentación es a un pH cercano a 6.
- Se obtuvo las gráficas de concentración de ácido láctico respecto al tiempo para una fermentación de 72 h utilizando dos cultivos diferentes variando la temperatura y la velocidad de agitación, obteniendo las máximas concentraciones de ácido láctico a 43°C y 150 rpm, siendo estas de 11.03 g/L y 7.85 g/L para los cultivos ABY-3 y YC-370, respectivamente.
- Se pudo observar un comportamiento diaúxico en las gráficas obtenidas, debido al consumo primordial de los monosacáridos, y luego de los disacáridos. Además se observa también en las gráficas una fase de muerte, en donde ya no se da más la producción de ácido láctico o la concentración del mismo es insignificante.
- Se evaluó el comportamiento de la concentración de ácido láctico en una fermentación láctica a escala laboratorio a lo largo de un periodo de operación de 72 horas para una temperatura fija de 30 °C, variando la velocidad de agitación y se obtuvo una mayor concentración de producto, 5.13 g/L, para un valor de 200 rpm, utilizando como sustrato un mosto de melaza, proveniente del ingenio Tululá, con agua a un porcentaje de 20% (m/v).
- Se determinó un rango de pH de 4.97 – 5.69 para dos tipos de melaza (ingenio Magdalena y Tululá de zafra 2,015-16) con soluciones masa-volumen de 0.1, 0.3, 0.5 y 0.5 g/mL bajo condiciones de operación de 0.986 atm y 26 °C.
- Se determinó un rango de grados Brix de 8.21 – 58.79 para dos tipos de melaza (ingenio Magdalena y Tululá de zafra 2,015-16) con soluciones masa-volumen de 0.1, 0.3, 0.5 y 0.5 g/mL bajo condiciones de operación de 0.986 atm y 26 °C.

- Se determinó un rango de conductividad de 1.96 – 2.28 mS/cm para dos tipos de melaza (ingenio Magdalena y Tululá de zafra 2,015-16) con soluciones masa-volumen de 0.1, 0.3, 0.5 y 0.5 g/mL bajo condiciones de operación de 0.986 atm y 26 °C.
- Se determinó un rango de viscosidades de 15 – 69 mPa*s para dos tipos de melaza (ingenio Magdalena y Tululá de zafra 2,015-16) con soluciones masa-volumen de 0.1, 0.3, 0.5 y 0.5 g/mL bajo condiciones de operación de 0.986 atm y 26 °C.
- Se evaluó el comportamiento de la concentración de ácido láctico en una fermentación láctica a escala laboratorio a lo largo de un periodo de operación de 72 para una velocidad de agitación fija de 200 rpm, variando la temperatura y se obtuvo una mayor concentración de producto, 6.69 g/L, para un valor de 35 °C, utilizando como sustrato un mosto de melaza, proveniente del ingenio Tululá, con agua a un porcentaje de 20% (m/v).
- La concentración máxima de ácido láctico obtenida a escala laboratorio para el mosto de melaza del ingenio Tululá al 20% (m/v) con agua fue de 6.69 g/L bajo condiciones de operación de 35 °C y una velocidad de agitación de 200 rpm.
- Se determinó a través de un análisis factorial que la prueba a escala laboratorio que presenta la máxima producción de ácido láctico se realizó a una temperatura de 35 °C y una velocidad de agitación de 200 rpm
- El peso molecular obtenido para el oligómero de PLA usando ácido sulfúrico como catalizador fue 3.33 veces más grande que el reportado en los trabajos anteriores obteniendo un peso de 1855.56 g/mol en un tiempo de reacción de 8 horas, temperatura de 200-210°C.
- El utilizar ácido sulfúrico produce oligómeros de mucho mayor peso molecular, ya que esta fue la variante que se utilizó contra la reacción anterior.
- El modelo cinético más acertado para utilizar en futuras experimentación es el modelo cinético teórico citado, esto debido a que, por la falta de datos de pesos moleculares entre 0-5 horas de tiempo de reacción, los modelos experimentales presentaban discordancia en las magnitudes del peso molecular, pero no perdían su tendencia. El modelo cinético teórico encontrado es $35.239(t^2) - 26.253(t) + 176.54$ siendo la variable t el tiempo en horas.
- El método de análisis que otorgó mejores datos experimentales fue el método de análisis NMR, ya que el método de condensados pierde credibilidad. La credibilidad del método de condensados pierde su credibilidad ya que la probabilidad de perder agua evaporada, subproducto de la reacción de oligomerización, en el sistema de succión es muy alta si no se controla de manera adecuada el vacío ocasionando una distorsión de los datos como sucedió en los datos obtenidos en la experimentación.

- Con 1-octanol puro, se logró una máxima concentración en masa de ácido láctico en la fase orgánica, de aproximadamente 0.72 (ver Figura 63) en comparación a un máximo de concentración en masa de ácido láctico en la fase orgánica para los sistemas con 12% m/m de TOA, de aproximadamente 0.40 para el heptano (ver Figura 64). por lo que para estas condiciones de experimentación el 1-octanol sin TOA es el solvente con mejor selectividad.
- El solvente sin TOA con mayor capacidad de extracción de ácido láctico fue el 1-octanol, según la evaluación de la Figura 63, con una fracción másica de 0.72 en comparación de un máximo de 0.52 y 0.13 para el heptano y dodecanol respectivamente. Esto debido a que su curva de distribución (Figura 63) se vio más favorecida a la fase orgánica (mayor selectividad del ácido láctico con el octanol), en comparación a las curvas de distribución del heptano y del 1-dodecanol.
- Al agregar trioctilamina al 12% m/m a los distintos solventes, el heptano no obtuvo una mejor selectividad con respecto a su curva de distribución sin trioctilamina (Figura 59). Sin embargo, el rango de extracción para los porcentajes en masa de ácido láctico en la fase acuosa aumenta de 0.08 a 0.221 unidades.
- El solvente con trioctilamina al 12% m/m que obtuvo mayor extracción de ácido láctico fue el heptano, con una fracción másica de ácido láctico en la fase orgánica de 0.4 en comparación de un máximo de 0.27 y 0.23 para el dodecanol y el octanol respectivamente. Esto debido a que su curva de distribución (Figura 61) se vio más favorecida a la fase orgánica (mayor selectividad del ácido láctico con el heptano), en comparación a las curvas de distribución del 1-octanol y del 1-dodecanol.
- El potencial de Mercado del PLA en Guatemala como polímero sustituto de es de aproximadamente 903,989 kilogramos en el primer año, lo que equivale a un promedio de USD 1,807,796. Este potencial equivale a apropiarse del 1.55% del mercado actual de polímeros sustituibles.
- El FODA construido a partir del análisis de comparación del PLA con otros polímeros muestra que dentro de las fortalezas de dicho polímetro están los factores ambientales y de salud, las debilidades son el poco conocimiento en el entorno sobre el tema, las oportunidades pueden ser el mercado emergente y las amenazas los países industrializados que ya producen el polímero. A partir de esto, las estrategias de comercialización y posicionamiento están enfocadas en exponer las ventajas del polímero sobre el ambiente y la salud y tomar en consideración el mercado emergente.
- El árbol de decisión creado para identificar y estudiar al consumidor final del PLA en Guatemala muestra que él es una persona que conoce los productos amigables al ambiente, que recuerda dichos productos en su vida cotidiana, que toma acciones para

disminuir el impacto negativo de sus acciones para el ambiente y que en ocasiones pertenece a la generación Y.

- El plan de mercadeo, a partir de la investigación del producto y del consumidor, indica el cliente del PLA enfocarse en productos para lugares exclusivos y deben resaltar sus beneficios ambientales y de la salud. Para una marca, utilizar PLA es un valor agregado.
- El subproceso a nivel laboratorio de la producción de PLA que representa el 58.78% del costo del megaproyecto es la producción de ácido láctico utilizando *Rhizopus oryzae*. Esto es, por la alta inversión que se hizo en este microorganismo. Aunque fue el subproceso más costoso, fue el de peor rendimiento ya que con cultivos láctico se obtuvo 64% más ácido que con el microorganismo.

X. Recomendaciones

- Realizar el estudio técnico variando el tiempo de reacción para determinar mejores condiciones de fermentación, ya que en la fase de investigación se encontraron artículos en donde variaban el tiempo de fermentación para producir mayores cantidades de ácido láctico.
- Realizar el estudio técnico utilizando diferentes porcentajes del sustrato para determinar su influencia sobre la producción final de ácido láctico en el proceso de fermentación.
- Realizar el estudio técnico utilizando un microorganismo puro para la producción de ácido láctico, que reaccione únicamente con la sacarosa presente en la melaza, como por ejemplo *Lactobacillus delbrueckii subespecie delbrueckii* reportado en la revista *Applied and Environmental Microbiology*.
- Realizar los análisis de concentración de ácido láctico con una columna específica de ácidos orgánicos especial para HPLC.
- Realizar las pruebas de fermentación utilizando más reactores a nivel laboratorio, con el fin de obtener más muestras para determinar la concentración de ácido láctico en diferentes puntos y así analizar de mejor manera el comportamiento del mismo a lo largo del tiempo de fermentación.
- Determinar el efecto del catalizador en la reacción realizando experimentaciones con blancos (sin catalizador) y con experimentaciones utilizando diferentes concentraciones de catalizador.
- Realizar la reacción en tiempos de 1 a 12 horas para obtener datos de pesos moleculares a cada hora para poder obtener un modelo cinético de más confiabilidad para el consumo de sustrato.
- Usar del método de análisis de NMR para medir los pesos moleculares, ya que presenta menos error al momento de calcular los pesos moleculares.
- Si se utiliza el método de condensados, mejorar el sistema de condensación por medio de regulaciones de la velocidad del vacío o bien ingresar agua más fría al condensador (menor a 20°C que fue la temperatura utilizada en la experimentación).
- Determinar si el modelo teórico y experimental encontrados pueden ser utilizado para el diseño de un reactor para el proceso de oligomerización y de qué forma se puede aumentar la conversión.
- Determinar el efecto del catalizador en la reacción realizando experimentaciones con blancos (sin catalizador) y con experimentaciones utilizando diferentes concentraciones de catalizador.

- Realizar la reacción en tiempos de 1 a 12 horas para obtener datos de pesos moleculares a cada hora para poder obtener un modelo cinético de más confiabilidad para el consumo de sustrato.
- Usar el método de análisis de NMR para medir los pesos moleculares, ya que presenta menos error al momento de calcular los pesos moleculares.
- Si se utiliza el método de condensados, mejorar el sistema de condensación regulando la velocidad del vacío o bien ingresar agua más fría al condensador (menor a 20°C que fue la temperatura utilizada en la experimentación).
- Determinar si el modelo teórico y experimental demostrados pueden ser utilizados para el diseño de un reactor para el proceso de oligomerización y de qué forma se puede aumentar la conversión.
- Determinar la temperatura a la cual se extrae mayor cantidad de ácido láctico realizando pruebas a distintas temperaturas.
- Realizar pruebas con fases acuosas obtenidas de las fermentaciones para producir ácido láctico, y comparar la extracción con éstas fases acuosas con la extracción del presente trabajo.
- Determinar el efecto de la longitud de las cadenas de las aminas en la extracción de ácido láctico, utilizando otro tipo de aminas, aminas de cadenas más cortas y más largas.
- Determinar el efecto de la cantidad de amina, utilizando distintos porcentajes de trioctilamina.
- Evaluar la posibilidad de mayor porcentaje de extracción de ácido láctico, realizando extracciones de más de una etapa.
- Obtener mayor porcentaje de extracción determinando cómo afecta el pH de la solución en la extracción, realizando medidas de pH a la misma.
- Es importante definir y realizar todas las partes del proceso de producción a nivel laboratorio para realizar un análisis de viabilidad financiera. Durante este Megaproyecto existieron subprocesos que no fueron tomados en cuenta y no se realizaron por falta de personal o de recursos, lo cual afectó significativamente al desarrollo de costo de producción a nivel laboratorio.
- El tiempo de importación y entrega de microorganismos deben ser considerados en todos los módulos del Megaproyecto. Aunque la relación no sea directa a los módulos, afectan en tiempos de entrega de tanto procesos como información.
- Se recomienda encontrar más variables que influyan sobre los clientes para recordar el polímero y utilizarlas en el árbol de decisión. Algunas de estas variables pueden ser la zona en la que reside o si visitado países altamente conscientes de la contaminación

ambiental, su nivel socioeconómico o a qué se dedica. La adición de estas variables puede proporcionar un árbol con más exactitud y aplicable en condiciones fuera de las que se utilizó en este módulo.

XI. Bibliografía

- Ariza, B. y González, L. 1997. *Producción de Proteína Unicelular a partir de levaduras y melaza de caña de azúcar como sustrato*. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 22-27 p.
- Asua, J. (2007). *Polymer Reaction Engineering*. España: Blackwell Publishing.
- Bai DM, et. al. L(+)-lactic acid production by pellet-form *Rhizopus oryzae* R1021 in a stirred tank fermentator. *Chemical Engineering Science* 58 (2003) 785-791.
- Banco de Guatemala. (2015). Obtenido de <http://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/mapa/default.htm>
- Banco de Guatemala. (Agosto de 2016). *Año 2016*. Recuperado el 27 de Septiembre de 2016, de Comercio Exterior de Guatemala por Inciso Arancelario del Sistema Arancelario Centroamericano SAC: <https://www.banguat.gob.gt/estaeco/ceie/mensualnr.asp?kanio=2016&kfin=0&ktipo=CG>
- Bioplastics MAGAZINE. 2012. *PLA Growth*. Mönchengladbach, Alemania.
- Bonilla, & al, e. (2012). *Polymer Synthesis Theore and Practice*. Costa Rica: Revista Iberoamericana de polímeros.
- Buenaventurada P. y Yutaka T. 2007. *Production of D-lactic acid from sugarcane molasses, sugarcane juice and sugar beet juice by Lactobacillus delbrueckii*. *Biotechnol.* 29:1329-1332.
- Bulu S, Elibol M, Ozer D. *Effect of different carbon sources on L(+)-lactic acid production by Rhizopus oryzae*. *Biochemical Engineering Journal* 21 (2004) 33-37.
- Callister, W. D. (2002). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales* (Vol. 1). Barcelona, España: Reverté.
- Carreto, Alejandro. *Separación por Extracción*. <http://apuntescientificos.org/extraccion.html> [8/6/216].
- Castro, M. 1993. *Estudio de la melaza de caña como sustrato de la fermentación Acetobutílica*. Universidad Nacional de Colombia. Pp 3-35.
- Centric, W. (2014). *Energy savings*. Recuperado el 1 de octubre de 2015, de Energy Savings for Corn PLA Utensils and Wheat-Straw Plates: <http://worldcentric.org/sustainability/energy-savings/>
- Cheng, J. 2000. *Manual del azúcar de caña, para fabricantes de azúcar de caña y químicos especializados*. México D. F, México. LIMUSA S.A.
- Chumeka, W., Pasetto, P., Pilar, J., & Tanrattanakul, V. (2014). *Bio-based triblock copolymers from natural rubber and poly(lactic acid): Synthesis and application in polymer blending*. *ELSEVIER, Polymer* 55, 4478-4487.

- Corbion Purac. (2013). *Bioplastics for a new generation*. Recuperado el 10 de octubre de 2015, de <http://www.corbion.com/bioplastics>
- Costa J. 1991. *Curso de ingeniería química: introducción a los procesos, las operaciones unitarias y los fenómenos de transporte*. Editorial Reverté S.A. España. P.427.
- de Bie, F. (2015). *Global bioplastics production capacities continue to grow despite low oil price*. Obtenido de European BioPLAstics: http://www.european-bioPLAstics.org/pr_151104/
- Deerr, N. 1911. *Cane Sugar: A Text-Book on the Agriculture and Manufacture of Sugar Cane and the Analysis of Sugar House Products together with a Chapter on the Fermentation of Molasses*. St. Dunstan's Hill; London. 633 pp.
- Edwards, J. (2015). *Principles of NMR*. Danbury.
- Farooq U., et al. 2012. *Optimization of lactic acid production from cheap raw material: sugarcane molasses*. Pakistan journal of botany. 44(1): 333-338.
- Gándara, N. (2016). *Comercio de Resinas Baja*. Obtenido de Prensa Libre: <http://www.prensalibre.com/economia/comercio-de-resinas-baja>
- Glasstone S. 2005. *Ingeniería de reactores nucleares*. Editorial Reverté S.A. España. P.887.
- Grand View Research, Inc. 2014. *Lactic Acid And Poly Lactic Acid (PLA) Market Analysis By Application (Packaging, Agriculture, Transport, Electronics, Textiles) And Segment Forecasts To 2020*.
- Hagen, R. (2013). *The potential of PLA for the fiber market*. Bioplastics Magazine, 08(05), 12-15.
- Hansen, D. R., & Mowen, M. M. (2007). *Administración de costos: Contabilidad y control*. México, D.F, México: Thomson Learning, Inc.
- Hernández A. 2003. *Microbiología Industrial*. Editorial Universidad Estatal a Distancia. Costa Rica.
- Herráez Miguel Angel.2006. *Principios de los procesos químicos, Parte 1, Balances de Materia y Energía*. Editorial Reverté S.A. España.
- Herrera, T y Ulloa, M. 1990. *El Reino de los Hongos: Micología básica y aplicada*. 1era edición. Universidad Nacional Autónoma de México, México. Pp. 144-147
- Hitachi. (2004). *Industrial Plant*. Recuperado el 11 de Septiembre de 2016, de Production process for polylactic acid (PLA): http://www.hitachi.com/businesses/infrastructure/product_site/ip/process/PLA.html
- Honig, P. 1974. *Principios de Tecnología Azucarera*. 2da Edición. Compañía Editorial Continental. México. Pp 23-54.
- Huang, B. Jin, P. Lant, J. Zhou, *Biotechnological production of lactic acid integrated with potato wastewater treatment by Rhizopus arrhizus*, J. Chem. Technol. Biotechnol. 78 (2003) 899-906.

- Hugot, E. 1986. *Handbook of Cane Sugar Engineering*. 1ra edición. Elsevier Science Publishers B.V. Estados Unidos. 1184 pp.
- Ibarz, A. 2005. *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos*. Mundi-Prensa Libros, México. Pp. 339.
- Ingenio Magdalena. *El proceso de la fabricación de azúcar*. http://imsa.com.gt/sitio/proceso_azucar.pdf. [22/10/2016].
- Internacional. (Enero de 2015). *Las 10 tendencias globales de consumo en 2015*. Recuperado el Septiembre de 2016, de Dinero.com: <http://www.dinero.com/internacional/articulo/tendencias-globales-consumo-2015/204820>
- Keun Yoo, D., & Kim, D. (2005). *Reaction Kinetics for the Synthesis of Oligomeric Poly(lactic acid)*. Korea: Sungkyunkwan University.
- Kirk, R; Othmer, D. 1999. *Enciclopedia de tecnología química*. Tomo IV. Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana; México. Pp. 697-721.
- Kolb, B. (2008). *Marketing Research: A Practical Approach*. UK, Londres: SAGE.
- La Asociación Guatemalteca de Exportadores. (Septiembre de 2016). *Agexporthoy*. Obtenido de Comisión de Plásticos: <http://agexporthoy.export.com.gt/tag/comision-de-PLasticos/>
- Leejarkpai, T., Mungcharoen, T., & Suwanmanee, U. (2016). *Comparative assessment of global warming impact and eco-efficiency of PS, PET and PLA boxes*. *Journal of Cleaner Production*(XXX), 1-13.
- Lemus, J. (Octubre de 2015). *Tendencias de Marketing*. Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala, Guatemala.
- Marketing Publishing Center. (1991). *El plan de mercadeo: conceptos, estrategias y aplicaciones* (Vol. 13). Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- Markets and Markets. (Agosto de 2014). *Lactic Acid Market by Application (Biodegradable Polymer, Food & Beverage, Personal Care & Pharmaceutical) & Polylactic Acid Market by Application (Packaging, Agriculture, Automobile, Electronics, Textile) & Geography - Global Trends & Forecasts to 2019*. Top Market Reports, 20-218.
- Martinez, Balciunas, & Salgado. (2012). *Lactic Acid Properties, Applications and Production*.
- McMurry. (2010). *Química Orgánica*.
- Mercadeo y Marketing. (2013). *Mercados geográficos*. Recuperado el 13 de Marzo de 2016, de Por su ámbito geográfico: Local, regional, nacional, internacional: <http://www.portalhuarpe.com.ar/medhime20/Talleres/Taller%2014/09%20MERCAMARKE/mercados-geograficos.html>
- Montgomery, D. 2001. *Design and Analysis of Experiments*. 5ta edición. John Wiley & Sons, Inc. Arizona State University. Pp. 244-254L.P.

- Narayanan N, Roychoudhury P, Srivastava A. 2004. *L (+) lactic acid fermentation and its product polymerization*. Vol. 7 No. 2, Issue. Electronic Journal of Biotechnology. Universidad Católica de Valparaíso; Chile.
- Parés R. 2002. *Bioquímica de los microorganismos*. Editorial Reverté S.A. España. P.367.
- Perry, Robert. *Manual del Ingeniero Químico*. Séptima Edición. México:Editorial McGraw-Hill, 1993. p. 13-13, 15-1 al 15-26.
- Plastemart. (1 de Junio de 2013). *Plastemart*. Recuperado el 15 de Octubre de 2015, de Biodegradable PLAstics demand to grow 15% annually to 2015: <http://www.PLAstemart.com/PLAStic-Technical-Article.asp?LiteratureID=1958&Paper=biodegradable-PLAstics-demand-to-grow-15-percent-annually-to-2015>
- Plasteurope. (14 de Diciembre de 2014). *Bioplastic*. Recuperado el 10 de Octubre de 2015, de Global market expected to reach 6.7m t by 2018: https://www.plasteurope.com/news/BIOPLASTICS_t229991/
- PlasticsEurope. 2015. *Datos de Mercado*. <http://www.plasticseurope.es/industria-del-Plastico/datos-de-mercado.aspx>. Fecha de consulta: [12/07/16]
- Rein, P. 2007. *Cane Sugar Engineering*. Verlag Dr. Albert Bartens KG. 765 pp.
- Remaswamy. (2013). *Marketing Management* (5 ed ed.). Indiana, USA: Tata McGraw-Hill Education.
- Ren J. 2010. *Biodegradable Poly (Lactid Acid)*. Synthesis, Modification, Processing and Applications. New York: Springer.
- Ren, J. 2011. *Biodegradable Poly (Lactic Acid): Synthesis, Modification, Processing and Applications*. University of Tsinghua. Shanghai. Pp. 4-7
- Riaño, Néstor. 2007. *Fundamentos de química analítica básica*. Análisis cuantitativo. 2ª ed. Colombia. Editorial Universidad de Caldas Ciencias Exactas y Naturales. 289 págs.
- Riedel, L. 1951. *The Refrigerating Effect Required to Freeze Fruits and Vegetables*. Refrigerating Engineering. 59:(17)670-673.
- Rolz, C. 2008. *Obtención de ácido láctico a partir de la caña de azúcar*. Proyecto FODECYT No. 003-2008.
- S. Miura, T. Arimura, M. Hoshino, M. Kojima, L. Dwiarti, M. Okabe. *Optimization and scale-up of L-lactic acid fermentation by mutant strain Rhizopus sp. MK-96-1196 in airlift bioreactors*, J. Biosci. Bioeng. 96 (2003) 65-69.
- Scikit-learn developers. (2016). *Decision Trees*. Recuperado el Septiembre de 2016, de Scikit-learn developers : <http://scikit-learn.org/stable/modules/tree.html>

- Secretaría del Tratado General de Integración Económica Centroamericana (SIECA). (2015,2016). *Sistema Arancelario Centroamericano (SAC)*. Guatemala: Banco de Guatemala.
- Serna L, Rodríguez A y Albán F. 2003. *Ácido Poliláctico (PLA): Propiedades y Aplicaciones*. Ingeniería y Competitividad. 5(1) 16-26.
- Serna-Cock, L. 2004. *Producción Biotecnológica de Ácido Láctico: Estado del Arte*. México. Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos. 13 págs.
- Serna, L., Rodríguez, A., & Albán, F. (13 de Junio de 2003). *Ácido Poliláctico (PLA): Propiedades y Aplicaciones*. Ingeniería y Competitividad, 5(1), 16-24.
- Sigma-Aldrich. (25 de Septiembre de 2016). *Polymer Analysis in Materials Science*. Obtenido de <http://www.sigmaaldrich.com/materials-science/polymer-science/polymer-analysis.html>
- Smith, S., & Albaum, G. (2012). *Basic Marketing Research: Volume 1*. Utah, USA: Qualtrix Labs, Inc.
- Soccol CR, Stonoga VI, Raimbult M. *Production of L-lactic acid by Rhizopus species*. World Journal of Microbiology & Biotechnology 10, 433-435.
- Soto, P., & al., e. (2015). *Diseño de una planta para la producción de poliácido láctico por policondensación a partir de ácido láctico proveniente de la fermentación de melaza utilizando el hongo Rhizopus oryzae*. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.
- Swa, H. y Kalarazos, A. 1990. *Las melazas y sus derivados*. Revista Tecnología. GePLAcea. No. 19. España. Pp. 78-82.
- Tamada, Janet. 1990. *Extracción de Ácidos Carboxílicos con Aminas extractantes; Efecto de la Temperatura, Coextracción de Agua, y Consideraciones de Procesos*. California. Universidad de Berkeley. 6 págs.
- Tay, A, Yang, ST. *Production of L(+)-Lactic Acid From Glucose and Starch by Immobilized Cells of Rhizopus oryzae in a Rotating Fibrous Bed Bioreactor*. Biotechnology and Bioengineering. Vol. 80. No. 1 2002.
- Téllez. 2012. *La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá*. Tesis Universidad Nacional de Colombia. Colombia, Bogotá. 120 págs.
- Trends & Insights. (Diciembre de 2014). *10 Tendencias Latinas para 2015*. Recuperado el Septiembre de 2016, de Trend Watching: <http://trendwatching.com/es/trends/10-latin-trends-for-2015/>
- Treybal, Robert. 1980. *Operaciones de transferencia de masa*. 2da edición. McGraw-Hill. México.
- Wade, Leroy. 2011. *Química Orgánica*. Volumen 1. Editorial Pearson. México. 744 págs.

- Wheelen, T., & Hunger, D. (2013). *Administración estratégica y política de negocios* (13a Edición ed.). Colombia: Pearson Edicional.
- Young-Jung Wee; Jin-Nam Kim y Hwa-Won Ryu. 2006. *Biotechnological Production of Lactic Acid and Its Recent Applications*. *Biotechnol.* 44 (2) 163-172.
- Zhang, ZY, Jin B, Kelly, J. *Production of lactic acid from renewable materials by Rhizopus fungi*. *Biochemical Engineering Journal*. 35 (2007) 251-263.

XII. Anexos

Tabla 47: Propiedades fisicoquímicas de melaza de caña de azúcar proveniente del ingenio Magdalena TK#4, zafra 15-16 al 10% (m/v).

No.	Temperatura (°C)	°Brix	pH	Conductividad (mS/cm)
1	30.20	8.21	5.66	2.02
2	29.80	8.21	5.69	2.04
3	29.80	8.22	5.72	2
Promedio.	29.93	8.21	5.69	2.02

Tabla 48: Propiedades fisicoquímicas de melaza de caña de azúcar proveniente del ingenio Magdalena TK#4, zafra 15-16 al 30% (m/v).

No.	Temperatura (°C)	°Brix	pH	Conductividad (mS/cm)
1	30.30	22.97	5.63	2.21
2	30.00	22.98	5.66	2.27
3	29.80	22.97	5.65	2.36
Promedio.	30.03	22.97	5.65	2.28

Tabla 49: Propiedades fisicoquímicas de melaza de caña de azúcar proveniente del ingenio Magdalena TK#4, zafra 15-16 al 50% (m/v).

No.	Temperatura (°C)	°Brix	pH	Conductividad (mS/cm)
1	27.30	36.16	5.61	2.18
2	26.70	36.16	5.71	2.21
3	26.70	36.16	5.61	2.33
Promedio.	26.90	36.16	5.64	2.24

Tabla 50: Propiedades fisicoquímicas de melaza de caña de azúcar proveniente del ingenio Magdalena TK#4, zafra 15-16 al 90% (m/v).

No.	Temperatura (°C)	°Brix	pH	Conductividad (mS/cm)
1	27.30	36.16	5.61	2.18
2	26.70	36.16	5.71	2.21
3	26.70	36.16	5.61	2.33
Promedio.	26.90	36.16	5.64	2.24

Tabla 51: Variación de la concentración de ácido láctico y sacarosa respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 37°C y 100 rpm para el cultivo ABY-3.

t (h)	% Ácido láctico (g/L)	% Sacarosa (g/L)
0	4.34931	8.03152
1	4.51698	8.46633
4	8.27E-01	6.36877
24	1.14195	8.36471
26	1.15462	8.38039
28	1.15028	2.56133
34	1.13369	4.07922
48	1.13994	7.63474
54	5.76966	5.95809
72	1.33633	4.50682

Tabla 52: Variación de la concentración de ácido láctico y sacarosa respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 37°C y 150 rpm para el cultivo ABY-3.

Horas	% Ácido láctico (g/L)	% Sacarosa (g/L)
0	3.78247	8.63971
1	4.54923	8.15022
4	4.78041	7.14889
24	4.54128	0.90823
26	4.39194	0.714275
28	4.25727	0.63374
34	4.3234	0.593461
48	4.55071	0.49701
54	5.23599	0.490648
72	5.26152	0.417922

Tabla 53: Variación de la concentración de ácido láctico y sacarosa respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 43°C y 100 rpm para el cultivo ABY-3.

t (h)	% Ácido láctico (g/L)	% Sacarosa (g/L)
0	6.03332	3.82724
1	6.61011	6.67211
4	6.62813	8.52923
24	7.07911	4.77015
26	6.94033	8.60554
28	6.98112	8.59913
34	6.90585	8.51054
48	7.54941	9.19648
54	7.35456	8.98326
72	6.98835	9.18524

Tabla 54: Variación de la concentración de ácido láctico y sacarosa respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 43°C y 150 rpm para el cultivo ABY-3.

t (h)	% Ácido láctico (g/L)	% Sacarosa (g/L)
0	5.49342	7.32814
1	5.8384	8.69078
4	7.37365	6.98062
24	7.47408	2.16412
26	10.07841	3.50182
28	10.31708	8.21878
34	10.28722	1.20471
48	10.81506	3.88107
54	9.91805	-
72	11.03206	1.09206

Tabla 55: Variación de la concentración de ácido láctico y sacarosa respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 37°C y 100 rpm para el cultivo YC-370.

t (h)	% Ácido láctico (g/L)	% Sacarosa (g/L)
0	5.33509	8.01173
1	5.37043	8.09974
4	0.836024	7.78056
24	7.24636	8.43818
26	7.13522	6.81708
28	7.14131	8.46475
34	7.41547	6.73675
48	7.41024	8.85043
54	6.59781	5.74105
72	1.78872	3.54228

Tabla 56: Variación de la concentración de ácido láctico y sacarosa respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 37°C y 150 rpm para el cultivo YC-370.

t (h)	% Ácido láctico (g/L)	% Sacarosa (g/L)
0	5.6703	8.11412
1	5.8061	8.43625
4	5.8553	8.49656
24	3.9844	-
26	3.53879	-
28	3.80924	-
34	3.90756	-
48	3.90583	-
54	4.64282	-
72	4.75248	-

Tabla 57: Variación de la concentración de ácido láctico y sacarosa respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 43°C y 100 rpm para el cultivo YC-370.

t (h)	% Ácido láctico (g/L)	% Sacarosa (g/L)
0	5.0323	5.45897
1	5.14406	5.73495
4	6.12082	8.91227
24	6.56097	8.20606
26	6.79503	8.28827
28	6.99047	8.54369
34	6.72075	1.55297
48	7.23301	8.56292
54	6.99234	7.66919
72	7.24888	8.52193

Tabla 58: Variación de la concentración de ácido láctico y sacarosa respecto al tiempo a condiciones de fermentación de 43°C y 150 rpm para el cultivo YC-370.

t (h)	% Ácido láctico (g/L)	% Sacarosa (g/L)
0	6.26931	8.7533
1	6.43865	8.98521
4	6.97898	8.6248
24	6.11554	7.15383
26	7.64158	5.15461
28	7.9908	6.74724
34	6.82581	8.27732
48	5.93268	7.14325
54	7.64203	1.11755
72	7.85501	1.33149

Figura 65: Concentración inicial de azúcares fermentables presentes en melaza del Ingenio Magdalena.

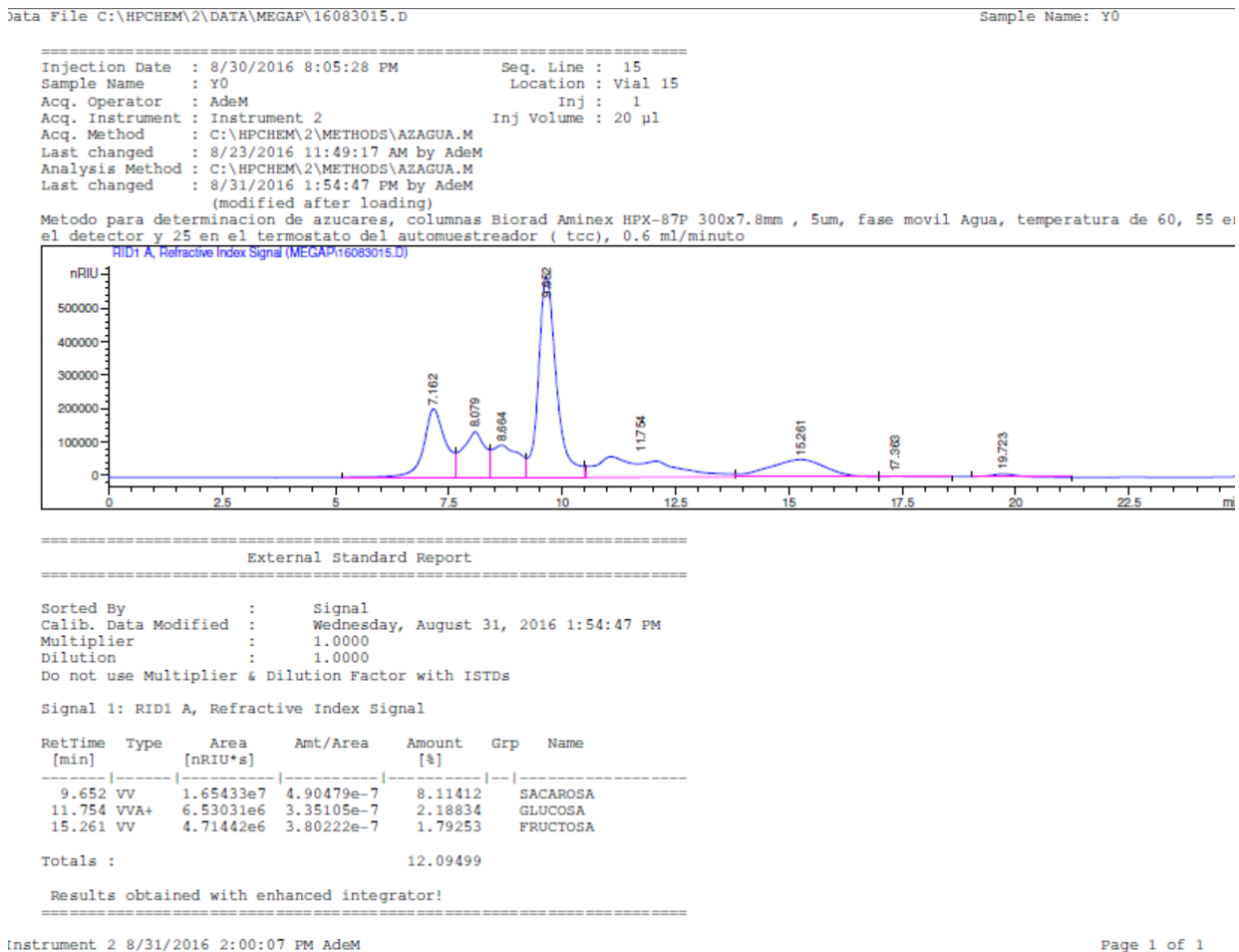


Figura 66: Concentración inicial de azúcares fermentables presentes en melaza del Ingenio Tuluá.

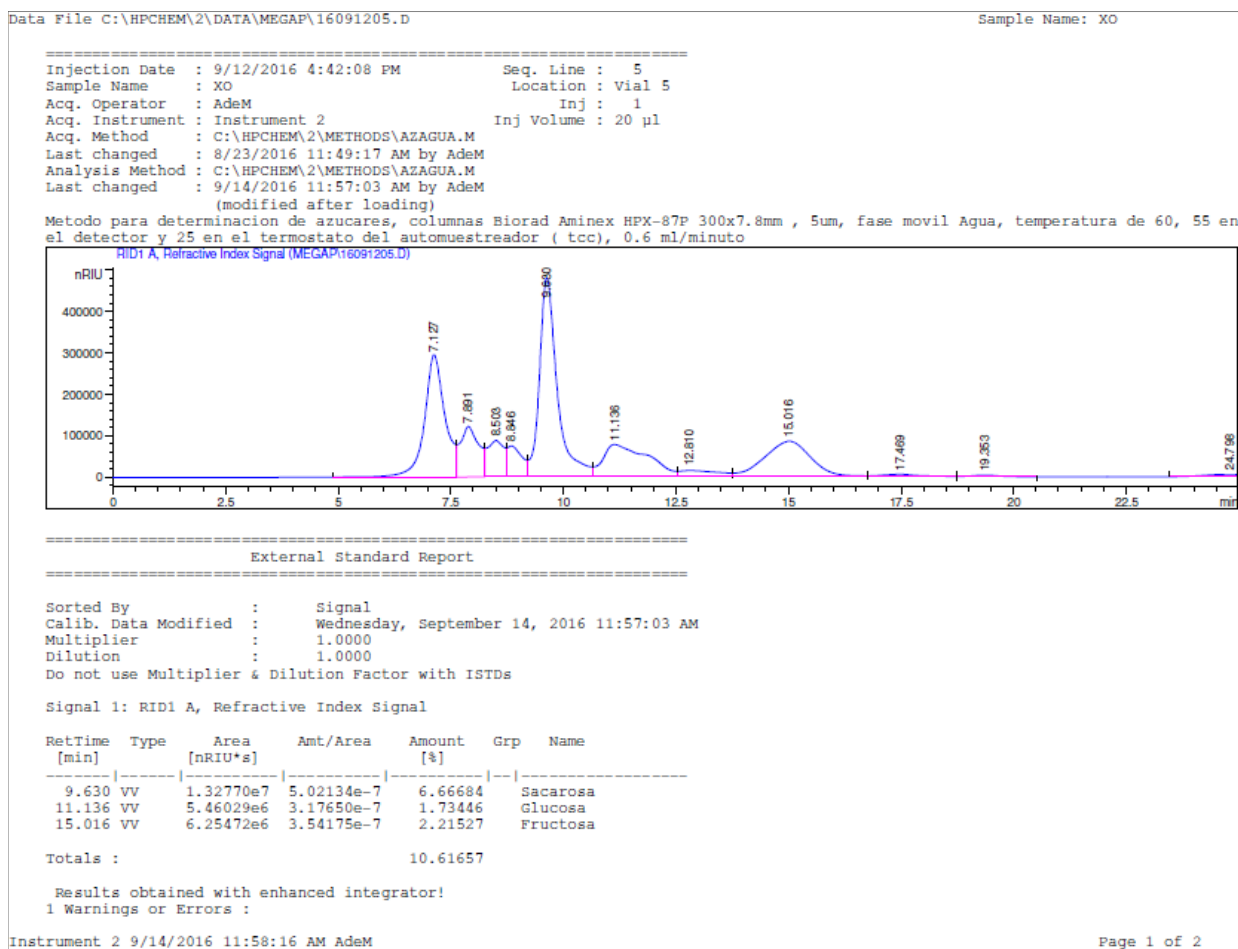


Figura 67: Concentración inicial de ácido láctico a 37°C y 100 rpm para del cultivo ABY-

3.

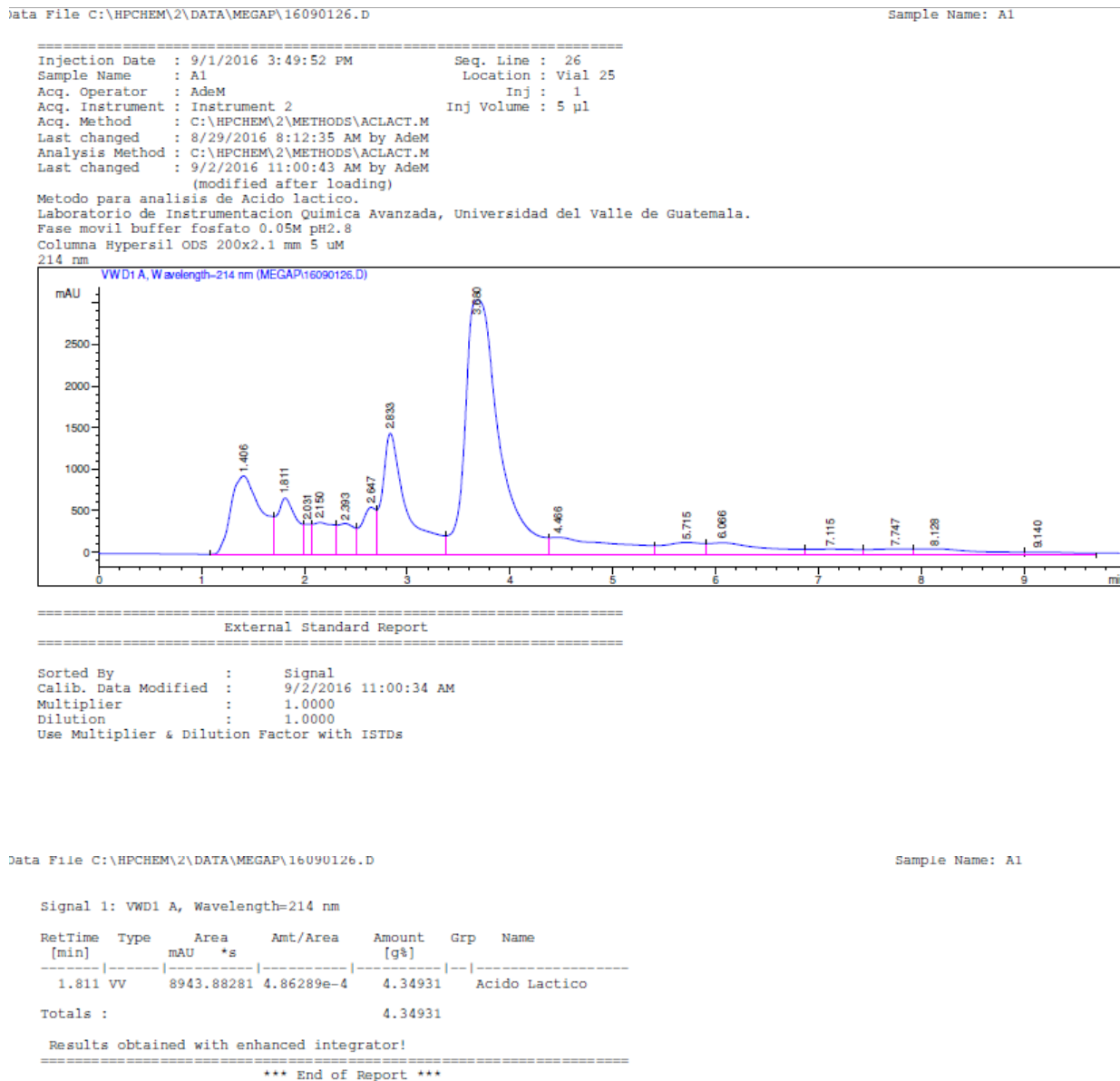


Figura 68: Concentración final de ácido láctico a 37°C y 100 rpm para del cultivo ABY-3.

ata File C:\HPCHEM\2\DATA\MEGAP\16090135.D

Sample Name: A10

```

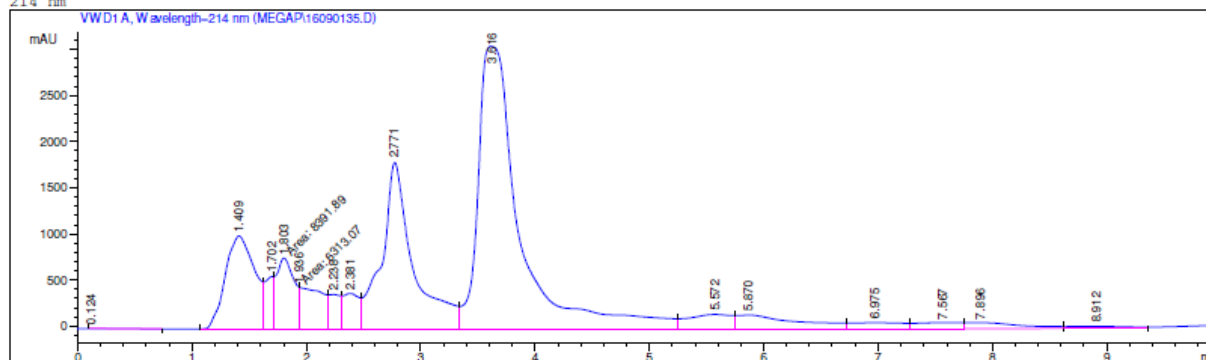
=====
Injection Date : 9/1/2016 5:29:57 PM      Seq. Line : 35
Sample Name    : A10                      Location  : Vial 34
Acq. Operator  : AdeM                    Inj      : 1
Acq. Instrument: Instrument 2             Inj Volume: 5 µl
Acq. Method    : C:\HPCHEM\2\METHODS\ACLA.M
Last changed   : 8/29/2016 8:12:35 AM by AdeM
Analysis Method: C:\HPCHEM\2\METHODS\ACLA.M
Last changed   : 9/2/2016 11:00:43 AM by AdeM
                (modified after loading)

```

```

Metodo para analisis de Acido lactico.
Laboratorio de Instrumentacion Quimica Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala.
Fase movil buffer fosfato 0.05M pH2.8
Columna Hypersil ODS 200x2.1 mm 5 µM
214 nm

```



```

=====
External Standard Report
=====

```

```

Sorted By      :      Signal
Calib. Data Modified : 9/2/2016 11:00:34 AM
Multiplier    : 1.0000
Dilution      : 1.0000
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

```

Data File C:\HPCHEM\2\DATA\MEGAP\16090135.D

Sample Name: A10

Signal 1: VWD1 A, Wavelength=214 nm

RetTime [min]	Type	Area mAU	Amt/Area *s	Amount [g%]	Grp	Name
1.702	VV	2832.14575	4.71844e-4	1.33633		Acido Lactico

```
Totals : 1.33633
```

Results obtained with enhanced integrator!

```

=====
*** End of Report ***

```

Figura 69: Concentración inicial de ácido láctico a 37°C y 100 rpm para del cultivo YC-370.

Data File C:\HPCHEM\2\DATA\MEGAP\16090116.D

Sample Name: Y1

```

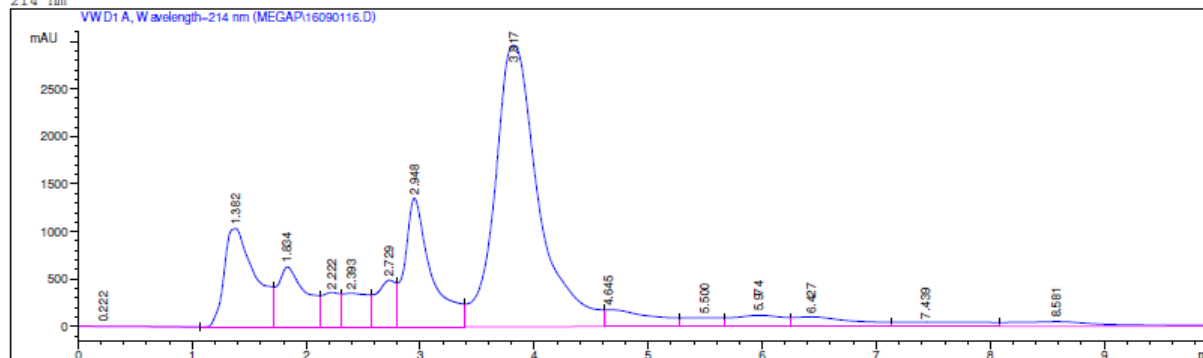
=====
Injection Date : 9/1/2016 1:58:53 PM      Seq. Line : 16
Sample Name    : Y1                      Location  : Vial 15
Acq. Operator  : AdeM                    Inj       : 1
Acq. Instrument : Instrument 2            Inj Volume: 5 µl
Acq. Method    : C:\HPCHEM\2\METHODS\ACLA.M
Last changed   : 8/29/2016 8:12:35 AM by AdeM
Analysis Method : C:\HPCHEM\2\METHODS\ACLA.M
Last changed   : 9/2/2016 11:00:43 AM by AdeM
                (modified after loading)

```

```

Metodo para analisis de Acido lactico.
Laboratorio de Instrumentacion Quimica Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala.
Fase movil buffer fosfato 0.05M pH2.8
Columna Hypersil ODS 200x2.1 mm 5 µM
214 nm

```



```

=====
External Standard Report
=====

```

```

Sorted By      :      Signal
Calib. Data Modified : 9/2/2016 11:00:34 AM
Multiplier     :      1.0000
Dilution       :      1.0000
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

```

Data File C:\HPCHEM\2\DATA\MEGAP\16090116.D

Sample Name: Y1

Signal 1: VWD1 A, Wavelength=214 nm

RetTime [min]	Type	Area mAU *s	Amt/Area	Amount [g%]	Grp	Name
1.834	VV	1.09435e4	4.87512e-4	5.33509		Acido Lactico
Totals :				5.33509		

Results obtained with enhanced integrator!

```

=====
*** End of Report ***

```

Figura 70: Concentración final de ácido láctico a 37°C y 100 rpm para del cultivo YC-370.

Data File C:\HPCHEM\2\DATA\MEGAP\16090125.D

Sample Name: Y10

```

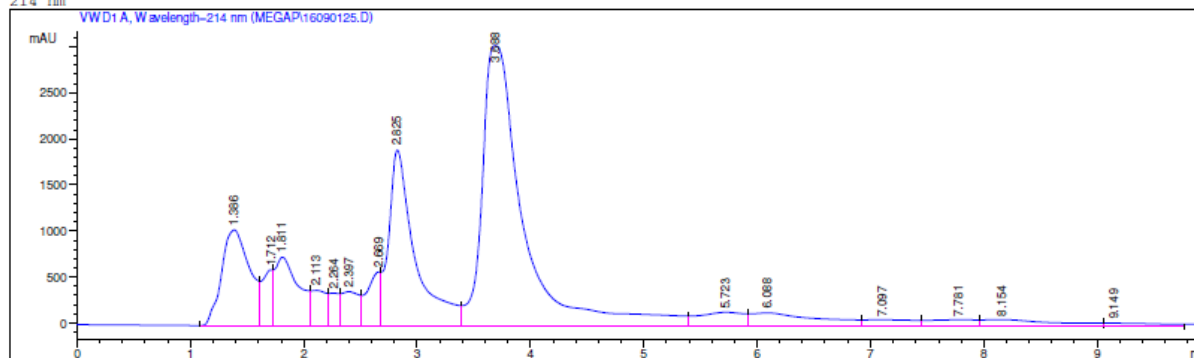
=====
Injection Date : 9/1/2016 3:38:42 PM      Seq. Line : 25
Sample Name    : Y10                      Location  : Vial 24
Acq. Operator  : AdeM                    Inj       : 1
Acq. Instrument : Instrument 2            Inj Volume: 5 µl
Acq. Method    : C:\HPCHEM\2\METHODS\ACLA.M
Last changed   : 8/29/2016 8:12:35 AM by AdeM
Analysis Method : C:\HPCHEM\2\METHODS\ACLA.M
Last changed   : 9/2/2016 11:00:43 AM by AdeM
                (modified after loading)

```

```

Metodo para analisis de Acido lactico.
Laboratorio de Instrumentacion Quimica Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala.
Fase movil buffer Fosfato 0.05M pH2.8
Columna Hypersil ODS 200x2.1 mm 5 µM
214 nm

```



```

=====
External Standard Report
=====

```

```

Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : 9/2/2016 11:00:34 AM
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

```

Data File C:\HPCHEM\2\DATA\MEGAP\16090125.D

Sample Name: Y10

Signal 1: VWD1 A, Wavelength=214 nm

RetTime [min]	Type	Area mAU*s	Amt/Area	Amount [g%]	Grp	Name
1.712	VV	3749.80835	4.77017e-4	1.78872		Acido Lactico
Totals :				1.78872		

Results obtained with enhanced integrator!

```

=====
*** End of Report ***

```


Figura 72: Concentración final de ácido láctico a 37°C y 150 rpm para del cultivo ABY-3.

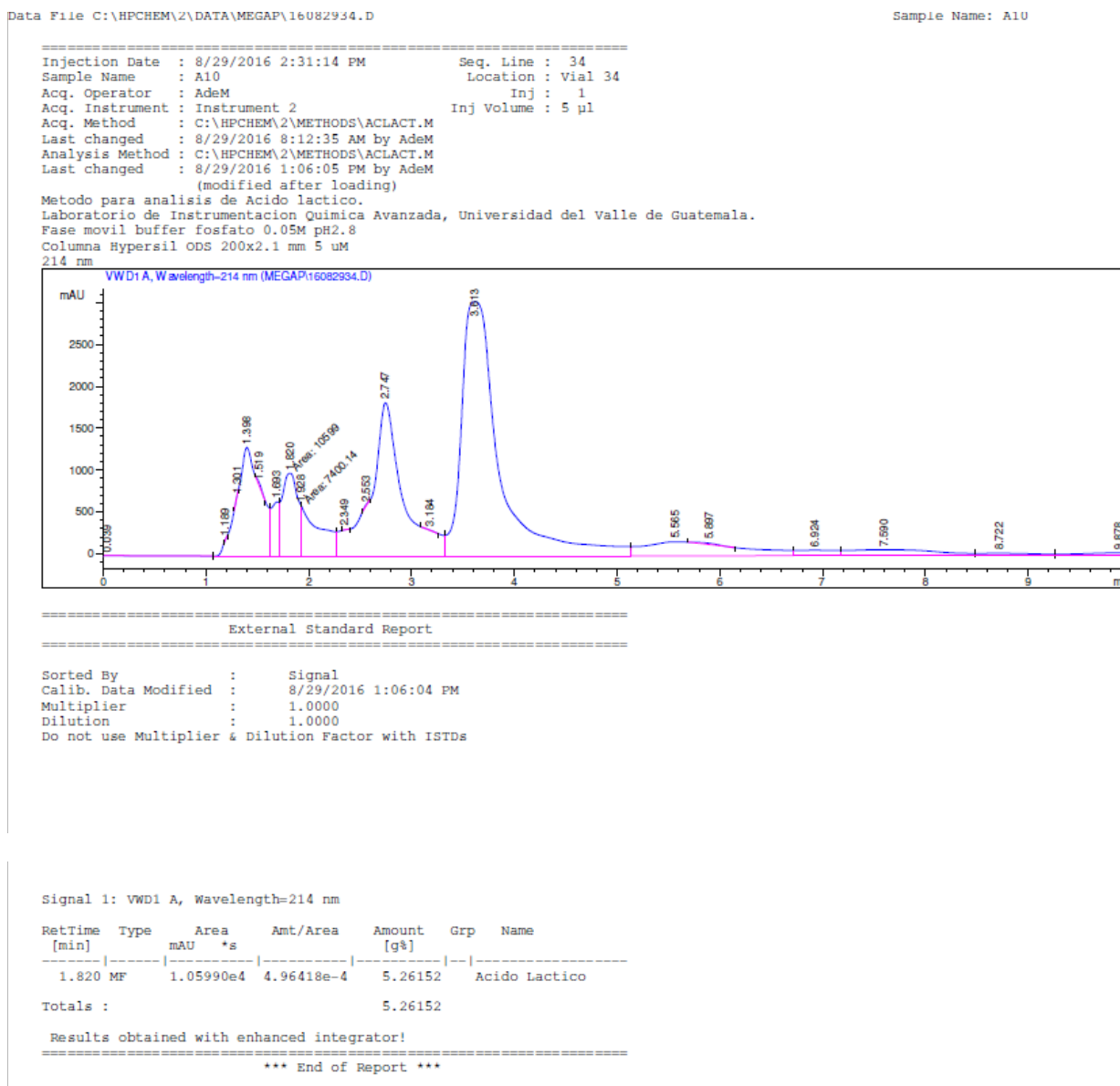


Figura 73: Concentración inicial de ácido láctico a 37°C y 150 rpm para del cultivo YC-370.

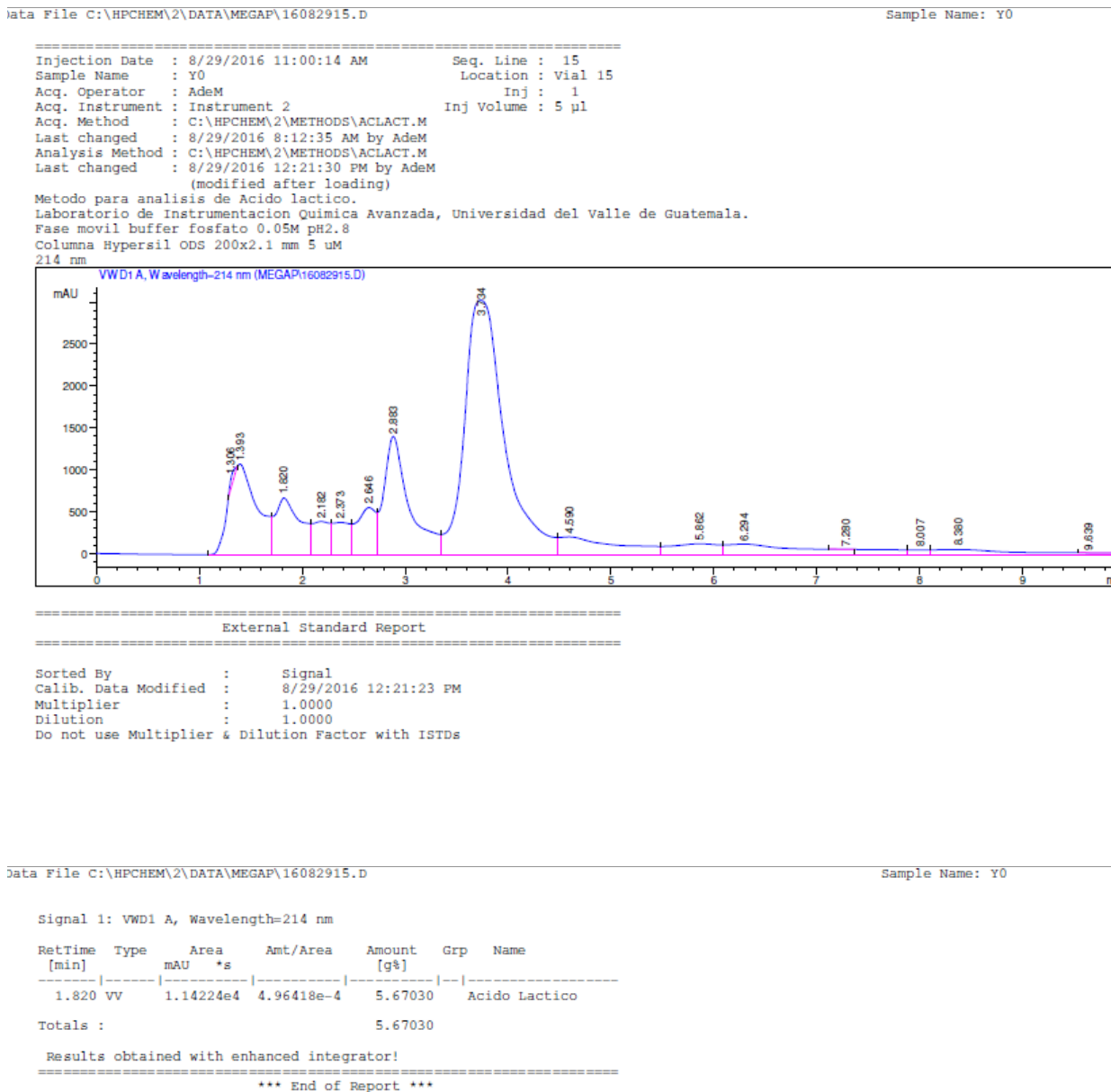


Figura 74: Concentración final de ácido láctico a 37°C y 150 rpm para del cultivo YC-370.

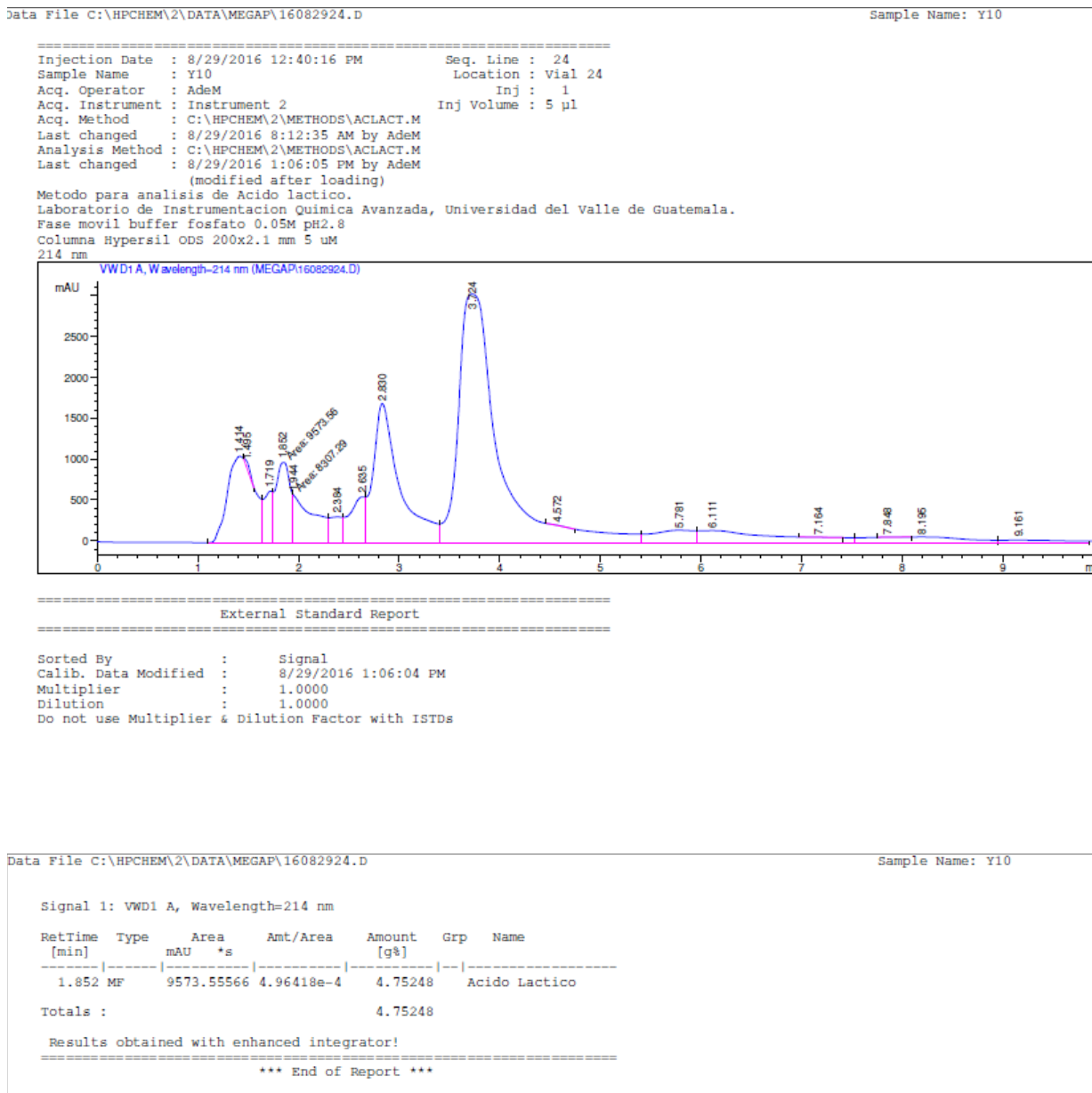


Figura 75: Concentración inicial de ácido láctico a 43°C y 100 rpm para del cultivo ABY-

3.

Data File C:\HPCHEM\2\DATA\MEGAP\16090925.D

Sample Name: A1

```

=====
Injection Date : 9/9/2016 4:01:40 PM      Seq. Line : 25
Sample Name    : A1                        Location  : Vial 25
Acq. Operator  : AdeM                      Inj       : 1
Acq. Instrument: Instrument 2              Inj Volume: 5 µl
Acq. Method    : C:\HPCHEM\2\METHODS\ACLACT.M
Last changed   : 8/29/2016 8:12:35 AM by AdeM
Analysis Method: C:\HPCHEM\2\METHODS\ACLACT.M
Last changed   : 9/19/2016 1:40:26 PM by AdeM
  
```

(modified after loading)

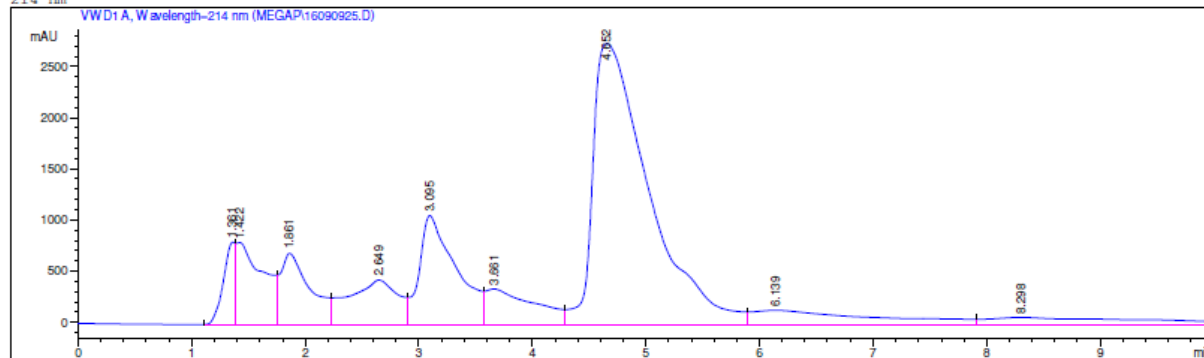
Metodo para analisis de Acido lactico.

Laboratorio de Instrumentacion Quimica Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala.

Fase movil buffer fosfato 0.05M pH2.8

Columna Hypersil ODS 200x2.1 mm 5 µM

214 nm



External Standard Report

```

=====
Sorted By      :      Signal
Calib. Data Modified : 9/19/2016 1:39:24 PM
Multiplier     :      1.0000
Dilution       :      1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Data File C:\HPCHEM\2\DATA\MEGAP\16090925.D

Sample Name: A1

Signal 1: VWD1 A, Wavelength=214 nm

RetTime [min]	Type	Area mAU *s	Amt/Area	Amount [g%]	Grp	Name
1.861	VV	1.28410e4	4.69850e-4	6.03332		Acido Lactico
Totals :				6.03332		

Results obtained with enhanced integrator!

*** End of Report ***

Figura 76: Concentración final de ácido láctico a 43°C y 100 rpm para del cultivo ABY-3.

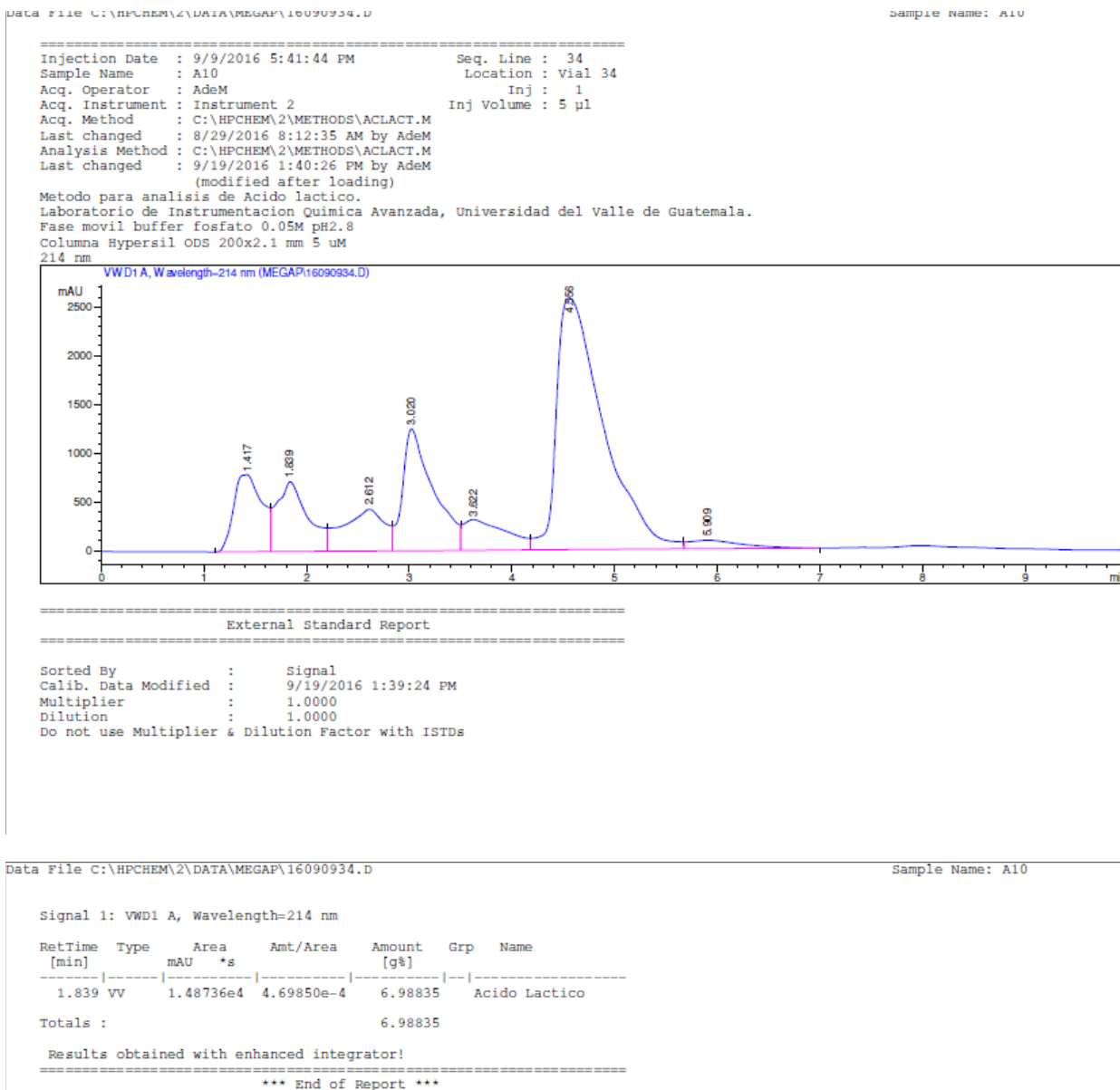


Figura 77: Concentración inicial de ácido láctico a 43°C y 100 rpm para del cultivo YC-370.

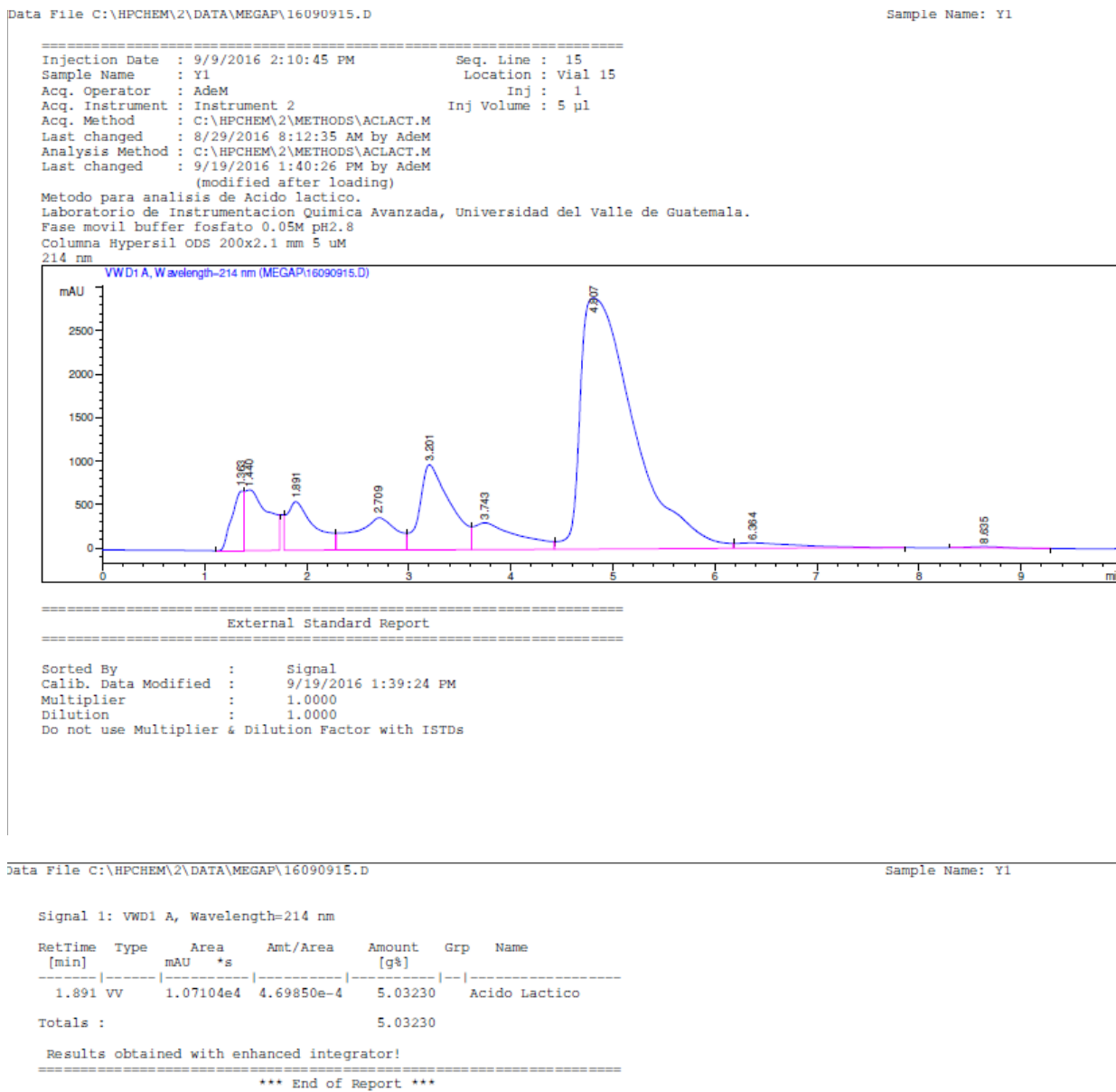


Figura 78: Concentración final de ácido láctico a 43°C y 100 rpm para del cultivo YC-370.

```

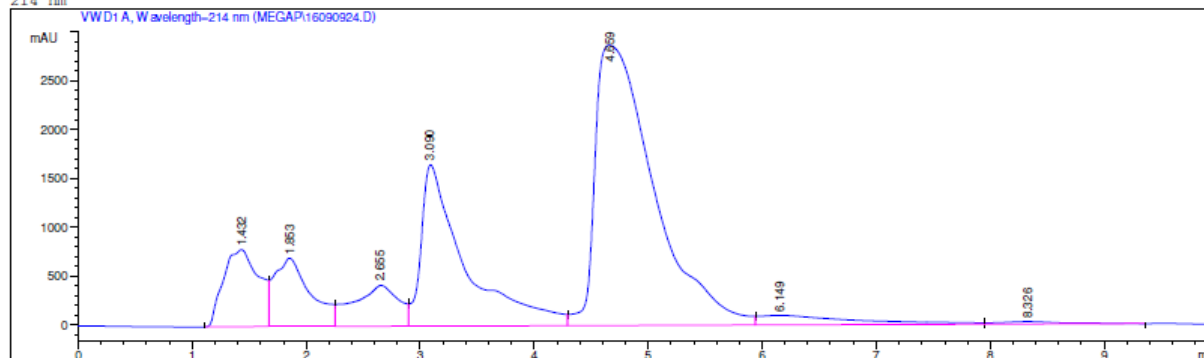
=====
Injection Date : 9/9/2016 3:50:35 PM      Seq. Line : 24
Sample Name   : Y10                      Location  : Vial 24
Acq. Operator : AdeM                    Inj      : 1
Acq. Instrument : Instrument 2          Inj Volume : 5 µl
Acq. Method   : C:\HPCHEM\2\METHODS\ACLACT.M
Last changed  : 8/29/2016 8:12:35 AM by AdeM
Analysis Method : C:\HPCHEM\2\METHODS\ACLACT.M
Last changed  : 9/19/2016 1:40:26 PM by AdeM
              (modified after loading)

```

```

Metodo para analisis de Acido lactico.
Laboratorio de Instrumentacion Quimica Avanzada, Universidad del Valle de Guatemala.
Fase movil buffer fosfato 0.05M pH2.8
Columna Hypersil ODS 200x2.1 mm 5 µM
214 nm

```



```

=====
External Standard Report
=====

```

```

Sorted By      :      Signal
Calib. Data Modified : 9/19/2016 1:39:24 PM
Multiplier     :      1.0000
Dilution       :      1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

```

```

Data File C:\HPCHEM\2\DATA\MEGAP\16090924.D

```

```

Sample Name: Y10

```

```

Signal 1: VWD1 A, Wavelength=214 nm

```

RetTime [min]	Type	Area mAU *s	Amt/Area	Amount [g%]	Grp	Name
1.853	VV	1.54281e4	4.69850e-4	7.24888		Acido Lactico
Totals :				7.24888		

```

Results obtained with enhanced integrator!

```

```

*** End of Report ***

```

Figura 79: Concentración inicial de ácido láctico a 43°C y 150 rpm para del cultivo ABY-3.

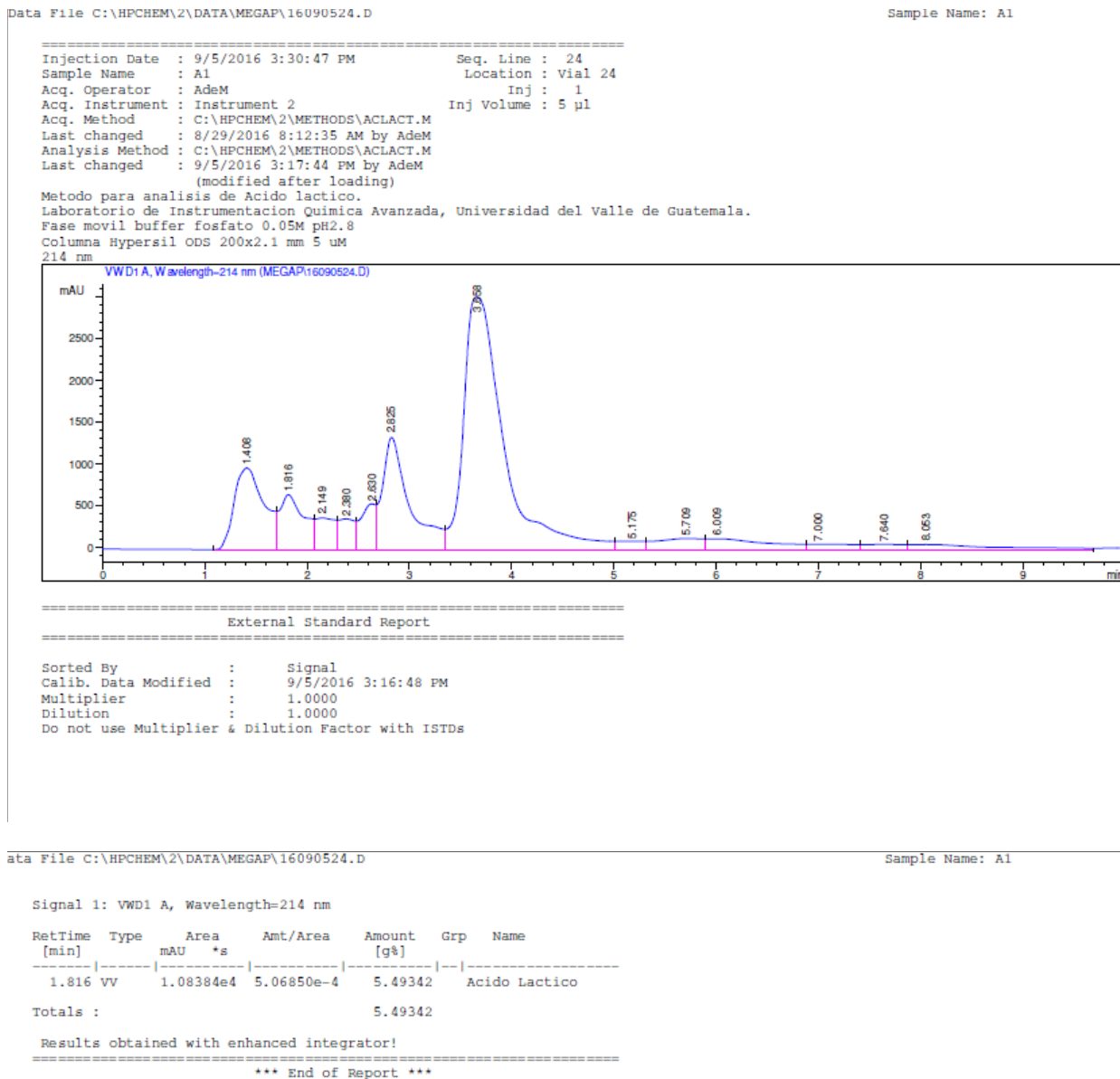


Figura 80: Concentración final de ácido láctico a 43°C y 150 rpm para del cultivo ABY-3.

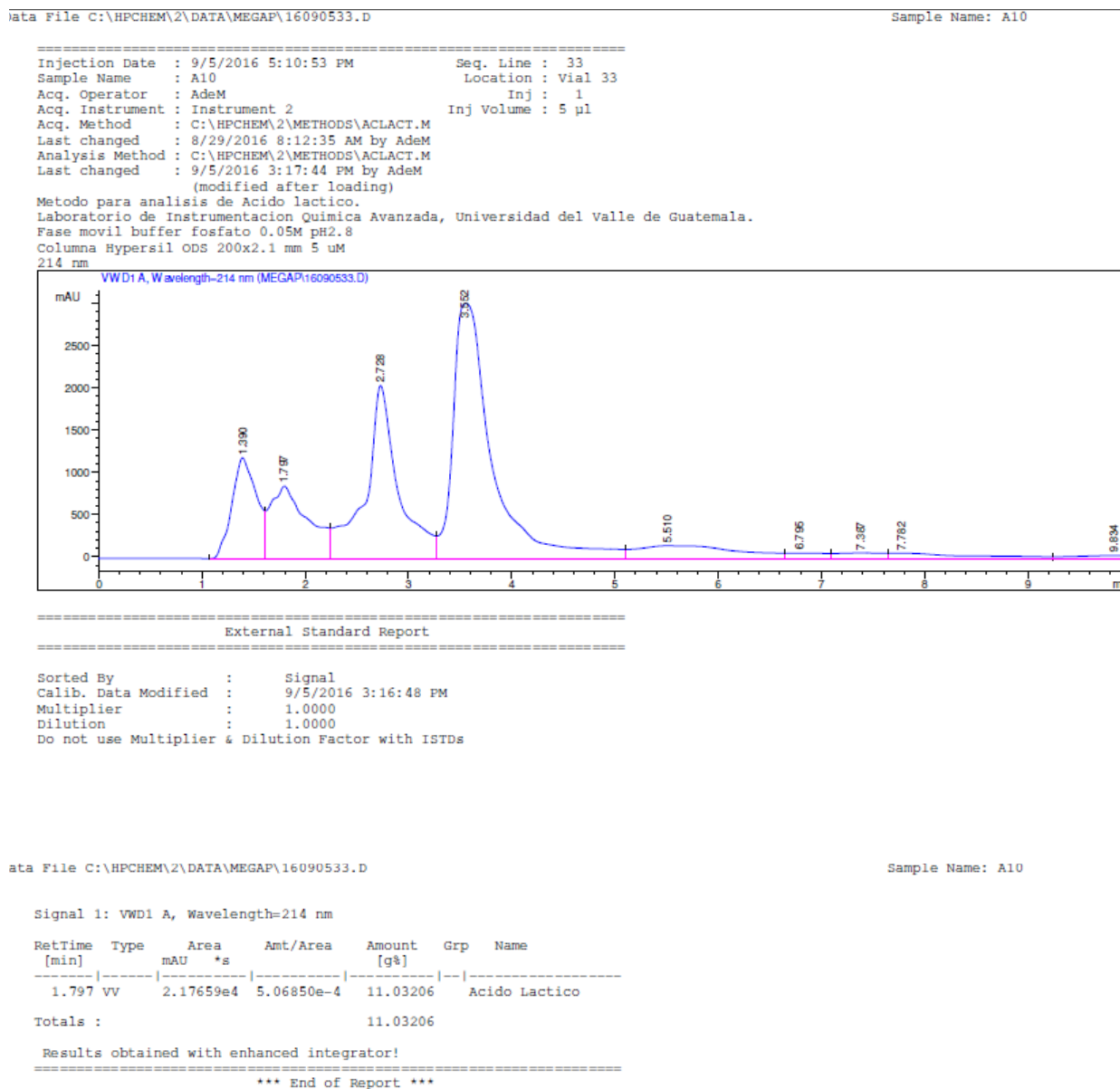


Figura 81: Concentración inicial de ácido láctico a 43°C y 150 rpm para del cultivo YC-370.

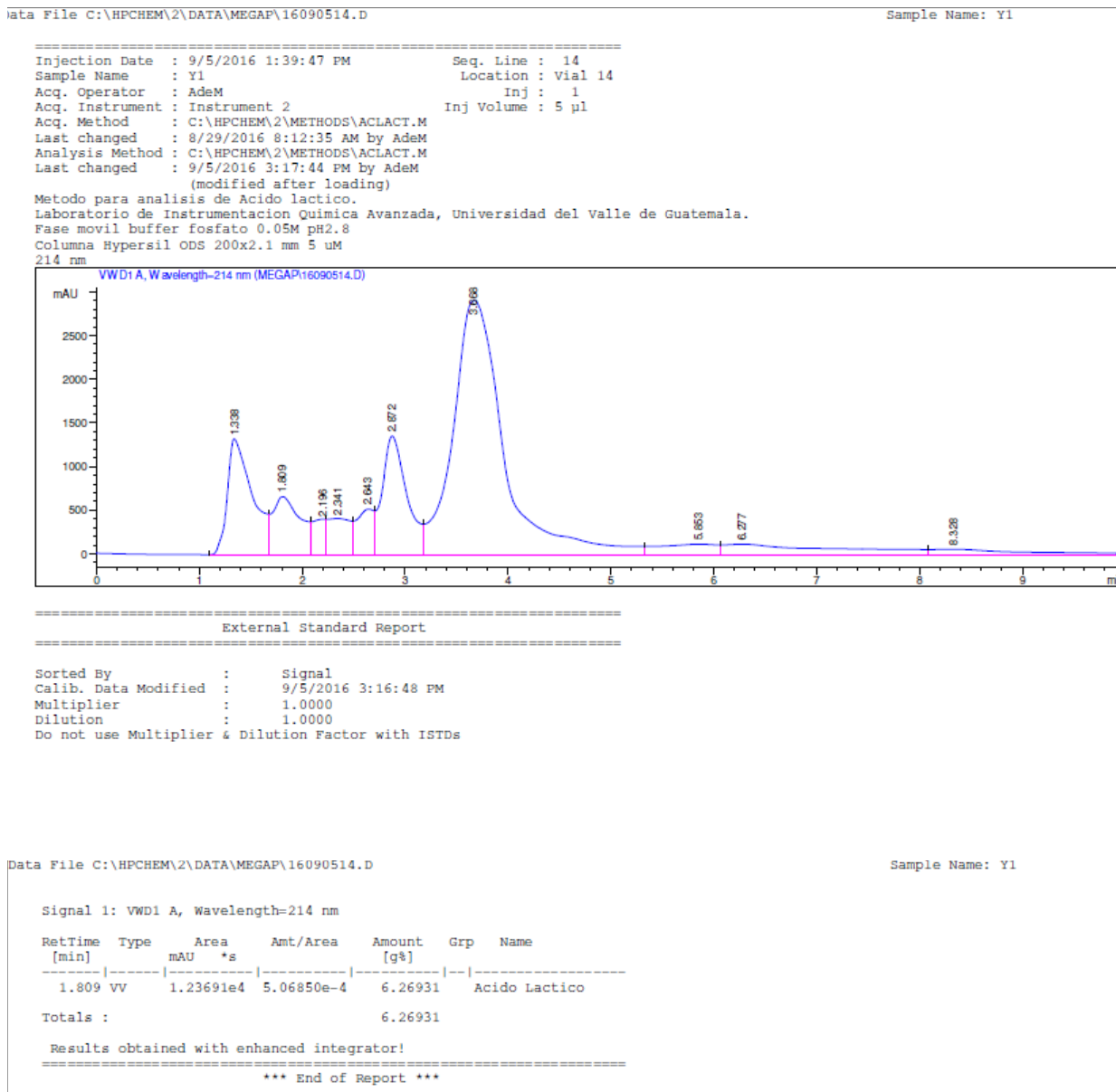
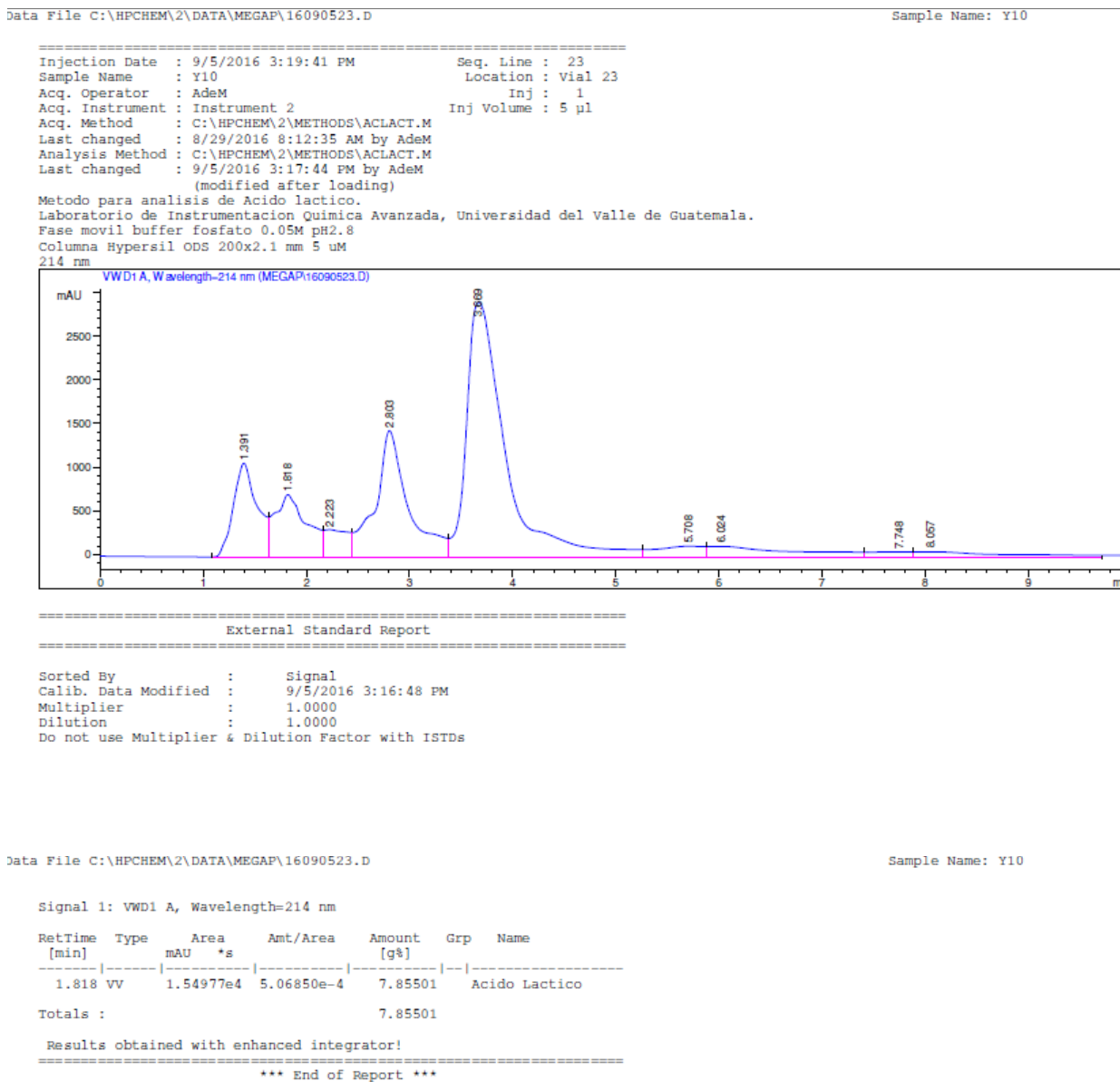


Figura 82: Concentración final de ácido láctico a 43°C y 150 rpm para del cultivo YC-370.



Para el respaldo de los resultados obtenidos se realizó un análisis factorial de dos niveles y de tres factores utilizando el software Minitab, del cual se obtuvieron los siguientes análisis:

Tabla 59: Factores y niveles para análisis factorial de ABY-3 y YC-370.

Factor	Nivel bajo	Nivel alto
Temperatura	37	43
Velocidad	100	150
Tiempo	0	72

Tabla 60: Matriz del diseño factorial para los factores determinados para ABY-3.

Temperatura (°C)	Velocidad (rpm)	Tiempo (h)	% Ácido Láctico (g/mol)
37	100	0	4.3493
43	100	0	6.0333
37	150	0	3.7825
43	150	0	5.4934
37	100	72	1.3363
43	100	72	6.9883
37	150	72	5.2615
43	150	72	11.0321

Tabla 61: Matriz del diseño factorial para los factores determinados para YC-370..

Temperatura (°C)	Velocidad (rpm)	Tiempo (h)	% Ácido Láctico (g/mol)
37	100	0	5.33509
43	100	0	5.03230
37	150	0	5.67030
43	150	0	6.26931
37	100	72	1.78872
43	100	72	7.24888
37	150	72	4.75248
43	150	72	7.85501

Figura 83: Efectos principales para concentración de ácido láctico para ABY-3

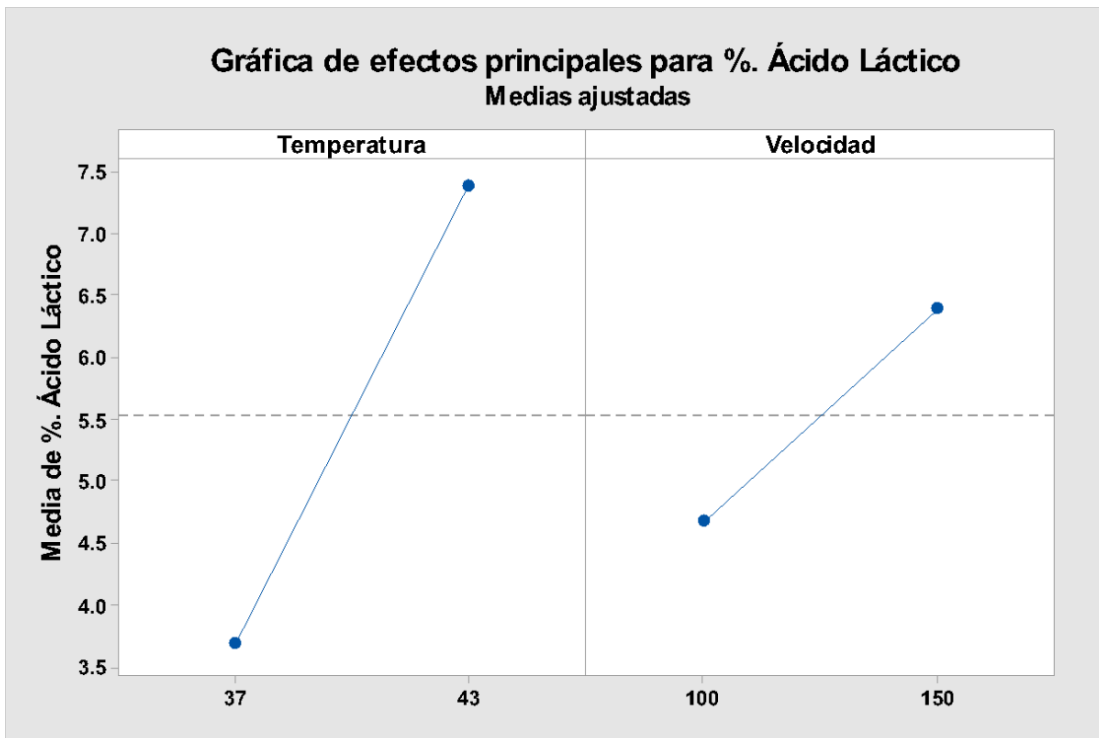


Figura 84: Efectos principales para concentración de ácido láctico para YC-370.

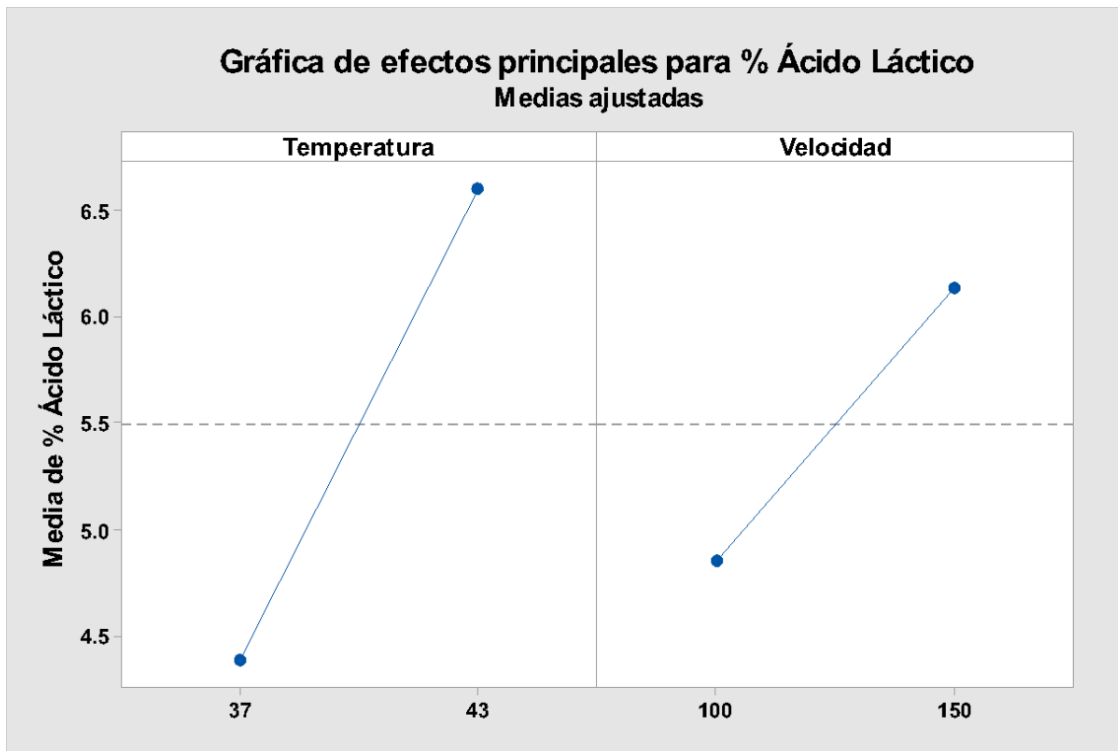


Figura 85: Interacción para concentración de ácido láctico para ABY-3

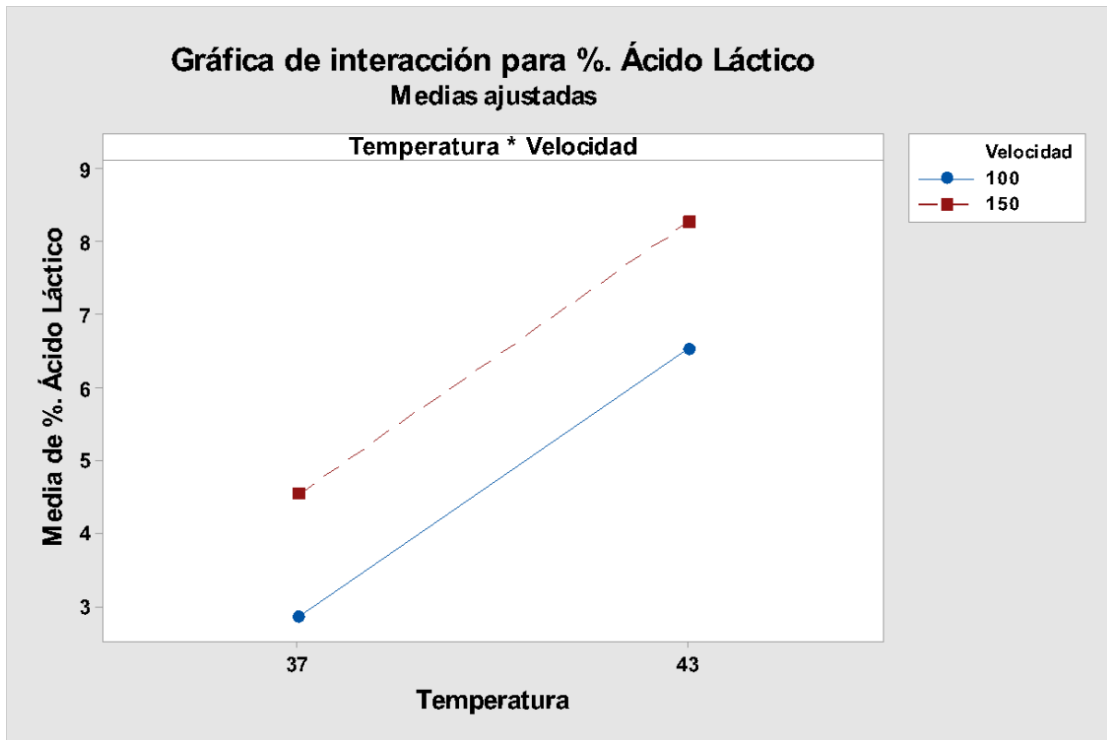


Figura 86: Interacción para concentración de ácido láctico para YC-370.

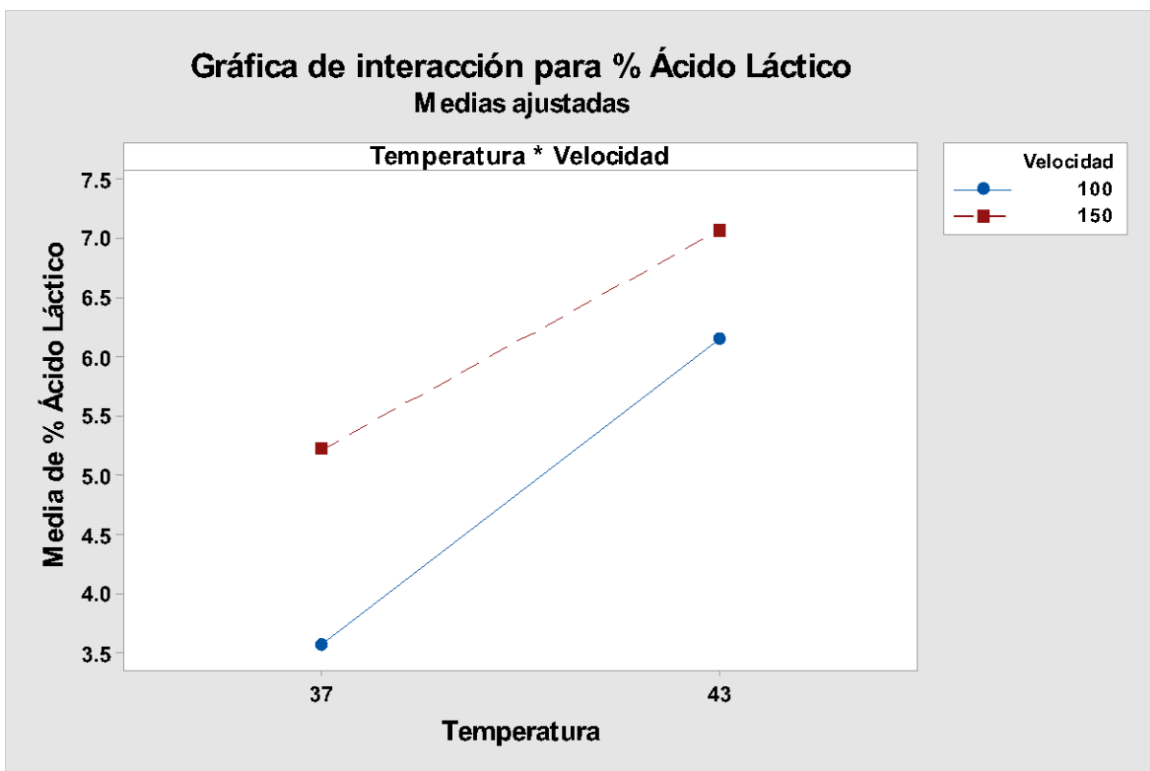


Figura 87: Gráfico de cubos para concentración de ácido láctico para ABY-3.

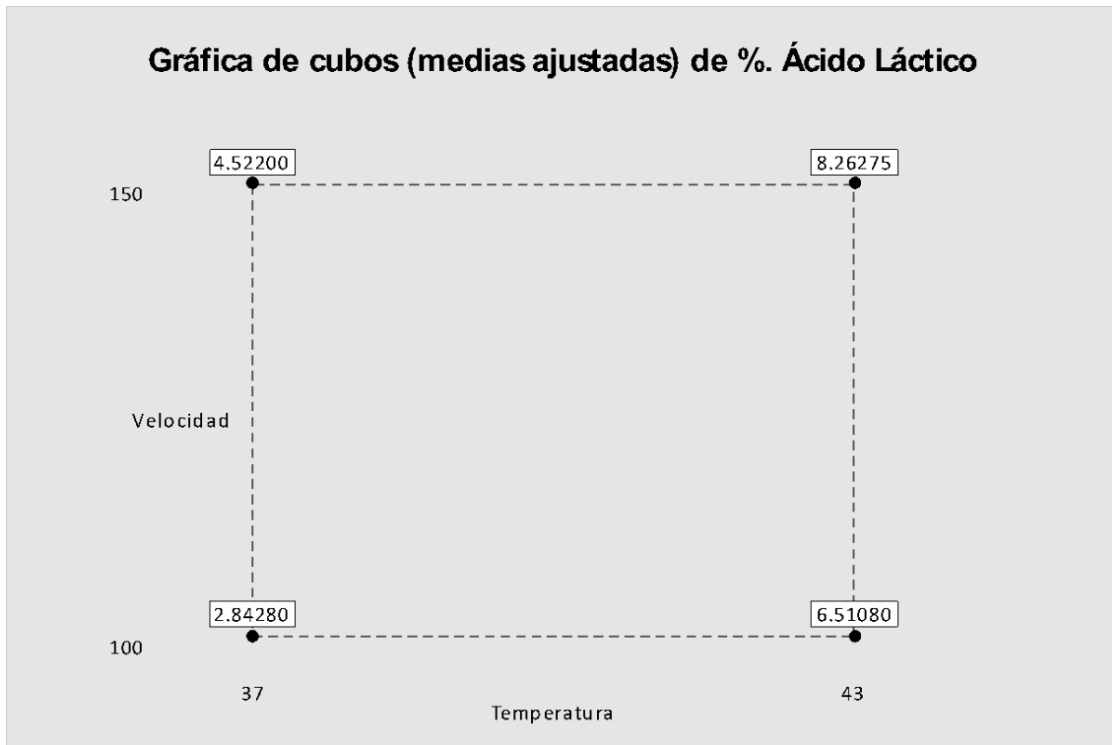
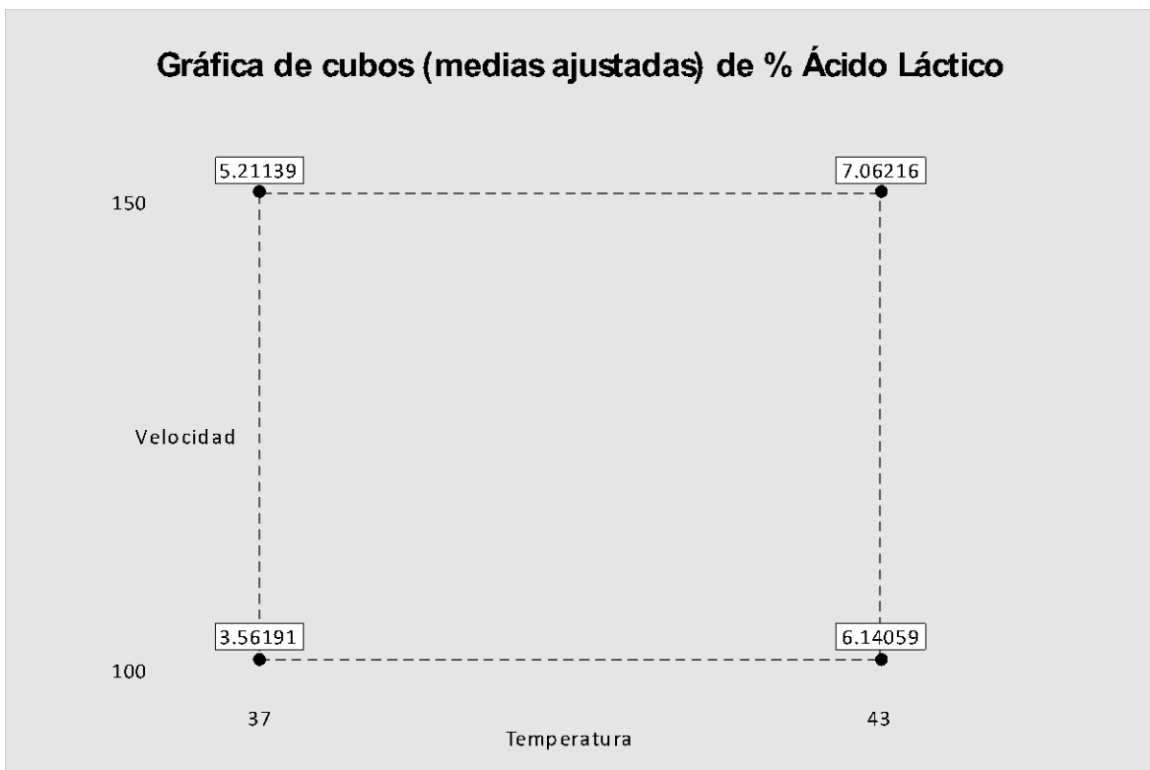


Figura 88: Gráfico de cubos para concentración de ácido láctico para YC-370.



Análisis Factorial

Se realizó un diseño factorial de dos niveles para una réplica en orden no aleatorio, tomando como factores: la temperatura (A), la velocidad de agitación (B), y el tiempo (C). Para cada factor se tomaron dos condiciones de operación para realizar la matriz de diseño. Las variables de respuesta evaluadas fueron el porcentaje de ácido láctico producido y el porcentaje de glucosa consumido.

Tabla 62: Matriz para el análisis factorial de dos niveles

	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Temperatura	Velocidad	Tiempo	% AL	%Glucosa
1	1	1	1	1	30	150	0	6.27	2.510
2	2	21	1	1	35	150	0	7.30	1.800
3	3	11	1	1	30	200	0	5.63	1.970
4	4	31	1	1	35	200	0	4.86	1.730
5	5	10	1	1	30	150	72	3.24	1.440
6	6	30	1	1	35	150	72	6.32	1.170
7	7	20	1	1	30	200	72	5.13	2.290
8	8	40	1	1	35	200	72	6.69	0.317

*Se utilizó la versión académica de prueba durante 30 días del programa minitab 17. Luego de analizar la matriz de diseño factorial, se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 89: Análisis de varianza para la concentración de ácido láctico

Análisis de Varianza

Fuente	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Modelo	7	11.3332	1.61903	*	*
Lineal	3	3.9831	1.32770	*	*
Temperatura	1	3.0013	3.00125	*	*
Velocidad	1	0.0840	0.08405	*	*
Tiempo	1	0.8978	0.89780	*	*
Interacción doble	3	7.3403	2.44677	*	*
Temperatura*Velocidad	1	1.3778	1.37780	*	*
Temperatura*Tiempo	1	2.3981	2.39805	*	*
Velocidad*Tiempo	1	3.5644	3.56445	*	*
Interacción triple	1	0.0098	0.00980	*	*
Temperatura*Velocidad*Tiempo	1	0.0098	0.00980	*	*
Error	0	*	*		
Total	7	11.3332			

Figura 90: Datos para la regresión factorial de la concentración de ácido láctico

Coefficientes Codificados

Término	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constante		5.680	*	*	*	
Temperatura	1.2250	0.6125	*	*	*	1.00
Velocidad	-0.2050	-0.1025	*	*	*	1.00
Tiempo	-0.6700	-0.3350	*	*	*	1.00
Temperatura*Velocidad	-0.8300	-0.4150	*	*	*	1.00
Temperatura*Tiempo	1.0950	0.5475	*	*	*	1.00
Velocidad*Tiempo	1.3350	0.6675	*	*	*	1.00
Temperatura*Velocidad*Tiempo	0.07000	0.03500	*	*	*	1.00

Figura 91: Análisis de varianza para la concentración de glucosa

Análisis de Varianza						
Fuente	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Modelo	7	3.33180	0.47597	*	*	
Lineal	3	2.29648	0.76549	*	*	
Temperatura	1	1.27441	1.27441	*	*	
Velocidad	1	0.04697	0.04697	*	*	
Tiempo	1	0.97511	0.97511	*	*	
Interacción doble	3	0.44507	0.14836	*	*	
Temperatura*Velocidad	1	0.19004	0.19004	*	*	
Temperatura*Tiempo	1	0.20898	0.20898	*	*	
Velocidad*Tiempo	1	0.04606	0.04606	*	*	
Interacción triple	1	0.59024	0.59024	*	*	
Temperatura*Velocidad*Tiempo	1	0.59024	0.59024	*	*	
Error	0	*	*			
Total	7	3.33180				

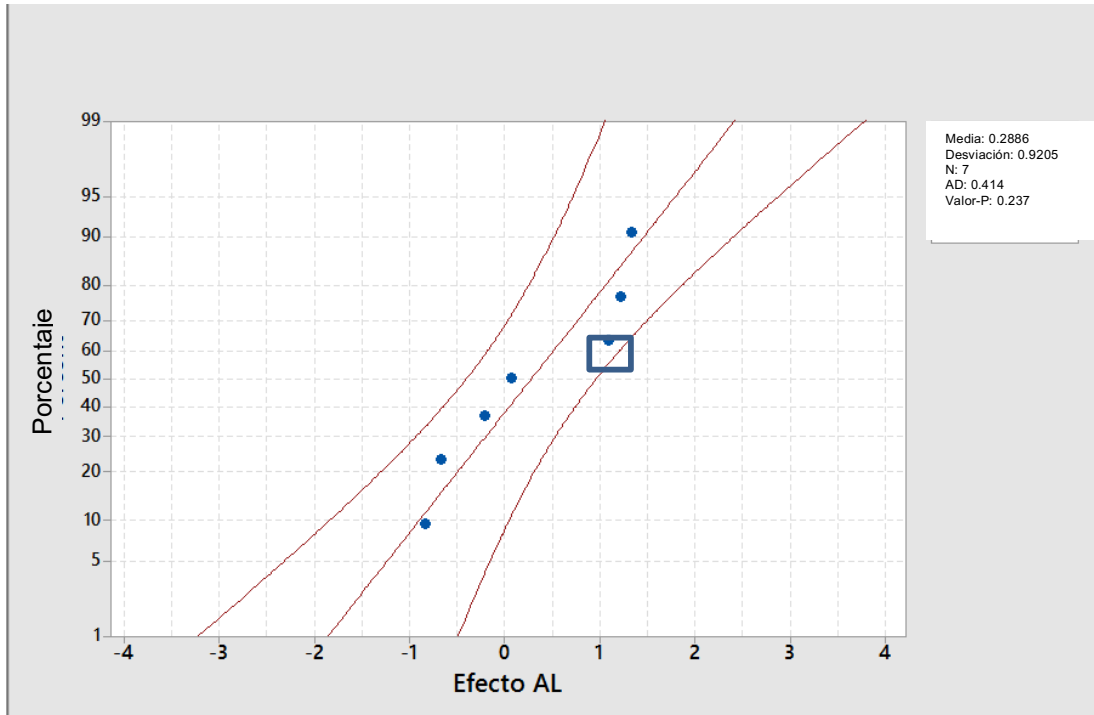
Figura 92: Datos para la regresión factorial de la concentración de glucosa

Coeficientes Codificados

Término	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constante		1.653	*	*	*	
Temperatura	-0.7983	-0.3991	*	*	*	1.00
Velocidad	-0.15325	-0.07662	*	*	*	1.00
Tiempo	-0.6983	-0.3491	*	*	*	1.00
Temperatura*Velocidad	-0.3083	-0.1541	*	*	*	1.00
Temperatura*Tiempo	-0.3233	-0.1616	*	*	*	1.00
Velocidad*Tiempo	0.15175	0.07588	*	*	*	1.00
Temperatura*Velocidad*Tiempo	-0.5433	-0.2716	*	*	*	1.00

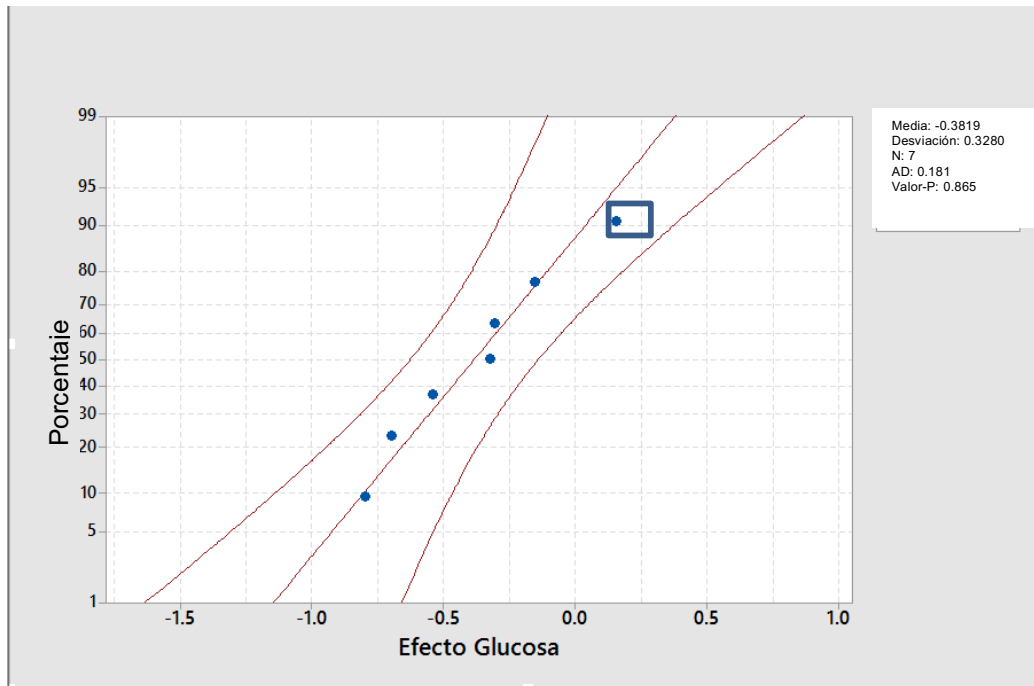
A partir de los resultados englobados, se pudo obtener el modelo general de la regresión factorial para cada variable de respuesta, sin embargo, es necesario identificar los términos significativos en la réplica realizada a través de un gráfico de probabilidad normal de efectos (eje x: efectos, eje y: probabilidad normal) para cada variable de respuesta.

Figura 93: Gráfica de probabilidad normal de los efectos de los factores con la concentración de ácido láctico



*El término significativo tomado de esta gráfica fue el factor AC (Temperatura – Tiempo)

Figura 94: Gráfica de probabilidad normal de los efectos de los factores con la concentración de glucosa



*El término significativo tomado de esta gráfica fue el factor BC (Velocidad de agitación – Tiempo)

Luego de definir los términos significativos, ya se pueden generar los modelos de regresión factorial para cada variable de respuesta:

$$\hat{y} = 5.680 + 0.6125x_A - 0.3350x_C + 0.5475x_Ax_C \quad (\% \text{ Ácido Láctico})$$

$$\hat{y} = 1.653 - 0.07612x_B - 0.3491x_C + 0.07588x_Bx_C \quad (\% \text{ Glucosa})$$

Figura 95: Regresión factorial del factor Temperatura contra la concentración de ácido láctico.

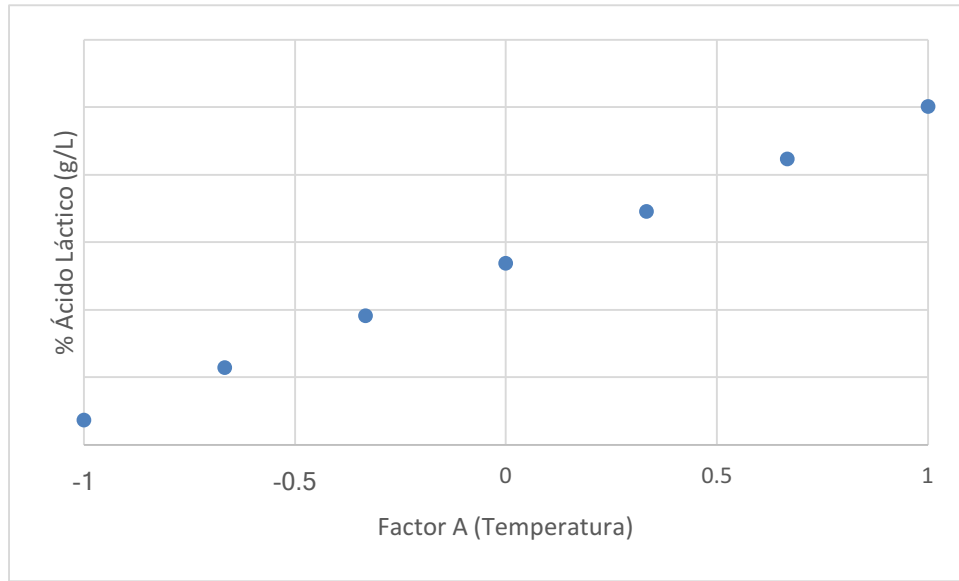
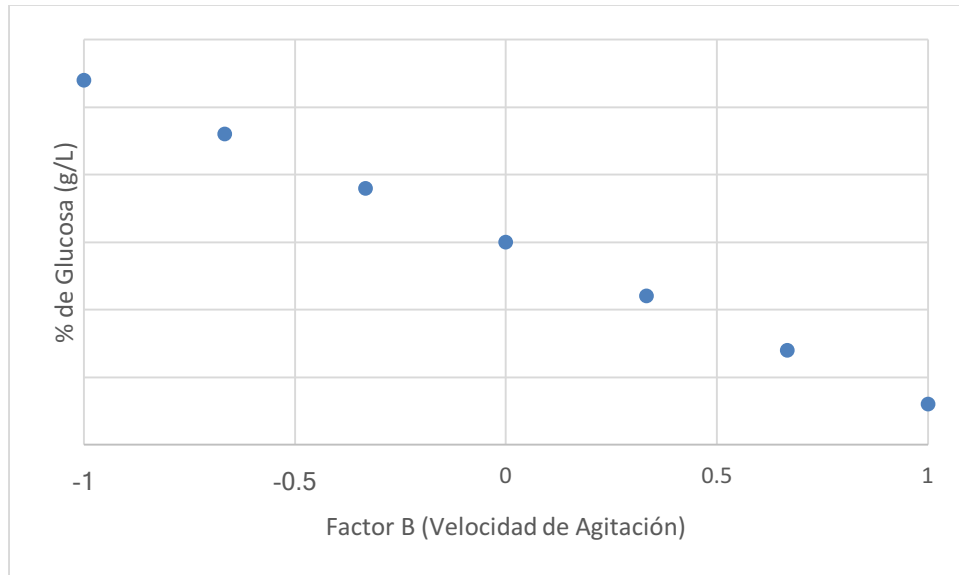


Figura 96: Regresión factorial del factor Velocidad de agitación contra la concentración de glucosa.



Cálculo #2: Incertidumbre para sumas y restas

Ejemplo 1: Desviación estándar para media aritmética de Grados Brix para melaza al 10% (m/v)

Utilizando Ecuación 1: $S_y = \sqrt{S_a^2 + S_b^2 + \dots + S_n^2}$

$$S_y = \sqrt{0.05^2 + 0.05^2 + 0.05^2} = 0.0866$$

Se realizó el mismo procedimiento para todas las medidas de temperatura, pH y conductividad.

Cálculo #3: Incertidumbre para multiplicaciones y divisiones

Ejemplo 1: Desviación estándar para densidad de la melaza de ingenio Magdalena al 10 %

Utilizando Ecuación 2: $S_y = y * \sqrt{\left(\frac{S_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{b}\right)^2 + \dots + \left(\frac{S_n}{n}\right)^2}$

$$S_y = 0.1 * \sqrt{\left(\frac{0.05}{10.00}\right)^2 + \left(\frac{0.05}{100.00}\right)^2} = 0.0005025$$

Tabla 63: Fermentación a escala laboratorio no. 1 a una temperatura de 30 °C y velocidad de agitación de 150 rpm, utilizando melaza de ingenio Tululá al 20 % (m/v).

Muestra	Tiempo (h)	% Ácido láctico (g/L)	% Glucosa (g/L)
0	0	6.27	2.51
1	5	6.02	2.48
2	7	5.93	2.5
3	24	5.75	2.51
4	28	5.64	2.46
5	31	5.83	2.57
6	34.5	5.76	1.75
7	52	5.56	2.56
8	68	3.64	1.95
9	72	3.24	1.44

Tabla 64: Fermentación a escala laboratorio no. 2 a una temperatura de 30 °C y velocidad de agitación de 200 rpm, utilizando melaza de ingenio Tululá al 20 % (m/v).

Muestra	Tiempo (h)	% Ácido láctico (g/L)	% Glucosa (g/L)
0	0	5.63	1.97
1	5	5.52	1.98
2	7	5.09	1.83
3	24	5.4	1.85
4	28	5.74	1.89
5	31	5.16	2.04
6	34.5	3.56	2.21
7	52	5.25	2.21
8	68	5.04	2.13
9	72	5.13	2.29

Tabla 65: Fermentación a escala laboratorio no. 3 a una temperatura de 35 °C y velocidad de agitación de 150 rpm, utilizando melaza de ingenio Magdalena al 20 % (m/v).

Muestra	Tiempo (h)	% Ácido láctico (g/L)	% Glucosa (g/L)
0	0	7.3	1.8
1	5	7.09	1.79
2	7	6.41	1.84
3	24	6.22	1.35
4	28	6.8	1.56
5	31	6.29	1.46
6	34.5	6.07	1.39
7	52	6.26	1.17
8	70	--	--
9	72	6.32	1.17

Tabla 66: Fermentación a escala laboratorio no. 4 a una temperatura de 35 °C y velocidad de agitación de 200 rpm, utilizando melaza de ingenio Tululá al 20 % (m/v).

Muestra	Tiempo (h)	% Ácido láctico (g/L)	% Glucosa (g/L)
0	0	4.86	1.73
1	5	5.00	1.69
2	7	4.63	0.86
3	24	4.77	2.12
4	28	4.85	1.41
5	31	4.9	1.22
6	34.5	4.89	1.43
7	52	5.35	1.08
8	71	6.69	0.71

Figura 97: Concentración de glucosa vs tiempo para fermentación no. 1 a temperatura de 30 °C y 150 °C.

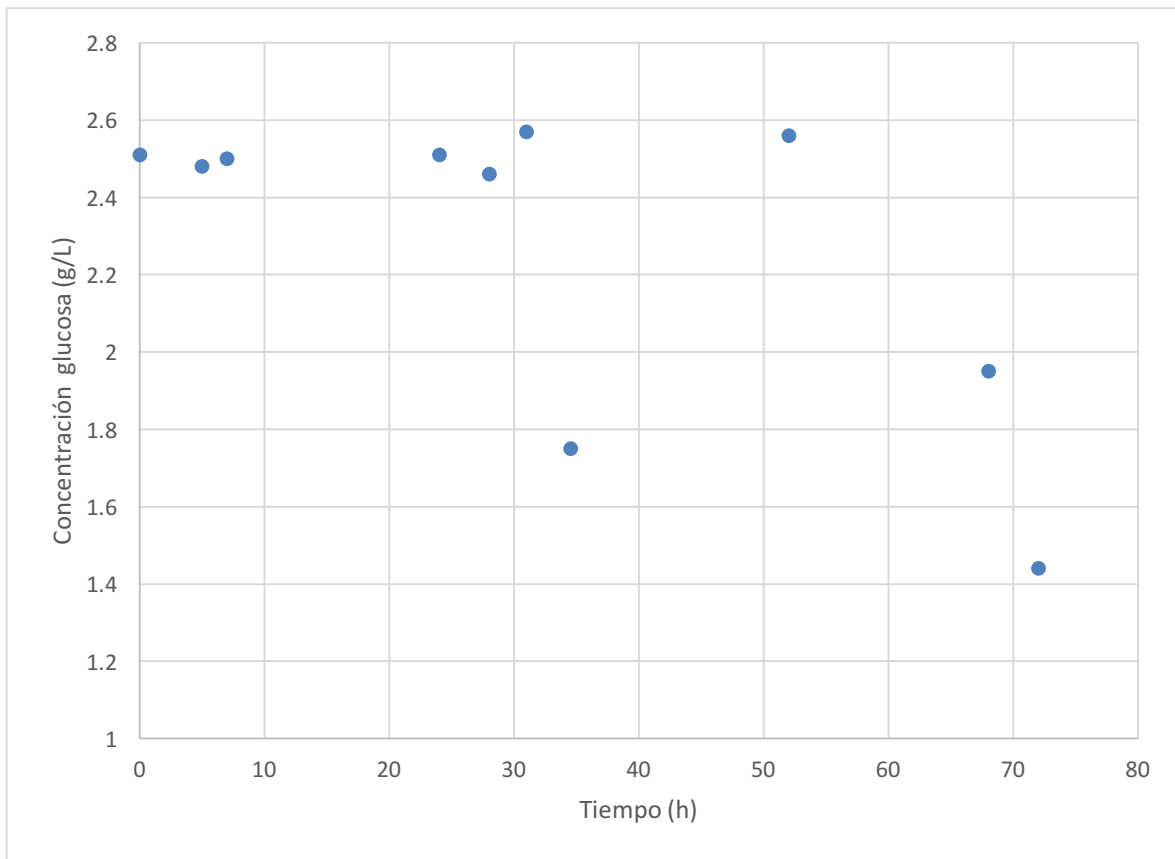


Figura 98: Concentración de glucosa vs tiempo para fermentación no. 1 a temperatura de 30 °C y 200 °C.

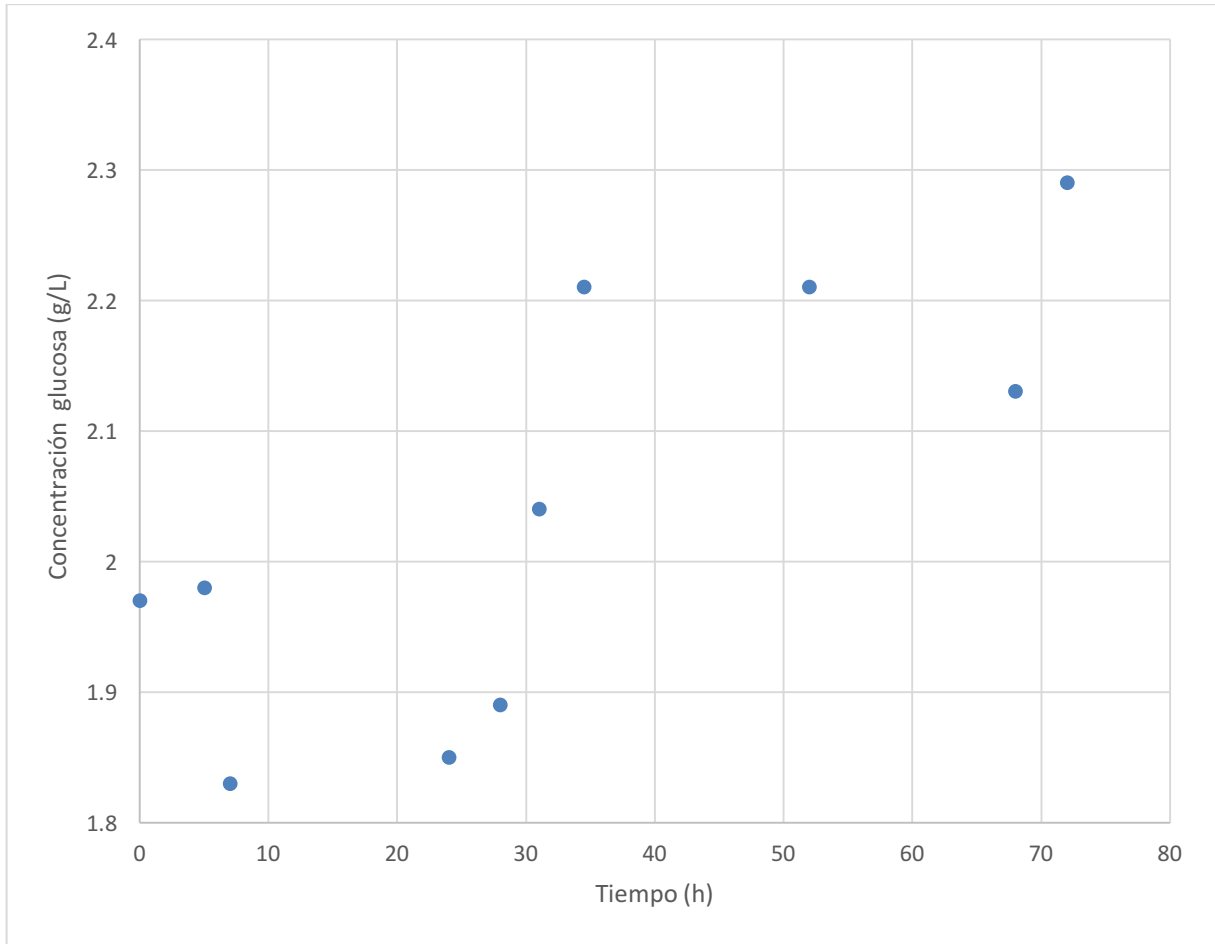


Figura 99: Concentración de glucosa vs tiempo para fermentación no. 1 a temperatura de 35 °C y 150 °C.

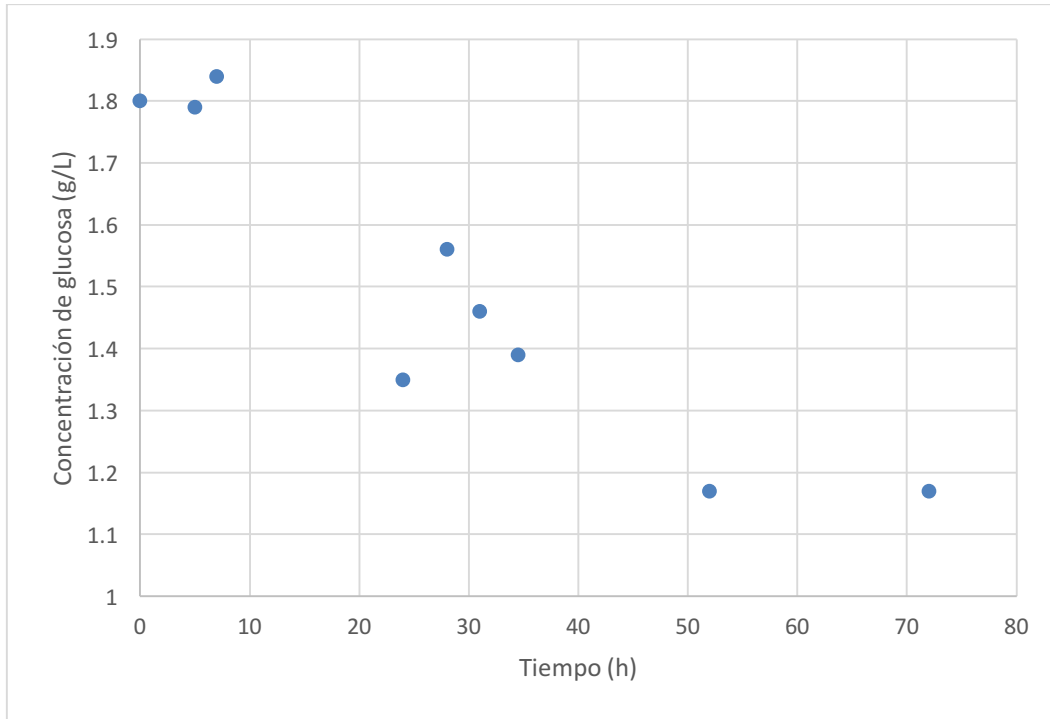


Figura 100: Concentración de glucosa vs tiempo para fermentación no. 1 a temperatura de 35 °C y 200 °C.

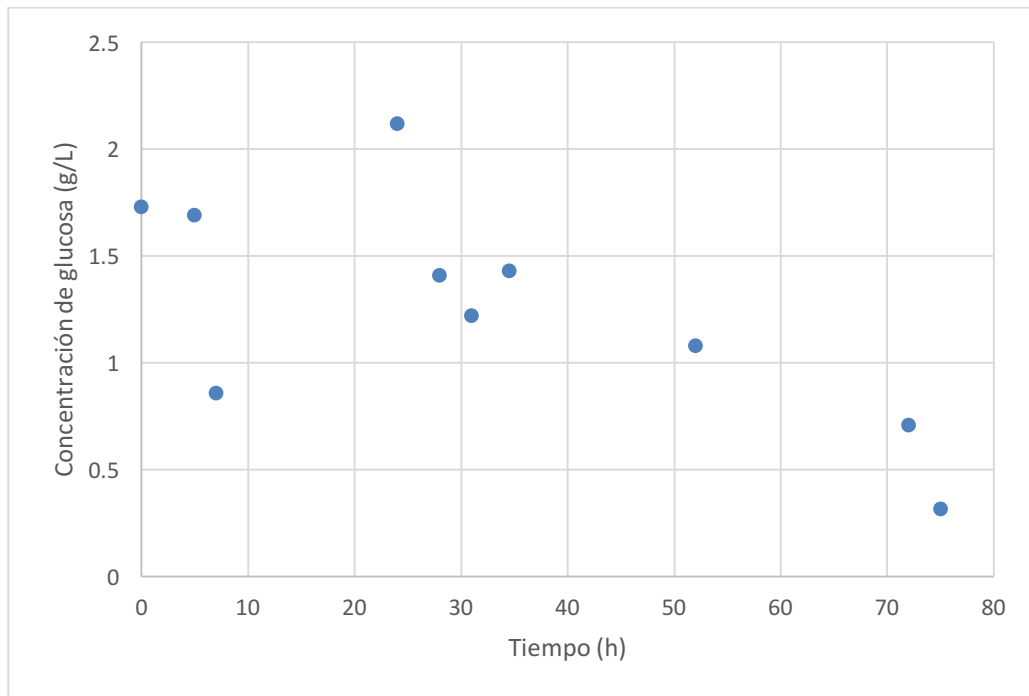
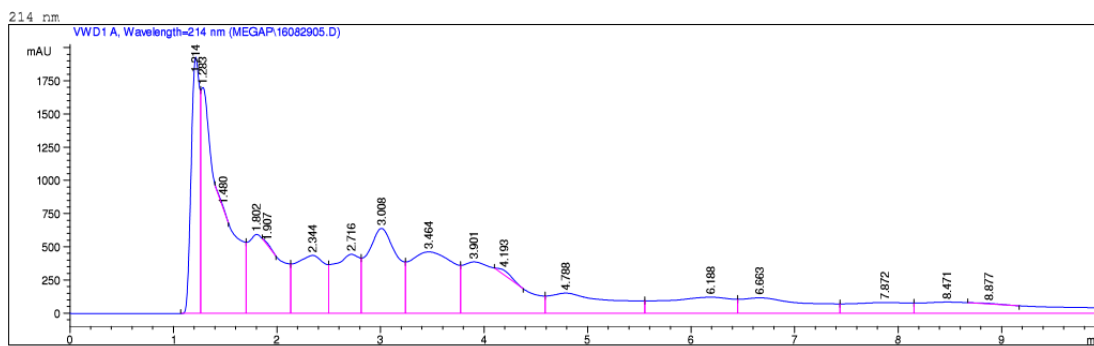


Figura 101: Cromatograma para muestra X0 de ácido láctico de fermentación no.1



```

-----
External Standard Report
-----
Sorted By      :      Signal
Calib. Data Modified :      8/29/2016 12:21:23 PM
Multiplier    :      1.0000
Dilution      :      1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
    
```

Instrument 2 8/29/2016 12:24:11 PM AdeM

Page 1 of 2

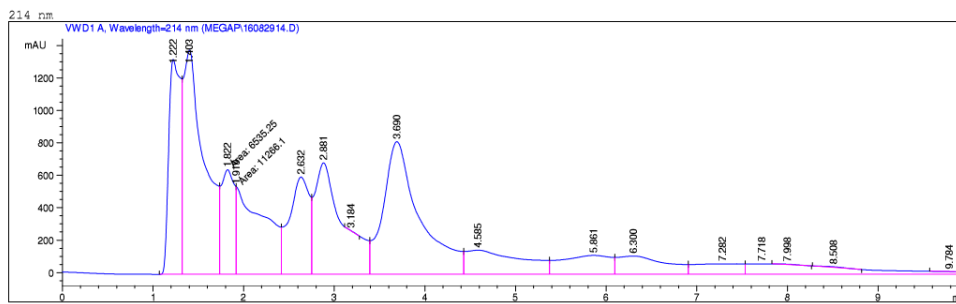
Data File C:\HPCHEM\2\DATA\MEGAP\16082905.D

Sample Name: XO

Signal 1: VWD1 A, Wavelength=214 nm

RetTime [min]	Type	Area mAU*s	Amt/Area	Amount [g%]	Grp Name
1.802	VV	1.26328e4	4.96418e-4	6.27115	Acido Lactico
Totals :				6.27115	

Figura 102: Cromatograma para muestra X9 de ácido láctico de fermentación no.1



```

-----
External Standard Report
-----
Sorted By      :      Signal
Calib. Data Modified :      8/29/2016 12:21:23 PM
Multiplier    :      1.0000
Dilution      :      1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
    
```

Instrument 2 8/29/2016 12:29:46 PM AdeM

Page 1 of 2

Data File C:\HPCHEM\2\DATA\MEGAP\16082914.D

Sample Name: X9

Signal 1: VWD1 A, Wavelength=214 nm

RetTime [min]	Type	Area mAU*s	Amt/Area	Amount [g%]	Grp Name
1.822	MF	6535.25439	4.96418e-4	3.24422	Acido Lactico
Totals :				3.24422	

Figura 103: Cromatograma para muestra X0 de ácido láctico de fermentación no.2

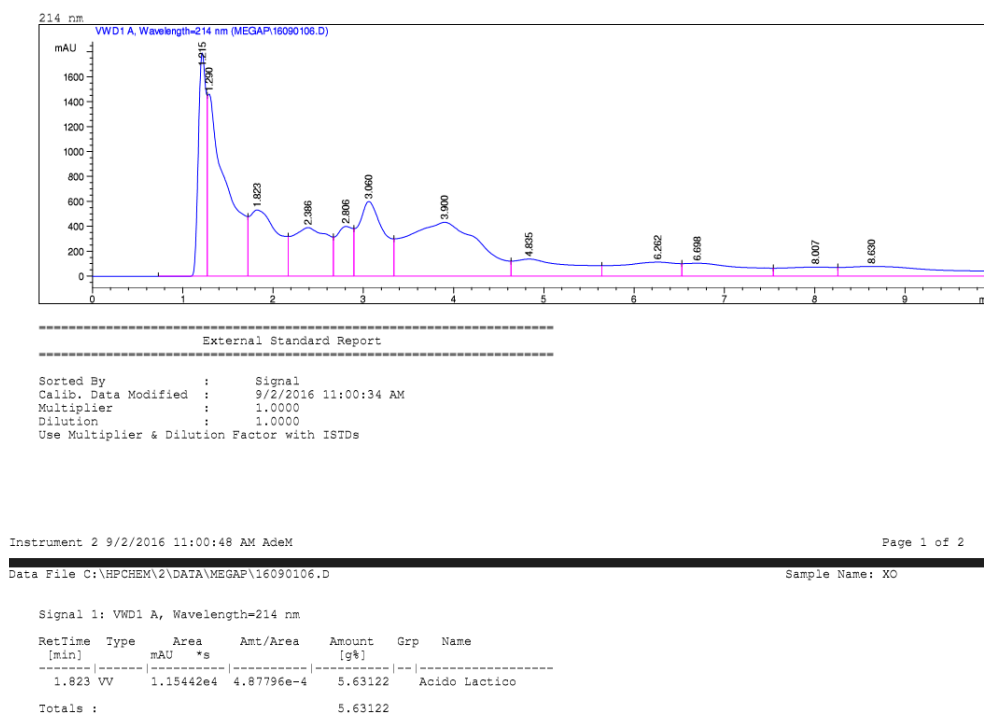


Figura 104: Cromatograma para muestra X9 de ácido láctico de fermentación no.2

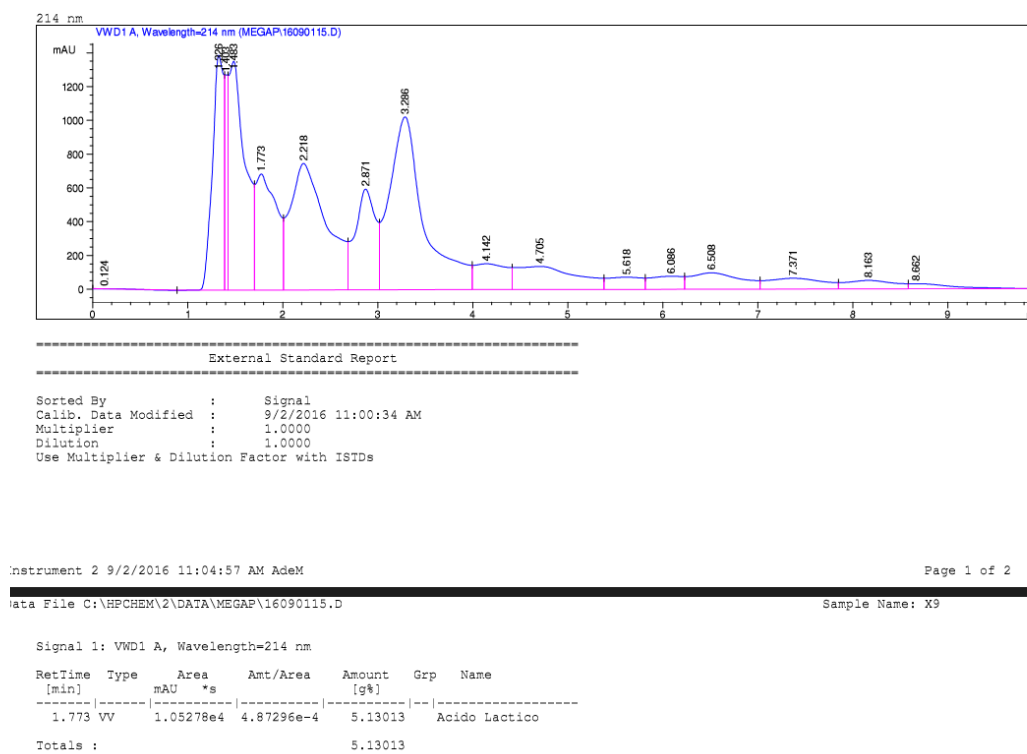


Figura 105: Cromatograma para muestra X0 de ácido láctico de fermentación no.3

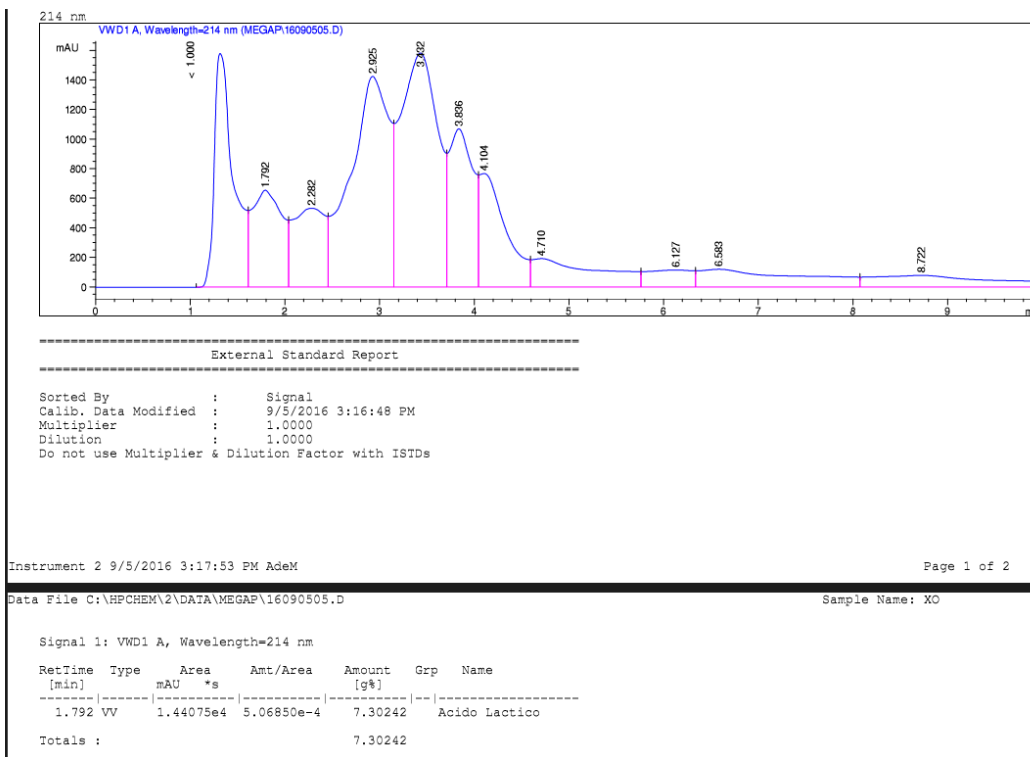


Figura 106: Cromatograma para muestra X9 de ácido láctico de fermentación no.3

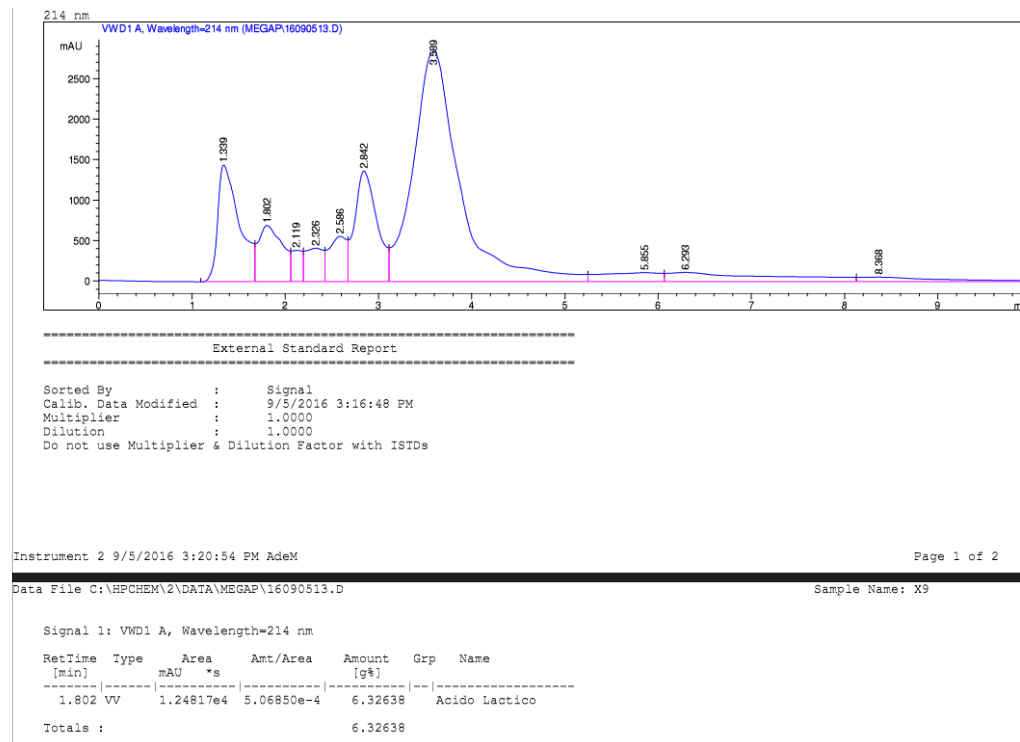


Figura 107: Cromatograma para muestra X0 de ácido láctico de fermentación no.4

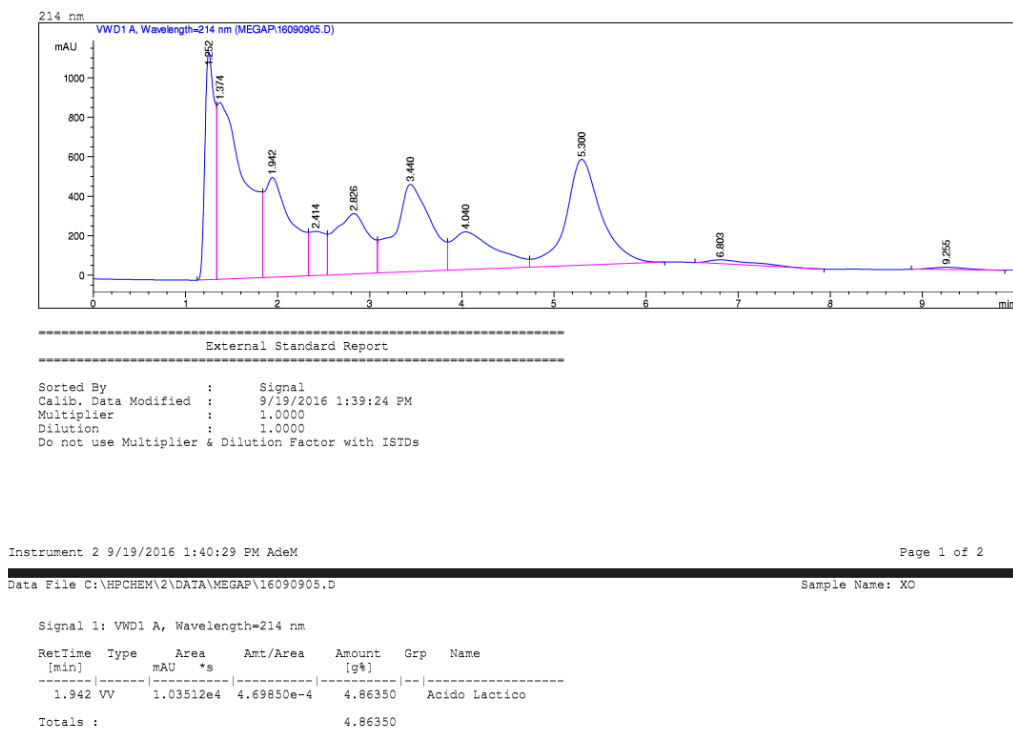


Figura 108: Cromatograma para muestra X9 de ácido láctico de fermentación no.4

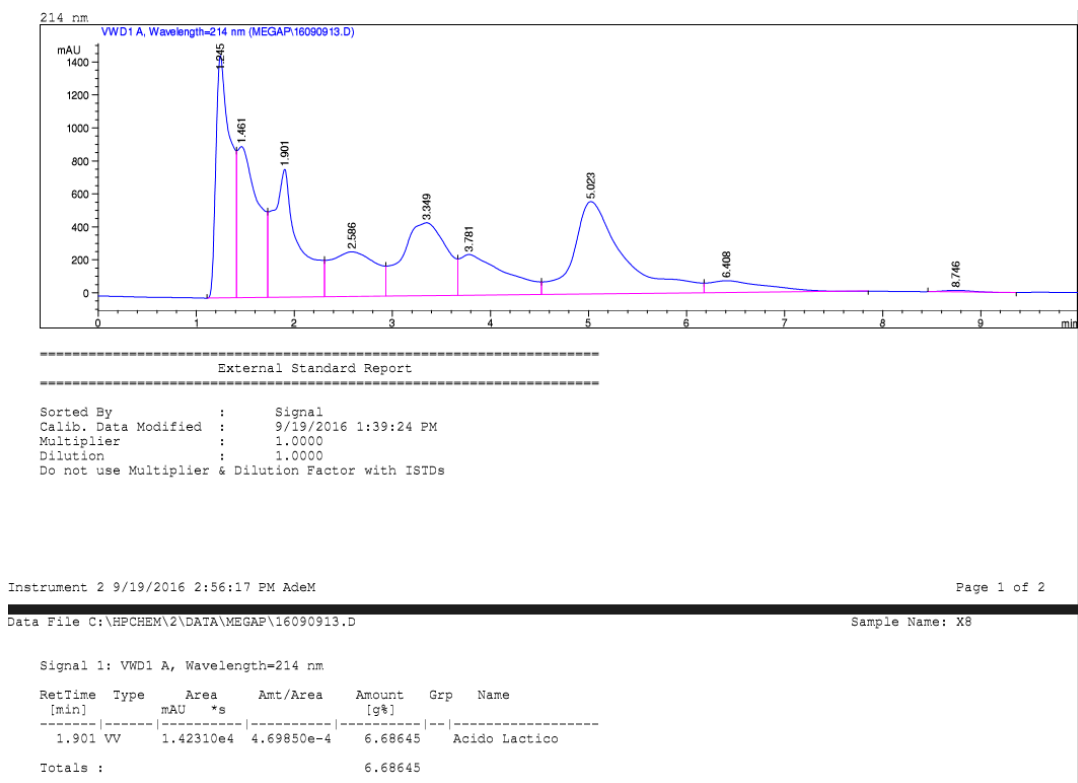
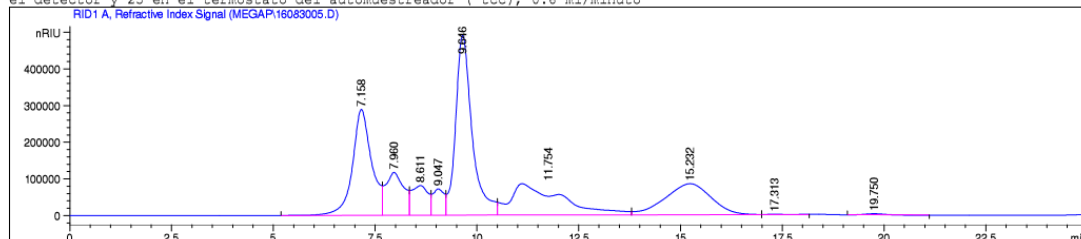


Figura 109: Cromatograma para muestra X0 de glucosa de fermentación no.1

Sample Name : X0 Location : Vial 5
 Acq. Operator : AdeM Inj : 1
 Acq. Instrument : Instrument 2 Inj Volume : 20 µl
 Acq. Method : C:\HPCHEM\2\METHODS\AZAGUA.M
 Last changed : 8/23/2016 11:49:17 AM by AdeM
 Analysis Method : C:\HPCHEM\2\METHODS\AZAGUA.M
 Last changed : 8/31/2016 1:54:47 PM by AdeM
 (modified after loading)

Metodo para determinación de azúcares, columnas Biorad Aminex HPX-87P 300x7.8mm , 5µm, fase móvil Agua, temperatura de 60, 55 e: el detector y 25 en el termostato del automuestreador (tcc), 0.6 ml/minuto



External Standard Report

Sorted By : Signal
 Calib. Data Modified : Wednesday, August 31, 2016 1:54:47 PM
 Multiplier : 1.0000
 Dilution : 1.0000
 Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

Signal 1: RID1 A, Refractive Index Signal

RetTime [min]	Type	Area [nRIU*s]	Amt/Area	Amount [%]	Grp	Name
9.646	VV	1.38725e7	4.90479e-7	6.80415		SACAROSA
11.754	VVA+	7.49821e6	3.35105e-7	2.51269		GLUCOSA
15.232	VV	6.69061e6	3.80222e-7	2.54391		FRUCTOSA

Totals : 11.86076

Results obtained with enhanced integrator!

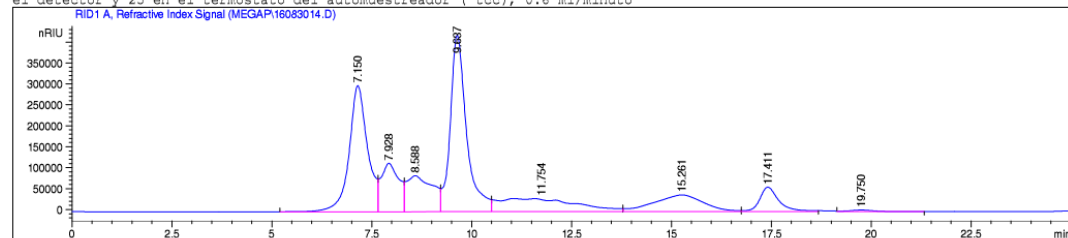
Figura 110: Cromatograma para muestra X9 de glucosa de fermentación no.1

ata File C:\HPCHEM\2\DATA\MEGAP\16083014.D

Sample Name: X9

Injection Date : 8/30/2016 7:38:08 PM Seq. Line : 14
 Sample Name : X9 Location : Vial 14
 Acq. Operator : AdeM Inj : 1
 Acq. Instrument : Instrument 2 Inj Volume : 20 µl
 Acq. Method : C:\HPCHEM\2\METHODS\AZAGUA.M
 Last changed : 8/23/2016 11:49:17 AM by AdeM
 Analysis Method : C:\HPCHEM\2\METHODS\AZAGUA.M
 Last changed : 8/31/2016 1:54:47 PM by AdeM
 (modified after loading)

Metodo para determinación de azúcares, columnas Biorad Aminex HPX-87P 300x7.8mm , 5µm, fase móvil Agua, temperatura de 60, 55 e: el detector y 25 en el termostato del automuestreador (tcc), 0.6 ml/minuto



External Standard Report

Sorted By : Signal
 Calib. Data Modified : Wednesday, August 31, 2016 1:54:47 PM
 Multiplier : 1.0000
 Dilution : 1.0000
 Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

Signal 1: RID1 A, Refractive Index Signal

RetTime [min]	Type	Area [nRIU*s]	Amt/Area	Amount [%]	Grp	Name
9.637	VV	1.19339e7	4.90479e-7	5.85335		SACAROSA
11.754	VVA+	4.31338e6	3.35105e-7	1.44544		GLUCOSA
15.261	VV	3.48736e6	3.80222e-7	1.32597		FRUCTOSA

Totals : 8.62475

Figura 111: Cromatograma para muestra X0 de glucosa de fermentación no.2

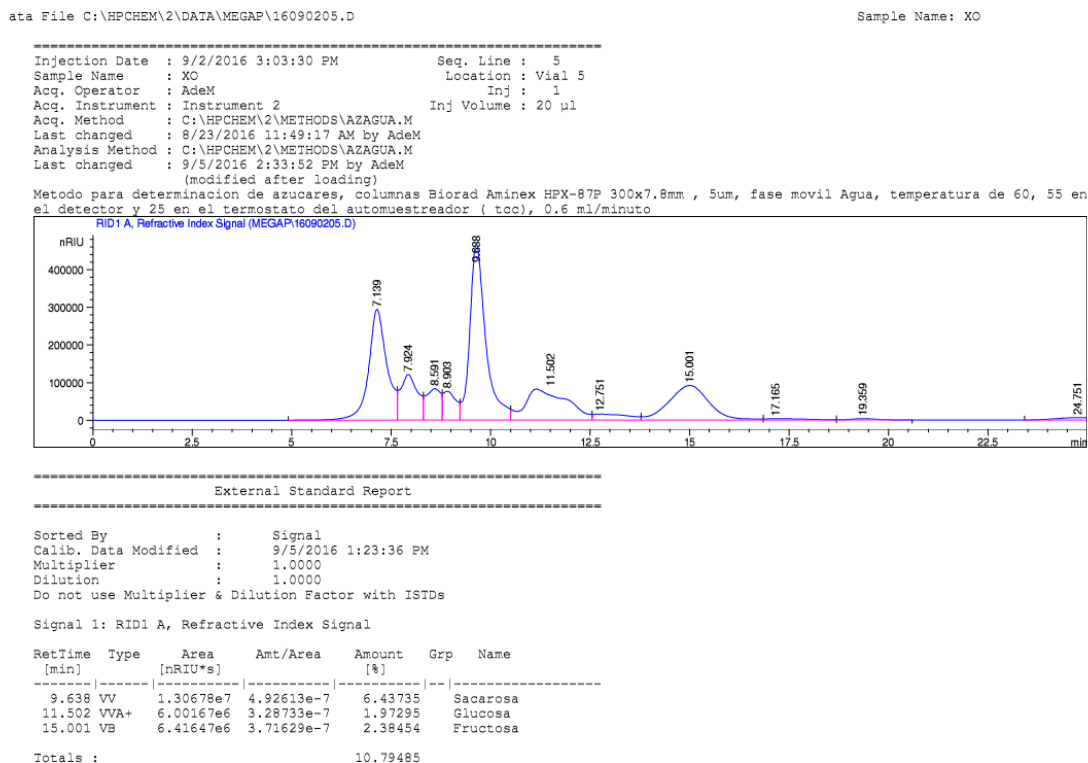


Figura 112: Cromatograma para muestra X9 de glucosa de fermentación no.2

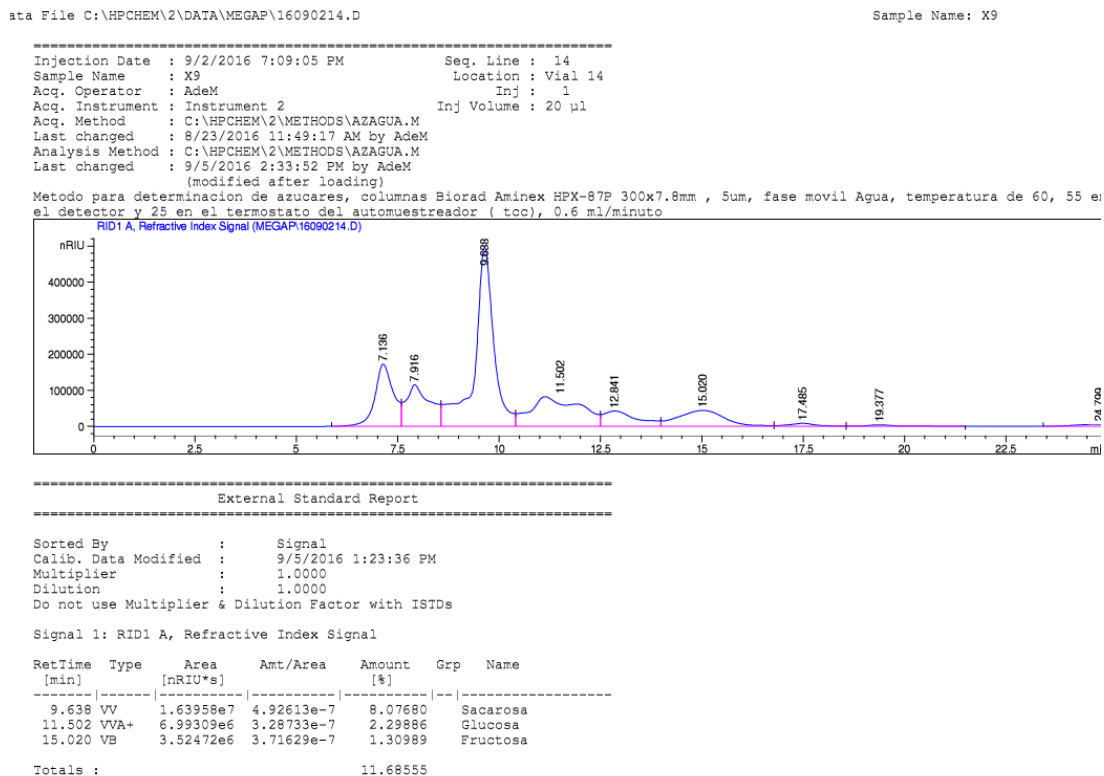


Figura 113: Cromatograma para muestra X0 de glucosa de fermentación no.3

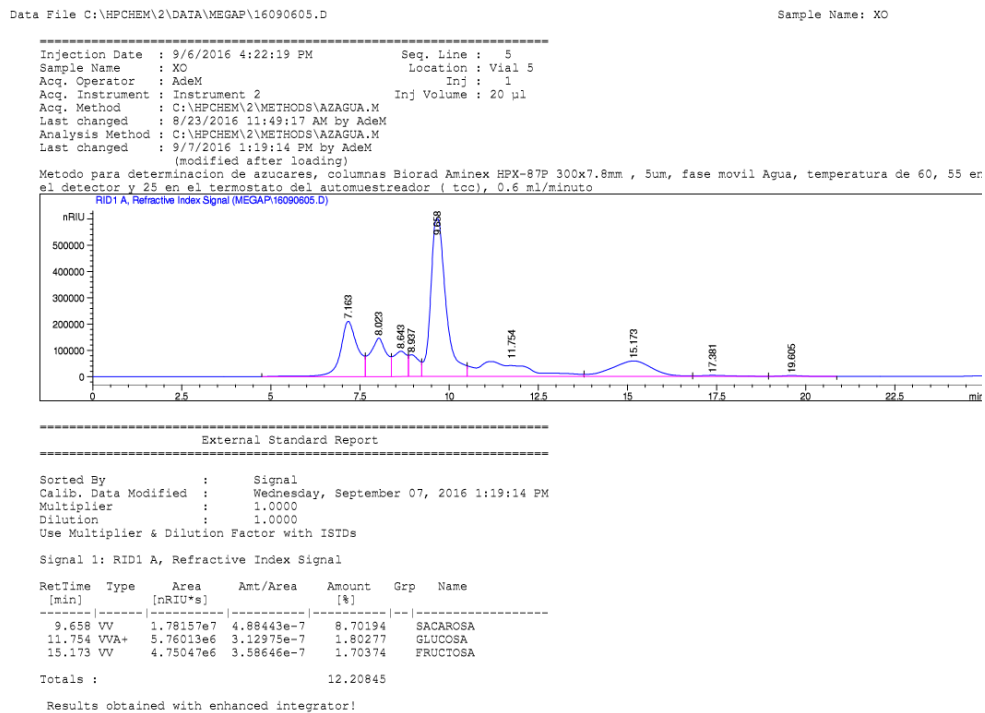


Figura 114: Cromatograma para muestra X9 de glucosa de fermentación no.3

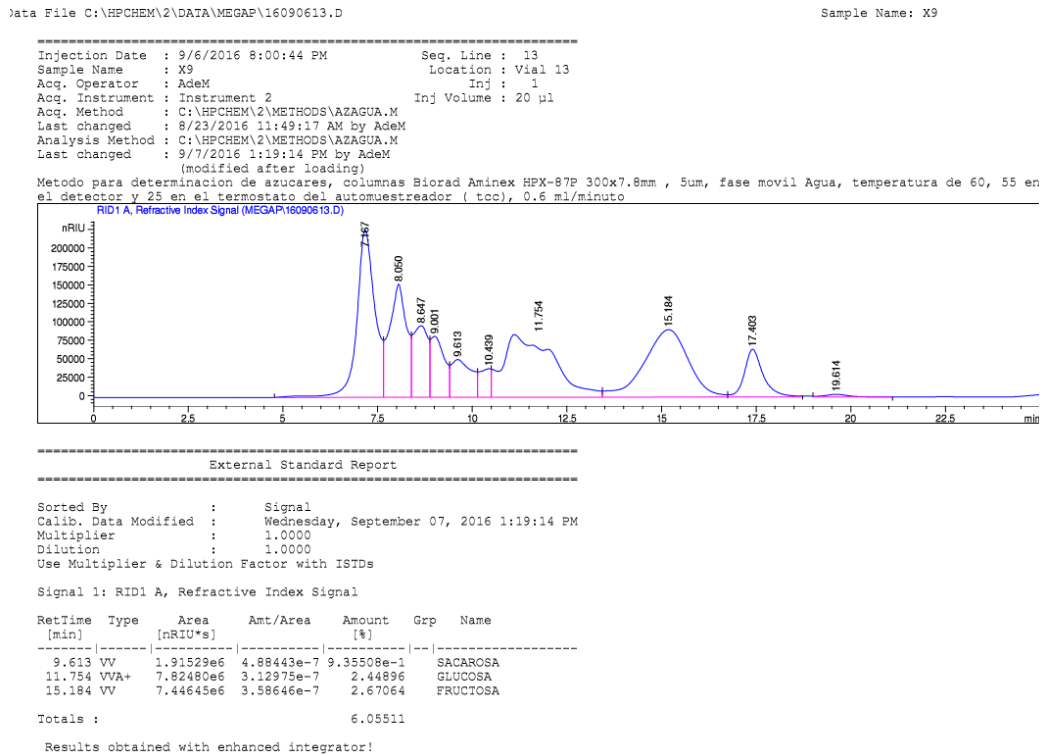


Figura 115: Cromatograma para muestra X0 de glucosa de fermentación no.4

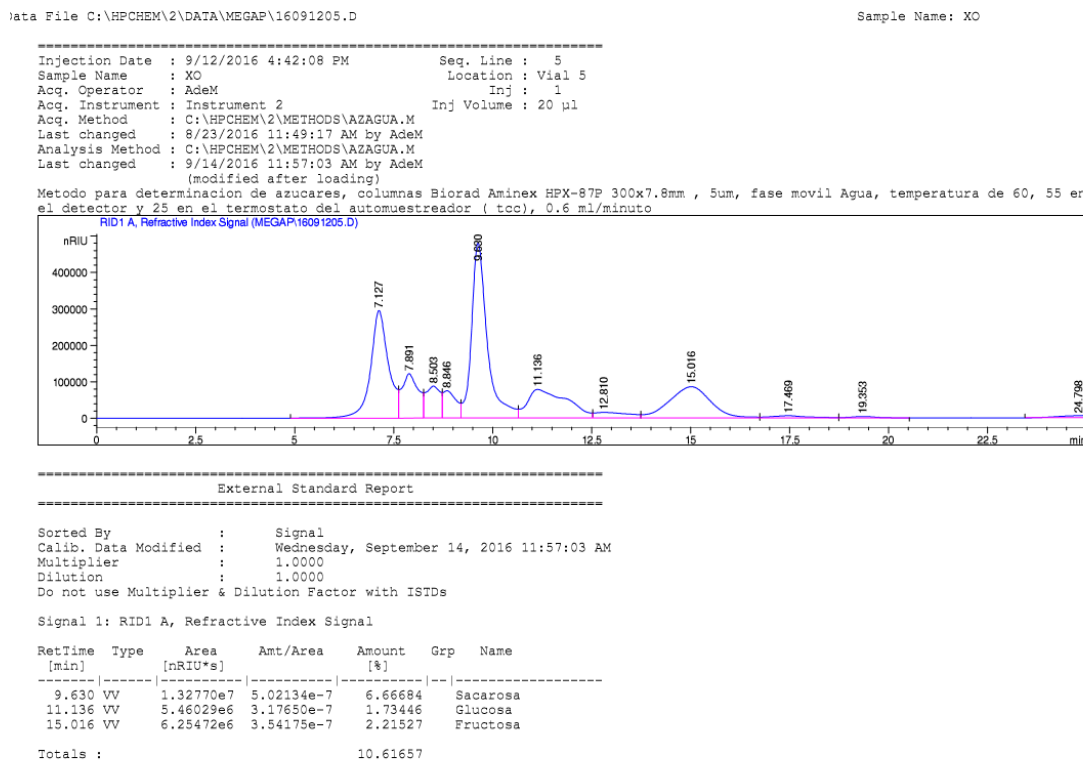


Figura 116: Cromatograma para muestra X9 de glucosa de fermentación no.4

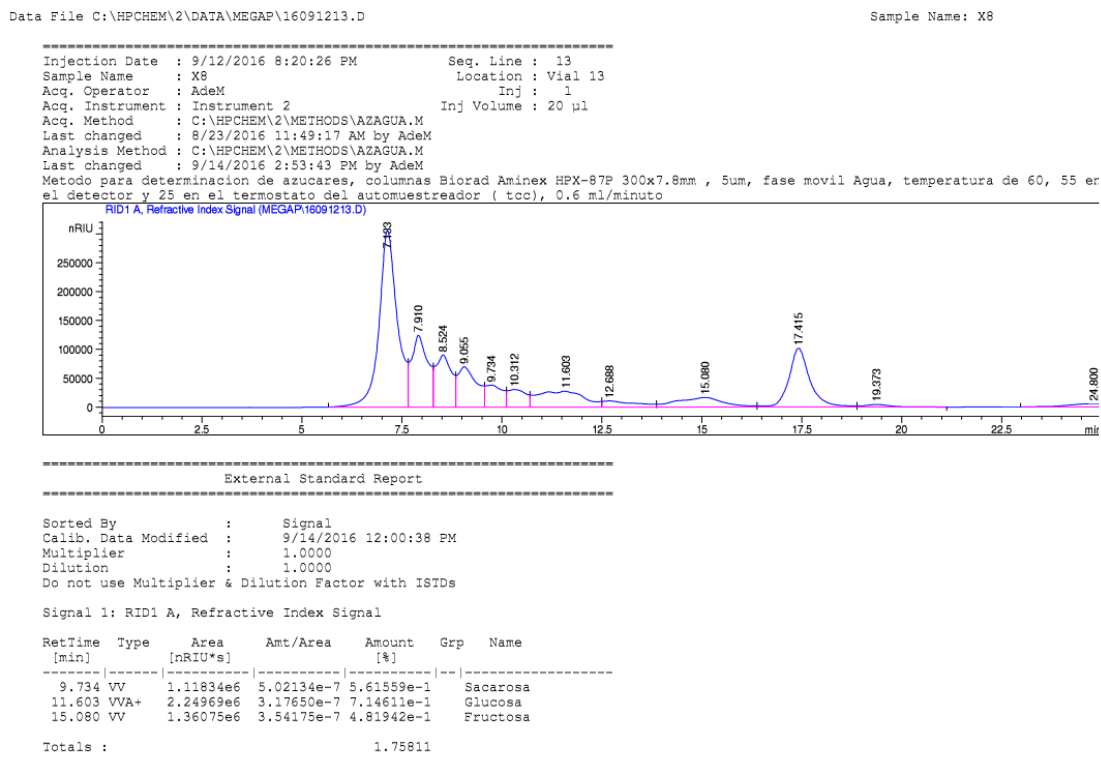


Figura 117: Autoclave utilizado para esterilización de cristalería.



Figura 118: Incubadora *Shaker* series 25 utilizada para proceso de fermentación.

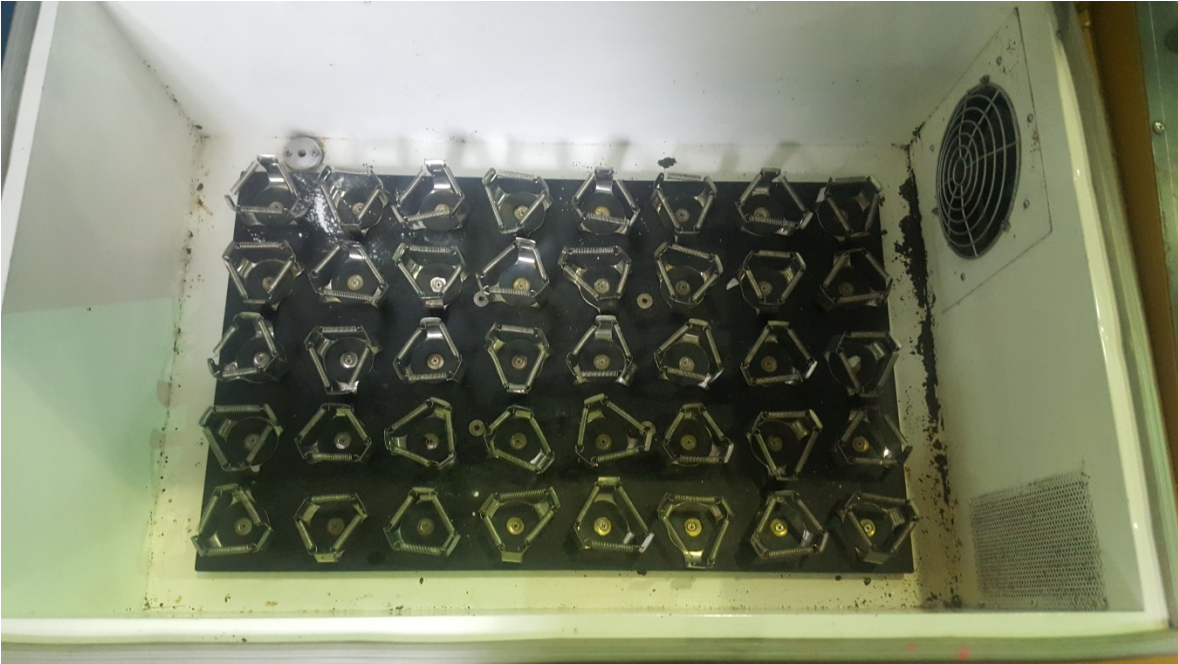


Figura 119: Control de temperatura de la incubadora.



Figura 120: Control de velocidad de la incubadora.



Figura 121: Autoclave utilizado para esterilizar el caldo de fermentación



Figura 122: Incubadora utilizada para controlar la temperatura y la velocidad de agitación de las fermentaciones a escala laboratorio.



Figura 123: Refractómetro utilizado para medir los grados Brix de las melazas utilizadas.

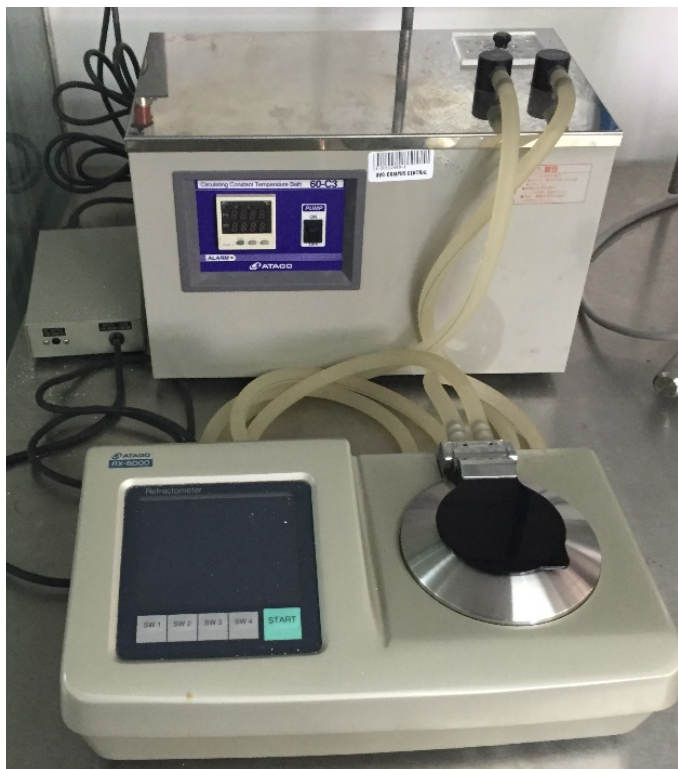


Figura 124: Equipo HACH utilizado para propiedades fisicoquímicas



Figura 125: Viscosímetro utilizado



2014 Exportaciones

Partida	Total Anual		Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		
	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	
39011000 - LDPE	3,184,059	1,287,665	110,749	73,061	702,711	127,055	455,153	73,963	347,374	101,512	502,527	217,329	137,314	60,213	27,945	19,376	75,449	38,290	106,270	22,050	213,348	117,276	226,173	222,994	274,046	214,546	
39012000 - HDPE	775,319	672,836	38,884	41,284	59,912	42,508	49,770	50,867	127,009	112,661	39,893	40,700	111,166	92,264	74,238	60,190	8,621	22,352	81,662	59,464	128,954	80,707	0	0	55,310	79,849	
39021000 - PP	1,278,693	1,037,214	199,621	120,000	278,050	211,026	65,775	44,500	15,448	12,341	13,956	57,567	37,100	60,100	289,519	231,063	20,000	20,454	49,461	23,761	231,330	146,728	8,907	40,090	69,506	69,584	
39031100 - PS	26,587	2,589	443	37	0	0	435	19	0	0	167	320	10,749	553	7,242	680	22	1	1,317	89	0	0	2,239	180	3,973	310	
39076000 - PET	5,516,778	4,435,977	563,021	398,795	498,160	383,472	433,907	324,040	480,996	382,816	573,001	485,418	454,316	365,201	412,185	331,686	395,480	308,630	542,945	426,390	620,622	530,745	218,381	203,327	401,483	376,417	
39081000 - PA	762	0	0	0	0	3,974	762	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2013

Importaciones

Exportaciones

Partida	Total Anual		Total Anual	
	Valor	Kilogramos	Valor	Kilogramos
39011000 - LDPE	114,518,446	71,075,342	5,209,434	1,159,779
39012000 - HDPE	73,920,091	49,271,871	728,759	481,570
39021000 - PP	88,805,419	54,849,986	695,179	553,839
39031100 - PS	4,880,550	2,204,453	63,339	17,944
39076000 - PET	54,397,095	34,970,911	5,815,878	4,179,800
39081000 - PA	1,114,748	292,445	0	0

2012

Importaciones

Exportaciones

Partida	Total Anual		Total Anual	
	Valor	Kilogramos	Valor	Kilogramos
39011000 - LDPE	97,899,979	63,853,207	4,689,937	962,145
39012000 - HDPE	57,167,755	39,457,422	637,439	460,100
39021000 - PP	81,372,050	53,220,512	560,516	401,530
39031100 - PS	4,773,897	2,313,220	29,745	2,409
39076000 - PET	45,657,507	28,334,502	5,896,303	4,743,754
39081000 - PA	1,007,922	247,178	7,613	2,380

Partida	2011 Importaciones		Exportaciones	
	Valor	Kilogramos	Valor	Kilogramos
39011000 - LDPE	106,195,940	71,468,676	5,633,893	1,848,794
39012000 - HDPE	62,745,744	44,315,359	779,400	619,492
39021000 - PP	91,625,186	55,382,071	502,337	369,932
39031100 - PS	3,751,291	2,073,211	18,486	2,041
39076000 - PET	52,606,667	19,965,847	3,869,050	4,059,465
39081000 - PA	2,193,300	200,281	0	0

Resultados encuesta

Encuesta para determinar variables que hacen que un consumidor recuerde una marca que utilice materiales biodegradables:

1. ¿Cuáles tu género?
 6. Separaba la muestra en hombres y mujeres
2. ¿Cuántos años tienes?
 7. Dividía según generaciones: Baby Boomers, Generación X, Generación Y o Generación Z
3. ¿Cuál es tu nivel de educación?
 8. Separaba según grado de educación: no tiene estudios, Básica, Media, Licenciatura, Posgrado y otros
4. El medio ambiente, ¿es un tema importante en tu vida?
 9. Pregunta cerrada, sí o no.
5. ¿Tomas acciones para reducir el efecto negativo sobre el medio ambiente?
 - Pregunta sí o no.
6. ¿Sabes qué es un material biodegradable?
 10. Pretendía determinar el grado de conocimiento de estos productos del entrevistado
7. ¿Qué productos biodegradables conoces?
 11. Presentaba al entrevistado una serie de productos que, actualmente todos existen en materiales biodegradables. Buscaba medir qué tan consiente era el entrevistado a lo que consume.
8. ¿Conoces empresas en Guatemala que tengan productos biodegradables? Menciona algunas:

12. Esta pregunta buscaba a las marcas que tuvieron trascendencia en los consumidores por ser ambientalmente responsables.

9. ¿Cambiarías alguna de tus marcas de preferencia por otra que utilice productos biodegradables?

Buscaba determinar si las personas buscan marcas con responsabilidad ambiental.

Código de R, Árbol de decisión

```
#Código para definir variables

# en la decisión de cambiar o no un polímero biodegradable

# dependiendo si puede o no nombrar marcas

library(e1071)

library(caTools)

library(caret)

library(memisc)

library(rpart)

library(rpart.plot)

#leer data

dataperfil <- read.csv("Codificada.csv")

dataperfil$Obs <- NULL

dataperfil$Cantidad.de.Productos <- NULL

#separar para hacer el sample

createSample<-function(data,column)

{

  require(caTools)

  sample <- sample.split(data[,c(column)], SplitRatio = .70)
```

```
    return(sample)
  }

  #ahora solo se utiliza el training set

  sample<-createSample(dataperfil, "Sexo")

  train<-subset(dataperfil, sample==TRUE)

  test<-subset(dataperfil, sample==FALSE)

  #crear el arbol

  arbol<-rpart(Recuerda.Marca~.,method="class",data=train, control=rpart.control(minsplit=5,
  cp=0.001))

  rpart.plot(arbol) #imprimir el modelo

  #predecir con el set de datos

  predDT<-predict(arbol, newdata=test, type="class")

  #analizar resultados

  results<-table(test$Recuerda.Marca, predDT)

  #accuracy

  accuracyDT<-sum(diag(results))/sum(results)

  accuracyDT

  #confusion Matrix

  matrizConf <- confusionMatrix(test$Recuerda.Marca, predDT)

  matrizConf
```

Tabla 68: Peso de condensados de las diferentes experimentaciones

Tiempo (h)	Peso de condensados (g)
5.00	155.4
6.00	256.2
7.00	264.1
8.00	274.5
9.00	292.3

Tabla 69: Datos teóricos de pesos moleculares contra tiempo

T (h)	Peso molecular
0	0
1	250
2	320
3	570
4	750
5	900
6	1250
7	1600
8	2175
9	2500
10	3750

Tabla 70: Cantidades de Ácido Láctico y Ácido Sulfúrico a utilizar

Materia Prima	Peso (g)	Volumen de solución (mL)	Pureza de la solución
Ácido Láctico	150	138	90%
Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄)	0.15	0.08	99%

Tabla 71: Pesos Moleculares de los grupos en el oligómero

Grupo	Especie	Cantidad	Peso (g)
Peso grupo final j	H	5	5.04
	C	3	36.03
	O	3	48.00
	Total		89.07
Peso grupo final c	H	5	5.04
	C	3	36.03
	O	2	32.00
	Total		73.07
Peso Monómero (n)	H	4	4.03
	C	3	36.03
	O	2	32.00
	Total		72.06

Tabla 72: Protones en la molécula

Lugar	Cantidad
Grupos finales	10
Monómero	4

Tabla 73: Protones en oligómeros obtenidos

Oligómero	Protones en integral	Integrales por protón	Suma de señales de oligómero	Repeticiones de monómero (n)
1	5	0.5	31.50	15.75
2	5	0.5	23.00	11.50
3	4	0.4	30.00	18.75
4	5	0.5	71.00	35.50
5	5	0.5	47.00	23.50

Tabla 74: Pesos moleculares calculados por método NMR y método de condensados

Tiempo (h)	Peso molecular método NMR (g/mol)	Peso molecular método de condensados (g/mol)
0	0	0
5.00	990.83	265.11
6.00	1297.09	466.08
7.00	1513.27	520.97
8.00	1855.56	632.87
9.00	2720.28	1171.78

Tabla 75: Datos calculados para calcular el peso molecular por medio del método de condensados

Peso de agua (g)	Moles de agua	Moles de ácido carboxílico (COOH)	Conversión (Xa)	Unidades repetitivas (n)
65.4	3.63	3.63	0.30	1.43
166.2	9.22	9.22	0.76	4.22
174.1	9.66	9.66	0.80	4.98
184.5	10.24	10.24	0.85	6.53
202.3	11.23	11.23	0.93	14.01

Tabla 76: Datos calculados para linealización de la concentración de COOH (Ca) por medio del método integral

t(h)		Xn	Xa	Ca	(orden 1.3) (1/Ca ^{1.3-1})
0.00	0.00	0.00	0.00	12.09	0.47
5.00	990.83	11.50	0.91	1.05	0.99
6.00	1297.09	15.75	0.94	0.77	1.08
7.00	1513.27	18.75	0.95	0.64	1.14
8.00	1855.56	23.50	0.96	0.51	1.22
9.00	2720.2802	35.5	0.97183099	0.34054237	1.381492894

Figura 126: Regresión lineal de datos linealizados de la concentración de COOH por método integral

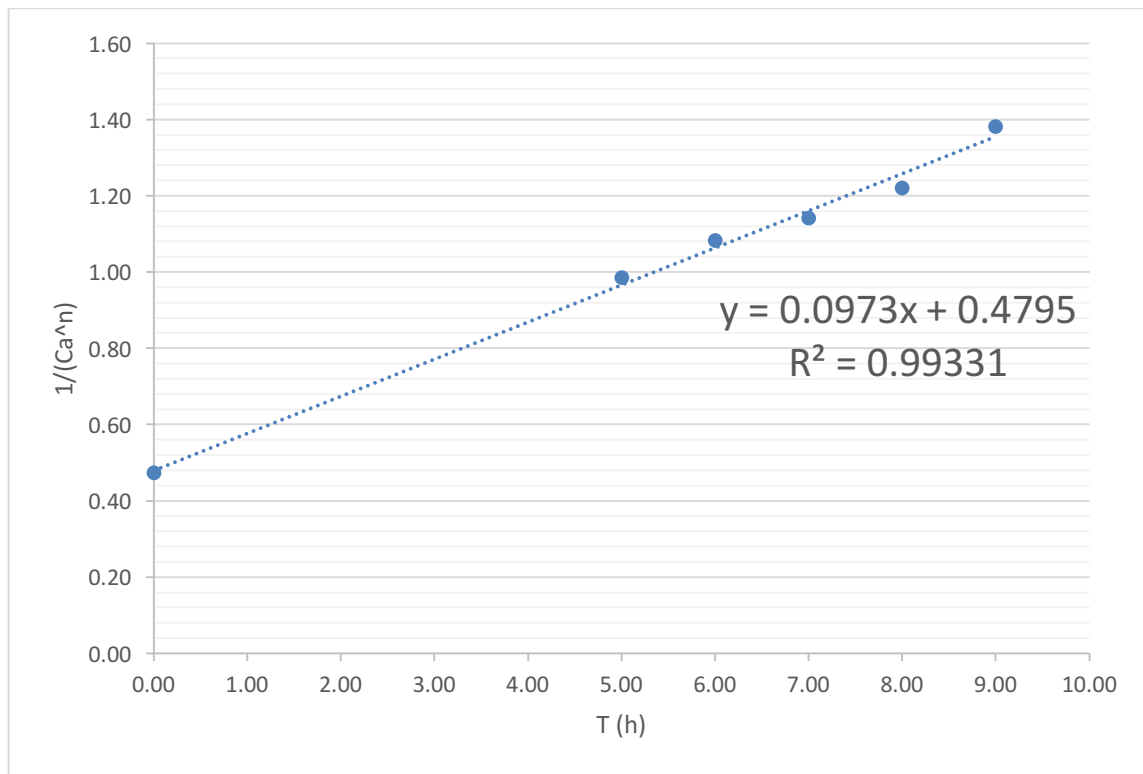


Figura 127: Ajuste cuadrático para pesos moleculares experimentales por método NMR

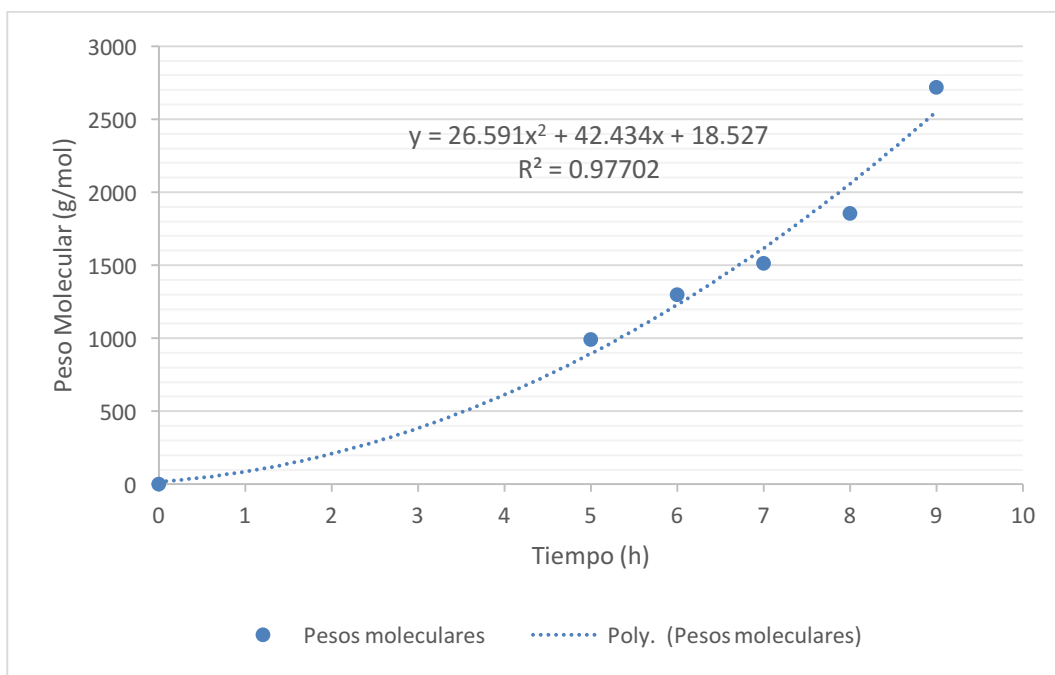
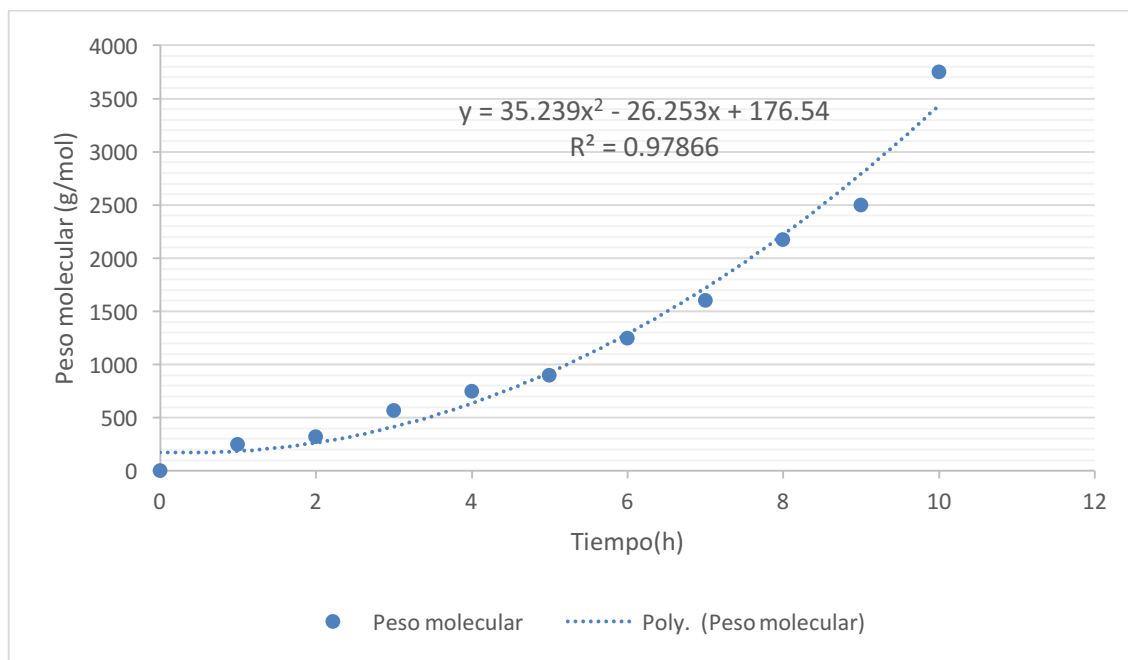


Figura 128: Ajuste cuadrático para pesos moleculares teóricos



CÁLCULOS DE MUESTRA

Cálculo 1 Cálculo de Solución de Ácido Láctico

$$\frac{\text{masa ácido}}{\text{densidad}} * \text{Pureza} = \frac{150g}{1.21 \frac{g}{mL}} * \left(\frac{100}{90}\right) = 137.74 \text{ mL de sol. de ácido láctico}$$

Cálculo 2 Cálculo de Solución de Ácido Sulfúrico

$$\text{masa ácido láctico} * \frac{\text{Relación } \left(\frac{p}{p}\right)}{\text{densidad}} * \text{Pureza} = 150g * \left(\frac{\frac{0.1}{100}}{1.84 \left(\frac{g}{mL}\right)}\right) * \left(\frac{100}{99}\right) = 0.09 \text{ mL } H_2SO_4$$

Cálculo 3 Cálculo de Integrales por Protón

$$\text{Integrales por protón} = \frac{\# \text{ de protones en integral}}{\text{Protones en los grupos finales}} = \frac{5}{10} = 0.5 \text{ integrales/protón}$$

*Este cálculo fue realizado para todas las experimentaciones realizadas.

Cálculo 4 Cálculo de repeticiones del monómero (n) en método NMR

$$\text{Repeticiones} = \frac{\left(\frac{\text{suma de integrales de protones del monómero}}{\text{Protones en el monómero}}\right)}{\text{Integrales por protón}} = \frac{\frac{31.5}{4}}{0.5} = 15.75 \text{ repeticiones}$$

Cálculo 5 Cálculo de peso molecular por método de NMR

$$\begin{aligned} \text{Peso molecular} &= (\text{Suma de peso de grupos finales}) + (\text{Peso monómero} * \text{Repeticiones}) \\ &= (89.07 + 73.07) + (72.06 * 15.75) = 1,297.09 \frac{g}{mol} \end{aligned}$$

Cálculo 6 Cálculo de relación de oligómero sintetizado en la experimentación contra oligómero sintetizado en la experimentación previa a un tiempo de reacción de 8 horas.

$$\begin{aligned} \text{Relación de Pesos Moleculares} &= \frac{\text{Peso molecular oligómero nuevo}}{\text{Peso molecular oligómero anterior}} = \frac{1855.56 \frac{g}{mol}}{557.2567 \left(\frac{g}{mol}\right)} = \\ &3.33 \text{ veces más grande} \end{aligned}$$

Cálculo 7 Cálculo de peso de agua

$$\text{Masa de Agua} = (\text{Masa kitasato} + \text{agua}) - \text{tara} = 274.5 - 90 = 184.5 \text{ g de agua}$$

*Este cálculo se utilizó para encontrar la masa de agua de las 5 experimentaciones.

Cálculo 8 Cálculo de concentración inicial de moles de ácido carboxílico

$$\frac{150g \text{ ácido láctico} * \frac{(1 \text{ mol ácido láctico})}{90.08 g \text{ ácido láctico}} * \frac{1 \text{ mol COOH}}{1 \text{ mol ácido láctico}}}{138mL * \frac{1L}{1000mL}} = 12.089 \frac{\text{moles COOH}}{L}$$

Cálculo 9 Cálculo de moles de agua

$$\text{Moles de agua} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa molar del agua}} = \frac{184.5g}{18.02 \frac{g}{mol}} = 10.24 \text{ moles de agua}$$

*Este cálculo se utilizó para encontrar los moles de las 5 pruebas de síntesis de oligómero.

Cálculo 10 Cálculo de moles de ácido carboxílico reaccionando

$$10.24 \text{ moles de agua} * \frac{1 \text{ mol de ácido carboxílico}}{1 \text{ mol de agua}} = 10.24 \text{ moles de ácido carboxílico}$$

Cálculo 11 Cálculo de conversión de ácido carboxílico

$$X_a = 1 - \left(\frac{C_{ao} - C_a}{C_a} \right) = 1 - \left(\frac{(12.089 - 10.24)}{12.089} \right) = 0.8469$$

Cálculo 12 Cálculo de unidades repetitivas en método de condensados

$$n = \frac{1}{1 - X_a} = \frac{1}{1 - 0.8469} = 6.53 \text{ repeticiones}$$

Cálculo 13 Cálculo de peso molecular por método de condensados

$$M_n = (n * \text{Peso monómero}) + (\text{Suma grupos finales}) = (6.53 * 72.06) + (89.07 + 73.07) = 632.87 \frac{g}{mol}$$

Cálculo 14 Cálculo de unidades repetitivas utilizando pesos moleculares obtenidos por NMR

$$n = \frac{M_n - (\text{Suma grupos finales})}{\text{Masa monómero}} = \frac{990.8306 - (89.07 + 73.07)}{72.06} = 11.5 \text{ repeticiones}$$

Cálculo 15 Cálculo de conversión de ácidos carboxílicos

$$X_a = 1 - \left(\frac{1}{n} \right) = 0.9130$$

Cálculo 16 Cálculo de concentración final (Ca) de ácidos carboxílicos

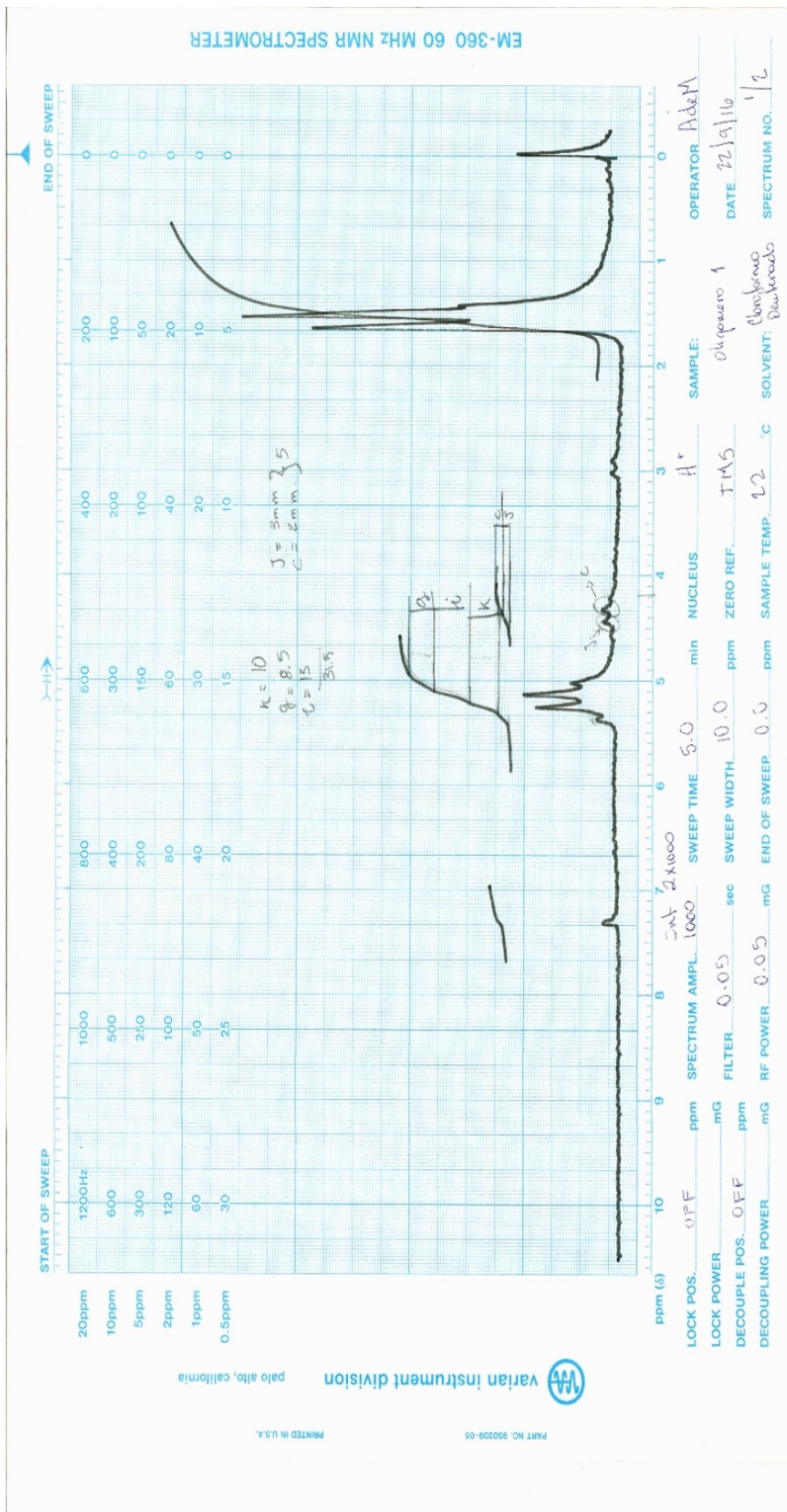
$$C_a = C_{ao} - (C_{ao} * X_a) = 12.089 - (12.089 * 0.9130) = 1.05 \frac{\text{moles COOH}}{L}$$

Cálculo 17 Cálculo de datos para linealización de concentraciones de COOH utilizando el método integral

$$\frac{1}{C_a^{n-1}} = \frac{1}{1.05^{1.3-1}} = 0.985 \text{ moles}^{-0.3}$$

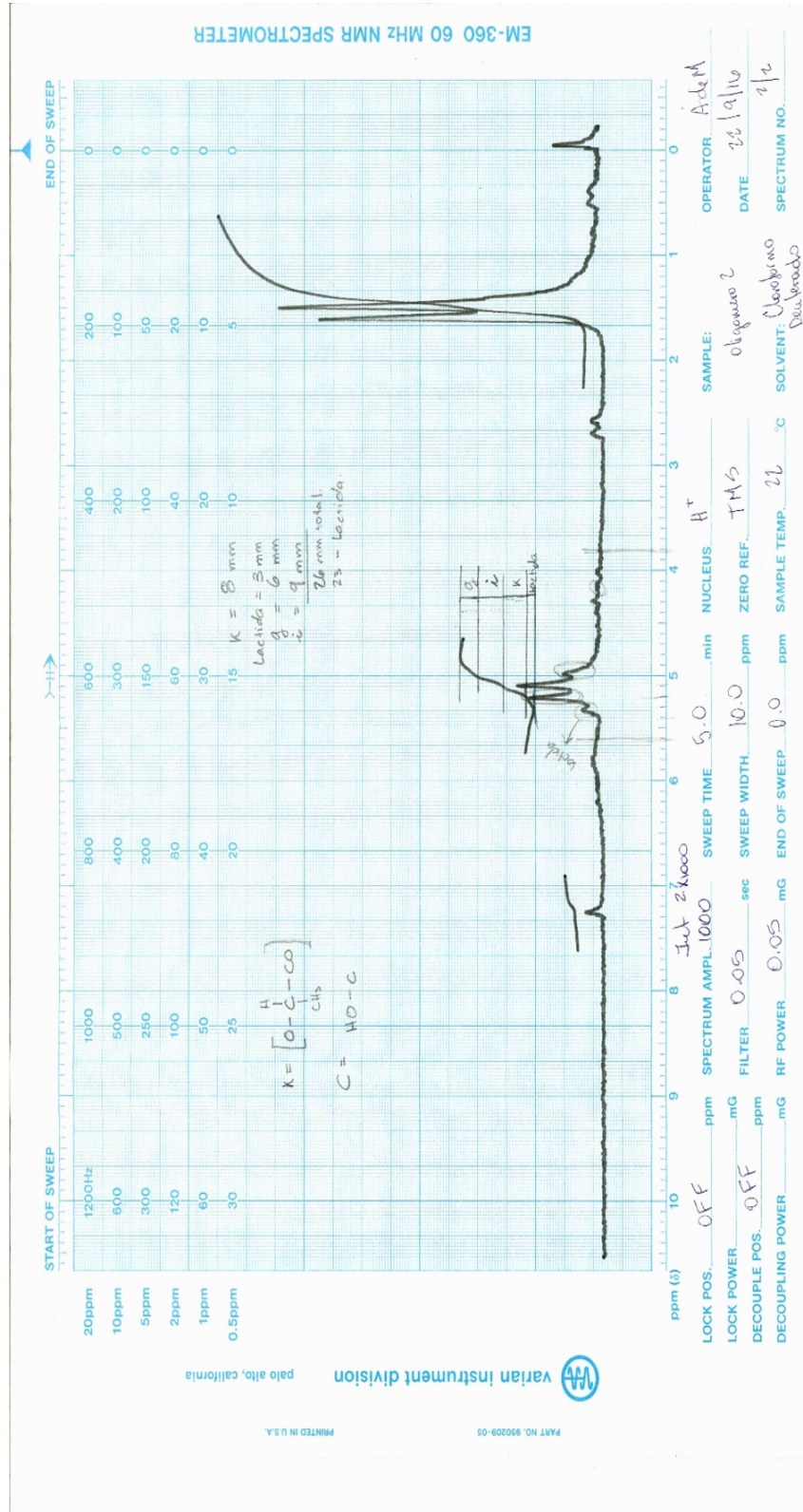
ESPECTROS NMR
OLIGÓMERO 1

Figura 129: Espectro NMR de Oligómero 1



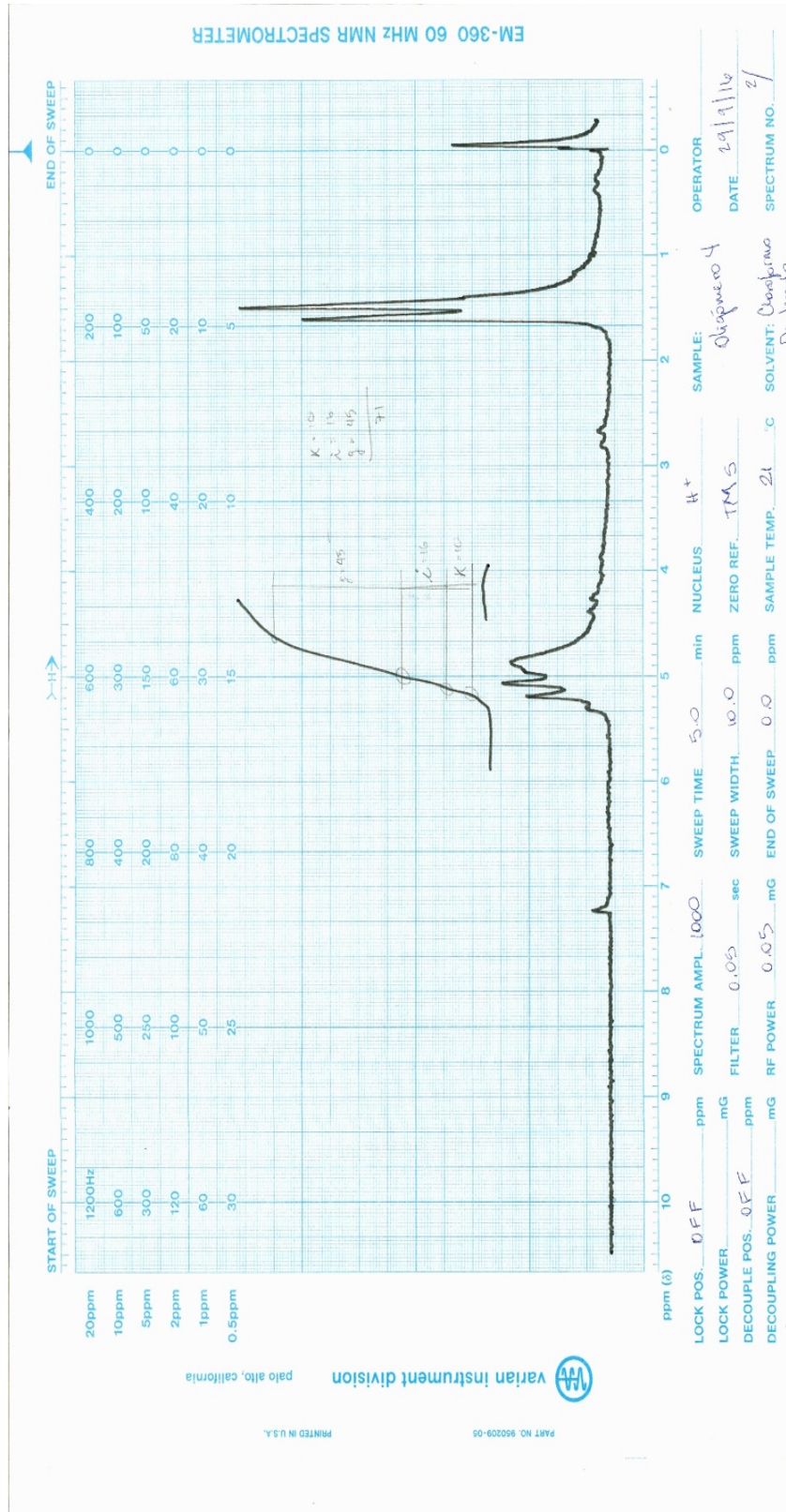
OLIGÓMERO 2

Figura 130: Espectro NMR de Oligómero 2



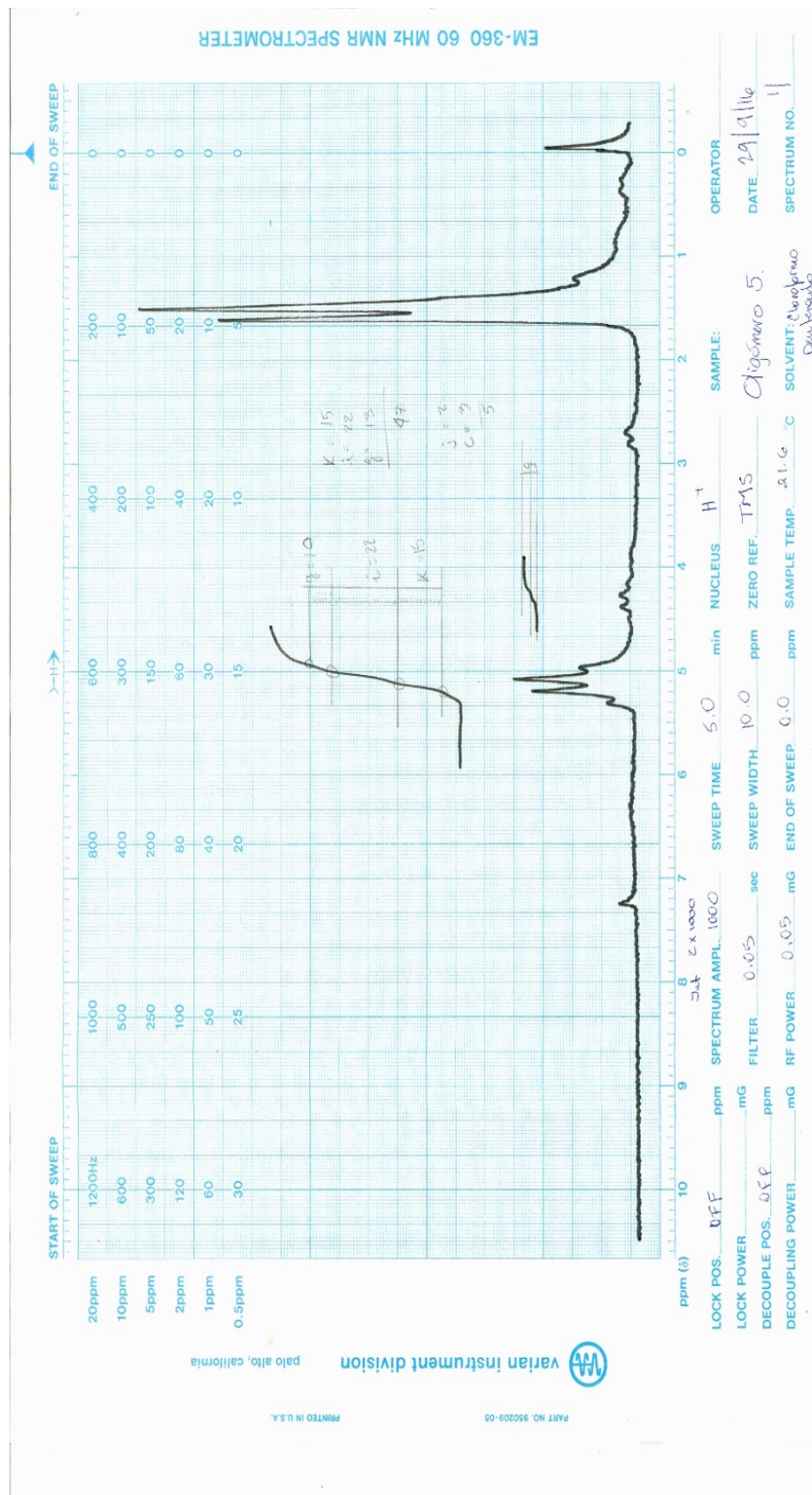
OLIGÓMERO 4

Figura 132: Espectro NMR de Oligómero 4



OLIGÓMERO 5

Figura 133: Espectro NMR de Oligómero 5



IMÁGENES DEL OLIGÓMERO

Figura 134: Oligómero reaccionando

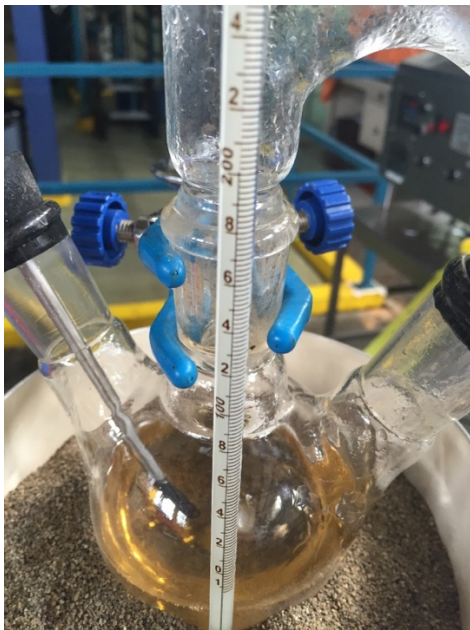


Figura 135: Oligómero Final



Tabla 77: Masas iniciales de ácido láctico, agua y heptano

Fase acuosa		
Ácido láctico(g)	Agua(g)	Heptano(g)
0,2958	9,5338	0,2271
0,6673	9,2059	0,1613
1,3127	8,4136	0,3054
2,5431	7,1393	0,4147
3,6181	5,9592	0,5113
4,4672	4,5389	1,1152
Fase rica en heptano		
Ácido láctico(g)	Agua(g)	Heptano(g)
0,4079	0,42208	9,1996
0,524	0,4189	9,0834
0,628	0,4661	8,8595
1,3129	0,5092	8,2074
2,3098	0,826	6,9027

Tabla 78: Masas iniciales de ácido láctico, agua y octanol

Fase acuosa		
Ácido láctico(g)	Agua(g)	Octanol(g)
0,3192	9,5217	0,2222
0,6631	9,2142	0,1702
1,3356	8,4081	0,3067
2,5107	7,1605	0,4154
3,6103	5,9968	0,5294
4,461	4,5457	1,1528
Fase rica en octanol		
Ácido láctico(g)	Agua(g)	Octanol(g)
2,0059	2,0001	6,0018
1,0085	2,014	6,0005
0,5267	2,0215	6,0163
0,5103	1,0033	6,5098
3,32	1,5061	5,2154

Tabla 79: Masas iniciales de ácido láctico, agua y dodecanol

Fase acuosa		
Ácido láctico(g)	Agua(g)	Octanol(g)
0,3016	9,5076	0,2424
0,647	9,2098	0,16072
1,3191	8,4937	0,3112
2,5468	7,1109	0,4049
3,7483	5,9366	0,5222
4,4142	4,6322	1,1378

Fase rica en octanol		
Ácido láctico(g)	Agua(g)	Octanol(g)
0,5117	0,4381	6,9852
0,6162	0,4379	6,5031
0,6363	0,4852	6,0002
1,3068	0,6445	5,5012
2,5227	0,8397	4,5161
3,3049	1,5225	3,9993

Tabla 80: Masas iniciales de ácido láctico, agua y heptano/trioctilamina

Fase rica acuosa			
Ácido láctico(g)	Agua(g)	heptano(g)	Trioctilamina(g)
0,2961	9,5577	0,228	1,2176
0,6837	9,2135	0,1712	1,2008
1,3164	8,4143	0,3227	1,2017
2,544	7,1335	0,4217	1,2103
3,6195	5,9608	0,5134	1,2151
Fase rica en heptano			
Ácido láctico(g)	Agua(g)	heptano(g)	Trioctilamina(g)
0,4577	0,4247	9,2215	1,2017
0,5386	0,4169	9,1045	1,206
0,7263	0,4967	8,86	1,1998
1,3273	0,5066	8,2001	1,2302
2,3164	0,8426	6,9193	1,2211

Tabla 81: Masas iniciales de ácido láctico, agua y octanol/trioctilamina

Fase rica acuosa			
Ácido Láctico(g)	Agua(g)	octanol(g)	Trioctilamina(g)
0,3386	9,5313	0,2284	1,2038
0,6713	9,2289	0,1767	1,2196
1,3394	8,4097	0,3092	1,2082
2,5231	7,2384	0,426	1,2081
3,6689	6,0027	0,5378	1,2099
4,4974	4,6585	1,1558	1,2261
Fase rica en octanol			
Ácido Láctico(g)	Agua(g)	octanol(g)	Trioctilamina(g)
2,0392	2,0106	6,0072	1,2007
1,0158	2,0091	6,0308	1,1105
0,5137	2,0068	6,0057	1,0219
0,5105	1,0216	6,5019	0,9817
3,3289	1,5494	5,2199	1,2085

Tabla 82: Masas iniciales de ácido láctico, agua y dodecanol/trioctilamina

Fase rica acuosa			
Ácido Láctico(g)	Agua(g)	dodecanol(g)	Trioctilamina(g)
0,3044	9,5046	0,2566	1,2008
0,6787	9,2207	0,1714	1,2099
1,3582	8,5027	0,3415	1,2156
2,5403	7,1202	0,4418	1,2135
3,7666	5,9449	0,5599	1,2223
4,421	4,6706	1,1500	1,1994
Fase rica en octanol			
Ácido Láctico(g)	Agua(g)	octanol(g)	Trioctilamina(g)
0,5426	0,448	6,9736	0,9802
0,6206	0,4579	6,5556	0,9665
0,6508	0,4944	6,006	0,9727
1,4203	0,6952	5,5158	0,9684
2,5452	0,9084	4,5978	0,9772

Tabla 83: Áreas de soluciones en el equilibrio de ácido láctico, agua y heptano obtenida con cromatógrafo de gases

Muestra	Área bajo la curva
1	558031881
2	940923988
3	2519704274
4	4719337241
5	4991136060
6	5676708138
7	5443611850
8	5723519461
9	6203613806
10	5502646859
11	5371122843

Tabla 84: Áreas de soluciones en el equilibrio de ácido láctico, agua y heptano/trioctilamina obtenida con cromatógrafo de gases

Muestra	Área bajo la curva
1	661145938
2	1411127253
3	535799840
4	3627809158
5	4591061820
6	3507527700
7	4075502646
8	5176100848
9	5944121623
10	3071122843

Tabla 85: Áreas de soluciones en el equilibrio de ácido láctico, agua y octanol obtenida con cromatógrafo de gases

Muestra	Área bajo la curva
1	600896109
2	1244708828
3	2130482233
4	3566578020
5	4444448837
6	5136251848
7	4546820236
8	3438516549
9	2538486949
10	3456791912
11	5486692928

Tabla 86: Áreas de soluciones en el equilibrio de ácido láctico, agua y octanol/trioctilamina obtenida con cromatógrafo de gases

Muestra	Área bajo la curva
1	565314884
2	1367081193
3	1545318255
4	3311738718
5	4233826275
6	4887445977
7	4434986669
8	3543911511
9	2376877180
10	2797028148
11	5718430450

Tabla 87: Áreas de soluciones en el equilibrio de ácido láctico, agua y dodecanol
obtenida con cromatógrafo de gases

Muestra	Área bajo la curva
1	506781531
2	1200605245
3	2524649856
4	3647058681
5	4428374613
6	5098015941
7	4737146805
8	5293603665
9	4964441549
10	5992664757
11	5187864917
12	5318281120

Tabla 88: Áreas de soluciones en el equilibrio de ácido láctico, agua y dodecanol/trioctilamina
obtenida con cromatógrafo de gases

Muestra	Área bajo la curva
1	576921036
2	1105287756
3	1949561666
4	3241269689
5	4123222036
6	4888741577
7	3930734338
8	775634140
9	3776453269
10	5013973802
11	5906559985
12	5798033954

Ecuación 1- Determinación de % p/p remanente en la fase acuosa

Se contaba con análisis cromatográficos de soluciones agua-ácido láctico a concentraciones conocidas, para poder hacer una correlación entre las áreas debajo de las curvas de los cromatogramas con el porcentaje en peso remanente de la fase acuosa.

$$P_2 = \frac{A_2 * P_1}{A_1}$$

Donde:

A_1 = área de solución de referencia

A_2 = área de solución de extracción

P_1 = % $\frac{p}{p}$ solución de referencia

P_2 = % $\frac{p}{p}$ remanente de la solución de extracción

Ejemplo para extracción de octanol con una % en peso inicial de 3.24%:

$$P_2 = \frac{600896109 * 20\%}{3764077068} = 3.193\%$$

Ecuación 2- Determinación de gramos remanentes en la fase acuosa

$$m_2 = P_2 * m_1$$

Donde:

m_2 = gramos remanentes de ácido láctico en la fase acuosa

m_1 = gramos iniciales de ácido láctico en la fase acuosa

P_2 = % $\frac{p}{p}$ remanente de la solución de extracción

Ejemplo para extracción de octanol con una % en peso inicial de 3.24%:

$$m_2 = \frac{0.3192g * 3.193\%}{3.24\%} = 0.314g \text{ ácido láctico}$$

Ecuación 3-Determinación de fracción masa de ácido láctico en fase acuosa

$$x = \frac{m_2}{m_a + m_2}$$

Donde:

- m_2 = gramos remanentes de ácido láctico en la fase acuosa
- m_a = gramos iniciales de ácido láctico en la fase acuosa
- x = fracción masa de ácido láctico en fase acuosa
- Ejemplo para extracción de octanol con una % en peso inicial de 3.24%:
- $x = \frac{0.314g \text{ ácido láctico}}{0.314g \text{ ácido láctico} + 9.522g \text{ de agua}} = \frac{0.032 g \text{ ácido láctico}}{g \text{ de solución acuosa}}$
- ***la fracción masa de ácido láctico en la fase oleosa se calculó de la misma manera pero con la diferencia de Masas entre m_1 y m_2 .

- Ecuación 4-Determinación de coeficiente de distribución

$$k = \frac{y}{x}$$

- Donde:
- y = fracción masa de ácido láctico en fase oleosa
- x = fracción masa de ácido láctico en fase acuosa
- Ejemplo para extracción de octanol con una % en peso inicial de 3.24%:
- $k = \frac{\frac{0.022 g \text{ ácido láctico}}{g \text{ de solución oleosa}}}{\frac{0.032 g \text{ ácido láctico}}{g \text{ de solución acuosa}}} = 0.689$

Tabla 89: Ácido láctico, fracción masa, en fase acuosa y oleosa, y coeficiente de reparto en el sistema: ácido láctico, agua y heptano

Muestra	Gramos en fase acuosa	Gramos en fase oleosa	y	x	k
1	0,29145153	0,00434847	0,01878805	0,02966352	0,63337236
2	0,49361002	0,17368998	0,51849307	0,0508902	10,1884656
3	1,30217311	0,01052689	0,03332066	0,13402671	0,24861206
4	2,42792643	0,11517357	0,21736048	0,25377537	0,85650739
5	2,53988463	1,07821537	0,67832963	0,29884214	2,26985937
6	4,44454978	0,02265022	0,01990615	0,49474866	0,04023487
7	0,39277987	0,01512013	0,00164087	0,48202137	0,00340414
8	0,46916245	0,05483755	0,00600089	0,52829894	0,01135889
9	0,59006006	0,03793994	0,00426414	0,55868431	0,00763247
10	1,09000053	0,22289947	0,02644028	0,6815909	0,03879201
11	1,83103354	0,47876646	0,06486062	0,689127	0,09411997

Tabla 90: Ácido láctico, fracción masa, en fase acuosa y oleosa, y coeficiente de reparto en el sistema: ácido láctico, agua y heptano/ trioctilamina

Muestra	Gramos en fase acuosa	Gramos en fase oleosa	y	x	k
1	0,26950465	0,02659535	0,01806509	0,02742435	0,65872468
2	0,57775501	0,10594499	0,07168399	0,05900725	1,21483364
3	0,55677494	0,75962506	0,33258176	0,06206335	5,3587467
4	1,45235507	1,09164493	0,40080295	0,16915672	2,36941788
5	3,29456306	0,32493694	0,15824053	0,3559626	0,44454257
6	0,33052143	0,12717857	0,01205441	0,43764837	0,02754359
7	0,41585783	0,12274217	0,01176453	0,49937427	0,02355854
8	0,58322062	0,14307938	0,01402343	0,54005879	0,02596649
9	0,81652392	0,51077608	0,05138036	0,61711825	0,08325853
10	1,03604788	1,28035212	0,13590763	0,55148593	0,24643898

Tabla 91: Ácido láctico, fracción masa, en fase acuosa y oleosa, y coeficiente de reparto en el sistema: ácido láctico, agua y dodecanol

Muestra	Gramos en fase acuosa	Gramos en fase oleosa	y	x	k
1	0,26413494	0,03746506	0,13386829	0,02703051	4,95248934
2	0,62879296	0,01820704	0,10175679	0,06391086	1,59216739
3	1,31633246	0,00276754	0,00881474	0,13418227	0,06569226
4	1,87149189	0,67530811	0,62516482	0,20835117	3,00053419
5	2,27882504	1,46947496	0,73780862	0,27738371	2,65988452
6	4,00932646	0,40487354	0,26244927	0,46396044	0,56567164
7	0,39115011	0,12054989	0,01696512	0,47169136	0,03596657
8	0,48509598	0,13110402	0,01976183	0,52556673	0,03760099
9	0,48402091	0,15227909	0,02475085	0,49939173	0,04956199
10	1,27123806	0,03556194	0,00642288	0,66357614	0,00967919
11	1,89636048	0,62633952	0,12179813	0,69309889	0,1757298

Tabla 92: Ácido láctico, fracción masa, en fase acuosa y oleosa, y coeficiente de reparto en el sistema: ácido láctico, agua y dodecanol/ trioctilamina

Muestra	Gramos en fase acuosa	Gramos en fase oleosa	y	x	k
1	0,23410263	0,07029737	0,04601524	0,02403838	1,9142406
2	0,45263635	0,22606365	0,14064251	0,04679216	3,005685
3	0,79527755	0,56292245	0,26552665	0,08553232	3,10440146
4	2,3454185	0,1948815	0,10533102	0,24778291	0,42509395
5	2,99936011	0,76723989	0,30094449	0,3353391	0,89743335
6	4,09487911	0,32612089	0,12189062	0,46715976	0,26091849
7	0,41581967	0,12678033	0,01568951	0,48137324	0,03259323
8	0,08933262	0,53126738	0,06596835	0,16324433	0,40410808
9	0,46184736	0,18895264	0,02636186	0,48297897	0,05458179
10	1,13273444	0,28756556	0,04246538	0,61968001	0,06852791
11	2,17841023	0,36678977	0,06173052	0,70571563	0,08747223
12	3,00795461	0,31654539	0,05980289	0,66233286	0,25794787

Tabla 93: Ácido láctico, fracción masa, en fase acuosa y oleosa, y coeficiente de reparto en el sistema: ácido láctico, agua y octanol

Muestra	Gramos en fase acuosa	Gramos en fase oleosa	y	x	k
1	0,31419965	0,00500035	0,02200854	0,03194417	0,68896895
2	0,65324712	0,00985288	0,05472215	0,06620224	0,82659059
3	1,10299441	0,23260559	0,43130573	0,11596924	3,71913903
4	1,83275149	0,67794851	0,62006625	0,14531552	3,04264475
5	2,26872424	1,34157576	0,71704604	0,20379186	2,6123763
6	4,02167019	0,43932981	0,27593844	0,21697147	0,58783208
7	1,58348215	0,42241785	0,06575397	0,27448038	0,14880797
8	0,90350773	0,10499227	0,01719636	0,30968478	0,05552861
9	0,34370032	0,18299968	0,02951941	0,44187131	0,20314012
10	0,27800707	0,23229293	0,03445413	0,46941711	0,15879566
11	2,87865641	0,44134359	0,07802079	0,65651456	0,11884091

Tabla 94: Ácido láctico, fracción masa, en fase acuosa y oleosa, y coeficiente de reparto en el sistema: ácido láctico, agua y octanol/ trioctilamina

Muestra	Gramos en fase acuosa	Gramos en fase oleosa	y	x	k
1	0,2308173	0,1077827	0,06998955	0,02364418	2,96011687
2	0,55989098	0,11140902	0,07389292	0,05719715	1,29189857
3	0,88134907	0,45805093	0,23187158	0,09486002	2,44435525
4	1,89120286	0,63189714	0,27886052	0,20715062	1,34617278
5	2,39550373	1,27339627	0,42150139	0,28524001	1,47770779
6	3,71587779	0,78152221	0,24704961	0,44371987	0,55676931
7	1,82132461	0,21787539	0,02934042	0,47530283	0,06172996
8	0,62713261	0,38866739	0,05087291	0,23788971	0,21385083
9	0,35047652	0,16322348	0,02214454	0,14867858	0,14894235
10	0,25069718	0,25980282	0,0326246	0,19704294	0,16557101
11	2,82882974	0,50007026	0,07217614	0,64611268	0,11170829

Figura 136: Curva de distribución completa para heptano con TOA y sin TOA

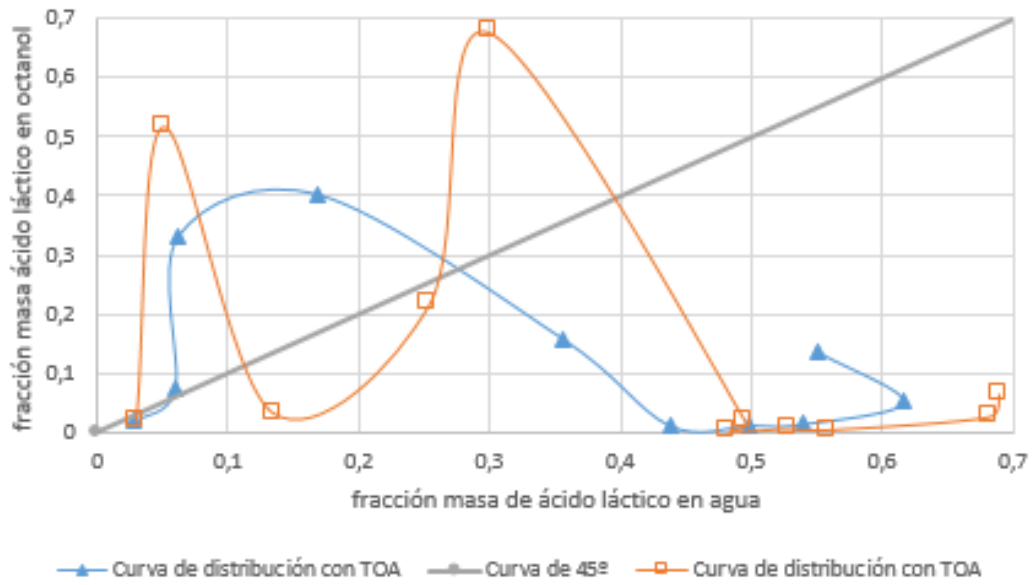


Figura 137: Curva de distribuição completa para dodecanol com TOA e sem TOA

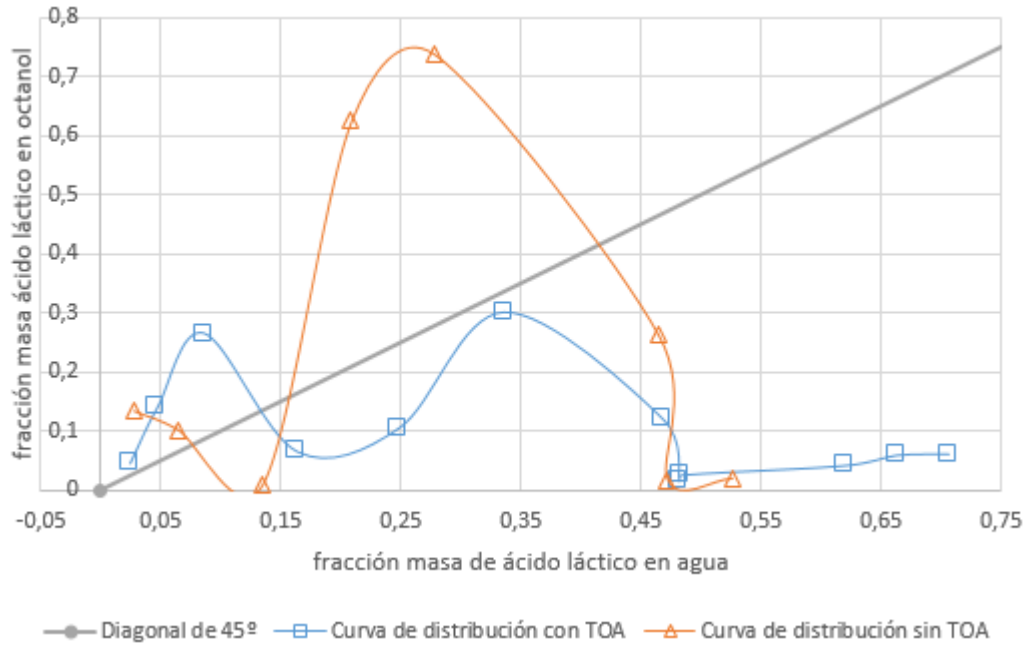
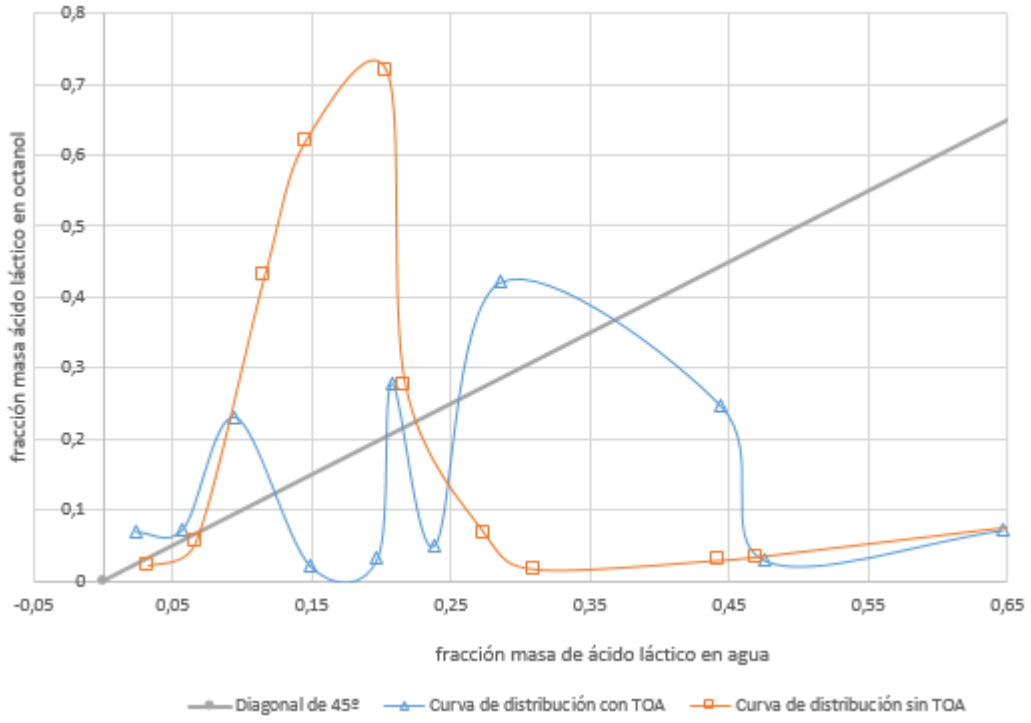


Figura 138: Curva de distribución completa para octanol con TOA y sin TOA.



XIII. Glosario

- A. **Ácido carboxílico:** A la combinación de un grupo carbonilo y un hidroxilo en el mismo átomo de carbono se le conoce como grupo carboxilo. Los compuestos que contienen el grupo carboxilo son claramente ácidos y se les llama ácidos carboxílicos. Los ácidos carboxílicos se clasifican de acuerdo con el sustituyente enlazado al grupo carboxilo, Un ácido alifático tiene un grupo alquilo enlazado al grupo carboxílico y un ácido aromático tiene un grupo arilo. Un ácido carboxílico dona protones por medio de la ruptura del enlace O-H ácido para dar un protón y un ion carboxilato. Los ácidos carboxílicos forman enlaces por puente de hidrógeno con el agua y los ácidos de masas moleculares más pequeñas(hasta cuatro carbonos) son miscibles en agua. A medida que la longitud de la cadena de hidrocarburos aumenta, la solubilidad en agua disminuye hasta los ácidos con más de 10 carbonos que son casi insolubles en agua. Los ácidos carboxílicos son muy solubles en alcoholes debido a que forman enlaces por puente de hidrógeno con ellos. Además, los alcoholes no son tan polares como el agua. La mayoría de los ácidos carboxílicos son bastante solubles en disolventes relativamente no polares como el cloroformo, debido a que el ácido continua existiendo en su forma dimérica en el disolvente no polar. Por lo tanto, los enlaces por puente de hidrógeno del dímero cíclico no son interrumpidos cuando el ácido se disuelve en un disolvente no polar (Wade 2011).
- B. **Alcanos:** Un alcano es un hidrocarburo que sólo contiene enlaces sencillos. Los alcanos forman la clase más sencilla y menos reactiva de los compuestos orgánicos, ya que sólo contienen hidrógeno y carbono con hibridación sp^3 , y no tienen grupos funcionales reactivos. Los alcanos no tienen enlaces dobles o triples, y tampoco heteroátomos (átomos distintos al carbono e hidrógeno). Son ácidos y bases muy débiles, así como electrófilos y nucleófilos muy débiles. Los hidrocarburos se clasifican de acuerdo con sus enlaces. Los alcanos sólo tienen enlaces sencillos (Wade 2011).
- C. **Alcoholes:** Los alcoholes son compuestos orgánicos que contienen grupos hidroxilo (-OH). Son de los compuestos más comunes y útiles en la naturaleza, la industria y el hogar. Los alcoholes se sintetizan a través de varios métodos, y el grupo hidroxilo puede transformarse en muchos otros grupos funcionales. La estructura de un alcohol es parecida a la del agua, con un grupo alquilo sustituyendo a uno de los átomos de hidrógeno del agua. El agua y los alcoholes tienen propiedades parecidas, debido a los grupos hidroxilo que pueden formar enlaces por puente de hidrógeno. Los alcoholes forman enlaces por puente de hidrógeno con el agua, y varios de los alcoholes de baja masa molecular son miscibles con el agua (solubles en cualquier proporción). De igual forma, los alcoholes son mejores disolventes que los hidrocarburos para sustancias polares. El grupo alquilo del alcohol lo llamamos hidrofóbico (repele el agua), ya que actúa como un alcano: quebranta la red de enlaces por puente de hidrógeno y las atracciones dipolo-dipolo de un disolvente polar como el agua. El

grupo alquilo hace menos hidrofílico al alcohol, aunque le da solubilidad en los disolventes orgánicos no polares (Wade 2011).

- D. Amina: El nitrógeno es otro elemento que con frecuencia se encuentra en los grupos funcionales de los compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos "nitrogenados" más comunes son las aminas. Las aminas son derivados alquilados del amoníaco. Al igual que el amoníaco, las aminas son básicas. Debido a su basicidad (alcalinidad), las aminas que se encuentran en la naturaleza se conocen como alcaloides. Todas las aminas, incluso las terciarias, forman enlaces por puente de hidrógeno con los disolventes hidroxílicos como el agua y los alcoholes. Por tanto, las aminas tienden a ser solubles en alcoholes y las aminas con masa moleculares más baja (hasta aproximadamente seis átomos de carbono) son relativamente solubles en agua. Una amina es un nucleófilo debido a que su par de electrones no enlazados puede formar un enlace con un electrófilo. Una amina también puede actuar como una base de Bronsted-Lowry aceptando un protón de un ácido. (Wade 2011).
- E. Catalizador: sustancia que acelera una reacción química sin participar en ella.
- F. Colas: grupos característicos al final de la cadena del oligómero.
- G. Diluyente: El diluyente o diluyente, en una mezcla de tres componentes, es el componente en el cual se encuentra diluido principalmente el soluto.
- H. Oligómero: es un polímero de menor tamaño.
- I. Pico Característico: señal dada por un protón en la molécula en el espectro NMR.
- J. PLA: poliácido láctico.
- K. Solute: El soluto en una mezcla de tres componentes, se reparte en ambas fases, mientras que el solvente y el diluyente no se mezclan entre sí.
- L. Solvente: El solvente en una mezcla de tres componentes, es el componente encargado de extraer el soluto de la mezcla y por esta razón debe presentar cierta afinidad con éste.