

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Estudio técnico y evaluación económica de la pirólisis de estípites de palma africana Deli x AVROS a nivel laboratorio y su escalamiento

Trabajo de graduación en modalidad de megaproyecto presentado por: María Paola Castellanos López, Ligia Michelle Imeri Cabrera y Perla Isabel Morfín Ajá para optar al grado académico de Licenciadas en Ingeniería Industrial; y Pablo Andrés Méndez García, David Alejandro Súcrite Sosa, Héctor Aroldo Maldonado de León y Jorge Mario Piedrasanta Ramírez para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Química.

Guatemala

2017

Estudio técnico y evaluación económica de la pirólisis de
estípite de palma africana Deli x AVROS a nivel laboratorio y su
escalamiento

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



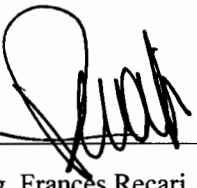
Estudio técnico y evaluación económica de la pirólisis de estípites
de palma africana Deli x AVROS a nivel laboratorio y su
escalamiento

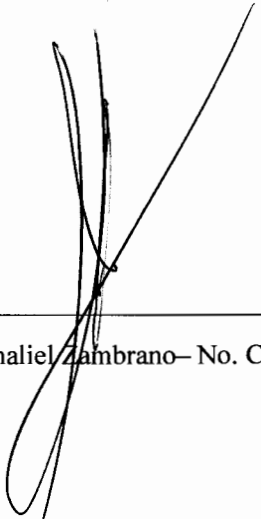
Trabajo de graduación en modalidad de megaproyecto presentado por:
María Paola Castellanos López, Ligia Michelle Imeri Cabrera y Perla
Isabel Morfín Ajá para optar al grado académico de Licenciadas en
Ingeniería Industrial; y Pablo Andrés Méndez García, David Alejandro
Súchite Sosa, Héctor Aroldo Maldonado de León y Jorge Mario
Piedrasanta Ramírez para optar al grado académico de Licenciados en
Ingeniería Química.

Guatemala

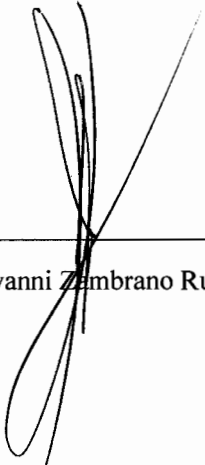
2017

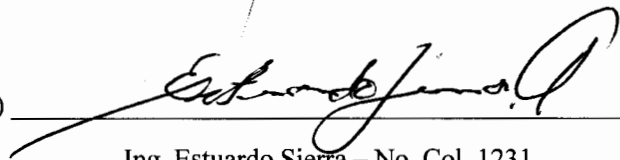
Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Frances Recari - No. Col. 743

(f) 
Ing. Gamaliel Zambrano - No. Col. 686

Directores de los estudiantes que trabajaron el Megaproyecto:

(f) 
Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano - No. Col. 686

(f) 
Ing. Estuardo Sierra - No. Col. 1231

Fecha de aprobación: Guatemala, 27 de noviembre de 2017

PREFACIO

Este megaproyecto es el resultado de la iniciativa de un grupo de estudiantes por realizar un trabajo novedoso, diferente y sobre todo que representara un reto. La pirólisis es un término poco conocido en Guatemala, es probablemente de las primeras investigaciones a nivel laboratorio que se realizan en el país y seguramente la primera investigación que involucre además, la palma africana. El desarrollo del megaproyecto inició en el segundo semestre del año 2016 llegando a concursar en la «Feria de la Innovación 2016» del curso «Innovación en negocios», obteniendo el primer lugar entre más de 20 ideas diferentes.

Como estudiantes comprometidos con un mejor país y llamados muchas veces: la generación del cambio, quisimos ser ese cambio con un proyecto de impacto, innovador y ambientalmente sostenible. Motivación para realizar el megaproyecto nunca faltó, y apoyo de parte del departamento de Química e Ingeniería Química, tampoco. Lamentablemente, la investigación se realizó únicamente a escala laboratorio obteniendo resultados muy atractivos para su aplicación directa en una operación a nivel industrial. Escribimos «lamentablemente» porque el proceso tiene potencial a la espera de ser explotado, pero por falta de tiempo y recursos no despegó de la fase laboratorio.

El megaproyecto no se habría podido lograr sin la ayuda de muchas personas que con entusiasmo hacia la investigación siempre nos brindaron apoyo en la Universidad del Valle de Guatemala. Especial agradecimiento a las ingenieras Frances Recari e Ingrid Yurrita, y a los licenciados Ana Luisa Mendizábal, Luis Roberto de León, Ángel Ramírez y Jonathan Van der Henst. La asesoría y apoyo que nos proporcionaron tienen un valor incalculable.

ÍNDICE

	Página
Prefacio	vi
Lista de tablas	xi
Lista de figuras	xvi
Resumen	xxiv
I. Introducción	1
II. Objetivos	4
A. General	4
B. Específicos	4
III. Justificación	6
IV. Marco teórico	8
A. Producción de aceite de palma	8
B. Estípite de palma africana y su importancia como fuente de biomasa lignocelulósica	8
C. Pirólisis	9
D. Reducción de tamaño del estípite	20
E. Reactor	21
F. Curvas de secado	22
G. Poder calorífico	23
H. Cromatografía de gases con detector FID y TCD	23
I. Espectrofotómetro de absorción atómica	26
J. Análisis granulométrico	27
K. Modelos y simulación de procesos	28
L. Productos de las fases	30
M. Char	32
N. Descripción del producto	34
O. Subproductos	34
P. Segmento del mercado	34

Q.	Sistema, procesos y operación	35
R.	Diagramas de operaciones	35
S.	Costos de operación.....	36
T.	Tercerización.....	36
U.	Gas de síntesis	37
V.	Llama.....	37
W.	Teoría de restricciones de Goldratt.....	38
X.	Modelo de valorización de activos de capital (CAPM)	38
V.	Antecedentes	40
A.	Situación actual según reportes de plantación de palma africana	40
B.	Progreso y avances de procesos de pirólisis	40
C.	Aplicaciones de biocarbón como mejorador de la calidad del suelo.....	42
VI.	Metodología	47
A.	Pruebas a escala laboratorio de pirólisis de estípites de palma africana	47
B.	Definición de actividades.....	63
C.	Análisis de productos obtenidos por pruebas a escala laboratorio	64
D.	Propuesta de aplicaciones para productos obtenidos por pirólisis de estípites de palma africana Deli x AVROS.....	67
E.	Estimación de costo de operación de pruebas realizadas y costos de obtención de 1 kilogramo de cada producto, a nivel laboratorio.....	69
F.	Desarrollo de modelo de simulación de pirólisis rápida	71
G.	Estimación de costos del modelo de simulación de pirólisis rápida.....	80
H.	Propuestas de presupuesto para la obtención de pirólisis nivel piloto.....	85
I.	Estudio de mercado	86
J.	Identificación de interesados en la implementación del proceso de pirólisis.....	87
K.	Lista de cotejo para localización de plantas industriales	88
L.	Definición de operaciones del proceso de pirólisis	88
M.	Programación en SIMIO.....	88
N.	Determinación de necesidades de personal para la operación del proceso	89
O.	Determinación de costos	89
P.	Análisis de rentabilidad económica.....	90

Q.	Evaluación de rentabilidad económica	91
VII.	Resultados	92
A.	Diagramas de flujos	92
B.	Pruebas a escala laboratorio de pirólisis de estípite de palma africana	94
C.	Análisis de productos obtenidos por pruebas a escala laboratorio	95
D.	Propuesta de aplicaciones de los productos obtenidos de la pirólisis de estípite de palma africana Deli x AVROS	102
E.	Condiciones de operación recomendadas, para proceso de pirólisis rápida, obtenidas por simulación de proceso	105
F.	Costos asociados	106
G.	Evaluación del potencial económico de los subproductos gaseoso y líquido	115
H.	Propuesta para la obtención de pirólisis a nivel piloto	123
I.	Estudio de mercado	129
J.	Identificación de interesados en la implementación del proceso de pirólisis.....	137
K.	Localización de la planta	141
L.	Operaciones del proceso de pirólisis	142
M.	Programación SIMIO	143
N.	Necesidades de personal	147
O.	Determinación de costos	155
P.	Análisis de rentabilidad económica.....	156
Q.	Evaluación de rentabilidad económica	157
VIII.	Análisis de resultados	158
A.	Análisis de diseño, proceso y productos de pirólisis a escala laboratorio y su escalamiento por simulación.....	158
B.	Análisis de prefactibilidad de la implementación del proceso de pirólisis de estípite de palma africana Deli x AVROS.....	188
IX.	Conclusiones	197
X.	Recomendaciones.....	202
XI.	Bibliografía	206
XII.	Anexos	214

A.	Resultados de análisis de productos obtenidos en pruebas a escala laboratorio	214
B.	Información y resultados de simulación en SuperPro Designer®.....	299
C.	Estadísticas e informes del contexto nacional.....	321
D.	Cotizaciones.....	324
E.	Especificaciones técnicas de equipos y maquinarias.....	341
F.	Identificación de los interesados en la implementación del proceso de pirólisis	345
G.	Análisis de rentabilidad	346
H.	Evaluación de rentabilidad.....	348
I.	Procesos de producción y necesidades de personal.....	349
XIII.	Glosario	353

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Clasificación de procesos de degradación termoquímica de biomasa.	10
Tabla 2. Composición porcentual másica de las partes residuales de la palma africana.	14
Tabla 3. Parámetros cinéticos de reacciones elementales del mecanismo de pirólisis de celulosa.	18
Tabla 4. Parámetros cinéticos de reacciones elementales del mecanismo de pirólisis de hemicelulosa.	19
Tabla 5. Parámetros cinéticos de reacciones elementales del mecanismo de pirólisis de lignina.	20
Tabla 6. Dimensiones de las mallas de acuerdo a la apertura y diámetro del alambre	27
Tabla 7. Posibles productos obtenidos durante la pirólisis de estípites de palma africana.	30
Tabla 8. Función de los macronutrientes y micronutrientes en las plantas.	33
Tabla 9. Resultado de la caracterización de diferentes tipos de biomasa al aplicar pirólisis	41
Tabla 10. Caracterización química del estípites de palma de aceite.	42
Tabla 11. Almacenamiento de varios elementos en estípites de palma africana.	43
Tabla 12. Tasas de conversión por el método de pila.	43
Tabla 13. Caracterización química del biocarbón y comparación con otras materias primas.	43
Tabla 14. Efecto del biocarbón según dosis.	44
Tabla 15. Identificación y cuantificación química de los compuestos obtenidos en los líquidos de pirólisis de biomasa, según el estudio realizado en Malasia.	45
Tabla 16. Resultados de investigación científica en Costa Rica de propiedad fungicida del líquido piroleñoso.	46
Tabla 17. Descripción de conexiones a seguir del sistema de condensación.	55
Tabla 18. Descripción de sistema de pirólisis a escala laboratorio para la prueba 1.	56
Tabla 19. Descripción de sistema de pirólisis para pruebas 2 a 4.	61
Tabla 20. Descripción de sistema de pirólisis para la prueba 5 a 7.	63
Tabla 21. Dimensiones iniciales de las muestras de palma africana.	63
Tabla 22. Humedad de la muestra para las pruebas realizadas.	69
Tabla 23. Descripción técnica del equipo de consumo eléctrico, empleado para las pruebas de pirólisis a escala laboratorio.	70
Tabla 24. Descripción costo de consumo eléctrico.	71
Tabla 25. Descripción costo de consumo de agua	71
Tabla 26. Propiedades físicas básicas de componentes registrados en modelo.	74
Tabla 27. Propiedades críticas de componentes registrados en modelo.	74
Tabla 28. Composición porcentual másica de fuentes de biomasa empleadas en modelo.	75
Tabla 29. Esquema general de reacciones de reformación de productos obtenidos en reacciones cinéticas (reactivos) en productos finales de proceso.	77
Tabla 30. Reacciones de reformación para las que se integran los cálculos de entalpías de reacción.	78

Tabla 31. Descripción de módulos empleados en elaboración de esquema de flujo de proceso de pirólisis rápida de estípite de palma africana.	78
Tabla 32. Maquinaria asignada por el simulador para la sección de precalentamiento de biomasa	82
Tabla 33. Maquinaria asignada por el simulador para la sección de pirólisis	83
Tabla 34. Maquinaria asignada por el simulador para la sección de separación	84
Tabla 35. Parámetros y datos ingresados para la estimación de costos provistos por la simulación	84
Tabla 36. Balance de masa de productos sólidos, líquidos y gaseosos	94
Tabla 37. Condiciones controladas durante las pruebas de pirólisis lenta.	95
Tabla 38. Poder calorífico de la fase sólida obtenida de la pirólisis lenta.	95
Tabla 39. Análisis granulométrico del sólido introducido al reactor de pirólisis	95
Tabla 40. Resultados de análisis para abonos orgánicos para carbón obtenido en pruebas a humedades menores al 50% y su comparación con otros productos utilizados para enmiendas...	96
Tabla 41. Cromatografía de gases con detector FID para fase acuosa.....	97
Tabla 42. Cromatografía de gases con detector FID para fase orgánica	99
Tabla 43. Cromatografía de gases con detector FID y TCD para determinación de metano en fase gaseosa.....	100
Tabla 44. Análisis elemental por absorción atómica	100
Tabla 45. Cromatografía de gases con detector FID y TCD para determinación de metano en fase gaseosa.....	100
Tabla 46. Resumen de rendimientos finales de la reacción de pirólisis	101
Tabla 47. Comparación de resultados por cromatografía de gases de ácidos piroleñosos obtenidos de diferentes materias primas.	102
Tabla 48. Propuesta de uso para fase líquida.....	103
Tabla 49. Propuesta de uso de gas de pirólisis.	103
Tabla 50. Comparación de char con diferentes tipos de carbón utilizados en la generación de energía.....	104
Tabla 51. Propuesta de uso para la fase sólida.	104
Tabla 52. Condiciones que favorecen la producción de cada fase, por proceso de pirólisis rápida según modelo de simulación desarrollado en SuperPro Designer®.....	105
Tabla 53. Factores a considerar en diseño de planta piloto de pirólisis rápida de estípite de palma africana Deli x AVROS.	105
Tabla 54. Costo de equipos y utensilios empleados.....	106
Tabla 55. Desglose de cristalería utilizada	106
Tabla 56. Frecuencia acumulada del costo de los utensilios	107
Tabla 57. Costo de consumo eléctrico del triturado de 7.5 kg. de estípite de palma.	108
Tabla 58. Costo de consumo eléctrico del secado de 6.5 kg. de estípite de palma.	108
Tabla 59. Costo de consumo eléctrico del procesado en mufla para las siete pruebas analizadas.	109
Tabla 60. Costo de consumo de agua utilizado por el sistema de pirólisis a nivel laboratorio. ..	110
Tabla 61. Costo de operación total para las siete prueba analizadas.....	111

Tabla 62. Rendimiento neto por producto obtenido en relación a la humedad evaluada	111
Tabla 63. Costo estimado del triturado de 1 kg. con equipo a nivel laboratorio.	111
Tabla 64. Costo estimado del secado de 1 kg. con equipo a nivel laboratorio.	111
Tabla 65. Costo estimado de procesado en mufla de 1 kg. con equipo a nivel laboratorio.	112
Tabla 66. Costo estimado de agua para el procesado de 1 kg. en los condensadores usados a nivel laboratorio.	112
Tabla 67. Costo de operación estimado para obtener 1kg. de producto, a nivel laboratorio.	112
Tabla 68. Costos y capacidad estimadas por el simulador SuperPro Designer®	113
Tabla 69. Frecuencia acumulada del costo estimado de la maquinaria.....	114
Tabla 70. Análisis de ventajas y desventajas entre el gas de síntesis y metano.....	115
Tabla 71. Perfil del producto de gas de síntesis obtenida de tratar palma africana Deli x AVROS con pirólisis	116
Tabla 72. Especificaciones y precio de filtro de ácido sulfhídrico	116
Tabla 73. Análisis FODA del gas de síntesis	117
Tabla 74. Aspecto a considerar para el mercado del ácido acético.....	118
Tabla 75. Rangos de precios de los proveedores de ácido acético para la presentación de 1L. .	119
Tabla 76. Aspectos a considerar para el mercado del fenol	120
Tabla 77. Rangos de precios de los proveedores fenol para la presentación de 1L.	121
Tabla 78. Compuestos principales del vinagre de madera comparado con los líquidos obtenidos.	121
Tabla 79. Aspecto a considerar para el mercado del vinagre de madera o ácido piroleñoso	122
Tabla 80. Precios de los productos agroquímicos usualmente en los cultivos de palma africana.....	122
Tabla 81. Costo de producción de líquidos de pirólisis tomando como parámetro los costos de operación de pirólisis de una empresa ya establecida y los rendimientos obtenidos a nivel laboratorio.	122
Tabla 82. Diferencia entre precios de la competencia y costos de operación de líquidos de pirólisis en relación a la intensidad obtenida de ácido acético para las diferentes humedades ...	123
Tabla 83. Diferencia entre precios de la competencia y costos de operación de líquidos de pirólisis en relación a la intensidad obtenida de fenol, para las diferentes humedades.....	123
Tabla 84. Diferencia entre precio de la competencia del ácido piroleñoso y costos de operación de líquidos de pirólisis	123
Tabla 85. Presupuesto para la inversión inicial necesaria para la importación del equipo tomando encuentra maquinaria y acondicionamiento del terreno, según especificaciones del proveedor.....	124
Tabla 86. Estimación para un mes de operación del equipo cotizado.	125
Tabla 87. Aspectos generales de seguridad a tomar en consideración para la operación del equipo de pirólisis cotizado.	125
Tabla 88. Costo por tratamiento de estípite en planta de pirólisis de Guatemala.	126
Tabla 89. Costo de servicio de transporte desde la fincas hasta los laboratorios de estudio.	126
Tabla 90. Presupuesto estimado para la realización de pruebas tercerizadas a nivel piloto de estípite.	126

Tabla 91. Comparación de presupuestos en relación a los costos calculados.	127
Tabla 92. Evaluación de aspectos positivos y negativos de cada opción	128
Tabla 93. Lista de cotejo	142
Tabla 94 Perfil de capacidades del proceso.....	142
Tabla 95. Necesidades de personal para el proceso	147
Tabla 96. Inversión inicial.....	155
Tabla 97 Inversión inicial baja	155
Tabla 98. Tiempo efectivo de trabajo y mantenimiento total productivo	155
Tabla 99. Salarios de personal.....	155
Tabla 100. Rendimiento y costo de maquinaria para un ciclo de trabajo.....	156
Tabla 101. Rentabilidades requeridas para la implementación del procesos de pirólisis.....	157
Tabla 102 Tasa interna de retorno de escenarios 1 y 2	157
Tabla 103 Capacidad de un Schottdorf-Meiler	192
Tabla 104. Especificaciones de la mufla utilizada en las pruebas 1 a 4.	214
Tabla 105. Especificaciones de la mufla utilizada en las pruebas 5 a 7.....	214
Tabla 106. Especificaciones del reactor de lecho fijo para la pirólisis lenta.	215
Tabla 107. Tasa de calentamiento según la mufla utilizada.	219
Tabla 108. Parámetros básicos de entrada para cada módulo empleado en el modelo generado para el proceso de pirólisis rápida de biomasa lignocelulósica.	301
Tabla 109. Resultados experimentales de pirólisis rápida de paja de trigo reportados en publicaciones.	302
Tabla 110. Resultados experimentales de pirólisis rápida de paja de trigo obtenidos empleando modelo en SuperPro Designer®.....	302
Tabla 111. Análisis de error de resultados experimentales publicados y simulados de pirólisis rápida de paja de trigo.	303
Tabla 112. Proporciones máxicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 16%(m/m) durante 10 segundos.....	311
Tabla 113. Proporciones máxicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 16%(m/m) durante 5 segundos.....	311
Tabla 114. Proporciones máxicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 16%(m/m) durante 3 segundos.....	311
Tabla 115. Proporciones máxicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 16%(m/m) durante 1 segundo.	312
Tabla 116. Proporciones máxicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 30%(m/m) durante 10 segundos.....	312
Tabla 117. Proporciones máxicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 30%(m/m) durante 5 segundos.....	312
Tabla 118. Proporciones máxicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 30%(m/m) durante 3 segundos.....	312
Tabla 119. Proporciones máxicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 30%(m/m) durante 1 segundo.	313

Tabla 120. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 35%(m/m) durante 10 segundos.....	313
Tabla 121. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 35%(m/m) durante 5 segundos.....	313
Tabla 122. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 35%(m/m) durante 3 segundos.....	313
Tabla 123. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 35%(m/m) durante 1 segundo.	314
Tabla 124. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 45%(m/m) durante 10 segundos.....	314
Tabla 125. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 45%(m/m) durante 5 segundos.....	314
Tabla 126. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 45%(m/m) durante 3 segundos.....	314
Tabla 127. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 45%(m/m) durante 1 segundo.	315
Tabla 128. Cobertura forestal y uso del suelo en el país.	323
Tabla 129. Segmento de informe publicado por la Gremial de Palmicultores de Guatemala	323
Tabla 130. Dimensiones y masa de muestra de estípite brindadas por la empresa.	343
Tabla 131. Cálculos y coordenadas para la ubicación adecuada de equipo piloto de pirólisis.	344
Tabla 132 Tipos de césped con el pH más bajo y más alto tolerado.....	345
Tabla 133 Variación de precios promedio de diésel y barril de petróleo al consumidor final en ciudad capital	349

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Esquema básico de composición de biomasa.	10
Figura 2. Anómero β de glucosa y enlace glicosídico en celobiosa.....	11
Figura 3. Monómeros de lignina y sus derivados.	12
Figura 4. Esquema del proceso de análisis de composición de residuos de diferentes partes de palma africana.....	14
Figura 5. Mecanismo de degradación térmica de celulosa.	18
Figura 6. Mecanismo de degradación térmica de hemicelulosa.	19
Figura 7. Mecanismo de degradación de lignina.	20
Figura 8. Modelo del reactor empleado en pruebas elaborado en Autodesk Inventor 2016.	21
Figura 9. Curva típica de secado.....	22
Figura 10.. Esquema general de un cromatógrafo de gases.....	24
Figura 11. Esquema de detector FID y TCD	25
Figura 12. Ejemplo de cromatograma de gases para acetato de etilo.....	26
Figura 13. Estructura del hexano	31
Figura 14.Estructura del metano.	32
Figura 15. Secuencia de reacción durante la pirólisis de biomasa.....	41
Figura 16. Concentración de nutrientes en estípites vs biocarbón.	44
Figura 17. Pre corte del estípite utilizando machetes.....	52
Figura 18. Reactor lleno con la muestra de estípite cortado por la chipeadora.	53
Figura 19. Disposición de espacio dentro de la mufla.	53
Figura 20. Detalle de ubicación de chimenea en orificio superior de la mufla.....	54
Figura 21. Kit de destilación utilizado para el sistema de condensación.	55
Figura 22. Conexiones a seguir del sistema de condensación.	55
Figura 23. Sistema de pirólisis a escala laboratorio para la prueba 1.	56
Figura 24. Separación y pesaje de la fase sólida.....	57
Figura 25. Separación y pesaje de la fase líquida.	58
Figura 26. Bomba calorimétrica para la determinación del poder calorífico.	58
Figura 27. Relación de temperatura con respecto a tiempo desplegada por el calorímetro.....	59
Figura 28. Prueba cualitativa de llama de la fase gaseosa.....	60
Figura 29. Sistema de pirólisis a escala laboratorio para la prueba 2 a 4.....	60
Figura 30. Fracción orgánica como emulsión en la fracción acuosa.....	61
Figura 31. Procedimiento llevado a cabo para la pirólisis a escala laboratorio.	69
Figura 32. Mapa de cobertura de las empresas distribuidoras de energía eléctrica	70
Figura 33. Leyenda de principales empresas distribuidoras de electricidad en Guatemala.....	71
Figura 34. Ventana de selección de modo de operación de modelo de proceso a simular.....	73
Figura 35. Ventana de registro de componentes puros empleados en el modelo de simulación. ..	73

Figura 36. Ubicación de base de datos de módulos de operaciones unitarias disponibles en SuperPro Designer®.	75
Figura 37. Segmentos empleados en simulación de reactor de pirólisis rápida de biomasa lignocelulósica.	76
Figura 38. Diagrama de modelo de simulación de pirólisis rápida de estípite de palma africana.	79
Figura 39. Comparación de resultados publicados y de simulación de pirólisis rápida de paja de trigo.	80
Figura 40. Cuadro de diálogo del "precio de compra" y "datos de equipo"	81
Figura 41. Sección de pretratamiento de biomasa de simulación	82
Figura 42. Sección de pretratamiento de biomasa de simulación	83
Figura 43. Sección de separación en simulación	83
Figura 44. Equipo de pirólisis cotizado.....	85
Figura 45. Diagrama de operaciones realizadas durante pruebas de laboratorio	92
Figura 46. Diagrama de flujo de operaciones sugeridas para la planta piloto	93
Figura 47. Rendimiento másico como función de la humedad.....	94
Figura 48. Curva de secado para estípite de palma.....	96
Figura 49. Componentes encontrados en el 100 – 83% de las pruebas para la fase acuosa del líquido	97
Figura 50. Proporción másica de ácido acético en función de la humedad (fase acuosa).	98
Figura 51. Proporción másica de fenol en función de la humedad (fase acuosa)	98
Figura 52. Componentes encontrados en el 83% de las pruebas de la fase orgánica del líquido.	99
Figura 53. Proporción másica de ácido acético en función de la humedad (fase orgánica)	99
Figura 54. Proporción másica de fenol en función de la humedad (fase orgánica)	100
Figura 55. Subdivisión de rendimientos de los elementos encontrados de la muestra de humedad inicial del 52.9%	101
Figura 56. Diagrama de Pareto de la estimación de costos a escala laboratorio.....	107
Figura 57. Relación entre el porcentaje de humedad obtenido con el secado y consumo eléctrico del horno usado.....	108
Figura 58. Relación entre el porcentaje de humedad y masa ingresada al reactor.....	109
Figura 59. Relación entre el porcentaje de humedad y masa ingresada al reactor.....	110
Figura 60. Diagrama de Pareto de los costos de maquinaria	114
Figura 61. Distribución del mercado del ácido acético en Guatemala	119
Figura 62. Distribución del mercado del ácido acético en Guatemala.....	120
Figura 63. Proceso mínimo para la obtención de resultados a nivel piloto	123
Figura 64. Ubicación sugerida de equipo piloto por el método del centroide, para la realización de pirólisis.....	124
Figura 65. Mercado potencial del biocarbón	129
Figura 66. Datos históricos de importaciones de hulla bituminosa	137
Figura 67. Proyecciones de importaciones de hulla bituminosa	137
Figura 68. Consolidado de importaciones de hulla bituminosa en Guatemala para los años 2002 a 2021	138

Figura 69. Consolidado de importaciones de hulla bituminosa en Guatemala para los años 2002 a 2021	138
Figura 70. Mapa de intensidad de uso de la tierra	139
Figura 71. Suelo sobre utilizado en la República de Guatemala y dosis de aplicación de biocarbón.....	140
Figura 72. Porcentaje de área mínima verde establecida por la Municipalidad de Guatemala ...	140
Figura 73. Cuantificación de casas formales no pobres a nivel nacional de la República de Guatemala.....	140
Figura 74. Dosis de aplicación de biocarbón en jardines y producción de biocarbón para jardines	141
Figura 75. Vista de la localización de la planta	141
Figura 76. Diagrama de la secuencia de las operaciones del proceso	142
Figura 77. Resumen de resultados de SIMIO	143
Figura 78. Resultados de la simulación en SIMIO parte 1	144
Figura 79. Resultados de la simulación en SIMIO parte 2	145
Figura 80. Resultados de la simulación en SIMIO parte 3	146
Figura 81. Modelo 3D de programación en SIMIO	147
Figura 82 Schottdorf-Meiler	192
Figura 83. Incremento de temperatura con el tiempo para la prueba 1.	215
Figura 84. Incremento de temperatura con el tiempo para la prueba 2.	216
Figura 85. Incremento de temperatura con el tiempo para la prueba 3.	216
Figura 86. Incremento de temperatura con el tiempo para la prueba 4.	217
Figura 87. Incremento de temperatura con el tiempo para la prueba 5.	217
Figura 88. Incremento de temperatura con el tiempo para la prueba 6.	218
Figura 89. Incremento de temperatura con el tiempo para la prueba 7.	218
Figura 90. Cromatograma de gases para fase acuosa – corrida 1	220
Figura 91. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 1.	221
Figura 92. Continuación de figura comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa - corrida 1 (Continuación).....	222
Figura 93. Continuación de figura comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 1 (Continuación)	223
Figura 94. Continuación de figura comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 1 (Continuación)	224
Figura 95. Cromatograma de gases para fase orgánica – corrida 1	225
Figura 96. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 1	226
Figura 97. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 1 (Continuación)	227
Figura 98. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 1 (Continuación)	228
Figura 99. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 1 (Continuación)	229

Figura 100. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 1 (Continuación).....	230
Figura 101. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 1 (Continuación).....	231
Figura 102. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 1 (Continuación).....	232
Figura 103. Cromatograma de gases para fase acuosa – corrida 2	233
Figura 104. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 2.....	234
Figura 105. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 2 (continuación).....	235
Figura 106. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 2 (continuación).....	236
Figura 107. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 2 (continuación).....	237
Figura 108. Cromatograma de gases para fase orgánica – corrida 2.....	238
Figura 109. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 2	239
Figura 110. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 2 (continuación).....	240
Figura 111. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 2 (continuación).....	241
Figura 112. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 2 (continuación).....	242
Figura 113. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 2 (continuación).....	243
Figura 114. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 2 (continuación).....	244
Figura 115. Cromatograma de gases para fase acuosa – corrida 3	245
Figura 116. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 3.....	246
Figura 117. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 3 (continuación).....	247
Figura 118. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 3 (continuación).....	248
Figura 119. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 3 (continuación).....	249
Figura 120. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 3 (continuación).....	250
Figura 121. Cromatograma de gases para fase orgánica – corrida 3.....	251
Figura 122. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 3	252
Figura 123. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 3 (continuación).....	253
Figura 124. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 3 (continuación).....	254

Figura 125. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 3 (continuación).....	255
Figura 126. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 3 (continuación).....	256
Figura 127. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 3 (continuación).....	257
Figura 128. Cromatograma de gases para fase acuosa – corrida 4	258
Figura 129. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 4.....	259
Figura 130. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 4 (continuación).....	260
Figura 131. Cromatograma de gases para fase orgánica – corrida 4.....	261
Figura 132. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 4	262
Figura 133. Cromatograma de gases para fase acuosa – corrida 5	263
Figura 134. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 5.....	264
Figura 135. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 5 (continuación).....	265
Figura 136. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 5 (continuación).....	266
Figura 137. Cromatograma de gases para fase orgánica – corrida 5.....	267
Figura 138. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 5	268
Figura 139. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 5 (continuación).....	269
Figura 140. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 5 (continuación).....	270
Figura 141. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 5 (continuación).....	271
Figura 142. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 5 (continuación).....	272
Figura 143. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 5 (continuación).....	273
Figura 144. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 5 (continuación).....	274
Figura 145. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 5 (continuación).....	275
Figura 146. Cromatograma de gases para fase acuosa – corrida 6	276
Figura 147. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 6.....	277
Figura 148. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 6 (continuación).....	278
Figura 149. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 6 (continuación).....	279
Figura 150. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 6 (continuación).....	280

Figura 151. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 6 (continuación).....	281
Figura 152. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 6 (continuación).....	282
Figura 153. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 6 (continuación).....	283
Figura 154. Cromatograma de gases para fase orgánica – corrida 6.....	284
Figura 155. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 6	285
Figura 156. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 6 (continuación).....	286
Figura 157. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 6 (continuación).....	287
Figura 158. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 6 (continuación).....	288
Figura 159. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 6 (continuación).....	289
Figura 160. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 6 (continuación).....	290
Figura 161. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 6 (continuación).....	291
Figura 162. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 6 (continuación).....	292
Figura 163. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 6 (continuación).....	293
Figura 164. Termograma en determinación de poder calorífico del carbón de pirólisis de estípite de palma	294
Figura 165. Cromatografía de gases detector FID para análisis de gas metano – corrida 1.....	294
Figura 166. Cromatografía de gases detector FID para análisis de gas metano – corrida 2.1	295
Figura 167. Cromatografía de gases detector TCD para análisis de gas metano – corrida 2.1....	295
Figura 168. Cromatografía de gases detector FID para análisis de gas metano – corrida 2.2.....	296
Figura 169. Cromatografía de gases detector TCD para análisis de gas metano – corrida 2.2....	296
Figura 170. Cromatografía de gases detector FID para análisis de gas metano – corrida 2.3.....	297
Figura 171. Cromatografía de gases detector TCD para análisis de gas metano – corrida 2.3....	297
Figura 172. Informe de análisis por ICP-MS para abonos orgánicos realizado por Analab.	298
Figura 173. Resumen de maquinaria del reporte	303
Figura 174. Detalle de maquinaria del reporte	304
Figura 175. Distribución de bioaceite para diferentes humedades de estípite de palma africana a procesar en reactor en 10 segundos.....	315
Figura 176. Distribución de bioaceite para diferentes humedades de estípite de palma africana a procesar en reactor en 5 segundos.....	316
Figura 177. Distribución de bioaceite para diferentes humedades de estípite de palma africana a procesar en reactor en 3 segundos.....	316

Figura 178. Distribución de bioaceite para diferentes humedades de estípite de palma africana a procesar en reactor en 1 segundo.	317
Figura 179. Distribución de biocarbón para estípite de palma africana a procesar con distintas humedades, en reactor, en 10 segundos.	317
Figura 180. Distribución de biocarbón para estípite de palma africana a procesar con distintas humedades, en reactor, en 5 segundos.	318
Figura 181. Distribución de biocarbón para estípite de palma africana a procesar con distintas humedades, en reactor, en 3 segundos.	318
Figura 182. Distribución de biocarbón para estípite de palma africana a procesar con distintas humedades, en reactor, en 1 segundo.	319
Figura 183. Distribución de gas pirolítico para diferentes humedades de estípite de palma africana a procesar, en reactor, en 10 segundos.	319
Figura 184. Distribución de gas pirolítico para diferentes humedades de estípite de palma africana a procesar, en reactor, en 5 segundos.	320
Figura 185. Distribución de gas pirolítico para diferentes humedades de estípite de palma africana a procesar, en reactor, en 3 segundos.	320
Figura 186. Distribución de gas pirolítico para diferentes humedades de estípite de palma africana a procesar, en reactor, en 1 segundo.	321
Figura 187. Matriz energética de Guatemala del 28 de mayo (semana 22) al 8 de julio (semana 27) de 2017.	321
Figura 188. Intensidad de uso de la tierra en Guatemala.	322
Figura 189. Intensidad de uso de la tierra en Guatemala.	322
Figura 190. Cotización de mufla; proveedor biokim.	324
Figura 191. Cotización de cristalería PROINCA.	325
Figura 192. Cotización de lámina de grafito extendido; proveedor PROINDESA.	326
Figura 193. Cotización de rollo de fibra de vidrio con folio; proveedor ORION.	327
Figura 194. Cotización de grasa niquelada; proveedor DIFRATTI, S.A.	327
Figura 195. Cotización de tubo de acero inoxidable; proveedor Soluciones en Acero S.A (medida 1 metro).	328
Figura 196. Cotización de cromatografía de gases con detectores FID y TCD; proveedor Universidad del Valle.	329
Figura 197. Cotización de filtro H ₂ S; proveedor UNION.	330
Figura 198. Cotización de tercerización de operaciones.	331
Figura 199. Cotización para comparación de precios de productos agroquímicos.	332
Figura 200. Precios de contenedores de químicos IBC.	333
Figura 201. Cotización de transporte principal marítimo para maquinaria de planta piloto.	333
Figura 202. Precio de equipo de pirólisis de 10ton/día.	333
Figura 203. Salario mínimo mensual en Guatemala por sector.	334
Figura 204. Tarifas de consumo de agua.	334
Figura 205. Cotización de trituradora PT-400.	334
Figura 206. Cotización de silo de 10 toneladas.	335
Figura 207. Cotización de carretilla.	336

Figura 208. Cotización de mini cargadora	336
Figura 209. Cotización de sacos de polipropileno	337
Figura 210. Cotización de excavadora	338
Figura 211. Cotización de ensacadora	338
Figura 212. Cotización de cosedora manual.....	339
Figura 213. Cotización de accesorio para excavadora: trituradora forestal.....	339
Figura 214. Cotización de banda transportadora	340
Figura 215. Trituradora de residuos orgánicos Trapp TR200, y sus especificaciones técnicas...	341
Figura 216. Horno – Deshidratador Industrial Corbett y sus especificaciones técnicas (trifásico).....	341
Figura 217. Mufla ThermoScientific y sus especificaciones técnicas.....	341
Figura 218. Especificaciones técnicas de equipo de pirólisis de 10 ton/batch	342
Figura 219. Máquina empleada por la empresa para el corte de palma africana, PT-400.....	342
Figura 220. Propiedad aislante del material del reactor de equipo a nivel piloto.	343
Figura 221. Proceso de trituración seguido para el triturado de estípite a nivel laboratorio.	343
Figura 222. Ubicación de las fincas de palma con sus coordenadas de latitud y longitud.	344
Figura 223. Visualización satelital de la ubicación sugerida.....	344
Figura 224. Visualización de simulación SIMIO	349
Figura 225. Visualización de simulación de triturado en SIMIO	350
Figura 226. Visualización de simulación de procesos de planta en SIMIO	350
Figura 227. Visualización de vehículos de transporte en simulación SIMIO	351

RESUMEN

En el siguiente trabajo se presentan los resultados y análisis obtenidos a partir de la pirólisis del estípite de palma africana Deli X AVROS, permitiendo construir un sistema a escala laboratorio donde se produjeron las fases, sólida, líquida y gaseosa. El propósito principal del proyecto recae en aprovechar los estípites de las plantaciones de palma africana. Se busca identificar el potencial de la pirólisis de estípite como alternativa para disminuir los residuos agroindustriales y transformarlo en una fuente de energía viable y asequible.

Para cumplirlo se realizaron múltiples pruebas con variaciones en la humedad, proponiendo un sistema con equipo encontrado comúnmente en un laboratorio. Se implementó un sistema consistente de un reactor de acero inoxidable, con una mufla como sistema de calentamiento de la biomasa y condensadores de un kit de destilación como método de enfriamiento de los gases condensables y no condensables. Las pruebas se realizaron a humedades diferentes de estípite de palma africana.

Los estudios se realizaron para humedades desde 12 hasta 75% realizando un análisis de cromatografía de gases para las fases líquida y gaseosa, al igual que un análisis de abonos orgánicos para la fase sólida. La información se extrae de artículos científicos y consultas con expertos que cuentan con sistemas similares, ya sea para la pirólisis de plásticos o desechos agroindustriales.

Se realizaron los siguientes análisis: curva de secado para determinar el comportamiento de pérdida de humedad en función del tiempo, determinación de poder calorífico de muestras sólidas, análisis de componentes en la porción líquida, en fase orgánica y acuosa por cromatografía de gases con detector FID. Así mismo, análisis cuantitativo de la fase gaseosa por cromatografía de gases con detector FID y TCD para identificar la presencia de metano. Se efectuaron comparaciones de los productos sólidos, líquidos y gaseosos en función de la humedad y comparación de poder calorífico respecto a combustibles sólidos comerciales.

Se evaluó la proporción de producción obtenidos en la fase líquida, comparando los componentes que reportaron mayor intensidad en las cromatografías de gases. De las pruebas realizadas se determinó que la mayor obtención de ácido acético y fenol se obtuvo a humedad de 53% del estípite de palma introducido en el reactor. Se realizaron seis corridas para determinación de los compuestos en la fase líquida por Cromatografía, y otras dos más para determinación de metano en el gas producido.

La viabilidad de pirólisis por análisis de laboratorio sólo da un enfoque másico. Con escalamientos que no suponen cinéticas de reacción ni costos de escalamiento. Pero sí da una oportunidad de análisis de productos en disposición de los problemas sociales que afronta la producción de palma africana en el país.

No obstante, los estípites, constituyen un residuo con potencial de transformarse en combustible sólido, líquido o gaseoso, así como una fuente productora de compuestos de interés para la industria, tales como: solventes, absorbentes, base para regeneradores de suelo, entre otros. Dicha transformación se realizaría por un proceso de pirólisis, donde se somete la biomasa a temperaturas cercanas a los 500°C.

Este método térmico se fundamenta en una degradación de la materia debido a la acción de calor en ausencia de oxígeno. En Guatemala su uso se limita a la obtención de carbón vegetal sin explotar todo su potencial. Los productos que se esperan obtener son: un sólido conocido como char, un producto líquido combustible rico en solventes y un producto gaseoso inflamable. El objetivo de esta investigación es, definir las aplicaciones que posee cada uno de los productos obtenidos, basado en la realización de análisis de laboratorio, análisis de costos y búsqueda del mercado potencial para cada uno de estos productos.

Se utilizó el software SuperPro Designer® para escalar el proceso de pirólisis a planta piloto para palma africana Deli x AVROS; determinando balance másico de la palma. El proceso de pirólisis en el software supone pirólisis rápida e instantánea. Se realizaron análisis económicos del proceso de pirólisis del corte, secado y las pruebas de laboratorio mencionadas. Considerando costo de operación y de análisis. Además suponer que los resultados serán los mismos a una mayor escala puede ser precipitado. Por lo que se propusieron métodos para la obtención de resultados a nivel planta piloto, para luego dar lugar a un estudio de factibilidad con el fin de recuperar mayormente la fracción sólida de la pirólisis.

I. INTRODUCCIÓN

La generación de energía a base de fuentes renovables es una necesidad que cobra más importancia con el aumento de la población y modernización de la tecnología. La Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) en Guatemala presenta estadísticas que reportan que el 52% de la energía proviene de fuentes no renovables.

Cuando se utiliza la biomasa como fuente de generación de energía, se busca que contenga una cierta porción de lignocelulosa, esta se encuentra en los residuos agroindustriales forestales y acuáticos. El método que se busca implementar para su aprovechamiento es la pirólisis, la cual consiste en un proceso de descomposición a alta temperatura en ausencia de oxígeno. Esta reacción genera compuestos que pueden ser extraídos y purificados. Se presentan de forma sólida, líquida y gaseosa. Se pueden emplear en la producción de energía eléctrica, potencia, biocombustibles y solventes químicos entre otros.

Este estudio presenta una propuesta que lleva al diseño a escala laboratorio, los métodos de reducción de tamaño y la extracción de cada producto. Con el diseño del sistema de pirólisis a escala laboratorio se obtiene una base para el escalamiento piloto. Igual de relevante, permite identificar si la pirólisis es un proceso que provee beneficios a la plantación de palma africana, ayudando a promover un proceso verde y con productos de valor para la industria de producción de aceite.

Los análisis de laboratorio tienen como función determinar el uso de la palma que se deja de explotar. Determinar cualitativamente y cuantitativamente los productos que se pueden obtener si se realiza la pirólisis de palma. Un adecuado análisis permite identificar productos útiles dentro de las industrias productoras o productos sustitutos para cerrar el ciclo de vida de la palma; además de generar beneficios económicos a la empresa y evitar problemas sociales.

El análisis se realizó a productos líquidos, sólidos y gases. Con el fin de aprovechar las tres fases de productos de pirólisis. El objetivo principal del módulo del Megaproyecto es identificar la viabilidad realizando análisis para escalar la planta de una escala laboratorio a una planta piloto

La demanda de fuentes de energía crece junto con la población e industrialización de la sociedad moderna. Sin embargo, gran parte de la energía requerida se extrae de combustibles fósiles. Debido a los impactos de la extracción, transporte, uso y volatilidad inherente a la cual están sujetos; se evalúan fuentes alternativas de energía para suplir la demanda ante la posible crisis que pueda suscitarse en el futuro en cuanto a la oferta de los mismos o la tendencia de migrar hacia fuentes renovables.

Dentro de las diferentes fuentes alternativas que se encuentran bajo investigación reciente; se encuentra la biomasa lignocelulósica. Esta fuente se encuentra disponible, principalmente, en residuos forestales y agroindustriales, gramíneas energéticas, entre otros. Por lo que, ante la problemática que el estípote de palma africana representa para las plantaciones luego de su renovación; se ha propuesto la eliminación del estípote empleando un proceso termoquímico de degradación, a temperaturas superiores a los 400°C, denominado pirólisis.

De esta forma, el presente proyecto se enfocó en desarrollar un modelo de secuencias de operaciones unitarias, orientado a la simulación por computadora del proceso de pirólisis rápida de estípote de palma africana variedad Deli x AVROS y el estudio del efecto de la humedad de la biomasa a procesar, temperaturas y tiempos de residencia en el reactor; sobre las proporciones de los productos a obtener. En la primera sección, se presentan los conocimientos básicos que permiten interpretar el modelo aplicado y sus resultados. En la siguiente sección, se establecen las condiciones a simular y el alcance del modelo; así como, su desarrollo en el software SuperPro Designer®. Posteriormente, se presentan los perfiles de distribución de los productos a obtener, según las simulaciones. Utilizando dichos perfiles, se determinó que existe una zona definida de operatividad bajo las restricciones empleadas en el caso de estudio; dicha zona se caracteriza por disminuir su tamaño a medida que el tiempo de reacción decrece, mientras que se desplaza hacia temperaturas cada vez más altas. Así mismo, se establecieron las condiciones bajo las cuales se maximiza la producción de cada una de las fases de producto a obtener: bioaceite, biocarbón y gas pirolítico.

Por último, se debe resaltar que este proyecto consiste en un estudio preliminar, el cual se espera, sea un punto de partida para una investigación a profundidad del tema. Por tanto, el modelo desarrollado puede mejorarse aún más, al introducir el efecto de los fenómenos de transferencia de calor y masa, según el tamaño de partícula de biomasa a procesar. Siendo estos fenómenos, de suma importancia, en el diseño final de un reactor para este proceso.

La pirólisis es un proceso de degradación de la materia por su exposición a altas temperaturas arriba de 400°C, produciendo tres fases, una gaseosa, líquida y sólida. Su principal uso actualmente es la producción de carbón mineral a partir de madera, en el cual únicamente se utiliza la fase sólida y se liberan al ambiente todos los gases de pirólisis. La gran ventaja de un método de pirólisis frente a una combustión convencional es que el proceso no requiere de oxígeno por lo que no se necesita que los productos posean un alto poder calorífico. El objetivo principal de esta investigación es proponer aplicaciones económica y técnicamente viables, para los estípotes de palma africana.

La materia prima que se utilizará para realizar la pirólisis será el estípote de palma africana Deli x AVROS que posee un valor muy bajo de poder calorífico, haciendo imposible generar energía con esta biomasa por combustión. Los troncos de palma africana previo a ser pirolizados, fueron reducidos hasta un tamaño adecuado con una chipeadora.

La pirólisis se llevó a cabo en un reactor a escala laboratorio de acero inoxidable alcanzado los 500°C con una mufla Thermolyne™ F6010 y utilizando condensadores de vidrio para el enfriamiento de los gases y obtención de los condensados. Modificando la humedad de los estípites de palma africana se obtuvieron diferentes proporciones de las fases líquida, gaseosa y sólida. Se realizaron siete pruebas de pirólisis a escala laboratorio realizando balances de masa y recolectando las fases para su posterior análisis. La fase líquida se caracterizó por cromatografía de gases-espectrometría de masas; la fase gaseosa por absorción atómica para la determinación de metano y la fase sólida por espectrofotometría de masas con plasma acoplado inductivamente. Analizando las características y propiedades de cada fase se pudo determinar diferentes aplicaciones para los productos obtenidos. La fase más atractiva por sus propiedades químicas es la sólida que puede funcionar como carbón para generar energía, mejorador de suelo o como eco-leño.

II. OBJETIVOS

A. GENERAL

Realizar un estudio técnico y económico de la pirólisis batch de estípites de palma africana Deli x AVROS como propuesta para la valorización de dicho residuo agroindustrial.

B. ESPECÍFICOS

- Proponer un sistema a escala laboratorio de acuerdo a experimentos reportados, para realizar la pirólisis de estípites de palma africana Deli x AVROS e identificar las principales condiciones a considerar durante su operación.
- Determinar los rendimientos de cada uno de los productos obtenidos del sistema propuesto y variar las condiciones para ver si es posible incrementar el rendimiento de dicha fase.
- Determinar el poder calorífico superior del carbón producido por pirólisis, empleando un análisis calorimétrico que indique el posible aumento con respecto al estípites no tratado.
- Identificar cualitativamente los componentes de las mezclas, líquidas y gaseosas, obtenidos por pirólisis de palma africana Deli x AVROS con cromatografía gaseosa FID.
- Determinar propiedades de granulometría inicial, curva de secado y poder calorífico superior del producto sólido de pirólisis de palma africana Deli x AVROS usando equipo analítico.
- De acuerdo a la humedad del estípites, ácido acético y fenol producida, determinar la humedad adecuada para obtener una mayor proporción másica en las mezclas líquidas del producto de pirólisis de palma africana Deli x AVROS.
- Evaluar el estudio técnico de la pirólisis del estípites de palma africana (Deli x AVROS), realizando pruebas a escala laboratorio con un sistema que permita obtener las tres fases de la pirólisis (sólida, líquida y gaseosa). Realizando Cromatografía de Gases a muestras líquidas y gaseosas para identificación de los componentes en las mezclas que se obtienen de pirólisis y a los sólidos análisis calorimétricos y de espectrometría de absorción atómica.
- Desarrollar un modelo de simulación de pirólisis rápida de estípites de palma africana Deli x AVROS empleando el software SuperPro Designer® para su escalamiento a planta piloto.
- Obtener los costos de operación de pruebas realizadas y costos de 1 kilogramo de producto (sólido, líquido y gaseoso) del proceso de pirólisis de estípites de palma, trabajados en los laboratorios de la Universidad del Valle de Guatemala.

- Evaluar los posibles mercados para los líquidos de pirólisis, contemplando clientes, competencia y proveedores de materia prima, de acuerdo a las características obtenidas en las cromatografías de gases, realizadas para las pruebas a nivel laboratorio.
- Desarrollar presupuestos para la introducción de un sistema de pirólisis de estípites de palma africana, a nivel piloto.
- Realizar un estudio de factibilidad para la implementación de una planta de pirólisis de residuos agroindustriales de palma africana para la obtención de un combustible sólido.
- Realizar un análisis de operaciones a escala laboratorio usando diagramas de operaciones para describir la secuencia, los resultados y los costos asociados.
- Analizar los resultados obtenidos del subproducto gaseoso para describir las características, desarrollar un análisis FODA y un perfil del producto basado en las pruebas de laboratorio.
- Utilizar la herramienta de simulación SuperPro Designer® para estimar la capacidad y costo de la maquinaria necesaria para el escalamiento de la planta piloto simulada.

III. JUSTIFICACIÓN

La producción de aceite de palma es uno de los sectores industriales con mayor auge en los últimos 10 años. Su bajo costo respecto a otros aceites, como el de canola, coco, girasol, ha representado una ventaja competitiva; expandiendo su uso a cosméticos y productos alimenticios. Compañías multinacionales como Ferrero y Unilever utilizan el aceite en sus productos insignia como Nutella o Country Crock. Sin embargo, la popularidad del aceite de palma ha causado un alto impacto ambiental; en países productores como Malasia, Indonesia, Colombia y Guatemala; siendo estos, por citar algunos: desvío de ríos, ampliación de la frontera agrícola, contaminación de mantos acuíferos, agotamiento del suelo, destrucción de la biodiversidad, entre otros.

Solamente en Guatemala, se producen 350 mil toneladas de aceite crudo y cerca del 85% de este es exportado – en su mayoría a México – y se sigue expandiendo en el mercado internacional debido a biocombustibles y precios de producción. Este monocultivo ocupa en el país, 1,500 km² equivalentes a 150,000 ha., estimándose que existen 19.3 millones de toneladas métricas de biomasa seca disponible durante un período de 25 años, período correspondiente a la renovación de las plantaciones de palma africana. Las plantaciones de palma de aceite renovadas, producen toneladas de estípites residuales sin uso alguno; representado una serie de problemas, como la proliferación de plagas, creación de sombra a las palmas jóvenes y obstrucción durante la recolección de nuevos frutos, por mencionar algunos. Por esto que es necesario desarrollar un proyecto que aproveche estos estípites en desuso y que contribuya al mejoramiento del ambiente. Por otra parte, representa una oportunidad para generar valor con un residuo agroindustrial de la plantación.

Dichos estípites poseen un gran potencial como fuentes alternativas de energía en la industria de la palma africana debido a la alta disponibilidad de biomasa lignocelulósica contenida en ellos. Entre las ventajas del uso de este tipo de biomasa, como materia prima, se encuentra la eliminación de la competencia con fuentes de alimento como sucede en el caso del biodiésel y bioetanol; derivados de aceites vegetales vírgenes y maíz, respectivamente. Por lo que se han propuesto diversos procesos para el aprovechamiento de la biomasa lignocelulósica, siendo los termoquímicos los más aceptados; especialmente el proceso de pirólisis. Cerrar los ciclos a nivel industrial y obtener combustibles sostenibles son mega tendencias del siglo XXI; los estípites a través de su transformación por pirólisis, obteniendo productos con un valor en el mercado, cierran su ciclo de vida ayudando al ambiente y contribuyen a la transformación de la producción de aceite de palma hacia una industria que apoya al mejoramiento ambiental.

Por lo tanto, se realizaron pruebas a nivel laboratorio para analizar técnica y económicamente la valorización de este residuo procesándolo en una operación por lotes de pirólisis lenta, enfocando el proceso a la obtención de bioaceite como precursores de solventes, combustibles o químicos, y un biochar como mejorador de suelos y sustituto al carbón vegetal. Sin embargo, la tecnología aún es escasa y, en muchos casos, específica a las condiciones de la materia prima a procesar.

Además, considerando la gran cantidad de residuo a procesar, una operación por lotes resulta inadecuada; por lo que se generó un modelo de simulación que permita iniciar el diseño de una planta piloto de pirólisis rápida de forma continua. Por último, este proyecto pretende ser el punto de partida para más investigaciones que mejore la imagen de la industria de la palma africana y, al mismo tiempo, poder generar un valor económico a un residuo de la plantación de ésta.

IV. MARCO TEÓRICO

A. PRODUCCIÓN DE ACEITE DE PALMA

La producción de aceite de palma africana es un proceso dominante en la elaboración de diversos productos, dentro de los cuales se encuentran los aceites de cocina, margarina, galletas, helados, jabones, acondicionadores, productos de limpieza y otros productos que requieran de las grasas para dar un sabor o textura especial. La extracción del aceite de palma se realiza cortando los frutos de las plantas maduras, estas se transportan en camiones desde la plantación hasta el área de pesado.

Con la tara de los camiones se determina el peso de cada lote y se descargan a una tolva que coloca los frutos en vagones esterilizados, impidiendo la acidificación del aceite. Para asegurar que las frutas se desprenden del tallo, se pasan a un tambor rotatorio, implementando cribas que separa la cascarilla y raquis. Posteriormente se prensa y extrae el caparazón principal donde se encuentra el aceite (la almendra). El efluente pasa por un proceso de desfibrado que se encarga de separar el coquillo (mezcla entre cascarilla y almendra). Tras este proceso, se prensa nuevamente la semilla obteniendo el primer aceite de interés, este posee una textura fina y viscosa, la cual es empleada para la producción de cosméticos y productos de limpieza. El licor remanente en las prensas se clarifica por diferencia de densidad, y posteriormente pasa a un proceso de limpieza donde se centrifuga y seca, el producto es el que se utiliza como aceite de cocina.

La producción del aceite de palma produce diversos residuos que las industrias logran aprovechar al realizar estudios técnicos como el análisis de poder calorífico. Con esto se logra implementar el raquis y cascarilla en calderas de 300 a 600 BHP en lugar de combustibles de origen fósil. Sin embargo, cabe mencionar que la cosecha de palma africana se considera un monocultivo que perjudica las condiciones del suelo, tomando una gran porción de los recursos y nutrientes. Este hecho implica que se tomen métodos preventivos, como plantación de leguminosas e inyección de nutrientes que reducen los daños del cultivo. Por lo que uno de los retos principales es la implementación adecuada de cada componente de la palma africana. (Kim, 2012)

B. ESTÍPITE DE PALMA AFRICANA Y SU IMPORTANCIA COMO FUENTE DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA

La palma de aceite o aceitera, *Elaeis guineensis*, es una planta tropical nativa de África, de ahí su denominación como palma africana. Junto con *Elaeis oleífera*, constituyen las dos especies cultivables en grandes extensiones. Sin embargo, es la primera, la más común en climas cálidos y húmedos propios de los trópicos con altas precipitaciones. En un período de un siglo tomó relevancia a nivel mundial como uno de los cultivos más rentables.

Dentro de las razones de dicha importancia, se puede mencionar su alto rendimiento de producción de aceite por hectárea de cultivo frente a otras fuentes como la soya, canola y girasol (Awalludin, Sulaiman, Hashim, & Wan Nadhari, 2015). Siendo la variedad Deli x AVROS una de las más cultivadas en Asia y América, pese a su alta susceptibilidad al estrés y problemas fitosanitarios (ASD Costa Rica, s.f.).

En Guatemala, el cultivo de palma de aceite o palma africana inició durante la década de los 70. En dicha época existía la necesidad de encontrar una alternativa al cultivo de café a raíz de la crisis del sector caficultor. Por lo que se iniciaron pruebas piloto en la costa sur. Luego, en los años 80 se inició con la plantación de este cultivo en San Marcos, Petén y Escuintla. A raíz del éxito obtenido, el cultivo se ha extendido por 150,000 hectáreas en el país; concentrándose en tres zonas: Suroccidente, nororiente junto con norte de Quiché y sur de Petén. Uno de los logros de este cultivo es obtener un rendimiento mayor al promedio mundial, 7 toneladas métricas de aceite crudo por hectárea respecto a las 4 t/ha. mundiales (Gremial de Palmicultores de Guatemala, 2016).

En su entorno natural, la palma puede alcanzar entre 20 a 30 metros de altura al momento de su madurez. Sin embargo, esto supone un reto técnico y económico al momento de cosechar el fruto. Por lo que el período de vida rentable para una palma es de 25 años, cuando alcanza una altura entre 12 a 13 metros. Por lo que, al cumplirse este período, se realizan las tareas de eliminación y renovación de una plantación. Debido al tamaño de la palma al cabo de los 25 años, se ha optado por la técnica de renovación « underplanting ». Esta técnica supone la plantación de una nueva palma debajo de la que se ha eliminado empleando herbicidas. No obstante, durante el período de descomposición de la palma eliminada – de alrededor de 2 años – esta se convierte en una fuente de reproducción de plagas que ponen en riesgo las palmas jóvenes (Ooi & Heriansyah, 2005)

Considerando que la densidad promedio de palmas es de 143/ha. Con un peso promedio de 3 toneladas métricas por estípite del cual el 30% corresponde a biomasa seca. Por lo que existen 19.3 millones de toneladas métricas de biomasa seca disponible durante un período de 25 años, lo que supone la disponibilidad de 772 mil toneladas métricas por año como producto de la renovación cíclica de las plantaciones.

C. PIRÓLISIS

Este proceso consiste en un método de degradación termoquímica de la materia en ausencia de oxígeno. Como producto de la degradación, se obtienen productos en tres fases: líquida, gaseosa y sólida. Los principales factores que determinan las proporciones en las cuales se obtiene cada una de las fases son la temperatura y tiempo por el cual la materia es expuesta a dicha temperatura. Por lo que se distinguen distintas variantes de pirólisis, tal y como se resume en la siguiente tabla:

Tabla 1. Clasificación de procesos de degradación termoquímica de biomasa.

Variante	Temperatura [°C]	Tiempo de residencia ¹	Rendimientos promedio [% m/m]		
			Líquido	Sólido	Gaseoso
Rápida	500	1 s	75	12	13
Intermedia	500	10 – 30 s	50 ²	25	25
Carbonización	400	Días	30	35	35
Gasificación	750-900	< 1 s	5	10	89
Torrefacción	290	10 – 60 min	0 ³	80	20

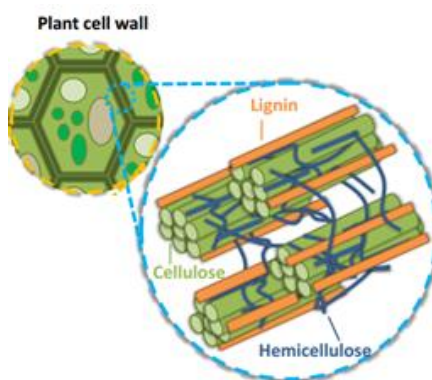
Tomado de: (Bidgwater, 2012).

Si bien es cierto, el proceso se ha aplicado a lo largo de la historia para la producción de carbón vegetal; en los últimos 35 años ha cobrado gran relevancia al emplear tiempos de residencia cortos, por lo que se denomina «pirólisis rápida». Esto debido al alto rendimiento de producto líquido que permite obtener y que puede ser empleado de diversas formas, incluyendo el almacenamiento de energía (Bidgwater, 2012).

1. Materia prima para el proceso de pirólisis de biomasa lignocelulósica.

Se denomina biomasa lignocelulósica a aquella biomasa que proviene, en su mayoría, de residuos forestales, agroindustriales, gramíneas energética, plantas acuáticas, entre otros. Esta fuente ha sido reconocida desde hace tiempo como una fuente potencial de bajo costo de carbohidratos. No obstante, su obtención posee una limitante debido a la resistencia de esta forma de biomasa ante procesos de transformación distintos, desde hidrólisis hasta la degradación termoquímica. Por ello, resulta de importancia conocer su composición química y física. A continuación, se presenta la clasificación, comúnmente aceptada, de los componentes de la biomasa:

Figura 1. Esquema básico de composición de biomasa.



Adaptado de: (edX, Inc., 2017).

¹ Correspondiente a los vapores producidos, a excepción de la Torrefacción donde se hace referencia al tiempo de residencia de los sólidos

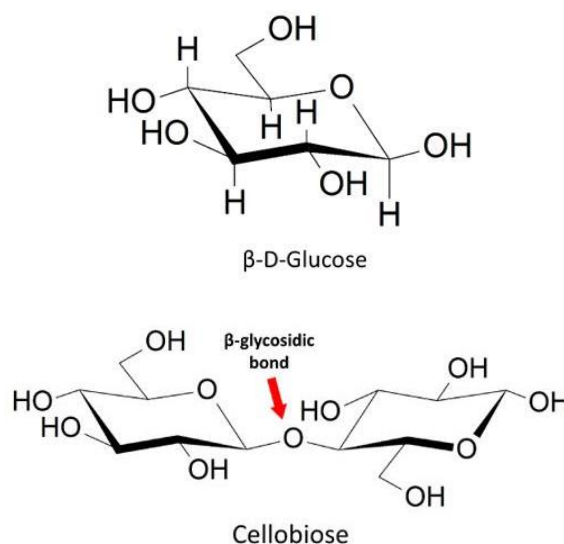
² Distribuido en 2 fases (Acuosa y orgánica)

³ Sin condensar, de lo contrario se obtiene hasta un 5%

a. **Celulosa.** Consiste en el polisacárido homogéneo estructural presente en mayor cantidad en la pared celular, por lo que representa del 15 al 50% de la masa seca de la biomasa lignocelulósica. Este polímero está compuesto por monómeros de β -D-glucopiranososa - unidades de celobiosa - unidos por enlaces glicosídicos β -1,4; con lo que la fórmula simplificada del polímero es $(C_6H_{10}O_5)_x$. Por tanto, su composición elemental es de: 44%(m/m) C, 6.2%(m/m) H y 49.4%(m/m) O. El grado de polimerización común de la celulosa es de 10 a 15 mil de unidades de glucopiranososa en conformación de silla (O'Sullivan, 1997).

La principal característica de la celulosa yace en la presencia de gran cantidad de puentes de hidrógeno lo cual la vuelve resistente ante hidrólisis y actividad enzimática. Así mismo, los puentes de hidrógeno cumplen un papel vital en la estabilización de la estructura de celulosa generando planos interconectados por estos enlaces dando lugar a una estructura cristalina (Ranzi, Amaral, & Frassoldati, *Mathematical Modeling of Fast Biomass Pyrolysis and Bio-Oil Formation. Note I: Kinetic Mechanism of Biomass Pyrolysis*, 2017).

Figura 2. Anómero β de glucosa y enlace glicosídico en celobiosa.



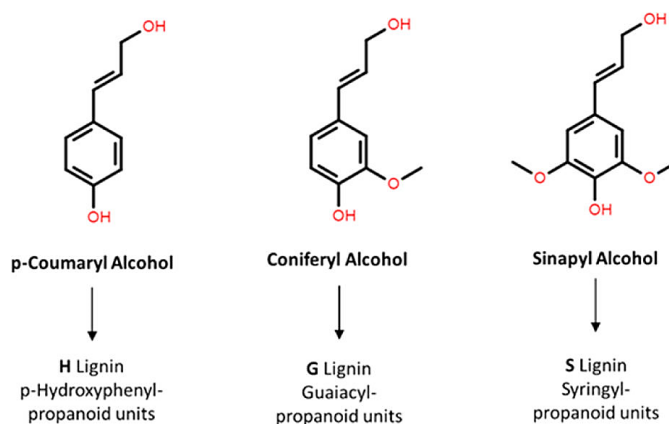
Tomado de: (Ranzi, Amaral, & Frassoldati, *Mathematical Modeling of Fast Biomass Pyrolysis and Bio-Oil Formation.*

Note I: Kinetic Mechanism of Biomass Pyrolysis, 2017)

b. **Hemicelulosa.** Este polímero heterogéneo está ligado a la superficie de las fibras de celulosa por enlaces no covalentes, lo que da lugar a redes de microfibras. Es por ello que representa del 25 al 30%(m/m) de la biomasa lignocelulósica seca. Este polímero se compone de unidades de hexosa y pentosa, específicamente: xilosa, galactosa, manosa, glucosa y arabinosa. Estas unidades dan lugar a tres tipos de hemicelulosa principales: Xilanos, mananos y xiloglucanos (Ebrigerová, 2005). Su principal diferenciador, de la celulosa, consiste en su estructura amorfa y un menor grado de polimerización; de entre 70 a 200 unidades (Ranzi, Amaral, & Frassoldati, *Mathematical Modeling of Fast Biomass Pyrolysis and Bio-Oil Formation. Note I: Kinetic Mechanism of Biomass Pyrolysis*, 2017).

c. **Lignina.** Consiste en una mezcla de polímeros ramificados complejos de tipo aromático derivados de alcoholes, principalmente: p-coumaril, coniferil y sinapil (Figura 3). Esta estructura da lugar a células rígidas e impermeables. Además, provee protección ante degradación microbiana; lo cual representa un factor limitante en la conversión del polímero en pulpa o biocombustibles.

Figura 3. Monómeros de lignina y sus derivados.



Tomado de: (Ranzi, Amaral, & Frassoldati, Mathematical Modeling of Fast Biomass Pyrolysis and Bio-Oil Formation.

Note I: Kinetic Mechanism of Biomass Pyrolysis, 2017)

d. **Extractivos.** Bajo esta clasificación se denominan a las sustancias distintas a las estructurales producidas por las plantas y que consisten en: resinas hidrofóbicas y compuestos fenólicos hidrofílicos. Por lo general, estas sustancias representan de 5 a 15% en masa de la biomasa seca (Ranzi, Amaral, & Frassoldati, Mathematical Modeling of Fast Biomass Pyrolysis and Bio-Oil Formation. Note I: Kinetic Mechanism of Biomass Pyrolysis, 2017).

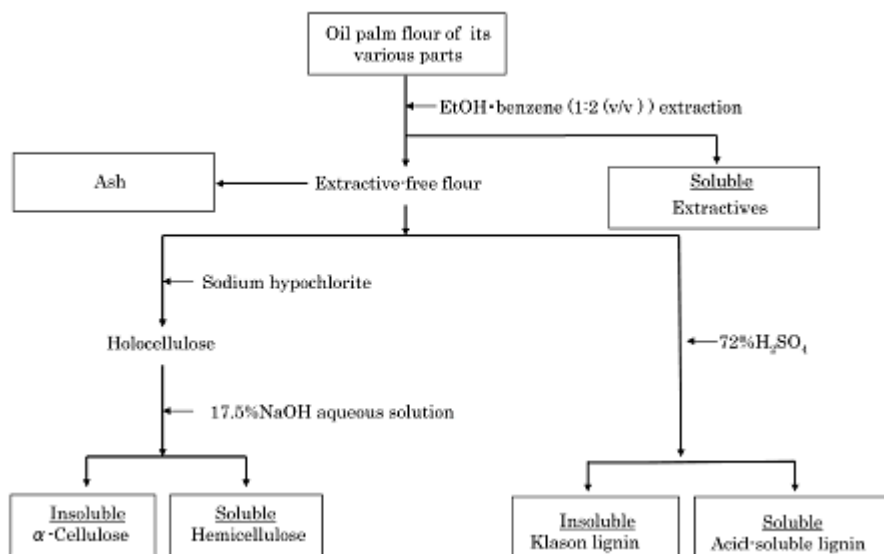
1) **Resinas.** Consisten en compuestos solubles en alcoholes, cloroformo y éter. Por lo general, están compuestos en un 60 a 70% de terpenos junto con ácidos grasos. Los primeros consisten en hidrocarburos derivados de monómeros de isopreno con o sin sustituyentes (Ranzi, Amaral, & Frassoldati, Mathematical Modeling of Fast Biomass Pyrolysis and Bio-Oil Formation. Note I: Kinetic Mechanism of Biomass Pyrolysis, 2017).

2) **Compuestos fenólicos** Son compuestos presentes en forma abundante en plantas perennes que en estacionales. Los compuestos fenólicos se pueden clasificar como: flavonoides o no flavonoides. Siendo las primeras moléculas compuestas de dos anillos aromáticos conectados por tres átomos de carbono y uno de oxígeno; que además tienden a enlazarse a azúcares. Por otro lado, los ácidos fenólicos y taninos constituyen compuestos no flavonoides. En el caso de los primeros, junto con el alcohol coniferilico, sinápico y cumárico; conforman los precursores de los bloques de construcción de la lignina (Hernes & Hedges, 2004).

e. **Nitrógeno, azufre, cenizas e inorgánicos.** El contenido de nitrógeno y azufre es mayoritario en tejidos de rápido crecimiento y jóvenes, tales como hojas y tallos. Por ello, pueden encontrarse contenidos hasta en un 60% en forma de aminoácidos. El resto de azufre se puede hallar en forma de sulfatos en las cenizas. Es importante resaltar que las cenizas se generan cuando compuestos inorgánicos se someten a combustiones a temperaturas de 550 °C, en el caso de la biomasa y 780 °C, para el carbón mineral (Ranzi, Amaral, & Frassoldati, *Mathematical Modeling of Fast Biomass Pyrolysis and Bio-Oil Formation. Note I: Kinetic Mechanism of Biomass Pyrolysis*, 2017). La composición de la ceniza se clasifica en componentes mayoritarios y minoritarios. Los mayoritarios incluyen aluminio (Al), calcio (Ca), hierro (Fe), magnesio (Mg), fósforo (P), potasio (K), sílice (Si), sodio (Na) y titanio (Ti), cada uno se expresa en términos de sus respectivos óxidos. Por otro lado, los compuestos minoritarios incluyen: arsénico (As), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plomo (Pb), estaño (Sb), vanadio (V) y zinc (Zn). En este sentido, la principal diferencia de la biomasa respecto al carbón mineral yace en un alto contenido de K_2O y Na_2O en la primera (Ranzi, Amaral, & Frassoldati, *Mathematical Modeling of Fast Biomass Pyrolysis and Bio-Oil Formation. Note I: Kinetic Mechanism of Biomass Pyrolysis*, 2017). Finalmente, es importante destacar que la ceniza ha mostrado un efecto catalítico durante el proceso de pirólisis rápida, lo cual se traduce en una disminución de la selectividad del bioaceite o alquitrán. Ello a raíz de la reactividad del intermediario, levoglucosano, con minerales presentes en el biocarbón que se produce; lo cual da lugar a la formación de derivados de furano, ácido acético, acetona y acetol. Esto ha llevado a la propuesta de la desmineralización y pretratamiento de la fuente de biomasa con agua y soluciones de ácido para disminuir el contenido de cenizas y el efecto catalítico de los compuestos inorgánicos presentes en forma de sales (Stefanidis, y otros, 2015). A la vez, estos procedimientos conllevan un aumento en la fijación de carbono en el biocarbón resultante (Khor, Lim, & Zainal Alimuddin, 2010).

2. **Composición de biomasa residual del cultivo de palma africana.** Como consecuencia del incremento de la producción de aceite derivado del fruto de palma africana, y la inherente producción de residuos de partes de la planta que no se emplean; han existido diversos estudios que se enfocan en la caracterización de las partes que han despertado interés en la búsqueda de un uso viable. Dentro de los diferentes resultados de estudios realizados, se han escogido los presentados por Shibata, Varman, Tono, Miyafuji, & Saka, 2008. Esto debido a que presentan una descripción detallada del método empleado para su determinación (Figura 4) y totalizan un 100%, algo que no sucede en la mayoría de casos. Sin embargo, existen estudios donde esto no sucede como consecuencia de los errores experimentales de los métodos empleados.

Figura 4. Esquema del proceso de análisis de composición de residuos de diferentes partes de palma africana.



Tomado de: Shibata, Varman, Tono, Miyafuji, & Saka, 2008.

Tabla 2. Composición porcentual másica de las partes residuales de la palma africana.

Parte	Composición másica de biomasa residual de palma africana (% m/m)						Total
	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina Klason ⁴	Lignina Soluble ⁵	Extractivos ⁶	Cenizas	
Estúpide	30.6	33.2	24.7	3.8	3.6	4.1	100.0
Hojas	39.5	29.8	21.2	2.1	1.7	5.7	100.0
Mesocarpio	39.5	9.8	32.8	0.1	8.6	9.3	100.1
Cascarilla	20.5	22.3	49.9	1.6	4.7	1	100.0
Torta de semilla	35.7	30.3	15.6	0.1	11.7	6.7	100.1
Raquis	37.9	35	22.9	1.1	2.7	1.5	101.1

Tomado de: Shibata, Varman, Tono, Miyafuji, & Saka, 2008.

3. Productos de la pirólisis de biomasa lignocelulósica.

Como se muestra en la Tabla 1, la tendencia de clasificación de los productos del proceso de pirólisis se fundamenta en la fase en la cual se encuentra cada uno de estos. Es así como las fases sólida, líquida y gaseosa; reciben el nombre de biocarbón, bioaceite y gases no condensables, respectivamente. A continuación, se describe cada uno de los productos a obtener:

⁴ Fracción de lignina insoluble en una solución de ácido sulfúrico al 72% en masa – H₂SO₄ 72%

⁵ Fracción de lignina soluble en una solución de ácido sulfúrico al 72% en masa – H₂SO₄ 72%

⁶ Fracción de biomasa soluble en una mezcla de solventes Etanol:Benceno 1:2 (v/v)

a. **Biocarbón.** Consiste en el producto sólido del proceso de pirólisis. Pese a que el producto se obtiene en cualquiera de las modalidades de pirólisis, descritas anteriormente; su producción se ve favorecida en la pirólisis lenta. Dentro de las aplicaciones potenciales que posee se encuentran: fuente de combustible sólido, enmienda agrícola o medio de adsorción como carbón activado luego del respectivo proceso de activación. No obstante, se ha reportado en varias ocasiones que las propiedades del material no son constantes y dependen, en su mayoría, de la fuente de biomasa tratada y las condiciones de operación como tasa de calentamiento, tiempo de residencia y temperatura máxima. Las propiedades afectadas por estos factores incluyen: el poder calorífico, composición elemental y área superficial. Siendo esta última, la que define la reactividad química del producto y su combustión (Abdullah, Sulaiman, & Aliasak, 2013).

Se ha demostrado que el área superficial del biocarbón puede incrementarse al aumentar la temperatura de pirólisis. Esto como consecuencia de una mayor volatilización de la biomasa que genera un volumen mayor de poros en la partícula. Lo anterior, es de suma importancia para los fenómenos de adsorción y combustión del material (Abdullah, Sulaiman, & Aliasak, 2013).

Para el estípote de palma, Khor y Lim (2010); llevaron a cabo experimentaciones de pirólisis lenta con este material. En dichas pruebas se obtuvo un biocarbón con un poder calorífico alto de 28.05 MJ/kg, tratando la muestra de estípote a 700 °C. Además, se comprobó que un aumento de la temperatura conlleva una disminución de la fracción de vapores condensables que darán origen al bioaceite y, por ende, un aumento en la fracción gaseosa. En este mismo estudio, se analizó el efecto que un pretratamiento de remoción de minerales con soluciones ácidas tiene sobre el contenido de cenizas en el biocarbón. Empleando un tratamiento por dos semanas y luego su lavado con agua, se disminuyó un 6.52% el contenido de cenizas y se obtuvo un 77.52% de carbono fijado en el biocarbón, lo cual mejoró la calidad del mismo.

b. **Bioaceite.** Este término define a la mezcla de compuestos obtenidos luego de la condensación de los vapores producidos por la reacción de pirólisis. Por lo general, consiste en un líquido café oscuro, altamente polar, ácido (pH 2 – 3), con altos contenidos de agua y sólidos, y con una densidad de aproximadamente 1200 kg/m³ (Kan, Strezov, & Evans, 2016). Además, su poder calorífico ronda entre los 16.0 y 18.0 MJ/kg (Hossain & Davies, 2013). Junto con la formación de gases no condensables, los vapores toman parte en reacciones en fase gaseosa que suelen clasificarse en: Iniciación de la cadena, eliminación de hidrógeno y reacciones de adición sucesivas de compuestos aromáticos. Todas estas reacciones forman hidrocarburos poliaromáticos pesados que componen en gran medida al bioaceite (Ranzi, Amaral, & Frassoldati, *Mathematical Modeling of Fast Biomass Pyrolysis and Bio-Oil Formation. Note II: Secondary Gas-Phase Reactions and Bio-Oil Formation*, 2017).

La principal característica de este producto es la presencia de dos fases: acuosa y orgánica. En la fracción acuosa se encuentran compuestos oxigenados de bajo peso molecular, mientras que en la orgánica; compuestos de alto peso molecular y fragmentos de lignina insolubles en agua. Dentro de sus potenciales usos se encuentran: combustibles y producción de químicos de gran valor.

Además, tienden a ser no-inflamables y poco destilables pues poseen una volatilidad limitada. No obstante, su estabilidad química y térmica es cuestionable, lo cual ha tomado relevancia como tema de investigación en cuanto al mecanismo que sigue y los métodos de disminuir su reactividad.

Independientemente, de la fuente de biomasa empleada; se conoce que, a temperaturas menores a 700 K, bajo un tiempo de residencia adecuado; se maximiza el rendimiento de bioaceite. El tiempo de residencia depende de las dimensiones de la partícula junto con el diseño de reactor empleado. Bridgwater, 2012; reporta una gran cantidad de reactores con potencial de uso en procesos de pirólisis rápida mostrando sus ventajas y desventajas. Algunos de los reactores presentados son: De lecho fluidizado, lecho circulante y transportado, de cono rotatorio, ablativo, hidropirólisis, por microondas y el reactor auger (Bidgwater, 2012). Siendo este último, el más fácil de construir y operar dado que se compone de un tornillo doble donde la biomasa triturada se mezcla con arena caliente, al mismo tiempo que se degrada en vapores y biocarbón (Brown, 2009). Sin embargo, uno de los principales retos a escala comercial consiste en asegurar que el diseño provee la energía necesaria para el proceso; ya sea por combustión del biocarbón, biomasa fresca (Meier, y otros, 2013), bioaceite y/o gases no condensables.

c. **Gases no condensables.** Bajo esta denominación se clasifican a todos los gases liberados durante la degradación termoquímica de la biomasa, como resultado de las reacciones que sufren los vapores que originan el bioaceite. Estos gases incluyen, pero no se limitan, principalmente: dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, hidrógeno, entre otros compuestos. Su poder calorífico es bajo (5.5 a 7.0 MJ/m³) al compararse con el del gas natural (~37 MJ/m³). En ocasiones, se ha evidenciado la formación de sulfuro de hidrógeno cuando la fuente de biomasa posee trazas de azufre en su composición (Yakub, y otros, 2015).

Esta fase cuenta con varios potenciales, los principales suponen su uso como fuente de combustible o químicos, luego de reacciones catalíticas. En cualquiera de los casos, es necesario garantizar un contenido mínimo de bioaceite presente en el flujo de gases para evitar problemas de corrosión en los equipos involucrados, especialmente en motores de combustión interna (Hossain & Davies, 2013). Es importante destacar que su formación se ve favorecida al aumentar la temperatura de reacción y disminuir el tiempo de residencia de los mismos en el reactor (Bidgwater, 2012).

4. **Modelos, mecanismos y cinética de reacciones.** Un modelo para el proceso de termoconversión de la biomasa por pirólisis resulta complejo ya que este debe abarcar, por lo menos, tres aspectos; como lo sugieren varios autores (Ranzi, Amaral, & Frassoldati, *Mathematical Modeling of Fast Biomass Pyrolysis and Bio-Oil Formation. Note I: Kinetic Mechanism of Biomass Pyrolysis*, 2017), (Mettler, Vlachos, & Dauenhauer, 2012) y (Ranzi, Corbetta, Manenti, & Pierucci, 2014). Siendo éstos: la reacción de pirólisis de biomasa como tal, las reacciones del biocarbón residual en fase heterogénea (gas-sólido) y, por último, las reacciones en fase gaseosa de los compuestos volátiles.

Si esto fuera poco, un modelo matemático lo suficientemente robusto debería considerar la participación de múltiples compuestos en diferentes fases individualmente y en sistemas heterogéneos a medida que se desarrollan las reacciones, junto con la incorporación de los efectos de los fenómenos de transferencia de materia y calor a nivel de partícula y reactor (Mettler, Vlachos, & Dauenhauer, 2012) y (Ranzi, Corbetta, Manenti, & Pierucci, 2014).

En cuanto al modelaje de la reacción de pirólisis de biomasa, dada la compleja composición de esta, se ha empleado una simplificación al proponer especies químicas de referencia que permitan describir de forma aceptable el proceso de degradación termoquímica. Es por ello, que una de las suposiciones y simplificaciones comunes consiste en la independencia en la degradación a lo largo de las múltiples reacciones en mecanismos de primer orden ramificados (Ranzi, Corbetta, Manenti, & Pierucci, 2014; Miller & Bellan, 1997; Diebold, 1994). Cada uno de los mecanismos propuestos a la fecha se basan en agrupaciones de reacciones específicas para los tres principales componentes de la biomasa: celulosa, hemicelulosa y lignina.

En pocos estudios se han realizado análisis que sugieren reacciones endotérmicas para la producción de compuestos volátiles condensables y exotérmicas para la obtención de biocarbón (Miller & Bellan, 1997; Diebold, 1994). A continuación, se presenta una descripción de las transformaciones de cada especie de referencia empleada durante el desarrollo del modelo de simulación del proceso de pirólisis. Es importante destacar que existen otros modelos, sin embargo; se emplearan los más sencillos y que han mostrado un desempeño aceptable en el desarrollo e investigación del proceso.

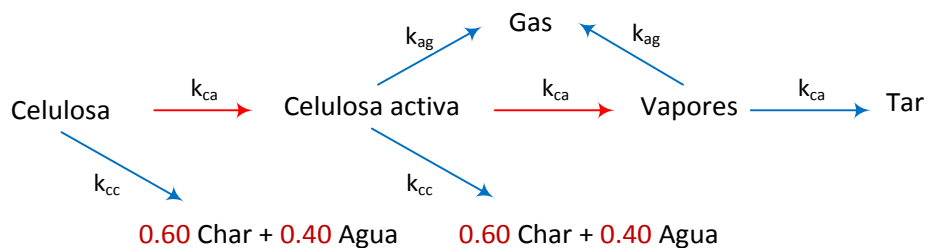
a. **Mecanismo para celulosa.** Los primeros modelos cinéticos globales para el proceso de pirólisis de celulosa fueron desarrollados por Broido y Shafizadeh a principios de la segunda mitad del siglo pasado. En estos modelos, se consideraron reacciones paralelas que daban lugar a la formación de bioaceite, biocarbón y gases no condensables. El principal aporte de este modelo fue la introducción de la formación de un intermediario en la descomposición de la celulosa en cada uno de los productos descritos anteriormente. Este intermediario consiste en la celulosa activa, compuesto que presenta un grado de polimerización menor al de la celulosa.

Diversos estudios han reportado una energía aparente de activación de aproximadamente 47 kcal/mol, valor ampliamente aceptado (Miller & Bellan, 1997; Diebold, 1994). Tanto para la celulosa como hemicelulosa, el proceso de emisión de volátiles es endotérmico (~500 kJ/kg), mientras que la formación de biocarbón es exotérmico (~2000 kJ/kg) (Milosavljevic & Suuberg, 1996).

A continuación, se presenta el mecanismo propuesto por (Diebold, 1994). Este mecanismo de reacción se compone de reacciones de primer orden irreversibles cuyas constantes de velocidad de reacción que responden al modelo de Arrhenius. Algunas de las características a destacar del mecanismo, es la incorporación de dos reacciones que compiten por el consumo de celulosa, una para su deshidratación y otra para la formación del intermediario de menor grado de polimerización. Es importante destacar que la pequeña cantidad de gases subproducto de la deshidratación se consideran en el término del “agua”.

Ahora bien, la celulosa activa puede tomar tres rutas en donde se degradará y volatilizará en vapores primarios, gases secundarios o deshidratará. Finalmente, los vapores primarios pueden dar lugar a gases secundarios o “tar”. Debido a la simplicidad del mecanismo, cualquier gas subproducto y agua formada durante la reacción de los vapores primarios, se consideran en el término del “tar”.

Figura 5. Mecanismo de degradación térmica de celulosa.



Adaptado de: (Thomsen, Hauggaard, Bruun, & Ahrenfeldt, 2011)

Tabla 3. Parámetros cinéticos de reacciones elementales del mecanismo de pirólisis de celulosa.

Reacción	Factor pre exponencial (s^{-1})	Energía de activación (kJ/mol)
Celulosa \rightarrow Celulosa activa (ca)	$2.8 * 10^{19}$	240
Celulosa \rightarrow Char (cc)	$6.7 * 10^5$	110
Celulosa activa \rightarrow Gas (ag)	$3.6 * 10^{11}$	200
Celulosa activa \rightarrow Vapores (av) ⁷	$6.79 * 10^9$	140
Celulosa activa \rightarrow Char (ac)	$1.3 * 10^{10}$	150
Vapores \rightarrow Gas (vg)	$3.6 * 10^{11}$	200
Vapores \rightarrow Tar (vt)	$1.8 * 10^3$	61

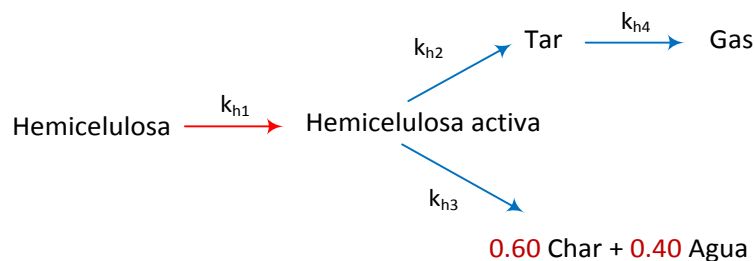
Tomado de: (Diebold, 1994)

b. Mecanismo para hemicelulosa. Como se expuso anteriormente, dicho polímero se caracteriza por componerse principalmente de homopolímeros, xilanos, y heteropolímeros, glucomananos. Todos estos poseen un grado de polimerización promedio menor al de la celulosa, lo que influye en un proceso de degradación más rápido. Se conoce que, en el caso de las maderas suaves, la hemicelulosa resulta menos reactiva que en maderas duras. Esto supone, en el caso de las maderas duras, una liberación significativamente mayor de ácido acético y formación de residuos sólidos – biocarbón Sin embargo, dado que existen pocos estudios sobre pirólisis de hemicelulosa; se ha considerado que tanto la emisión de volátiles como formación de biocarbón poseen entalpías de reacción similares a las de la celulosa (Thomsen, Hauggaard, Bruun, & Ahrenfeldt, 2011).

⁷ Los valores presentados corresponden a una presión de 1 atm y constituye el empleado en el desarrollo del modelo en el software. Sin embargo, en el trabajo presentado por Diebold se presenta uno, específico, para una presión de 1.5 torr donde: $A = 3.2 * 10^{14} s^{-1}$ y $E = 200$ kJ/mol.

El mecanismo empleado en este trabajo, consiste en el presentado por (Miller & Bellan, 1997). En este modelo se caracteriza por considerar los extractivos y/o cenizas como parte de la masa o proporción másica de la hemicelulosa, dado que bajo estas condiciones se reportaron los mejores resultados al comparar con los experimentos empleados en la validación del esquema del mecanismo de reacción.

Figura 6. Mecanismo de degradación térmica de hemicelulosa.



Adaptado de: (Thomsen, Hauggaard, Bruun, & Ahrenfeldt, 2011)

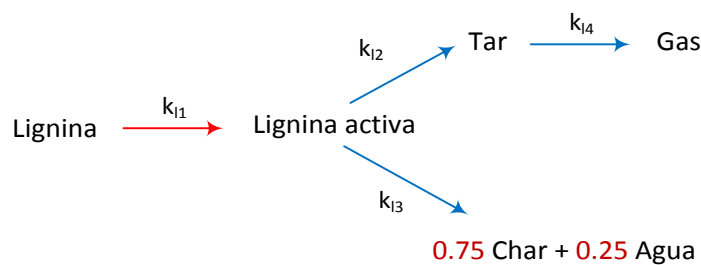
Tabla 4. Parámetros cinéticos de reacciones elementales del mecanismo de pirólisis de hemicelulosa.

Reacción	Factor pre exponencial (s ⁻¹)	Energía de activación (kJ/mol)
Hemicelulosa → Hemicelulosa activa (h1)	2.1 * 10 ¹⁶	186.7
Hemicelulosa activa → Tar (h2)	8.75 * 10 ¹⁵	202.4
Hemicelulosa activa → Char (h3)	2.6 * 10 ¹¹	145.7
Tar → Gas (h4)	4.28 * 10 ⁶	108.0

Tomado de: (Miller & Bellan, 1997)

c. **Mecanismo para lignina.** Finalmente, en el caso de la lignina; Miller y Bellan propusieron un esquema de reacción similar al de la hemicelulosa con variación en la fracción másica de “char” y agua a obtener en las reacciones paralelas de degradación del intermediario activo. Así mismo, se ha determinado que los productos de pirólisis de lignina mantienen su estructura original. Por otro lado, una de las principales características de las reacciones de pirólisis de este compuesto, radica en el amplio rango de temperaturas en el que se presentan; liberando componentes fenólicos, en su mayoría. Dicho rango de temperaturas oscila entre los 550 K y 680 K (Miller & Bellan, 1997).

Figura 7. Mecanismo de degradación de lignina.



Adaptado de: (Thomsen, Hauggaard, Bruun, & Ahrenfeldt, 2011)

Tabla 5. Parámetros cinéticos de reacciones elementales del mecanismo de pirólisis de lignina.

Reacción	Factor pre exponencial (s^{-1})	Energía de activación (kJ/mol)
Lignina \rightarrow Lignina activa (11)	$9.6 * 10^8$	107.6
Lignina activa \rightarrow Tar (12)	$1.5 * 10^9$	143.8
Lignina activa \rightarrow Char (13)	$7.7 * 10^6$	111.4
Tar \rightarrow Gas (14)	$4.28 * 10^6$	108.0

Tomado de: (Miller & Bellan, 1997)

D. REDUCCIÓN DE TAMAÑO DEL ESTÍPITE

El estípite (tronco) de la palma africana tiene características peculiares que provocan que sea el componente con mayor dificultad de aprovechamiento. Los estípites poseen una humedad elevada (mayor a 70%), dureza elevada y textura fibrosa que complica su corte en pedazos de similar tamaño. Dentro de los métodos convenientes para la eliminación y reducción del estípite se destacan las retroexcavadoras y cortadoras. Su objetivo es de proveer maquinarias que permitan el desborde y trituración de material forestal no utilizado, y al mismo tiempo, la estabilización y arado de tierra. A pesar de que las retroexcavadoras remueven y reducen los troncos en corto tiempo, poseen un alto consumo de combustible. Los catálogos mencionan un consumo de 10 a 12 galones de diésel por hora, que resulta en un costo por hectárea de \$2200. El cual es magnificado por el tamaño de las plantaciones de palma que suelen ser de 500 a 1500 hectáreas.

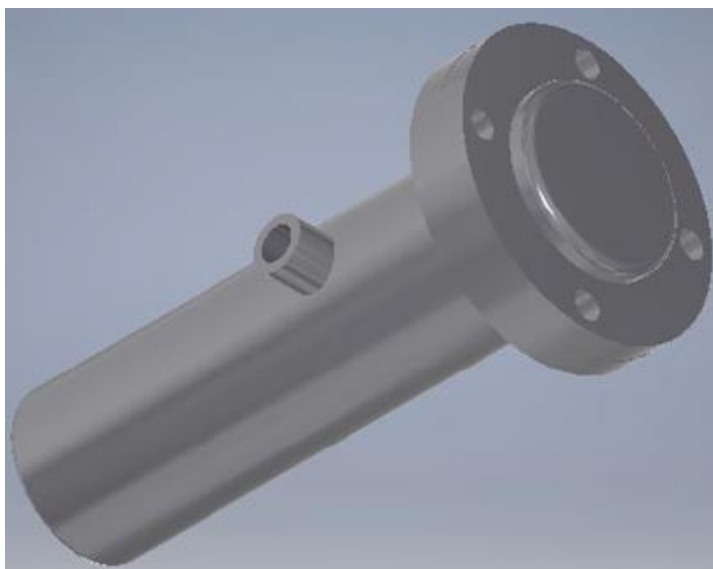
Un método alternativo de eliminación del estípite es con picadoras con cuchillas afiladas. Su implementación ofrece un costo por hectárea menor (\$800/hectárea aproximadamente), aunque poseen la desventaja de que las cuchillas resisten el corte de tres troncos antes de empezar a doblarse y perder filo. Su uso implicaría un cambio constante de cuchillas y mantener una gran cantidad de repuestos que incrementan el costo de operación. Por el otro lado, cuando las cuchillas se encuentran en buen estado proveen un corte homogéneo, obteniendo piezas de similar tamaño.

Finalmente, se implementan las chipeadoras de madera, con la particularidad de que no operan con combustible y no liberan gases de efecto invernadero al ambiente. Esta maquinaria con motores de 22 a 114 HP dependiendo del tamaño y demanda requerido. La mayoría operan bajo una capacidad de trituración de 6 a 10 metros cúbicos por hora, dependiendo en gran parte del tipo de madera. Las chipeadoras producen un tamaño de partícula más fino y homogéneo que facilita su transporte hacia la alimentación de las líneas de producción. Adicionalmente, poseen una mayor versatilidad y movilidad, ocupando una menor área al resto de maquinarias. La principal desventaja implica que los estípites requieren un pre-corte antes de ingresar, esto se debe al peso del estípite húmedo (alrededor de 3 toneladas) podría dañar la alimentación de la chipeadora.

E. REACTOR

Se requiere de un reactor capaz de soportar los 500 °C y dimensiones que no superen las de la apertura de la mufla utilizada (25x33x18cm). Con estos datos se logra obtener un reactor de lecho fijo de acero inoxidable 304 DN 50 de 21cm de largo, uniendo la tapa con una brida DN 50 de 9.5cm de diámetro. Este cuenta con una apertura de 13mm de diámetro con un acople de 1/4" soldado al reactor, que permite que se coloque una chimenea, del mismo material, para el escape de los gases hacia el sistema de condensación. (Brown, 2009)

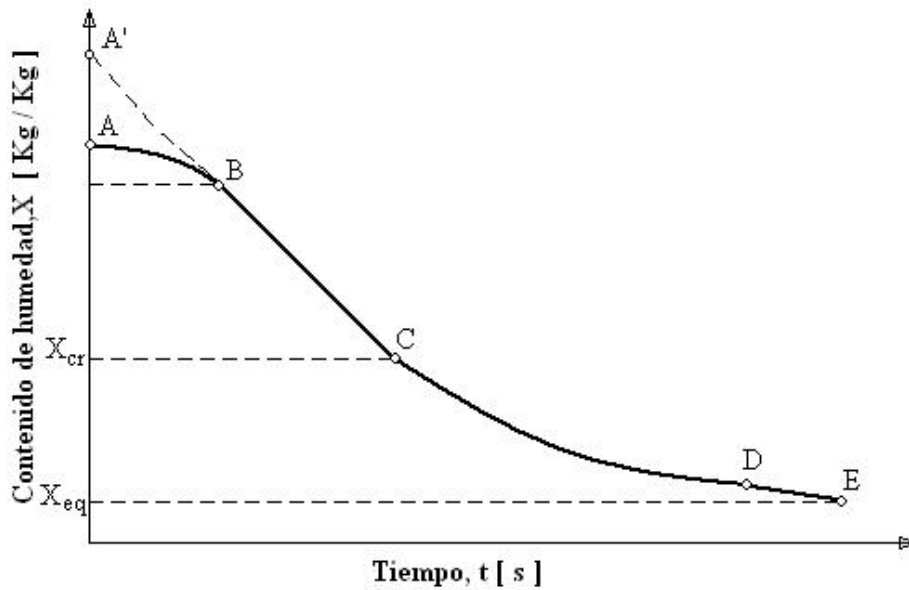
Figura 8. Modelo del reactor empleado en pruebas elaborado en Autodesk Inventor 2016.



F. CURVAS DE SECADO

Determinación de la humedad en función del tiempo; a una temperatura específica. Se utilizan para determinar tamaño de intercambiadores de calor, cantidad de energía en forma de calor que se puede transferir a una sustancia. Hacen referencia a humedades iniciales y límite de humedad que se puede alcanzar. (Costa, 2004)

Figura 9. Curva típica de secado.



Donde:

- AB, es la línea de secado inicial.
- BC, es secado constante
- CDE, es el período de caída de velocidad del secado
- X_{cr}, es la humedad crítica, que representa el límite de la velocidad constante de secado para continuar con menor velocidad.
- X_{eq}, es la humedad mínima que se puede alcanzar, se representa por una asíntota.

Las curvas de secado tienen por objetivo, además de determinar el comportamiento de secado, fijar la humedad crítica de secado. Al pasar el punto "C" el cambio de humedad en el tiempo disminuye hasta hacerse casi constante. Este punto "C" es el punto crítico.

G. PODER CALORÍFICO

Es el calor contenido en las sustancias al ser oxidadas en una reacción de combustión. Determinada en función de masa o volumen. En el laboratorio se determina el poder calorífico en una bomba calorimétrica; que es un sistema que determina el poder calorífico de sustancias sólidas, ampliamente utilizado en la industria de alimentos. La bomba calorimétrica permite tener un sistema cerrado en atmósfera. Se debe conocer la capacidad calorífica del calorímetro, la masa de combustible utilizado y el diferencial de temperatura que ocasiona la combustión de la muestra. La importancia de la determinación del poder calorífico de una muestra es determinar la cantidad de calor que generará si se combustiona. (Rolle, 2005)

Expresa la energía máxima a liberarse una reacción entre un combustible y el comburente. Esta energía varía de acuerdo al combustible que se utilice. Los enlaces que tenga el compuesto a quemar mientras mayor energía tenga entre sí menor van a ser el poder calorífico. De tal caso que los compuestos orgánicos tienen poca atracción molecular entre sí y por ello tienen altos poderes caloríficos. (Rolle, 2005)

La forma en la que se mida el poder calorífico variará la magnitud de la medición.

- Poder calorífico superior (PCS): Cuando la reacción se produce en un sistema aislado. Y el vapor de agua generado se condensa y se contabiliza la energía térmica que tiene este vapor. Este es el mayor de los poderes caloríficos. (Rolle, 2005)
- Poder calorífico inferior (PCI): Cuando la reacción se produce en un sistema abierto. Y el vapor de agua no se contabiliza, entonces este poder calorífico no considera el calor latente del cambio de fase del agua. Este poder calorífico es menor que PCS. (Rolle, 2005)

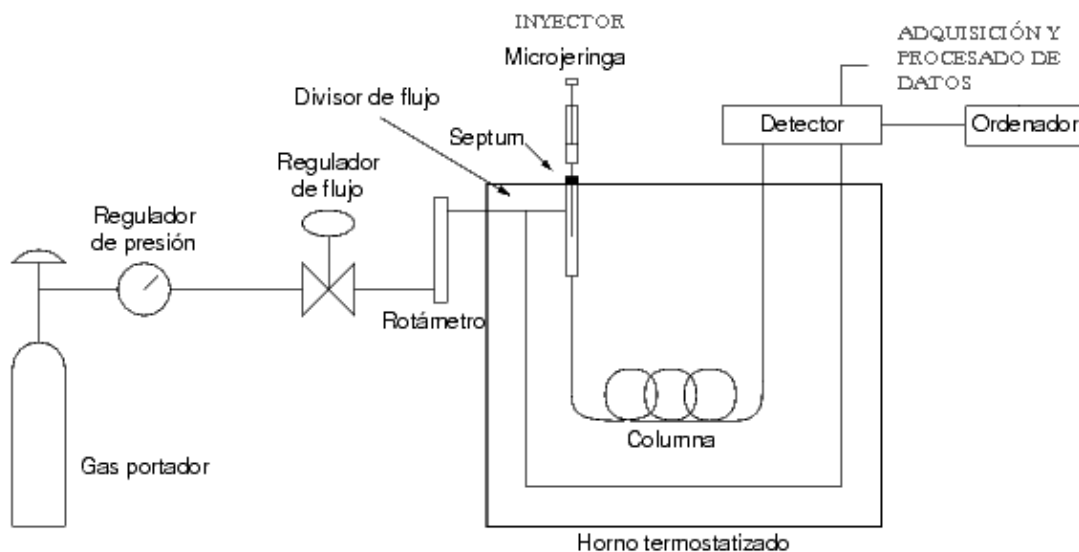
H. CROMATOGRAFÍA DE GASES CON DETECTOR FID Y TCD

La cromatografía de gases es una técnica cromatográfica que incluye la volatilización de la muestra de un volumen específico que es pasada a una columna cromatográfica. Se da una elución de la columna hacia un detector por una fase móvil que es un gas inerte (Nitrógeno, Argón, Helio). En esta cromatografía la fase móvil no interactúa con el analito. Sirve para identificar cuantitativamente la proporción másica de una mezcla de compuestos orgánicos o acuosos. Usada para identificar compuestos desconocidos, cuantificar conocidos y determinar la estructura de moléculas complejas, y sus propiedades físicas.

La cromatografía de gases se divide en gas-líquido y gas-sólido. Si solo se denomina cromatografía de gases se entiende por nomenclatura que es cromatografía gas-líquido. El cromatógrafo de gases tiene tres partes principales: Gas portador con el sistema de inyección de la muestra, la columna que está dentro de un horno y los detectores.

El principio de funcionamiento resulta en que la muestra inyectada al ser volatilizada a una temperatura de 250°C aproximadamente es llevada a la columna cromatográfica que está a una temperatura de 60°C, entonces la muestra líquida se condensa. En el caso de las muestras gaseosas estas no condensan y el tiempo de elusión es menor porque van directo al detector. Las cromatografías de las muestras líquidas duran en promedio 20 minutos. Aumentando la temperatura de la columna con ayuda del horno en proporción de 3 grados Celsius cada minuto. El aumento de temperatura en el tiempo provoca la vaporización de los componentes en la muestra que se ha condensado en la columna y estos empiezan a moverse en la columna hasta el detector con ayuda del gas acarreador. El detector está a una temperatura mayor a 250°C para asegurar que no condensen las muestras en el detector y pueda ser dañado. El detector utiliza un amplificador de señal y un transductor que convierte la señal analógica del detector a una señal digital, proporcionando picos de intensidad como las mostradas en la Figura 12. Donde la altura de cada pico representa la intensidad de la señal y el área de cada pico es la proporción másica del compuesto que fue vaporizado en un tiempo de retención definido (Skoog, 2005).

Figura 10.. Esquema general de un cromatógrafo de gases



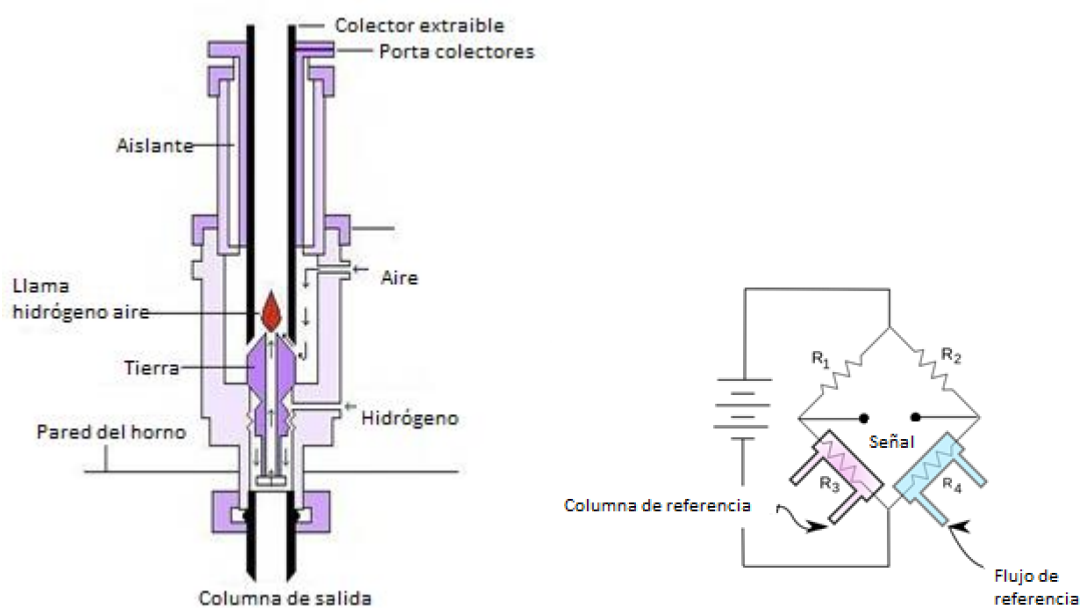
(Harris, 2007)

El cromatógrafo de acuerdo al tipo de columna y detector tiene bibliotecas digitales internas donde compara el tiempo de retención con un compuesto de referencia, como la medición de los tiempos de retención tiene incertidumbre, este genera probabilidades de los posibles compuestos que se muestran en el cromatograma. Se podría decir que el tiempo de retención está en función del punto de ebullición del compuesto que se está mostrando en el cromatograma. (Skoog, 2005)

La forma más simple de romper la estructura de las moléculas es por impacto electrónico; que utiliza vacío y aplica corriente de electrones a la solución vaporizada: Esto genera radicales, iones y moléculas neutras que dan señales de tiempos de retención. No se puede determinar compuestos en mezclas muy complejas por la superposición de los tiempos de retención. (Harris, 2007)

Los detectores FID y TCD son detectores de ionización de llama y de conductividad respectivamente. Para los análisis de fases orgánicas y acuosas se realizaron detecciones sólo en el sensor FID; en la fase gaseosa se utilizaron ambos detectores. (Heftman, 2004)

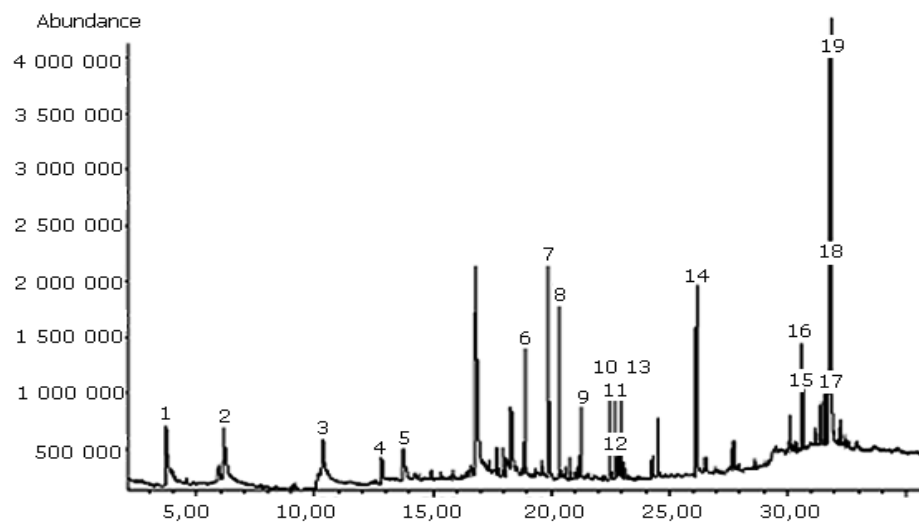
Figura 11. Esquema de detector FID y TCD



*El detector TCD, se coloca antes del detector FID. Sólo para medir la conductividad térmica pero no se suele utilizar con líquidos cuando se tiene una amplia biblioteca.

(Skoog, 2010)

Figura 12. Ejemplo de cromatograma de gases para acetato de etilo



*El espectro anterior muestra el cromatograma de extracto de acetato de etilo (Harris, 2007)

I. ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Método de química analítica para determinar concentraciones de un material en mezclas y elementos. Determinar más de 70 elementos diferentes en soluciones. Se utiliza en farmacia, biofísica e investigación toxicológica. Utiliza generalmente un nebulizador-prequemador donde se crea una niebla de la muestra y un quemador al final que proporciona una llama en función de la longitud de onda del analito que estemos determinando. El principio de funcionamiento se basa en la Ley de Beer-Lambert que define que a la concentración es directamente proporcional a la intensidad de llama que se generará. La cantidad de absorbancia luego de pasar a través de la llama determina la concentración del analito

Si la muestra es orgánica hay que proceder a digestión de una muestra con ácido y temperaturas elevadas para eliminar el material orgánico y dejar sólo los minerales. La absorción atómica a partir de curvas de calibración de intensidad en función de concentración permite determinar la concentración de una muestra desconocida que esté en los límites de detección (superior e inferior). Los monocromadores permiten detectar la señal a una sola longitud de onda, que varía para cada compuesto diferente que se quiera detectar. (Harris, 2007)

J. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Es una medición analítica de la distribución de tamaño de las partículas presentes en una muestra de sólido. Se define el diámetro de las partículas como el diámetro de una esfera. La distribución se hace de acuerdo al tamaño de las partículas y de los tamices utilizados. Estos últimos son estándares de acuerdo al tamaño del espacio entre la trama y urdimbre. En las tamizadoras se colocan 200 g de material sólido y se hace pasar por tamices de diferente tamaño; determinándose la proporción másica de material retenido en cada tamiz utilizado y estableciendo, estadísticamente, el tamaño correspondiente al 80% acumulado de la muestra del sólido analizado.

Tabla 6. Dimensiones de las mallas de acuerdo a la apertura y diámetro del alambre

Mallas	Abertura efectiva, in.	Abertura efectiva, mm	Abertura aproximada, in.	Diámetro del alambre, in.
	1.050	26.67	1	0.148
†	0.883	22.43	1 1/8	0.135
	0.742	18.85		0.135
†	0.624	15.85		0.120
	0.525	13.33		0.105
†	0.441	11.20		0.105
	0.371	9.423		0.092
2 1/2 †	0.312	7.925		0.088
3	0.263	6.680		0.070
3 1/2 †	0.221	5.613		0.065
4	0.185	4.699		0.065
5 †	0.156	3.962	0.044	
6	0.131	3.327	0.036	
7 †	0.110	2.794	0.0328	
8	0.093	2.362	0.032	
9 †	0.078	1.981	0.033	
10	0.065	1.651	0.035	
12 †	0.055	1.397	0.028	
14	0.046	1.168	0.025	
16 †	0.0390	0.991	0.0235	
20	0.0328	0.833	0.0172	
24 †	0.0276	0.701	0.0141	
28	0.0232	0.589	0.0125	
32 †	0.0195	0.495	0.0118	
35	0.0164	0.417	1/32 (Ninguna)	0.0122
42 †	0.0138	0.351		0.0100
48	0.0116	0.295		0.0092
60 †	0.0097	0.246		0.0070
65	0.0082	0.208		0.0072
80 †	0.0069	0.175		0.0056
100	0.0058	0.147		0.0042
115 †	0.0049	0.124		0.0038
150	0.0041	0.104		0.0026
170 †	0.0035	0.088		0.0024
200	0.0029	0.074		0.0021
270	0.0021	0.053		
325	0.0017	0.044		

†Estos tamices se incluyen cuando se desea un intervalo de tamizado más estrecho, completando la serie estándar utilizada habitualmente. Con esta inclusión, la relación de los diámetros de las aberturas entre dos tamices sucesivos es de $1:\sqrt{2}$ en vez de $1:\sqrt{2}$.

(McCabe, 2007)

K. MODELOS Y SIMULACIÓN DE PROCESOS

Los modelos, en palabras de Korn (2007), «...no son más que abstracciones matemáticas de un proceso dado». Dicha abstracción se reduce a la ecuación o conjunto de ecuaciones que permiten describir un proceso dado. Sin embargo, al incrementar la complejidad del proceso, se dificulta la incorporación del efecto de todas las variables en un modelo que se acerque a la realidad. Por lo tanto, se prefieren los modelos simplificados o de orden reducido para agilizar el proceso de cálculo. Con ello en mente, se deben seleccionar los parámetros más significativos para describir el proceso a estudiar.

La simulación, según Kumar (2015:6): «...consiste en el proceso de analizar un proceso como un todo o por partes, empleando un conjunto de ecuaciones que lo describen». Este proceso puede enfocarse desde el diseño de un proceso hasta la optimización del mismo y la evaluación de variaciones en las condiciones de operación. Por lo tanto, los estudios de simulación involucran una gran serie de parámetros y el efecto de estos en los resultados.

Los procedimientos de simulación se pueden clasificar según el tipo de modelo que se emplee. Es así como existen modelos: estacionarios o dinámicos, determinísticos o estocástico, continuos o discretos (Kumar, 2015).

1. **Aplicaciones de la simulación en Ingeniería Química.** En el campo de Ingeniería Química, la simulación juega un papel de suma importancia en las fases de diseño de plantas, operación de plantas, resolución de problemas durante la operación e incluso en el arranque y paro de las mismas (Kumar, 2015). La ventaja que supone el uso de la simulación se origina en el hecho que, dada la complejidad de un proceso, el análisis experimental de una variable a la vez resulta extenuante; mientras que la simulación permite agilizar la obtención de resultados con un determinado grado de incertidumbre respecto a la realidad.

2. **Técnicas de simulación de procesos.** Los procedimientos para la resolución de los modelos de simulación de procesos pueden clasificarse, según la técnica empleada, en: Método orientado en ecuaciones, modular secuencial o modular simultáneo (Rév, 2013).

En el método orientado en ecuaciones se reúnen todas las ecuaciones que describen el comportamiento del sistema y se resuelve por cualquier método matemático. En cualquier caso, se requiere de una estimación para las variables desconocidas como punto de partida en la solución. Sin embargo, su desventaja radica en la identificación y recolección de las ecuaciones necesarias y proveer las estimaciones adecuadas para que converja la solución. En el caso de los procesos complejos muchas de las operaciones unitarias involucradas son difíciles de modelar (Rév, 2013).

En cuanto al método modular secuencial, se emplean modelos basados en secuencias de módulos de entradas y salidas; las cuales se intenta resolver en secuencia según las direcciones de los flujos especificados en un diagrama de bloques del proceso. En este método se parte de un modelo unificador, generalmente un balance de masa y energía; seguido de la solución secuencial de los modelos que describen a grandes rasgos las operaciones involucradas hasta que los valores de los flujos del proceso converjan. Una de sus ventajas radica en un ahorro de tiempo de cálculo cuando no existen flujos de reciclaje dentro del proceso, de lo contrario se debe resolver el o los ciclos como si no lo fueran. Para ello, se eliminan los ciclos empleando la «red de Ariadna». Este término hace referencia a uno de los métodos de resolución de problemas complejos basado en lógica y la recopilación de las opciones tomadas y clasificadas como fallidas, retrocediendo al último punto de éxito dentro de la solución. Debido a ello, la convergencia en procesos con reciclaje puede resultar difícil (Rév, E., 2013).

Finalmente, el método modular simultáneo se basa en la descomposición de cada módulo en sistemas lineales y no lineales. De esta forma, se resuelven por separado donde los módulos no lineales permiten conocer los coeficientes variables del módulo lineal y este a su vez, permite resolver para los flujos desconocidos. En resumen, este método emplea rutinas de linealización sucesiva hasta resolver el modelo general (Rév, E., 2013).

3. **SuperPro Designer®**. Consiste en un software de simulación con interfaz gráfica, que se enfoca a la industria en general, incluyendo módulos para la purificación de agua, tratamiento de aguas residuales y reducción de contaminación del aire, por lo que permite el diseño y evaluación de un proceso, así como la disminución del impacto ambiental del mismo. Cuenta con modelos para 140 operaciones unitarias, incluyendo reactores, así como una base de datos para distintas sustancias y mezclas químicas. Además, permite el dimensionamiento y costeo de los equipos, además del proceso en general (Intelligen, Inc., s.f.).

Este programa se basa en el método modular secuencial por lo que se genera un diagrama de proceso, especificando los compuestos, flujos y operaciones unitarias involucrados, a partir del cual se resuelve según el objetivo del estudio: modelación, evaluación u optimización de un proceso. Sin importar si dicho proceso se desea analizar por lotes o de forma continua. Debido a estas y otras capacidades del programa; más de 350 compañías y 400 centros de estudios cuentan con una licencia activa (Intelligen, Inc., s.f.)

Dentro de las aplicaciones publicadas del programa se pueden mencionar: Diseño y optimización de plantas de farmacéuticos, reciclaje de agua en plantas de fabricación de semiconductores, evaluación técnica y económica de extracción y purificación de bioproductos, diseño de plantas de destilación de bioetanol y biodiésel (Intelligen, Inc., s.f). Además, del diseño de un modelo de pirólisis rápida y lenta de biomasa lignocelulósica (Thomsen, Hauggaard, Bruun, & Ahrenfeldt, 2011)

4. **SIMIO** (Simulation Modeling framework based on Intelligent Objects). Una herramienta única de modelado de paradigmas múltiples que combina la simplicidad de los objetos con la flexibilidad de los procesos para proporcionar una capacidad de modelado rápida sin necesidad de programación.

Simio se puede utilizar para predecir y mejorar el rendimiento de sistemas complejos y dinámicos en salud, militares, aeropuertos, manufactura, cadena de suministro, puertos, minería, lean-six-sigma y otras disciplinas (SIMIO, 2017).

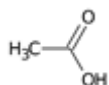
L. PRODUCTOS DE LAS FASES

Tabla 7. Posibles productos obtenidos durante la pirólisis de estúpide de palma africana.

Fase	Productos
Líquida	Acuosa
	• Ácido acético
	• Agua
	• Fenol
	Orgánica
	• Hexano
	• Heptano
	• Acetona
	• Ácido Acético
	• Fenol
Sólida	Char
	• Magnesio
	• Nitrógeno
	• Hierro
	• Sodio
	• Fósforo
Gaseosa	• Carbono
	• Metano
	• Hidrógeno

1. **Ácido acético.** El ácido acético es un líquido incoloro, con olor penetrante e irritante para la piel. Se solidifica a 16.75°C adquiriendo un aspecto similar al hielo por lo que se le conoce como ácido acético glacial al ácido acético anhidro. Una gran parte del ácido acético se utiliza en la industria alimenticia en forma de vinagre (ácido al 80%) que se utiliza para conservar alimentos como verduras, pescado, entre otros. Además, el ácido es utilizado ampliamente en gran número de síntesis orgánicas; por ejemplo: en la obtención de aspirina, colorantes, pesticidas, entre otras. El anhidro acético se emplea también en la industria de colorantes y medicamentos principalmente en la obtención de la acetilcelulosa. (Mayer, 1975)

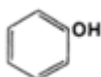
Figura 13. Estructura de ácido acético



Fuente: Google Images

2. **Fenol.** Los fenoles son compuestos hidroxilados aromáticos en los cuales el grupo hidroxilo se encuentra unido al anillo aromático.

Figura 13. Estructura del fenol



Fuente: Google Images

El fenol es bastante ácido presenta una constante de disociación de $K_a = 10^{-10}$. El fenol es una sustancia muy tóxica que ataca los tejidos vivos en virtud de su acción sobre las proteínas. Se le conoce comúnmente como “ácido carbólico”. El fenol fue utilizado en un principio como antiséptico y fue la primera sustancia de aplicación general para operaciones quirúrgicas. Fue ampliamente utilizado como desinfectante de edificios hospitalarios y de su equipo. Pese a que ha sido desplazado de la medicina por otros antisépticos más efectivos de mezclas de fenoles sencillos, aún se utiliza como desinfectante doméstico. Se emplea el término “coeficiente de fenol” que indica la efectividad de las sustancias bactericidas frente a una disolución tipo de fenol. (Geissman, 1974)

3. **Hexano.** El hexano o n-hexano es un hidrocarburo manufacturado del petróleo crudo. El hexano puro es un líquido incoloro con un olor levemente desagradable, altamente inflamable y con vapores explosivos. El hexano es utilizado como solvente para la extracción de aceites vegetales; agentes de limpieza en imprentas, industrias textiles, de muebles y de calzado. Productos como gasolina, pegamento de secado rápido contienen el hidrocarburo. (n-hexano: ATSDR, 2016)

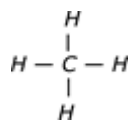
Figura 13. Estructura del hexano



Fuente: Google Images

4. **Metano.** El metano es un compuesto de carbono simple con la fórmula perteneciente a la familia de hidrocarburos. El metano es un gas incoloro e inodoro, su mezcla con aire u oxígeno representa una peligrosa mezcla explosiva. Las fuentes principales de metano son el gas natural y el gas del alumbrado. Su principal característica es su elevado poder calorífico lo que lo convierte en un combustible muy apreciado. (Macy, 2005)

Figura 14.Estructura del metano.



Fuente: Google Images

5. **Sulfuro de hidrógeno.** Es un gas más pesado que el aire, inflamable, incoloro y tóxico, cuyo olor es similar al de la materia orgánica en descomposición similar al huevo podrido. Este es asociado a procesos como las depuradoras de agua, la industria papelera o la producción de biogás. No solo genera problemas en su entorno por el mal olor, sino que adicionalmente también afectan a la maquinaria y a las canalizaciones por su alta corrosividad.

Su toxicidad es parecida a la del cianhídrico. A partir de 50 ppm tiene un efecto narcotizante sobre las células receptoras del olfato y las personas ya no perciben ningún olor. A partir de los 100 ppm se puede producir la muerte. Este es el máximo responsable de todos los problemas de corrosión en obras e instalaciones de saneamiento, canalizaciones en industria papelera o transporte de hidrocarburos.

Para evitar deterioro de los sistemas por absorción y contaminación, es necesaria la extracción del ácido sulfhídrico. Para la eliminación de dicho gas, existe el método de purificación a baja temperatura, de la cual se puede diseñar sistemas de absorción química y sistemas de absorción física. Por absorción física se da la ventaja de selectividad. Es importante mencionar que como todos los gases presentan cierta solubilidad, siempre se producen pérdidas de los gases producto.

El sistema de absorción química utiliza un reactivo alcalino que reacciona químicamente con los gases ácidos. Este consiste en un absorbente, un desorbedor, una bomba de recirculación, un calderín y un condensador. (BINOATURS BIOTECHOLOGIES, 2015)

M. CHAR

El char es el producto sólido obtenido posterior a la pirólisis. Es un residuo carbonoso que puede ser utilizado como combustible, carbón activado o regenerador. El char es rico en nutrientes como potasio, fósforo, carbono, hierro, entre otros, además que posee un alto porcentaje de materia orgánica brindándole características de regenerador. Su poder calorífico es muy similar al del carbón vegetal común pudiendo ser utilizado como combustible.

1. **Enmiendas (regeneradores de suelos).** Se define como enmienda orgánica aquellos productos de origen vegetal o animal cuyo objetivo es mejorar propiedades físicas y su actividad química o biológica. Son materiales capaces de provocar cambios del suelo, por ejemplo: retención de agua, pH, aireación, contenido de materia orgánica y fertilidad del suelo. Entre las enmiendas orgánicas se encuentran: turba de musgo, turba herbácea, compost vegetal o de estiércol y vermicompost. (Arévalo & Castellano, 2009)

2. **Nutrientes para plantas.** Un elemento puede considerarse como esencial si su ausencia hace imposible completar las etapas vegetativas de las plantas o reproductivas en su ciclo vital. Su deficiencia debe ser específica del elemento en cuestión y solo puede ser corregida o evitada por el suministro del mismo. Actualmente se consideran 16 los elementos esenciales para las plantas:

Tabla 8. Función de los macronutrientes y micronutrientes en las plantas.

Nutriente	Elemento	Función
Macronutrientes	1. Carbono	Componente clave de carbohidratos, proteínas, lípidos y aminoácidos.
	2. Hidrógeno	Presente en el metabolismo de la planta, vital en el balance iónico y es un agente reductor en las reacciones de energía a nivel celular.
	3. Oxígeno	Componente presente en todos los compuestos orgánicos.
	4. Fósforo	Compuesto clave en la transferencia de energía y metabolismo de las proteínas.
	5. Nitrógeno	Componente presente en proteínas, aminoácidos y ácidos nucleicos.
Micronutrientes	6. Potasio	Elemento importante en la fotosíntesis, transporte de fotosintatos y reserva de almidones.
	7. Calcio	Elemento presente en la división celular, mantiene integra las membranas. Es clave en la formación y desarrollo del fruto.
	8. Magnesio	Componente central de la molécula de la clorofila e incrementa la producción de azúcares.
	9. Azufre	Transfiere energía a la planta.
	10. Hierro	Permite la formación de proteínas, ayuda en el crecimiento de las raíces y en la transferencia de energía.
	11. Manganeso	Participa en el transporte de electrones, germinación del polen y crecimiento del tubo de polen.
	12. Boro	Participa en el metabolismo de carbohidratos en la síntesis de la pared celular.
	13. Molibdeno	Forma parte de la enzima nitrato reductasa catalizadora de la reducción de nitratos.
	14. Cobre	Necesario para el desarrollo de la planta.
	15. Zinc	Participa en la formación frutos y en el transporte de electrones.
	16. Cloro	Participa en muchas reacciones energéticas de la planta como descomposición de agua en presencia de luz solar; transporte de cationes; reduce efecto de enfermedades causadas por hongos y ayuda en el ajuste osmótico.

(Arévalo & Castellano, 2009)

N. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Previo a definir un segmento de mercado o publicidad del producto es necesario describirlo y definirlo; de esta manera se puede establecer características tales como: el nombre genérico del producto, clase y tipo de producto, atributos principales, grado estimado de pureza, sustituto y propuesta de valor. Estos nos ayudan a comparar el producto actual con otros productos existentes (Lara, 2017).

Un producto es un conjunto de características y atributos (objetivos o subjetivos) que el cliente percibe para satisfacer sus necesidades o gustos. El nombre genérico del producto se aplica a cosas pertenecientes, un conjunto que tiene la mayoría de las características similares. Los productos se pueden clasificar entre bienes y servicios, donde los bienes son aquellos productos tangibles y los servicios son intangibles. Los atributos principales engloban características del desempeño, disponibilidad, seguridad, usabilidad y precio entre otros (Lara, 2017). El grado de pureza define si este se encuentra clasificado cien por ciento como servicio, producto o una mezcla en distinta proporción de ambos. Los productos sustitutos son aquellos productos que compiten en el mismo mercado que nuestro producto pues se conocen por ser capaces de satisfacer la misma necesidad (Sanchez, 2006).

La propuesta de valor es el factor que hace que un cliente se incline por una empresa en vez de otra en busca de solucionar un problema o satisfacer una necesidad; en otras palabras, las ventajas o diferenciadores que una empresa ofrece a los clientes (Osterwalder & Pigneur, 2011)

O. SUBPRODUCTOS

En cualquier proceso industrial, es el producto que se obtiene además del principal y suele ser de menor valor que este. (Real Academia Española, 2001) También se le llama subproducto al residuo de un proceso al cual se le puede sacar una segunda utilidad. Este no es desecho porque no se elimina, y es posible su uso para otro proceso distinto al principal. Es ventajoso encontrar utilidad para los desechos y convertirlos en subproductos útiles pues en vez de pagar el costo de la eliminar el desecho, se crea la posibilidad de obtener un beneficio ya sea económico o ambiental. (La empresa Emgrisa, 2016)

P. SEGMENTO DEL MERCADO

La segmentación del mercado es el proceso que divide el mercado total de un producto en grupos de tamaño reducido que comparten características o gustos. El propósito de la reducción es profundizar en los gustos y adaptar el producto a las características que el mercado demanda (La empresa Emgrisa, 2016).

Q. SISTEMA, PROCESOS Y OPERACIÓN

Un sistema comprende una compleja combinación de recursos (humanos, maquinaria, software, etc) integrados de tal manera que están destinados a suplir cierta necesidad. Hay distintos tipos de sistemas como el natural, elaborado, físico, conceptual, de ciclo abierto y cerrado, estático y dinámico entre otros. Entre las características clave para reconocer al sistema se encuentra que es una combinación compleja de recursos en la que se puede identificar alguna jerarquía externa e interna, puede ser dividido en sub-sistemas y debe tener un propósito. (Jacobs & Chase, 2014)

Un proceso es una secuencia de procedimientos interdependientes y unidos. En cada etapa se consume uno o más recursos para convertir las entradas en salidas. Las salidas sirven como entradas en otras etapas hasta que se obtiene una meta, propósito o resultado final. Existen distintos tipos de procesos según la cantidad de etapas, el objetivo estratégico de la empresa, el objetivo de producción o por la estructura del flujo del proceso. (Jacobs & Chase, 2014)

Las operaciones, también conocidas como actividades, hacen referencia a acciones que se ejecutan con el fin de alcanzar una meta. Sería un error incluir a una operación como si fuera un proceso o procedimiento pues no se encuentran al mismo nivel. Las operaciones se describen a un nivel táctico, mientras que los procesos tienen una orientación estratégica. (Jacobs & Chase, 2014)

R. DIAGRAMAS DE OPERACIONES

Entre las herramientas existentes para el análisis de procesos, se encuentran los diagramas. Estos son una familia de representaciones gráficas relativas a un proceso de índole industrial y administrativo entre otros. Son empleados para visualizar y analizar de manera sistemática la información, de control, comportamiento, datos, procesos o ciclos de trabajo entre otros. Existen variedades de diagramas cuya estructura depende de su objetivo final.

El diagrama de operaciones describe un proceso, sistema o algoritmo informático. Estos se usan para documentar, estudiar, planificar, mejorar y comunicar procesos complejos utilizando diagramas claros y fáciles de comprender. Estos utilizan las distintas formas para representar diferentes tipos de acciones o pasos en un proceso. Las líneas y flechas muestran la secuencia de los pasos y relación entre ellos. Entre la simbología se encuentra el símbolo de inicio/final, acción o proceso, decisión o ramificación, entrada/salida, conector y fusión entre otros.

S. COSTOS DE OPERACIÓN

Los costos de operación son una medida monetaria de cuanto cuenta mantener en funcionamiento un proceso o producción. El costo suele ser medido determinando el tiempo de utilización o funcionamiento con respecto a la cantidad técnica especificada por las maquinas, personas, espacio, o cualquier recursos que se utilice en la producción. (Sosa, 2006) Estos costos se dividen en dos grandes categorías: Costos fijos y Costos Variables

1. **Costos fijos.** Estos costos son los que independientemente de la producción, permanecen siempre iguales. Un ejemplo claro de estos costos suele ser el alquiler de un local.

2. **Costos variables.** Estos como su nombre lo indican varían en función de la producción, si se produce más los costos se diluyen entre cada unidad fabricada, mientras que si se realizan menos unidades con los mismos recursos, los costos aumentan.

3. **Método de prorrateo de costo.** En un proyecto es posible que existan elementos de uso común o que sirva de propósitos múltiples. En dichos casos se requiere realizar un prorrateo de costos. Este busca distribuir los costos de manera proporcional a las economías o beneficios que se derivan de la puesta en marcha de un proyecto conjunto. En otras palabras, la absorción de los costos se establece en proporción a la utilización de las instalaciones comunes, proporcionalidad al uso de la capacidad, o desglose por uso. (Martín, 2004)

Dicho método es comúnmente utilizado para la asignación de costos de áreas administrativas o de procesos que se llevan a cabo simultáneamente en un área de trabajo o maquinaria en común en el cual no es posible cuantificar la cantidad de recursos o costos por actividad o producto.

T. TERCERIZACIÓN

La tercerización de servicios o el outsourcing es una tendencia de los últimos años. Esta técnica permite a las empresas dedicarse de lleno a su especialidad sin ocuparse de los pormenores que suponen tiempo, costos y experiencia.

La idea de este concepto es externalizar las tareas que consuman tiempo y costos de la organización con el fin de siempre mantener el enfoque estratégico original. Entre las ventajas de esta técnica están: mejor rendimiento y calidad de los resultados, además que cuando se terceriza se buscan expertos en el campo para asegurar los resultados de calidad. Otra ventaja es la reducción de los costos, pues por lo general se tercerizan aquellas tareas en las cuales hacerlas internamente representan un costo alto.

Un criterio importante que podría servir para definir si vale o no la pena tercerizar es, ¿esto es parte del enfoque estratégico? Si la respuesta es sí, supondría que forma parte de algo que hace única a la empresa dándole una ventaja competitiva, por lo tanto el fabricante debería asumir esa tarea. Mientras que si la respuesta es no, podría tercerizarse. Es importante aclarar que ser parte es diferente a acompañar, pues los servicios tercerizados únicamente acompañan a la ventaja estratégica. (GSI, 2013)

U. GAS DE SÍNTESIS

Se designa al gas de síntesis a una mezcla de gases en la que predominan el monóxido de carbono, hidrógeno y metano en proporciones variables pero adecuadas para la síntesis especial de productos químicos. Dependiendo del método empleado para la producción del gas, este tendrá proporciones distintas de los gases. Entre sus usos principales se emplea como combustible o como producto intermedio para la producción de otros productos químicos, principalmente para la obtención de metano. (Arpe & Weissermel, 1978)

V. LLAMA

La combustión puede definirse de forma como la reacción química durante la cual se oxida un combustible liberando una gran cantidad de energía que genera calor o luz en forma de llama, donde el oxígeno es generalmente la sustancia comburente. Sin embargo, también es necesario para iniciar la combustión que se lleve a una temperatura arriba del punto de ignición y las proporciones deben estar en el nivel adecuado para el inicio de la combustión.

El fuego es el signo de una reacción de combustión. Sólo los gases pueden arder con llama directamente puesto que solo tienen lugar en la fase gaseosa de un combustible, mientras que la de sólidos se da por llamas o brasas y el líquido requiere que se gasifique. Los factores que influyen en la coloración característica de una llama generada por el proceso de combustión de un hidrocarburo son la temperatura de la llama, exceso de aire, factores dependientes entre sí y la relación entre aire oxígeno. El color de la llama depende de su temperatura ya que es proporcional al calor desprendido y a la cantidad de radiación emitida. La radiación térmica envuelve la transferencia de calor por ondas electromagnéticas confinadas a la “sección” visible del espectro electromagnético. Por lo tanto, la frecuencia de luz emitida por una llama y por tanto el color percibido es proporcional al calor que esta desprende, existiendo así una correlación entre calor y temperatura. Cada combustión genera un color de llama característico, así al quemar el gas natural o gas licuado se obtendrá una tonalidad azul en situaciones cercanas a la estequiometría, llegando a temperaturas aproximadas de 1000°C. (Serrano, 2014)

W. TEORÍA DE RESTRICCIONES DE GOLDRATT

Eliyahu Goldratt y su teoría de restricciones nos pone al alcance fundamentos, metodologías y herramientas que nos permiten, siempre partiendo de nuestra intuición y limitación de entendimiento, llegar a comprender el problema que queremos resolver y encontrar una solución práctica para resolverlo. Nos ha enseñado nuevamente a pensar.

Además de una buena y a veces agradecida presentación de los fundamentos de la Teoría de Restricciones, el autor muestra gráficamente los peligros potenciales de los enfoques tradicionales. Un ingrediente importante de este cambio de perspectiva es el componente “hombre”, que tanto como cliente como trabajador es considerado como factor principal de éxito en la Teoría de Restricciones.

Las preguntas más importantes que un alto directivo se hace y debe responder son las siguientes:

- ¿Cuáles metas tiene mi empresa?
- ¿Cómo hago para alcanzarlas?
- ¿Con qué estrategias y con qué tácticas?
- ¿Cómo me planteo las prioridades correctas?
- ¿Cómo mantengo la perspectiva?
- ¿Cómo puedo proveer la correcta organización en la empresa?

La teoría de Restricciones responde estas preguntas. Lo cual quiere decir específicamente, que es capaz de desarrollar una estrategia exitosa para su empresa (Tech, 2016).

X. MODELO DE VALORIZACIÓN DE ACTIVOS DE CAPITAL (CAPM)

Modelo que describe la relación entre riesgo y rendimiento esperado (requerido); en este modelo, el rendimiento esperado (requerido) de un título es la tasa exenta de riesgos más una prima basada en el riesgo sistemático del título (Van Horne, 2002).

La ecuación:

$$r_i = R_f + [b_i \times (r_m - R_f)] \text{ Ecuación 1}$$

Donde:

r_i , es la rentabilidad requerida de la inversión i , dado su riesgo medido por la beta.

R_f , es la tasa de rentabilidad libre de riesgo; la rentabilidad que se puede obtener de una inversión libre de riesgo.

b_i , es el coeficiente de beta, o índice de riesgo no diversificable, para la inversión.

r_m , es la rentabilidad del mercado, la rentabilidad media de todos los títulos.

(Lawrence, 2005)

V. ANTECEDENTES

A. SITUACIÓN ACTUAL SEGÚN REPORTES DE PLANTACIÓN DE PALMA AFRICANA

Biomasa disponible: 63,015.25 t de estípites al año (Estípites: 3 t)

Proyección: Hasta 2027 (excepto 2026)

No se ha cortado material desde 2010. Uso actual: Recuperación de materia orgánica por descomposición.

50% de la plantación (con problema) en la finca se elimina (200 ha/año); además cuentan con 7 fincas más en el área (3000 ha) y en Petén y Quiché.

B. PROGRESO Y AVANCES DE PROCESOS DE PIRÓLISIS

1. Datos de pirólisis GREEN MACHINE. El proceso de pirólisis. Calentamiento de materia orgánica de 400-500°C produce carbón vegetal. Estar a 500°C separa los gases y aceites de los materiales, denominados químicamente ácidos grasos. Las proporciones de gas, aceite y carbón son variables. El producto sólido producido se emplea como regenerador de suelos, fijando nuevamente carbono al ciclo. (Dorset GM)

2. Revista de biotecnología en el sector agropecuario e industrial. La pirólisis en la fase líquida produce alcoholes, ácidos carboxílicos, alcanos, aromáticos, aldehídos, furanos, cresoles y glicoles. El producto líquido en mayor proporción es de 14.9% m/m. Actualmente en el proceso de pirólisis el producto líquido se utiliza en calderas, hornos, turbinas y motores para la generación de calor, electricidad y/o vapor, aunque no se obtiene diferente poder calorífico debido a que los reactores utilizados son a escala laboratorio y planta piloto el material utilizado es particulado, triturado y secado antes de darle tratamiento térmico. (DURAN, 2011)

Los autores de pirólisis categorizan los gases como no condensables compuestos de monóxido de carbono (CO) dióxido de carbono (CO₂). Los gases se han analizado por cromatografía de gases pero debido a la falta de bibliotecas internas para los tiempos de retención no se cuantifican. Para los análisis realizados de cromatografía de gases los investigadores señalan el uso de Cromatógrafo de gases con detectores FID y TCD, equipado con dos columnas: HP Plot Q, de 15 metros y HP Molsieve de 30 m. En pequeñas proporciones másicas se ha determinado Helio y Metano. (DURAN, 2011)

3. Universidad Nacional de Colombia. Estudios realizados desde 1950 intentan asociar la degradación térmica de la biomasa en su estado original con la degradación térmica de los componentes, hemicelulosa, celulosa y lignina. Pero en la pirólisis estos compuestos rompen y se modifican parcialmente su estructura. Además de la dificultad de analizar las cenizas, por eso no se pueden determinar una función de los productos de pirólisis y se debe de hacer investigaciones para cada especie vegetal o desecho orgánico a tratar. (Kassel, 2008)

Los análisis realizados para la cuantificación de los compuestos líquidos y gaseosos son cromatografía de gases y espectroscopía de masas.

Tabla 9. Resultado de la caracterización de diferentes tipos de biomasa al aplicar pirólisis

	Análisis elemental / %				Análisis próximo / %			Poder calorífico /MJ/kg	
	C_{waf}	H_{waf}	N_{waf}	O_{waf}^1	w	F_{waf}	a_{wf}	$H_{o,wf}^2$	$H_{u,wf}^2$
Cuesco	52,8	5,7	<1	40,5	11,2	79	1,4	22,2 ³	21,1 ³
Fibra	48,7	6,3	<1	44,4	5,2	79	5,2	18,4	17,1
Almendra	62,5	8,8	2,1	26,6	6,5	93	1,7	28,7	26,8
Afrecho (palma)	59,6	5,5	2,4	42,5	10,5	81	3,5	18,5	17,3
Cascarilla de café	50,3	5,3	<1	43,8	10,1	82	1,2	18,7	17,5
Bagazo	53,1	4,7	<1	41,7	15,0	87	8,1	17,9	16,9
Madera de haya	48,9	0,5	<1	45,4	5,53	90	0,39	18,3	17,1

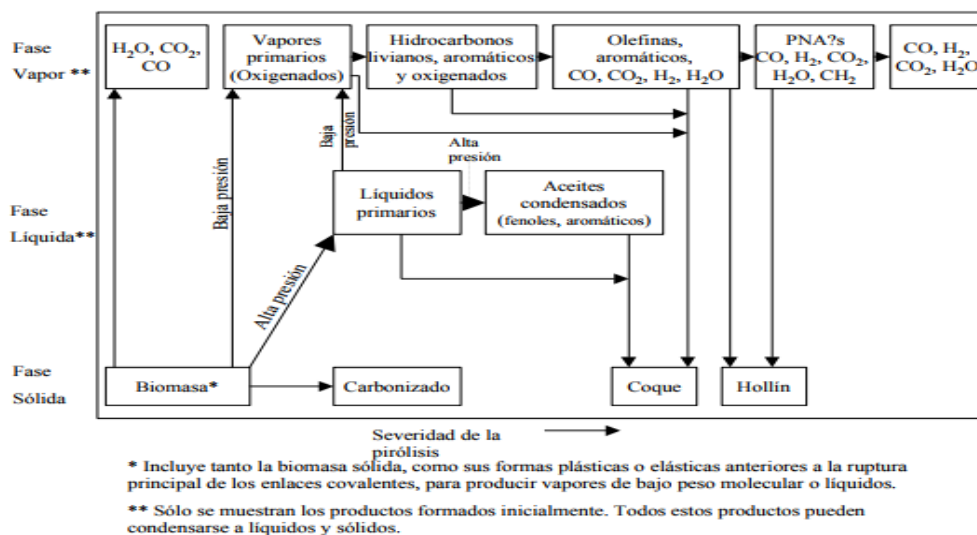
¹ Valor calculado por diferencia

² Valores correlación Boie Ec. 3-1

³ Valor experimental

(Kassel, 2008)

Figura 15. Secuencia de reacción durante la pirólisis de biomasa



(Kassel, 2008)

C. APLICACIONES DE BIOCARBÓN COMO MEJORADOR DE LA CALIDAD DEL SUELO.

En el año 2010 Cenipalma en cooperación con Unipalma S.A. y con financiamiento del Fondo de Fomento Palmero publicó el artículo científico titulado: «Biocarbón de estípites de palma de aceite: una alternativa para el aprovechamiento de la biomasa y el mejoramiento de la calidad del suelo en fase de renovación»; elaborado por Edna Margarita Garzón MSc.

Este estudio se enfoca en la investigación de una forma apropiada para el manejo de la biomasa, haciendo uso de tasas de descomposición y liberación de nutrientes; evaluando el potencial agronómico del biocarbón obtenido a partir de estípites de palma de aceite en fase de renovación, en la plantación Unipalma S.A. La primera fase del estudio consistió en cuantificar la biomasa utilizable para el biocarbón, la reserva de nutrientes almacenada en los estípites en fase de renovación y evaluar la conversión de esta biomasa en biocarbón por dos métodos artesanales de pirólisis. La segunda fase fue la generación de biocarbón a partir de los estípites, caracterizarlo física y químicamente, cuantificar sus nutrientes y evaluar las dosis crecientes en el suelo. La tercera fase de la investigación fue la aplicación del biocarbón de estípites en el suelo donde se cultivan grandes extensiones de palma. En la aplicación del biocarbón se comparó un suelo sin biocarbón y suelos con tres dosis de 7.5, 15 y 30 toneladas por hectárea.

La caracterización y almacenamiento de nutrientes de los estípites de palma que obtuvieron se presenta en las siguientes tablas.

Tabla 10. Caracterización química del estípites de palma de aceite.

Tabla 3. Resultados de la caracterización química del estípites								
Sección	Muestras	Elementos (%)						
		C.O	N	P	K	Ca	Mg	S
Alta	13	47,98	0,9	0,12	1,47	0,24	0,15	0,15 a
Medía	13	49,31	0,69	0,08	1,28	0,25	0,24	0,09 a
Baja	13	49,50	0,84	0,08	1,28	0,20	0,23	0,08 b
Promedio		48,93	0,81	0,09	1,34	0,23	0,21	0,11
Min		45,46	0,37	0,01	0,40	0,10	0,06	0,05
Max		53,99	2,23	0,25	2,84	0,49	0,41	0,20

Muestras	Elementos (%)					
	C.O	N	P	K	Ca	Mg
Trozos de pino	57,1	0,10	0,01	0,06	0,08	0,02
Malasia- Tusas o raquis*		0,80	0,10	2,40	0,18	0,18
Colombia- Tusas o raquis**		0,73	0,21	1,70	0,21	0,21

(Tomado de: Garzón, 2010)

Tabla 11. Almacenamiento de varios elementos en estípites de palma africana.

Tabla 4. Almacenamiento varios elementos			
Elemento	Almacenamiento (kg ha ⁻¹)		
	Mínimo	Máximo	Media
N	232,7	1402,7	509,5
P	6,3	157,3	58,7
K	251,6	1788,4	840,8
Ca	62,9	289,3	144,7
Mg	37,7	257,9	130,0
S	31,5	125,8	67,1
B	0,1	1,1	0,5
Fe	3,6	134,2	16,3
Cu	0,0	3,9	0,4
Mn	2,3	11,7	7,3
Zn	0,01	4,5	1,4
Cl	232,7	1138,5	492,3

(Tomado de: Garzón, 2010)

En el análisis de resultados se determinó que el método de la pila es más eficiente que el método de la fosa para la generación de biocarbón. Con el método de la pila lograron una conversión del 51.6%, estimando producir 32.5 toneladas de biocarbón por hectárea. El carbón obtenido sale en forma de trozos gruesos que deben ser triturados para una mejor aplicación en el suelo. Para la trituración utilizaron un rodillo de aproximadamente un peso una tonelada. Los datos de la tasa de conversión se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 12. Tasas de conversión por el método de pila.

Tabla 6. Tasa de conversión. Método de la pila								
Ensayo	Humedad %	Cobertura	Materia Prima (kg)		Productos (kg)			Conversión (%)
			Estípite (en húmedo)	Estípite (en seco)	Biocarbón	Trozos parcialmente carbonizados	Cenizas	
4	36,2	Pasto, Fibra	400	256	98	20	5	38,2
5	47,3	Pasto, Fibra	400	211	107	2	3	50,5
6	55,9	Pasto, Fibra	400	176	91	9	2	51,6

(Tomado de: Garzón, 2010)

Los resultados de la caracterización del biocarbón se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 13. Caracterización química del biocarbón y comparación con otras materias primas.

Tabla 7. Caracterización química del biocarbón							
Muestras	Elementos (%)						
	C	N	P	K	Ca	Mg	S
Palma de aceite	72,39	0,83	0,14	1,47	0,4	0,28	0,17
Trozos de pino	73,9	0,26	0,02	0,145	0,171	0,06	0,001
Cáscaras de maní	73,2	2,43	0,18	1,52	0,46	0,22	0,056
Cáscara de coco	92,3	0,47				0,04	
Cáscara de arroz	52,6	0,57				0,06	

(Tomado de: Garzón, 2010)

En el estudio se comparó las propiedades del estípite y del biocarbón, determinar que el proceso de pirólisis conlleva a una concentración de elementos como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, entre otros. La comparación se presenta la siguiente figura.

Figura 16. Concentración de nutrientes en estípites vs biocarbón.

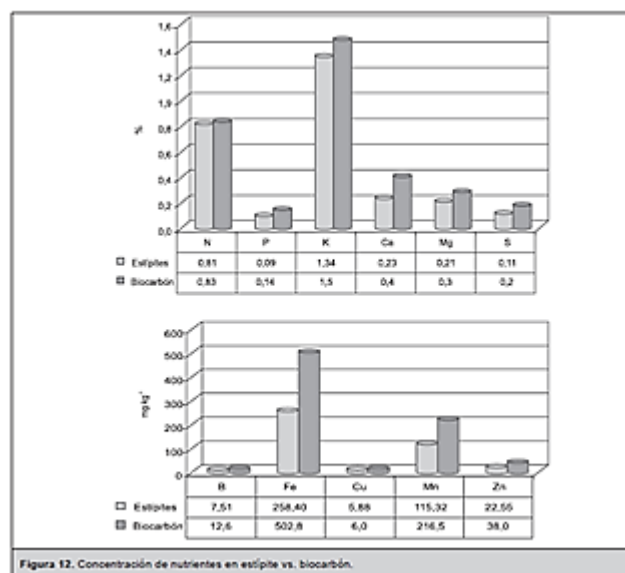


Figura 12. Concentración de nutrientes en estípite vs. biocarbón.

(Tomado de: Garzón, 2010)

En la tercera fase los mejores resultados se obtuvieron con dosis de 30 toneladas de biocarbón por hectárea. Hubo un aumento significativo en el suelo luego de seis meses el potasio y fósforo disponible y una disminución de la acidez y aluminio intercambiable de 0.7 mEq por 100 g a 0.1 mEq. Los efectos de las dosis en el tiempo se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 14. Efecto del biocarbón según dosis.

Tabla 9. Efecto según diversas dosis								
Dosis Biocarbón (t ha ⁻¹)	Ca (cmol (+) kg ⁻¹)		Mg (cmol (+) kg ⁻¹)		K cmol (+) kg ⁻¹		P (mg kg ⁻¹)	
	Mes 3	Mes 6	Mes 3	Mes 6	Mes 3	Mes 6	Mes 3	Mes 6
0	0,99	1,03	1,3	1,33	0,18	0,17	14,5	14,9
7,5	1,03	1,04	1,32	1,43	0,39	0,27	22,7	18,5
15	1,05	1,12	1,37	1,44	0,53	0,36	22,3	17,6
30	1,02	1,23	1,37	1,61	0,57	0,57	27,8	23,7

(Tomado de: Garzón, 2010)

En 1998 la facultad de ingeniería de la Universidad Tecnológica de Malasia se publicó el estudio científico titulado: «Pyrolytic oil from fluidised bed pyrolysis of oil palm shell and its characterisation»; realizado por los ingenieros Mohammad Nurul Islama, Ramlan Zailanib y Farid Nasir An.

Las pruebas de pirólisis planteadas en el estudio anterior se hicieron con un reactor de lecho fluidizado a nivel laboratorio, con lo cual se estudiaron los efectos de las condiciones del proceso sobre los rendimientos de los productos y la composición de los líquidos formados. Para el análisis de los líquidos, se realizó espectrometría infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR) y técnicas de cromatografía de gases, con las cuales se obtuvo la siguiente composición:

Tabla 15. Identificación y cuantificación química de los compuestos obtenidos en los líquidos de pirólisis de biomasa, según el estudio realizado en Malasia.

Identificación de compuestos químicos	Cantidad en líquidos de pirólisis (% m/m)
2-Metil propano	0.524
Ácido acético	16.9
3-Hidroxi 2-propanona	7.78
2- Metil pentil éter	0.838
Butanodial	2.13
2 n – acetato de alilo	4.73
2-Furanal aldehído	4.41
2-Butanona	0.837
Crotonato de metilo	2.69
Ciclopentanona	1.34
Fenol	28.3
3-Metil ciclopentanodiona	1.38
2-Metil fenol	0.79
2- Metoxi fenol	4.82
4-Metil 2-metoxi fenol	2.02
Orto-hidroxi fenol	2.16
4- Etil 2- metoxifenol	1.09
2,6 - Dimetoxifenol	2.75
4- Propeno 2-metoxi fenol	1.36

(Nurul Islam, Zailani, & Farid, 1998) *Adaptada por autores.

Luego de este y otros análisis, el estudio concluye que los líquidos de pirólisis bajo el modelo de lecho fluidizado se maximizan a la temperatura de 500°C y a la humedad de 53%.

Por otro lado, el análisis detallado del aceite mostró que contenía una alta concentración de compuestos fenólicos y ácido acético junto con una pequeña concentración de parafina sin HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos). Por lo que se concluyó que el aceite obtenido no representa peligro para la salud.

Ahora bien, con el fin de investigar el potencial económico de los líquidos de pirólisis para lo cual se investigó otros líquidos de pirólisis de biomasa, más específicamente los obtenidos por la madera. Estos líquidos son conocidos como ácido piroleñoso o vinagre de madera.

En 2003 Sayra Navas Catedrática en la escuela de química del Instituto Tecnológico de Costa Rica, realizó una publicación en la revista científica *Tecnología en Marcha*, titulado: «Evaluación fungicida y antitermítica preliminar del líquido piroleñoso». Este estudio evaluó el uso potencial del líquido piroleñoso, que se produce como subproducto de la carbonización en la madera.

La autora menciona que, gracias al Plan Nacional de Energía, en Costa Rica se ha estimulado la producción de carbón mineral. Por lo cual, existe una fuente importante de líquido piroleñoso, rico en compuestos químicos, que no se aprovecha. La autora también menciona la dificultad de separar los compuestos destacados y su alto costo, por lo que el estudio se realiza con líquidos piroleñosos tal y como se obtienen luego de la carbonización de madera. Se recalca al inicio que el líquido empleado en el estudio, es un producto comercial que se vende como preservante en la zona norte de Costa Rica. (Navas, 2003)

Entre los resultados obtenidos en este estudio se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 16. Resultados de investigación científica en Costa Rica de propiedad fungicida del líquido piroleñoso.

Cuadro 6 Desarrollo de cuatro hongos pudridores de madera en cajas de Petri utilizando diferentes concentraciones de líquido piroleñoso por seis semanas.												
Hongo	Concentración del líquido piroleñoso (%v/v)											
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	10,0	15,0
<i>Coryolopsis polizona</i>	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Fomitella supina</i>	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pycnoporus sanguineus</i>	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
<i>Trametes villosa</i>	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-

(+) = Hubo crecimiento del hongo a partir de la segunda o tercera semana aproximadamente, después de sembrado el hongo.
 (-) = No hubo crecimiento del hongo al cabo de seis semanas.

(Navas, 2003)

Finalmente, en el estudio se concluye y demuestra que el líquido piroleñoso obtenido de la carbonización de madera, tiene las propiedades necesarias para hacer frente a los hongos pudridores de madera. Además que abalar su función para combatir las termitas y otros insectos.

Por otro lado, un poco más reciente (2009), El Sector Agrícola de Costa Rica realizó un reporte de los beneficios del vinagre de madera entre los cuales se destaca su uso como mejorador de suelos, fertilizante foliar, fungicida e insecticida, entre otros. El reporte detalla que estos ácidos están integrados por 80-90% agua, 5% ácido acético y muchos compuesto orgánicos como el metanol y fenoles que funcionan como plaguicidas, además de acetales, cetonas, ácido fórmico y ácido valérico, que acelera la germinación y ayuda al desarrollo de los microorganismos que mejoran el suelo y la calidad del abono orgánico. (Alvarez Bonilla & Hira, 2009)

VI. METODOLOGÍA

A continuación, se presentan las etapas de desarrollo del presente estudio junto con los métodos ejecutados respectivamente.

A. PRUEBAS A ESCALA LABORATORIO DE PIRÓLISIS DE ESTÍPITE DE PALMA AFRICANA

1. Investigación sobre la pirólisis de biomasa

1. Se investigó sobre la pirólisis de residuos como los restos de la cosecha de trigo, maderas y arroz, al igual que otros residuos industriales como plásticos, llantas, bolsas de frituras y polímeros.
2. Utilizando estos artículos, se identificó las principales similitudes entre los procesos, con ellas se arma una propuesta del sistema para la obtención del producto sólido, líquido y gaseoso.

2. Reconocimiento de la problemática principal

1. Se realizó una visita a la plantación para determinar las condiciones actuales del manejo de la biomasa, en la que se identificó que tienen una producción anual de estípites al que no se le da tratamiento.
2. Se entrevistó al ingeniero agrónomo encargado de la plantación para establecer las posibles soluciones de esta biomasa.
3. Se propuso la pirólisis como una opción para el tratamiento del estípites, llegando a un acuerdo que se desea tratar y eliminar el mismo de la plantación.

3. Obtención de muestra de estípites y corte

1. Se solicitó muestras de 5 kg de estípites de palma africana.
2. Se cortó el estípites en trozos de aproximadamente 2 x 2 x 2 cm (Figura 17), usando machete y posteriormente, los trozos obtenidos se alimentaron a una chipeadora para madera, para reducir el tamaño de partícula.

4. Componentes principales del sistema a escala laboratorio

1. Se armó un sistema de pirólisis lenta de acuerdo a la Figura 23 que cuenta con: un equipo de calentamiento de la biomasa (mufla), un sistema de condensación y un medio de escape de gases. Para esto se utilizó la cristalería y equipo disponible del laboratorio de la Universidad y fue necesario montar el sistema dentro de una campana de extracción, para evitar la fuga de gases producidos.

2. Para el sistema de calentamiento se usó una mufla, con la que se incrementó la temperatura hasta 1,100 °C.
3. Se utilizó un kit de destilación, para armar el sistema de condensación. Este se formó con el condensador, los adaptadores y el sistema de circulación de agua de enfriamiento, para obtener el líquido.
4. La recolección de gases se realizó en Erlenmeyer conectado por mangueras de látex y con otra manguera que permite liberar los gases a los alrededores del sistema.

5. Obtención del reactor de pirólisis

1. Se realizó un modelo de un reactor cilíndrico de acero inoxidable, utilizando Autodesk Inventor, con diámetro de 9.5cm para soportar más de 500°C. Este debe estar cerrado herméticamente, por lo que se propuso usar una brida pernada.
2. Se esquematizó una chimenea ajustándola al orificio de salida en la parte superior de la mufla para permitir el escape de los gases condensables y no condensables, que posee dimensiones de 13cm de largo y 13mm de diámetro.
3. Se cotizó una lámina de grafito laminado para que actué como empaque del reactor y grasa niquelada para proteger las partes roscadas del reactor y chimenea.
4. Se contactó a una empresa nacional que donó los recursos necesarios incluyendo las láminas de acero inoxidable, brida y equipo de soldadura. Esta empresa entregó el reactor ya fabricado, siguiendo las especificaciones del modelo hecho en Autodesk Inventor y el esquema de la chimenea.

6. Pruebas a escala laboratorio

1. Se enlistó los materiales necesarios para las pruebas a escala laboratorio encontrados en la sección de Materiales Requeridos y se buscó un laboratorio dentro de la universidad con los servicios de agua y campana de extracción disponible.
2. Se escribió una guía para el licenciado encargado de los laboratorios, detallando el proceso y procedimiento que se llevó a cabo la cual se encuentra en la sección de Descripción del Sistema de Pirólisis, donde también se detalla el día de la realización de la prueba.
3. Se montó el sistema descrito en la parte de Descripción del Sistema de Laboratorio, en el laboratorio autorizado.
4. Se realizaron siete repeticiones de la pirólisis, con el fin de identificar las modificaciones principales para obtener un sistema confiable y que proporcione los productos esperados.

7. Separación de cada fase

1. La fase sólida se mantuvo en la mufla hasta llevarla a temperatura ambiente (25°C) y al alcanzar esta temperatura, se cuantificó su masa con una balanza digital.
2. Se utilizó la misma balanza, la tara de los balones y una pipeta con bulbo para separar cada una de las fracciones de la fase líquida.
3. El sistema de recolección de gases no funcionó como se esperaba, por lo que estos se liberaron al ambiente y se estimaron utilizando las ecuaciones en la sección de Balance de Masa (Ecuación 1).

8. Modificaciones del sistema

1. Se utilizó una mufla de mayor capacidad de calentamiento para permitir que el contenido interno del estípito fuera evaporado y eliminado de la fase sólida.
2. Se comprobó que el sistema requiere de una campana de extracción de gases ya que cuando se trasladó a un laboratorio sin este equipo, se generaron olores poco agradables para el resto de personas.
3. Se utilizó un diferencial de altura, como se observa en la Figura 31 para realizar la alimentación del agua de enfriamiento debido a que no se poseía la bomba de pecera para las últimas pruebas.

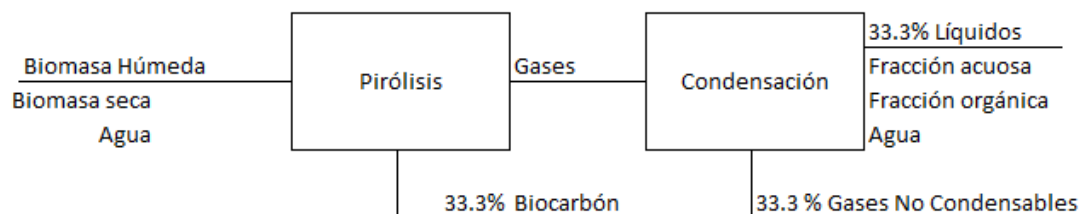
9. Rendimiento de cada fase

1. Se utilizaron los datos de cada fase y el balance de masa para calcular el rendimiento de cada una de estas, siempre en relación a la masa seca inicial de estípito ingresada al reactor.

10. Poder calorífico del carbón

1. Se utilizó un mortero para triturar el carbón obtenido, que se utilizó para hacer una pastilla de 1g usando una prensa.
2. La pastilla se insertó en una bomba calorimétrica que despliega el comportamiento de la temperatura dentro de la bomba, identificando el momento en que la pastilla combustionó.
3. Se calculó el poder calorífico conociendo que el calor ganado por el agua fue el mismo al calor perdido por la pastilla de carbón, siempre tomando en cuenta que es el calor para 1g de muestra.

11. Balance de masa



Ecuaciones del balance:

$$m_{BH} = m_C + m_L + m_G \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$0.33 m_{BH} = m_C = m_L = m_G \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$m_{BS} = m_{BH}(1 - \%HR) \quad (\text{Ecuación 4})$$

Rendimientos en base seca:

$$\text{Fase sólida: } \%R = \left(\frac{m_C}{m_{BS}} \right) * 100\% \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$\text{Fase líquida: } \%R = \left(\frac{m_L(1-\%HR)}{m_{BS}} \right) * 100\% \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$\text{Fase gaseosa: } \%R = \left(\frac{m_{BS} - m_L(1-\%HR) - m_C}{m_{BS}} \right) * 100\% \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

m_{BH} = masa de la biomasa húmeda

m_C = masa del carbón de la fase sólida

m_L = masa de la fase líquida

m_G = masa de los gases no condensables

m_{BS} = masa de la biomasa seca

$\%HR$ = humedad de la biomasa

12. Balance de energía

$$E_{BS} + E_{Abs} = E_P + E_{Lib} \text{ (Ecuación 8)}$$

$$E_{Abs} = W_M t \text{ (Ecuación 9)}$$

$$E_{Lib} = \dot{m}C_{p_{Agua}}(T_{Sal} - T_{Ent}) \text{ (Ecuación 10)}$$

Donde:

E_{BS} = Poder calorífico superior de la biomasa

E_{Abs} = Calor absorbido para realizar la reacción

E_P = Energía de la fase sólida, líquida y gaseosa

E_{Lib} = Calor removido o liberado por el sistema de condensación

W_M = Potencia de la mufla

t = Tiempo que se mantiene encendida la mufla

\dot{m} = Flujo másico del agua

$C_{p_{Agua}}$ = Capacidad calorífica del agua de enfriamiento

T_{Sal} = Temperatura de salida del agua de enfriamiento

T_{Ent} = Temperatura de entrada del agua de enfriamiento

13. Equipo y materiales requeridos

- Reactor de pirólisis de lecho fijo (Para detalles ver Anexo Tabla 106)
- Mufla Thermo Scientific F48025-60-80/ F6030CM-33-AVL (Para detalles ver Anexo Tabla 104 y 105)
- 2 Condensadores de vidrio 24/40
- 2 Beakers de 2L
- 2 Balones de fondo redondo de 500mL 24/40
- 2 Adaptadores de vacío 24/40 (kit de destilación)
- 2 Adaptadores de vidrio 24/40 (kit de destilación)
- 2 Tapones de vidrio
- 2 Bolsas de hielo de 0.5kg
- 6 Mangueras de látex
- 2 Soportes universales
- 4 Pinzas de tres dedos
- Globos de Mylar® laminados
- Pipeta de 10mL con bulbo
- Bomba de agua de pecera de 120W

- Tubos de ensayo con tapón de rosca
- Tapones de hule #4 con perforación
- Vaselina
- Uniones plásticas de kit de destilación (Clamps)

a. Descripción del sistema de laboratorio para la prueba 1. Inicialmente, se alimentó la mayor cantidad posible de estípites triturados al reactor, el cual tiene una capacidad de 110g cuando se trata con estípites húmedos. La reducción de tamaño se realizó utilizando machetes para obtener cubos con dimensiones de 2x2x2cm, como se observa en la Figura 17. Para facilitar el pre corte del estípites, se recomienda que la hoja afilada corte paralelo a la fibra de la palma, esto permitió que no se realizara un exceso de esfuerzo durante el corte y disminuye el desgaste del elemento cortante.

Tras el corte inicial, se alimentó la biomasa a una chipeadora de madera, reduciendo el tamaño de partícula hasta obtener la apariencia en la Figura 18. Se terminó el armado del reactor al colocar su empaque de grafito y tapadera (brida), entre estos se colocan los pernos aplicándole una capa fina de grasa niquelada. Una vez cerrado el reactor, se aseguró su cierre hermético colocando roscas de seguridad y apretándolas con llaves inglesas. El reactor, sin chimenea, se insertó dentro de la mufla, junto con una tuerca en la parte trasera que permite enderezar el reactor. El agujero de salida de gases se alineó con el orificio en la parte superior de la mufla, colocando la chimenea a través de ambas aperturas y enroscando hasta asegurar su acople al reactor. Adicionalmente, se aseguró que la chimenea tuviera una dirección de salida que envié los gases hacia el sistema de condensación (no se enrosca completamente), como se observa en la Figura 19 y 20. La mufla (modelo F48025) se calienta hasta 500°C a una tasa de 9.99°C según la Sección de Anexos: Figuras 83 a 86. A la chimenea se le cubrió con un aislamiento de fibra de vidrio de 3 centímetros, impidiendo que los gases se condensaran dentro de la chimenea y regresaran al reactor.

Figura 17. Pre corte del estípites utilizando machetes.



Figura 18. Reactor lleno con la muestra de estípite cortado por la chipeadora.



Figura 19. Disposición de espacio dentro de la mufla.



Figura 20. Detalle de ubicación de chimenea en orificio superior de la mufla.



La chimenea y primer condensador fueron unidos con mangueras de látex, donde el material se enfrió y condensó en balones de 500 mL, donde se obtuvo la fase líquida con ambas fracciones, utilizando dos kit de destilación como el de la Figura 21. Para asegurar una mayor obtención de la fase líquida, se coloca un segundo condensador con agua del chorro a 17 °C y 0.0556 kg/s, se colocaron mangueras de látex para el ingreso y salida del agua de enfriamiento, que sigue la configuración descrita en la Figura 22. Las uniones entre ambos condensadores se realizan colocando adaptadores de vacío con conexión de mangueras, al final del segundo condensador se coloca una conexión tipo “Y” para la evacuación de los gases no condensables. Al primer sistema de condensación se le alimentó un flujo de agua de enfriamiento a 4 °C.

La alimentación se realizó utilizando un reservorio de agua con 0.5 kg de hielo, donde se sumergió una bomba de pecera de 120 W que ingresa un flujo de 0.0258 kg/s de agua fría. Adicionalmente, se colocaron beakers de 2 L alrededor de los balones de recolección de líquidos, que contienen agua y 0.25kg de hielo cada uno. Este sistema favoreció la producción de líquidos ya que mantuvo los balones a temperaturas cercanas a los 4 °C, asegurando que una gran parte de la humedad se condensara en la fracción acuosa.

Figura 21. Kit de destilación utilizado para el sistema de condensación.



Figura 22. Conexiones a seguir del sistema de condensación.

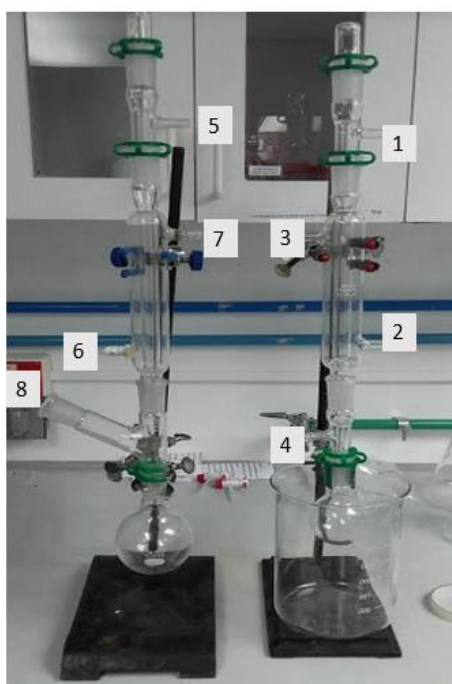


Tabla 17. Descripción de conexiones a seguir del sistema de condensación.

Número	Descripción
1	Manguera de conexión con la chimenea
2	Ingreso del agua de enfriamiento desde el reservorio de agua fría.
3	Salida del agua del enfriamiento del primer condensador
4	Salida de los gases del primer condensador
5	Ingreso de los gases desde el punto 4
6	Ingreso de agua de chorro
7	Salida del agua de chorro hacia el desagüe
8	Salida de los gases no condensables

Para la recolección de los gases no condensables, se utilizaron Erlenmeyer de 500mL conectados por mangueras de látex. El problema principal encontrado por este primer sistema, recae en que los gases no condensables no se mantuvieron dentro de los Erlenmeyer y regresaban al sistema de condensación. Esto ocasionó que se complicara la salida de los gases desde el reactor, por lo que se desconectó el elemento 7 en la Figura 23, implicando que la campana de extracción eliminaba los gases no condensables. El sistema completo que se utilizó para la prueba 1 de pirólisis se puede observar en la Figura 23.

Figura 23. Sistema de pirólisis a escala laboratorio para la prueba 1.



Tabla 18. Descripción de sistema de pirólisis a escala laboratorio para la prueba 1.

Número	Componente
1	Mufla con reactor con capacidad de 110g de biomasa
2	Chimenea de gases con aislamiento
3	Sistema de condensadores con agua de enfriamiento a 4°C
4	Balones de 500mL de recepción de condensados
5	Beakers de 2L con agua de enfriamiento a 4°C
6	Reservorio de agua de enfriamiento a 4°C y bomba de 120W
7	Sistema de recepción de gases
8	Campana de extracción

Al finalizar con el proceso, se apagaron todos los equipos, incluyendo mufla y agua de enfriamiento, se desmontó toda la cristalería y colocó sobre papel para su limpieza. El lavado de cristalería se realizó con concentraciones altas de Extran y una ligera adición de acetona para eliminar aromas. El cálculo de los rendimientos de cada fase se realizó con la masa obtenida del carbón, líquido y balance de masa (Ecuación 1). La masa del carbón se obtuvo tras apagar la mufla y permitir se enfríe hasta temperatura ambiente. El producto sólido se remueve del reactor y se colocó sobre una lámina de aluminio en una balanza digital (Figura 24).

Figura 24. Separación y pesaje de la fase sólida.



La fase líquida que se recolectó en los balones (Figura 25), fue pesada en la misma balanza digital, para que el balón no se moviera, se colocó sobre un soporte de aluminio que mantuvo el balón recto. Es importante que previo a la pirólisis se pesó el balón vacío para conocer su tara, la cual se resta a la masa completa. Dado a que se obtuvo una interfase clara entre la fase acuosa y orgánica, estas se separaron usando la pipeta de 10mL y se colocaron en recipientes separados.

Ambas fases se enviaron al laboratorio de instrumental avanzado para su respectivo análisis por cromatografía de gases. Este primer sistema no permite recolocar gases, solamente cuantificarlos.

Figura 25. Separación y pesaje de la fase líquida.

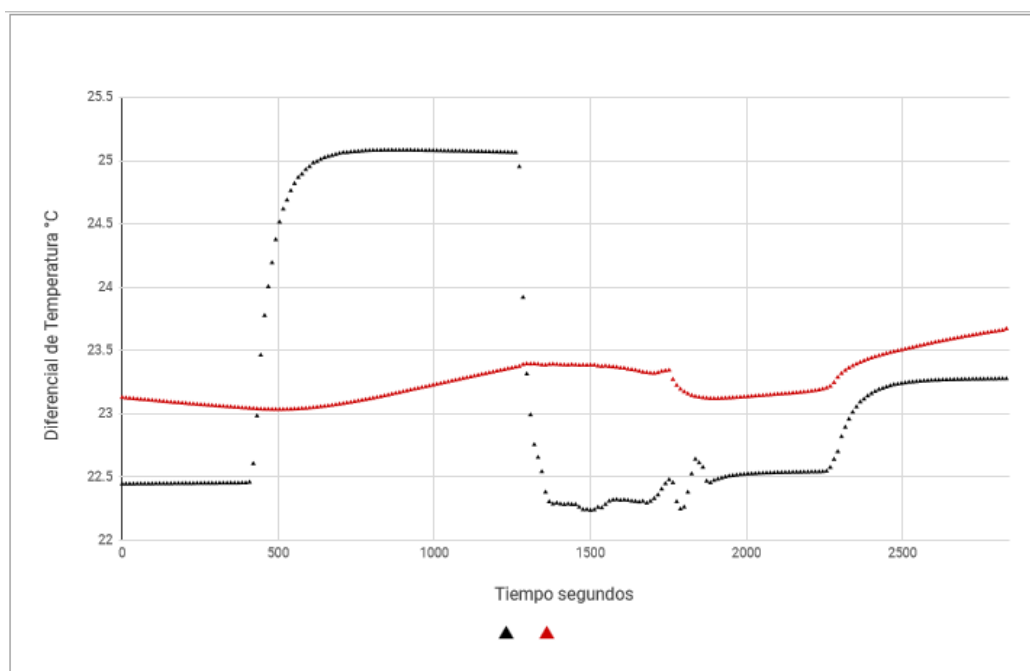


Las pruebas calorimétricas se realizaron con el uso de un mortero para reducir el tamaño del carbón obtenido y una prensa que permitió obtener la forma cilíndrica de las pastillas. Se pesó 1g del carbón e insertó cuidadosamente dentro de la bomba calorimétrica. Se cerró y presurizó utilizando dióxido de carbono cubriéndola en un baño de agua de 2L (Figura 26). Esta se contuvo con una tapa que contiene aperturas para la inserción de la termocupla que midió la temperatura del agua y el aire alrededor del baño. El sistema se corre y despliega una curva que mide el incremento de temperatura en el baño con respecto al tiempo (Figura 27), una vez se disparó la curva, se presenció el momento en que ocurrió la combustión. Utilizando un balance de energía que indica que el calor ganado por el agua es igual al calor perdido por la pastilla, se puede determinar la energía que genera 1g del carbón producido.

Figura 26. Bomba calorimétrica para la determinación del poder calorífico.



Figura 27. Relación de temperatura con respecto a tiempo desplegada por el calorímetro.



*Los datos en negro representan la temperatura en la temperatura de la cubeta con agua, los datos en rojo representan la temperatura de la chaqueta de aire que rodea la cubeta (Figura 26).

b. Descripción del sistema de laboratorio para la prueba 2 a 4. La modificación principal que se le realizó al sistema empleado en la prueba anterior, es su sistema de recolección de gases. No se logró montar un sistema para el almacenamiento de los gases no condensables, por lo que se utilizaron globos de aluminio para su toma de muestra. En lugar del arreglo de Erlenmeyer, se conectó un tapón de hule perforado con un tubo de vidrio que direcciona el gas a un globo de aluminio. Con este arreglo, se logró tomar una muestra que puede ser analizada en el laboratorio de instrumental avanzado. Adicionalmente, se pudo realizar pruebas cualitativas de los gases inflamables producidos. El análisis se realizó utilizando un encendedor y se colocó la llama cercana al escape de los gases (Figura 29). Para la prueba 2, no se contó con una campana de extracción de gases debido a su mantenimiento, experimentando olores fuertes en la prueba. Se contó con equipo de protección respiratoria y un alrededor ventilado, impidiendo que este factor afectara en el manejo del equipo.

Figura 28. Prueba cualitativa de llama de la fase gaseosa.

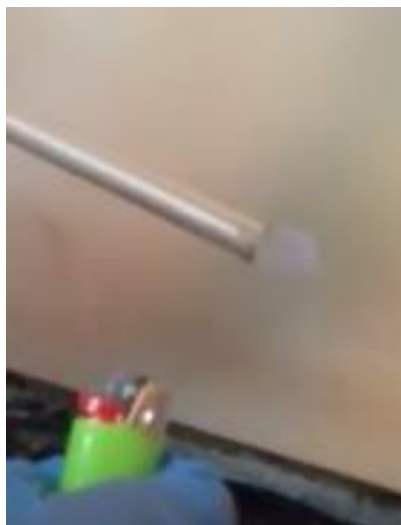


Figura 29. Sistema de pirólisis a escala laboratorio para la prueba 2 a 4.



Tabla 19. Descripción de sistema de pirólisis para pruebas 2 a 4.

Número	Componente
1	Mufla con reactor con capacidad de 110g de biomasa
2	Chimenea de gases con aislamiento
3	Sistema de condensadores con agua de enfriamiento a 4°C
4	Balones de 500mL de recepción de condensados
5	Beakers de 2L con agua de enfriamiento a 4°C
6	Reservorio de agua de enfriamiento a 4°C y bomba de 120W
7	Sistema de escape de gases modificado
8	Globo de aluminio para toma de muestra de gases

c. Descripción del sistema de laboratorio para la prueba 5 a 7. Se cotizó una nueva mufla (F6030CM-33-AVL) con una menor tasa de calentamiento (Sección de Anexos: Figuras 87 a 89) de 9.64°C/min. Aunque se utilizó el mismo arreglo de la cristalería, no se contó con la bomba de pecera previamente utilizada. El sistema de alimentación de agua fue sustituido por un diferencial de altura (1.10m) donde se hace un sifón con un flujo de 0.0627kg/s de agua de enfriamiento a 4 °C. Para este sistema, debido a que se alimentó la biomasa con altas humedades (mayor a 53.90%) no se logró separar la fracción acuosa y orgánica (Figura 30). Con el incremento de humedad, la fase orgánica se presentó en forma de emulsión, haciendo imposible su separación, por lo que se cuantifican ambas fracciones en un mismo recipiente.

Figura 30. Fracción orgánica como emulsión en la fracción acuosa.



Figura 31. Diferencial de altura utilizado para remplazar la bomba de pecera.



Figura 32. Sistema de pirólisis a escala laboratorio para la prueba 5 a 7.



Tabla 20. Descripción de sistema de pirólisis para la prueba 5 a 7.

Número	Componente
1	Mufla con reactor con capacidad de 110g de biomasa
2	Chimenea de gases con aislamiento
3	Sistema de condensadores con agua de enfriamiento a 4°C
4	Balones de 500mL de recepción de condensados
5	Beakers de 2L con agua de enfriamiento a 4°C
6	Reservorio de agua de enfriamiento alimentada por diferencial de altura (1.5m)
7	Sistema de escape de gases modificado
8	Escape de agua de condensadores (se regresa al punto 6)

B. DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES

Previo a realizar los diagramas de operaciones, se identificó cada operación por separado y se detallaron las acciones llevadas a cabo durante las pruebas. Se utilizó una hoja de registro para la recopilación de datos para mantener el orden y un registro adecuado de datos.

1. **Reducción de tamaño.** Para comenzar el proyecto, se recibió cuatro muestras de palma de 4 distintas plantaciones de distintos años de renovación. Con una regla cuya precisión es de ± 0.5 mm se tomaron las medidas del largo, ancho y profundidad y se determinó la masa con una precisión de ± 0.001 gramos. El siguiente cuadro muestra las características de las muestras recibidas:

Tabla 21. Dimensiones iniciales de las muestras de palma africana

Finca	Año de renovación	Largo (± 0.5 cm)	Ancho (± 0.5 cm)	Profundidad (± 0.5 cm)	Masa (± 0.01 kg)
1	2016	22.2	14.6	22.5	2.95
2	2010	18.2	22.5	12.5	2.94
3	2010	14.8	22.8	23.5	2.78
4	2015	22.6	27.4	15.6	3.52

Dichas muestras fueron cortadas utilizando machete, hacha y algunas muestras pasaron por la trituradora de desechos orgánicos para reducir el tamaño hasta llegar a fibras de 20 Mesh.

2. **Estudios previos al tratamiento de pirólisis.** Previo a la pirólisis, se midió la humedad inicial de las fibras con la balanza de humedad, cuya precisión es de 0.01% (m/m). También se varió la humedad de las muestras con uso del horno industrial y secándolas al sol.

3. **Calentamiento de mufla.** La mufla utilizada fue de la serie 1057 Barnstead/Thermolyne modelo F48025. Esta aumentaba la temperatura progresivamente hasta llegar a los 500°C y se mantuvo a dicha temperatura hasta que ya no se observaba ningún flujo de vapores condensables ni gases no condensables. Del calentamiento de la mufla depende que la reacción se lleve a cabo. Al finalizar la pirólisis, se debe esperar a que esta baje la temperatura por lo menos a 80°C y utilizar un guante para manipulación de tuberías de vapor para poder recolectar el subproducto sólido final resultante.

4. **Recolección de vapores condensables y gases no condensables** La recolección de vapores condensables y gases no condensables dependía únicamente de la reacción de pirólisis que se ve influenciada por el tiempo en que la mufla llega a 500°C.

Por efecto de gravedad, los gases que se condensaban caían en forma de gotas hasta los balones. Estos se separaban del sistema y se cubrían para sus estudios posteriores. Los gases fueron recolectados empleando de globos laminados, los cuales no permitían que estos se escaparan y facilitaba su transporte para estudios posteriores.

5. Estudios posteriores realizados

- Se hizo una pastilla de producto sólido de pirólisis utilizando de una prensa hidráulica para ingresarlo a la cámara de combustión y determinar el poder calorífico del carbón obtenido.
- Se separó la fase orgánica de la acuosa empleando pipetas y se realizaron las pruebas de cromatografía de gases con detectores FID.
- Luego de la recolección de los gases, se realizaron cromatografías con filtros TCD y FID. Para el filtro FID se utilizó aire e hidrógeno y para el filtro TCD se utilizó oxígeno.
- Se realizó un análisis de granulometría para el subproducto sólido
- Para conocer la composición del producto sólido, la asociación ANACAFÉ analizó la muestra entregada para poder dicha la determinación.

C. ANÁLISIS DE PRODUCTOS OBTENIDOS POR PRUEBAS A ESCALA LABORATORIO

1. Análisis granulométrico

- Se utilizó un triturador de materia orgánica para reducir el tamaño a los trozos de palma.
- Se pasó por la trituradora las veces suficientes para conseguir fibras y tamaño uniforme.
- Se pesaron todos los recipientes que contuvieran las mallas y se colocaron en orden de mallas. Las mallas de mayor Mesh en la parte superior y las de menor Mesh en la parte inferior del tamizador.
- Se colocó 200 gramos de muestra (aproximadamente) en el tamizador superior y se tamizó por 15 minutos. Encendiendo el motor del tamizador que dio golpes en la parte superior del tamizador para promover el movimiento en las mallas.
- Luego de 15 minutos tamizando, se pesó cada uno de los recipientes que tenía el tamizador. La masa final menos la masa inicial dio la masa de sólido que quedó contenido en ese tamaño de malla.
- Se determinó la proporción másica de sólidos retenidos en cada una de las mallas en función de la masa total de 200 gramos.

- Las proporciones másicas expresadas como porcentaje se sumaron acumulativamente hasta tener 80% de la masa inicial en los tamizadores, iniciando la sumatoria con los tamices en la parte superior (del Mesh más pequeño al más grande).
- Con el 80% del tamaño mínimo alcanzado se definió que las partículas corresponden a ese tamaño como mínimo.
- El análisis granulométrico se hizo en triplicado.

2. Curvas de secado de palma

- Se trituró las muestras de palma hasta conseguir fibras en el triturador de materia orgánica, el tamaño de la partícula introducida al secador se realizó con el análisis anterior.
- Se midió la humedad inicial de las fibras en balanza de humedad
- Se midió la masa inicial de las muestras para el horno, y se colocaron en bandejas de metal.
- Se colocó las muestras en horno industrial - deshidratador (Corbett) - a una temperatura fija de 90°C. Por 7 horas.
- Se determinó la humedad de acuerdo a la pérdida de masa en función del tiempo.
- Se graficó la humedad en función del tiempo, sacando las bandejas del horno cada hora y pesándolas. Por la masa inicial de las bandejas se determinó la masa de palma y la pérdida de humedad cada hora.
- Se realizó el análisis en triplicado, en 3 bandejas

3. Poder calorífico de producto sólido de pirólisis

- Con el producto sólido que se obtuvo se hizo una pastilla. Se trituraron aproximadamente 5 gramos de la muestra con un mortero y pistilo. Se colocó en una prensa hidráulica 1 gramo de muestra y se presionó la prensa hasta conseguir una pastilla uniforme y firme.
- En un calorímetro. Se colocaron 2 litros de agua, y se midió la temperatura inicial del agua.
- Se cerró el calorímetro con una rosca y se introdujo en él oxígeno hasta alcanzar una presión interna de 25 atmósferas. Esta presión se leía en el manómetro del tanque de oxígeno utilizado.
- Se cerró el sistema: 2 Litros de agua, con el calorímetro dentro y dos cables conectados al calorímetro que dan una señal eléctrica para dar una chispa dentro del calorímetro y que la muestra sólida se quemara.
- Se colocó un sistema de agitación interno, que es parte del equipo para asegurar que los 2 litros de agua tuvieran una temperatura uniforme.
- Se inició la combustión el cambio de temperatura que tuvo el agua.
- Se determinó la cantidad de calor producido por la pastilla de 1 gramo en función del calor específico de agua (4.184 J/g°C), la masa del agua y el diferencial de temperatura.

- Se determinó el poder calorífico específico de la muestra sólida con el cociente del calor generado entre la masa de sólido introducido al calorímetro.
- Al terminar la combustión se sacó el calorímetro del agua y se colocó una nueva muestra para determinar poder calorífico.
- Se realizaron las pruebas en triplicado.

4. Análisis de fase orgánica y acuosa por cromatografía de gases con detector FID

- Se separaron la fase orgánica de la acuosa con pipetas. Se colocaron los productos en tubos de ensayo.
- Se inyectó nitrógeno al cromatógrafo de gases que funcionó como gas acarreador. Este flujo se mantiene durante la cromatografía.
- Se utilizó una micropipeta de 1 microlitro para tomar muestras de la fase líquida y en el caso de los gases fue de 0.5 microlitros. Las muestras se tomaron de los tubos de ensayo.
- Se indicó en el software del cromatógrafo de gases el tamaño de la columna y el diferencial de temperatura que debía tener en la columna. En el caso del líquido analizado se fijó de 3.00°C cada minuto y los gases de 30.00° cada minuto.
- Durante 20 minutos hubo un diferencial de temperatura de la columna iniciando en 60° y llegando hasta 230°C. El software por un transductor de corriente a señal eléctrica generó los cromatogramas.
- Se compararon los tiempos de retención con los de la biblioteca interna que tiene el equipo.
- Se realizaron 6 cromatografías gaseosa FID a la fase orgánica y acuosa en 6 corridas.
- En el caso del gas analizado, no se tenía una biblioteca de comparación. Se introdujo en el sistema de inyección en la columna metano puro y sulfuro de hidrógeno puro para identificar sus tiempos de retención. Los tiempos de retención son característicos para cada compuesto.
- La muestra gaseosa se introdujo en el sistema y de acuerdo a los tiempos de retención que se determinaron con el metano puro y sulfuro de hidrógeno se identificó la proporción másica en cada corrida.

5. Absorción atómica para determinación de metales

- Se colocaron 3 crisoles en mufla por 3 horas a 500°C.
- Se colocaron los crisoles en horno a 110°C por 30 minutos. Luego de la mufla.
- Se dejó el crisol en desecadora para asegurar que los crisoles no tuviera humedad o grasas.
- Se colocó aproximadamente 1 gramo del producto sólido de pirólisis en cada crisol y se fue adicionando ácido clorhídrico concentrado.
- Se calentaron los crisoles en estufa para hacer una digestión al material orgánico presente en la muestra. Aproximadamente a 110°C.
- Cuando la muestra evaporó el ácido y se hizo cenizas se lavó con ácido las paredes del crisol y trasvasó la solución a un balón aforado, con ayuda de un embudo y papel filtro.
- Se prepararon soluciones patrones de concentraciones conocidas para los iones a detectar (Sodio, Potasio, Calcio y Magnesio).
- Se encendió el equipo de absorción atómica y se seleccionó la lámpara adecuada. En este caso se usó lámpara de alcalinos y alcalinotérreos.
- En el sistema de inyección-succión se colocó agua destilada para definir un blanco de concentración.
- Se inyectaron las muestras patrón para identificar una señal en el equipo interpretada como absorción.
- Con los datos de las muestras patrón se realizó una curva de calibración. De señal de absorción atómica en función de la concentración en ppm.
- Se inyectó al equipo las muestras diluidas de producto sólido de pirólisis y el equipo devolvió una señal. Con la curva de calibración se despejó matemáticamente para la concentración de las muestras sólidas.
- Se realizaron cálculos estequiométricos de concentración en la solución analizada y la cantidad de muestra utilizada. Se reportaron los datos como porcentaje másico del metal analizado en función de la masa del sólido.

D. PROPUESTA DE APLICACIONES PARA PRODUCTOS OBTENIDOS POR PIRÓLISIS DE ESTÍPITE DE PALMA AFRICANA DELI X AVROS

1. Investigación bibliográfica. Se consultaron diversos artículos científicos que brindaron información general sobre procesos de pirólisis con residuos de palma africana, como el estípite. La gran mayoría eran procesos de pirólisis a escala laboratorio, reportando pruebas exitosas con diferentes rendimientos de las fases obtenidas. Se le dio especial atención a los productos reportados en cada fase que habían logrado identificar. La información recolectada en el marco teórico, es un resumen de lo que se tuvo acceso durante esta fase.

2. **Identificar compuestos y propiedades más importantes.** Del módulo presentado por el estudiante, David Alejandro Súchite Sosa, “Análisis de laboratorio para viabilidad de pirólisis de palma africana Deli x AVROS” se evaluaron los compuestos, de las fases líquida y gaseosa obtenidas de las pruebas de pirólisis, detectados por el cromatógrafo, investigando los diferentes usos y aplicaciones de cada compuesto. De la fase líquida se evaluó el metanol, fenol, acetona y hexano. Mientras, que en la fase gaseosa se evaluó las propiedades del metano y del sulfuro de hidrógeno que fueron los únicos dos compuestos detectados en los cromatogramas. En la fase sólida, del análisis realizado de abonos orgánicos en Anacafé se evaluó las propiedades que tenía respecto a materia orgánica, relación C/N, contenido de elementos químicos y pH. Asimismo, se comparó el valor calorífico reportado en el módulo “Análisis de laboratorio para viabilidad de pirólisis de palma africana Deli x AVROS” con los valores de poder calorífico de otros combustibles sólidos, datos obtenidos del departamento de energía de EE. UU, para realizar una comparación.

3. **Propuesta de aplicaciones.** De acuerdo a sus propiedades de alto contenido de materia orgánica y alta relación C/N se inició investigaciones de otros productos con alto contenido de materia orgánica que fuesen utilizados como mejoradores de suelos. Determinando que existían en el mercado mejoradores de suelo con alto contenido orgánico para uso en agricultura y jardín. Además, se determinó que el método más común para aumentar el contenido de materia orgánica es, el uso de estiércol de ovejas, vacas o gallina.

Al comparar el poder calorífico, del carbón del estípite, con otros combustibles sólidos se determinó que poseía un valor más alto que el de la madera y muy cercano al del coque de carbón y coque de petróleo. Al determinar qué el valor del poder calorífico era alto, se prosiguió a comparar otras propiedades importantes de los carbones utilizados para generar electricidad como contenido de ceniza, contenido de azufre, material volátil, humedad, granulometría y densidad.

En la fase líquida se determinó que el compuesto más importante por su amplio uso en la industria era el ácido acético. Como propuesta inicial, se planteó purificarlo para poder comercializarlo como producto final. Se determinó que un inconveniente era la necesidad de una destilería de acero inoxidable o cobre lo que elevaba el costo de la refinería. Como segunda propuesta, se comparó la proporción de los compuestos identificados con otros ácidos piroleñosos obtenidos de diferentes biomásas como bagazo de caña de azúcar, cascarilla de café y tabaco. Se concluyó que poseían compuestos similares y que la propuesta del ácido piroleñoso era factible.

Evaluando los cromatogramas de la fase gaseosa, se determinó que el contenido de metano detectado era muy bajo como para intentar purificarlo y venderlo como sustituto del gas natural o propano. Se propuso reingresar el gas obtenido, como combustible, al sistema de calentamiento del reactor y aprovechar el metano presente. El otro compuesto que se evaluó fue el sulfuro hidrógeno, tomando en cuenta la bibliografía se decidió que era necesario retirarlo para cumplir con legislaciones ambientales y porque corroe tuberías.

Utilizando como base diferentes estudios como “Métodos simples para fabricar carbón vegetal”, realizado por la Organización de comida y agricultura de las Naciones Unidas (FAO); “Evaluación fungicida y antitermítica preliminar del líquido piroleñoso”, publicado en Tecnología en Marcha por Sayra Navas; “Cromatogramas Gram-Schmidt del ácido piroleñoso obtenido en la pirólisis diferentes biomásas vegetales” y “Biocarbón de estípites de palma de aceite: una alternativa para el aprovechamiento de la biomasa y el mejoramiento de la calidad del suelo en fase de renovación”, realizado por Edna Garzón con apoyo de CENIPALMA, se confirmó que las propuestas realizadas para cada producto de la pirólisis era factible.

E. ESTIMACIÓN DE COSTO DE OPERACIÓN DE PRUEBAS REALIZADAS Y COSTOS DE OBTENCIÓN DE 1 KILOGRAMO DE CADA PRODUCTO, A NIVEL LABORATORIO

Se realizaron siete pruebas a nivel laboratorio, en las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala, del proceso de pirólisis de estípite de palma africana, a partir del cual se obtuvo los tres productos de la pirólisis los cuales fueron recolectados para su posterior análisis.

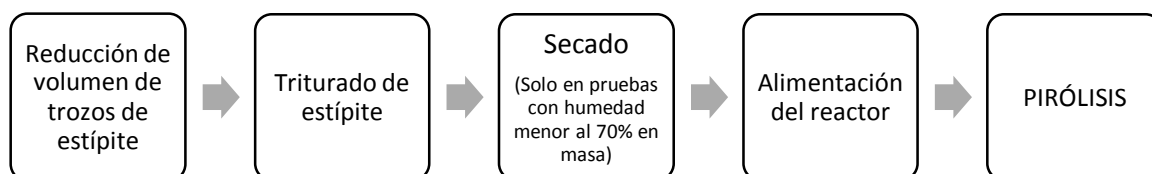
Debido a la capacidad del equipo utilizado a nivel laboratorio, para realizar pirólisis a este nivel, la materia prima tuvo que ser sometida a procedimientos previos. Entre estos procedimientos realizados se incluyó un pre-triturado con hacha y machete (anexo F, Figura 222). Luego un triturado más fino con una trituradora de desechos orgánicos y finalmente, se secó la muestra de las pruebas 1 al 5 (tabla 15), a distintas humedades, para estudiar la relación entre humedad y rendimientos de productos.

Tabla 22. Humedad de la muestra para las pruebas realizadas.

No. de prueba	Humedad de muestra (% m/m)
1	12.32%
2	52.90%
3	27.47%
4	61.43%
5	42.00%
6	74.00%
7	72.85%

Para la determinación de costos de operación a nivel laboratorio se estudió el proceso seguido para la realización de la pirólisis, el cual se muestra en la siguiente figura.

Figura 31. Procedimiento llevado a cabo para la pirólisis a escala laboratorio.



De este procedimiento se tomaron en cuenta los costos de consumo eléctrico de los siguientes equipos:

- Trituradora orgánica de desechos, para el triturado fino de la muestra. (anexo E – Figura 2016)
- Horno industrial con capacidad de 24 bandejas, para el secado. (anexo E – Figura 217)
- Mufla modelo Barnstead Thermolyne – F480 (anexo E – Figura 218) la cual se utilizó como medio de calentamiento para el reactor.

Tabla 23. Descripción técnica del equipo de consumo eléctrico, empleado para las pruebas de pirólisis a escala laboratorio.

Equipo	Marca	Modelo	Amperaje (A)	Voltaje (V)
Trituradora	Trapp	TR 200	5	220
Horno secador	Corbett Industries Inc.	EC-404-6	120	220
Mufla	Barnstead Thermolyne	F480	7.5	240

Con el fin de obtener una tarifa eléctrica para los costos de consumo eléctrico empleados por el equipo de laboratorio, se tomó la distribuidora EEGSA con el promedio de las tarifas de media tensión con demanda en punta (6:00h – 18:00 h) y fuera de punta para los meses de enero a mayo, meses en los cuales se llevaron a cabo las pruebas. Se aclara que se tomó esta distribuidora ya que según el mapa de cobertura eléctrica de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (Figura 32), se observa que para la ciudad capital este es la distribuidora asignada (Comisión Nacional de Energía Eléctrica , 2017).

Figura 32. Mapa de cobertura de las empresas distribuidoras de energía eléctrica

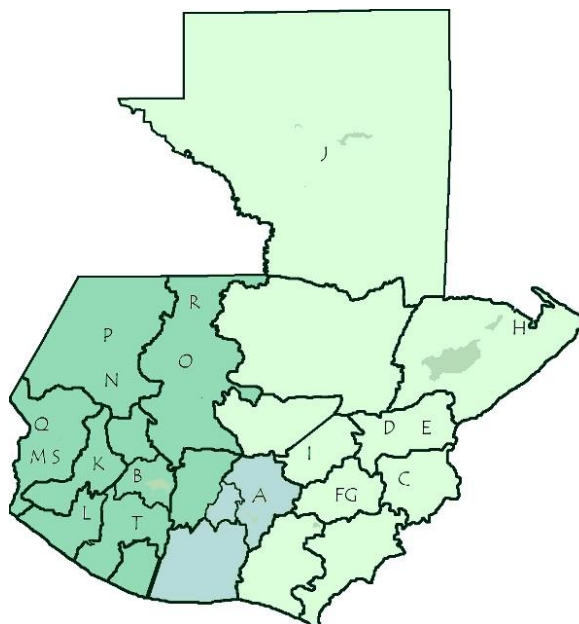


Figura 33. Leyenda de principales empresas distribuidoras de electricidad en Guatemala.

Empresas Distribuidoras de Electricidad en Guatemala

A: Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A.
B: Energuate, Distribuidora de Electricidad de Occidente, S. A. (DEOCSA)
C: Energuate, Distribuidora de Electricidad de Oriente, S. A. (DEORSA)

Tabla 24. Descripción costo de consumo eléctrico

Distribuidora	Tarifas	Costo promedio (Q/kWh)
EEGSA	Media tensión con demanda en punta Media tensión con demanda fuera de punta	Q0.65

Adicionalmente, se contempló el costo de agua, utilizado en el condensador para realizar el proceso de pirólisis. Para obtener el costo del consumo de agua se obtuvo la tarifa según la denominación en la municipalidad de Guatemala (Tabla 25).

Tabla 25. Descripción costo de consumo de agua

Tarifas	Costo promedio (Q/m ³)
Para un consumo > a 121 metros cúbicos mensuales	Q7.63 + 20% alcantarillado

F. DESARROLLO DE MODELO DE SIMULACIÓN DE PIRÓLISIS RÁPIDA

1. **Investigación bibliográfica.** Para ello se consultaron diversos artículos científicos, que permitieron establecer un panorama general sobre pirólisis de biomasa lignocelulósica; con especial énfasis en los mecanismos de reacción propuestos para el proceso de degradación termoquímica de este tipo de biomasa, experimentos y modelos de simulación asistida por computadora de este proceso, que se han desarrollado en los últimos años.

Es así como la información consignada en la sección de marco teórico, consiste en un resumen de la información a la cual se tuvo acceso durante esta fase y sobre la cual se desarrolló el modelo de simulación de pirólisis rápida de estúpide de palma africana. Especial énfasis se dio a los siguientes aspectos:

- Caracterización de la biomasa lignocelulósica, especialmente de las fuentes tratadas por pirólisis rápida y de estípita de palma africana.
- Mecanismos de reacción de pirólisis de biomasa lignocelulósica, comúnmente aceptados y empleados en modelos de simulación.
- Parámetros de cinética de reacción de los mecanismos propuestos y aceptados para modelar este proceso.
- Propiedades fisicoquímicas de los compuestos propuestos en los mecanismos de reacción de pirólisis de biomasa lignocelulósica.

Como resultado, se conoció sobre la existencia de un único modelo básico de simulación de este proceso desarrollado en el software SuperPro Designer® y publicado a la fecha, al cual se suman aplicaciones del mismo para diversas fuentes de biomasa. Dicho modelo generador fue propuesto por Thomsen, Hauggaard, Bruun, & Ahrenfeldt en 2011 y presenta una secuencia de módulos de operaciones unitarias tal que permite simular el proceso de pirólisis junto con el pretratamiento de las materias primas y el acondicionamiento de los productos, con especial énfasis en la reutilización in-situ del subproducto gaseoso.

2. **Desarrollo del modelo de simulación.** Empleando la información recopilada se procedió a desarrollar el modelo secuencial por módulos de simulación del proceso. Para lo cual se llevaron a cabo las siguientes tareas:

a. **Definición del problema.** Debido a los errores asociados reportados para cada una de las modalidades de pirólisis tratadas en el modelo generador – lenta y rápida, así como los recursos e información disponible; se definió la simulación del proceso de pirólisis rápida de biomasa lignocelulósica, empleando los mecanismos de reacción de Diebold, 1994; para la celulosa y Miller & Bellan, 1997; para la hemicelulosa y lignina, así como las propiedades de los compuestos de referencia – celulosa, hemicelulosa y lignina – comúnmente empleados en el proceso de simulación.

b. **Desarrollo del modelo modular secuencial.** Para desarrollar el modelo, se seleccionó una operación de tipo continua con un tiempo de operación anual de 7920 horas (Figura 34). Posteriormente, se registraron los compuestos puros a emplear durante la simulación (Figura 35), incorporando las propiedades correspondientes, siendo las principales las que se presentan en las Tablas 26 y 27. En cuanto a las fuentes de biomasa analizadas tanto para la fase de validación del modelo, como de la aplicación del mismo en el presente trabajo; se registraron como mezclas de los componentes de referencia: celulosa, hemicelulosa y lignina; ignorando los extractivos debido a la falta de consideración de estos dentro de los modelos cinéticos empleados y simplificación de cálculos en la simulación. Por tanto, las composiciones se presentan en la Tabla 28, en tanto que sus propiedades corresponden a las calculadas por el software según su composición en términos de las sustancias puras previamente registradas.

Posteriormente, se realizó el esquema de flujo del proceso a simular según los módulos que posee SuperPro Designer® en su base de datos. A la cual se tiene acceso en el menú “Unit Procedures”, tal y como se muestra en la Figura 36. Debido a que dentro de dicha base de datos carece de un módulo específico para el proceso de pirólisis, se debe emplear una secuencia de módulos que, en conjunto, procesan las entradas y salidas correspondientes de tal forma que permita simular la reacción de pirólisis. Este aspecto, se detalla en el siguiente apartado.

Figura 34. Ventana de selección de modo de operación de modelo de proceso a simular.

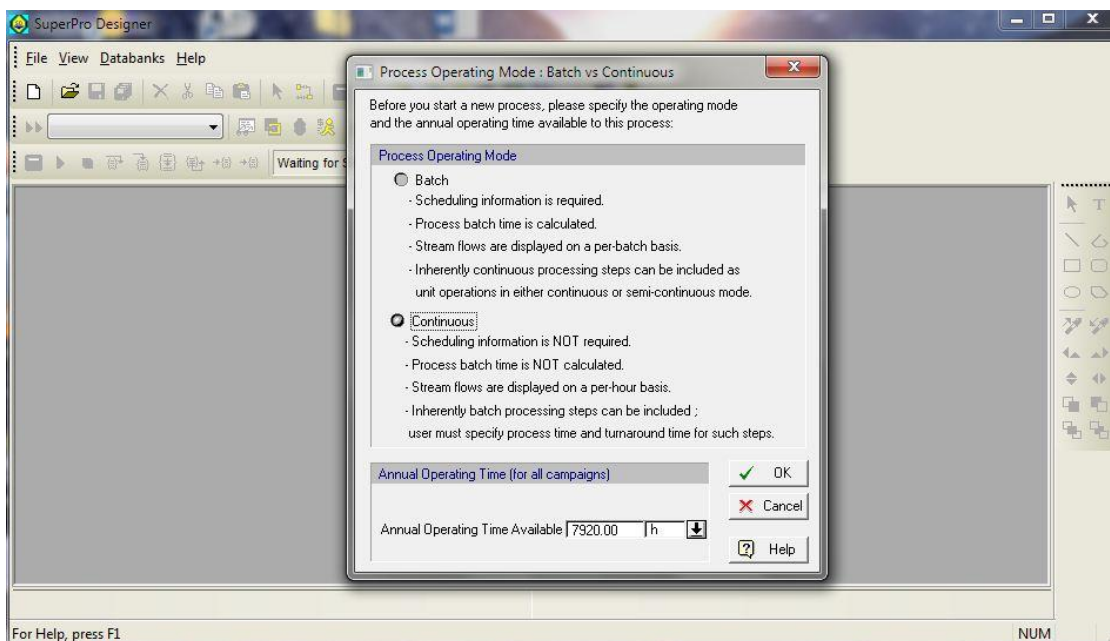


Figura 35. Ventana de registro de componentes puros empleados en el modelo de simulación.

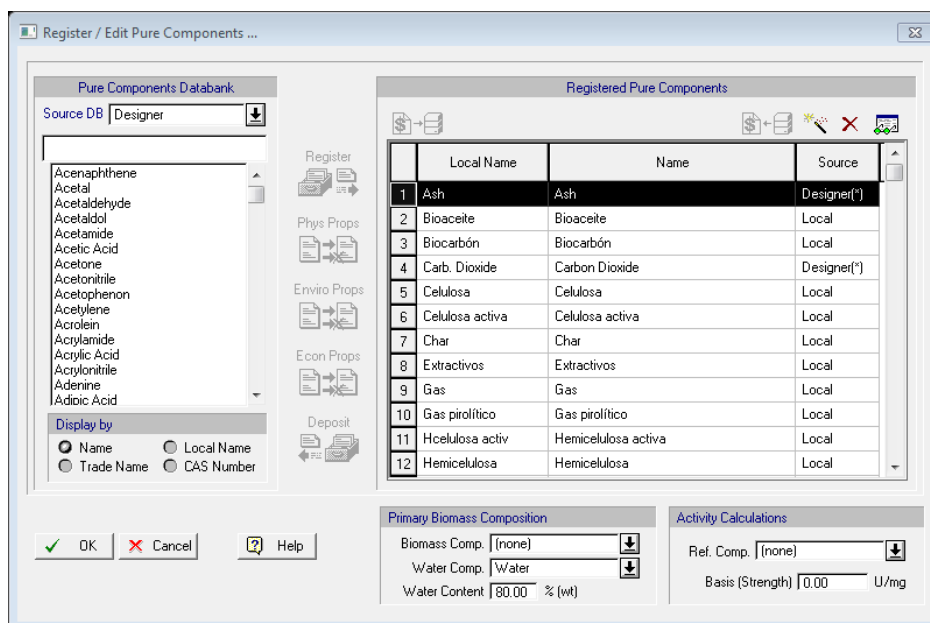


Tabla 26. Propiedades físicas básicas de componentes registrados en modelo.

Componente	Peso molecular (g/gmol)	Punto ebullición (°C)	Punto de fusión (°C)	Entalpía de formación (J/gmol)
Agua	18.02	100.00	0.00	-285,830.00
Bioaceite	324.00	126.85	16.65	0
Biocarbón	12.01	6000.00	4026.85	0
Celulosa	10000.00	1000.00	-273.15	0
Celulosa activa	10000.00	1000.00	-273.15	0
Ceniza	200.00	200.05	-273.15	0
Char	12.01	6000.00	4026.85	0
Dióxido de carbono	44.01	-56.57	-78.00	-393,510.00
Extractivos	60.05	117.95	16.65	-484,500.00
Gas	28.01	-191.44	-205.00	-110,530.00
Gas pirolítico	28.01	-191.44	-205.00	-110,530.00
Hemicelulosa	24.63	1000.00	-273.15	0
Hemicelulosa activa	24.63	1000.00	-273.15	0
Lignina	24.63	1000.00	-273.15	0
Lignina activa	24.63	1000.00	-273.15	0
Metano	16.04	-161.45	-182.46	-74,520.00
Nitrógeno	28.01	-195.76	-210.00	0
Oxígeno	32.00	-182.84	-218.79	0
Tar	256.00	126.85	16.65	0
Vapores	256.00	126.85	0.00	0

Tabla 27. Propiedades críticas de componentes registrados en modelo.

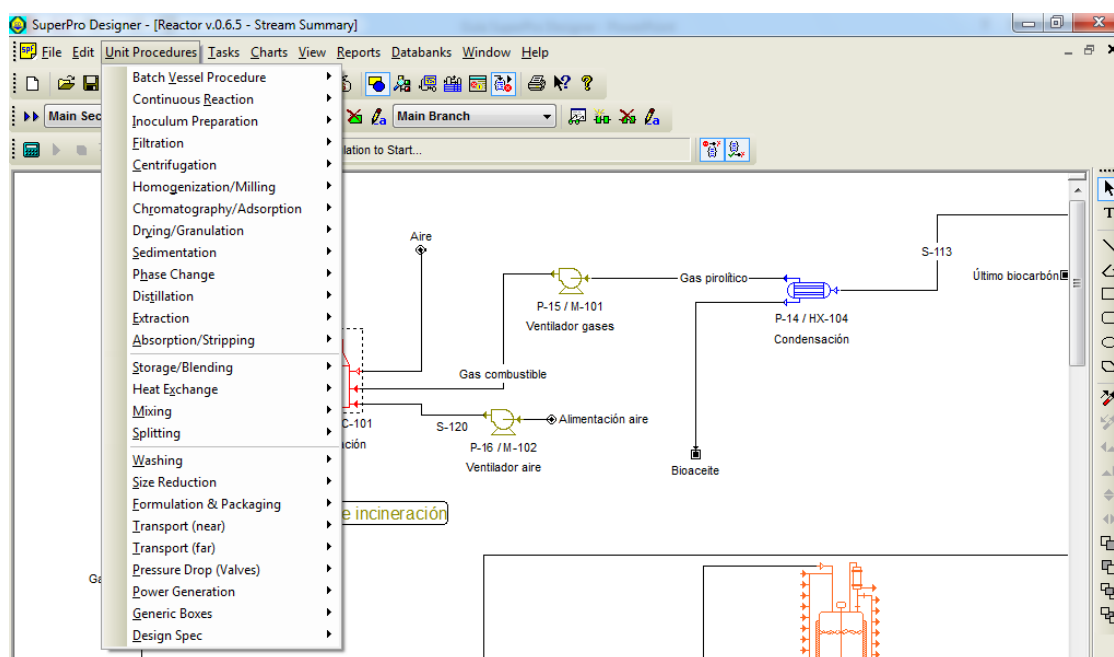
Componente	Temperatura crítica (°C)	Presión crítica (bar)	Z crítico	Factor Acéntrico - ω
Agua	374.19	221.20	0.24	0.34
Bioaceite	374.15	221.20	0.20	0.45
Biocarbón	6,536.85	2230.00	0.07	0.33
Celulosa	1,967.69	50.00	0.23	0.34
Celulosa activa	1,967.59	50.00	0.23	0.34
Ceniza	374.19	221.20	0.24	0.34
Char	6,536.85	2230.00	0.07	0.33
Dióxido de carbono	31.03	75.27	0.27	0.24
Gas	-140.24	35.68	0.29	0.01
Gas pirolítico	-140.24	35.68	0.29	0.01
Hemicelulosa	1,086.85	50.00	0.23	0.34
Hemicelulosa activa	1,967.59	50.00	0.23	0.34
Lignina	1,086.85	50.00	0.23	0.34
Lignina activa	1,086.85	50.00	0.23	0.34
Nitrógeno	-146.9	34.65	0.29	0.04
Oxígeno	-118.39	51.81	0.29	0.03
Tar	374.15	221.20	0.20	0.45
Vapores	374.15	221.20	0.24	0.34

Tabla 28. Composición porcentual másica de fuentes de biomasa empleadas en modelo.

Biomasa	Hemicelulosa	Celulosa	Lignina	Cenizas	Agua
Paja_Ibrahim	38.4615	40.5983	17.0940	3.8462	0.00
Paja_Scott	34.5391	39.6246	16.6840	4.7967	1.3556
Paja_Zanzi	26.5306	42.3712	21.0884	3.1098	6.9000
Estípite de palma africana	34.4398	31.7427	29.5643	4.2532	-
Cascarilla de fruto de palma africana	27.2727	34.9747	26.8939	10.8587	-
Hueso de aceituna	35.00	25.00	35.00	5.00	-

Nota: Para las fuentes de biomasa sin dato de porcentaje de agua, este se incorpora como un componente extra en el flujo de alimentación del proceso según condiciones del mismo.

Figura 36. Ubicación de base de datos de módulos de operaciones unitarias disponibles en SuperPro Designer®.

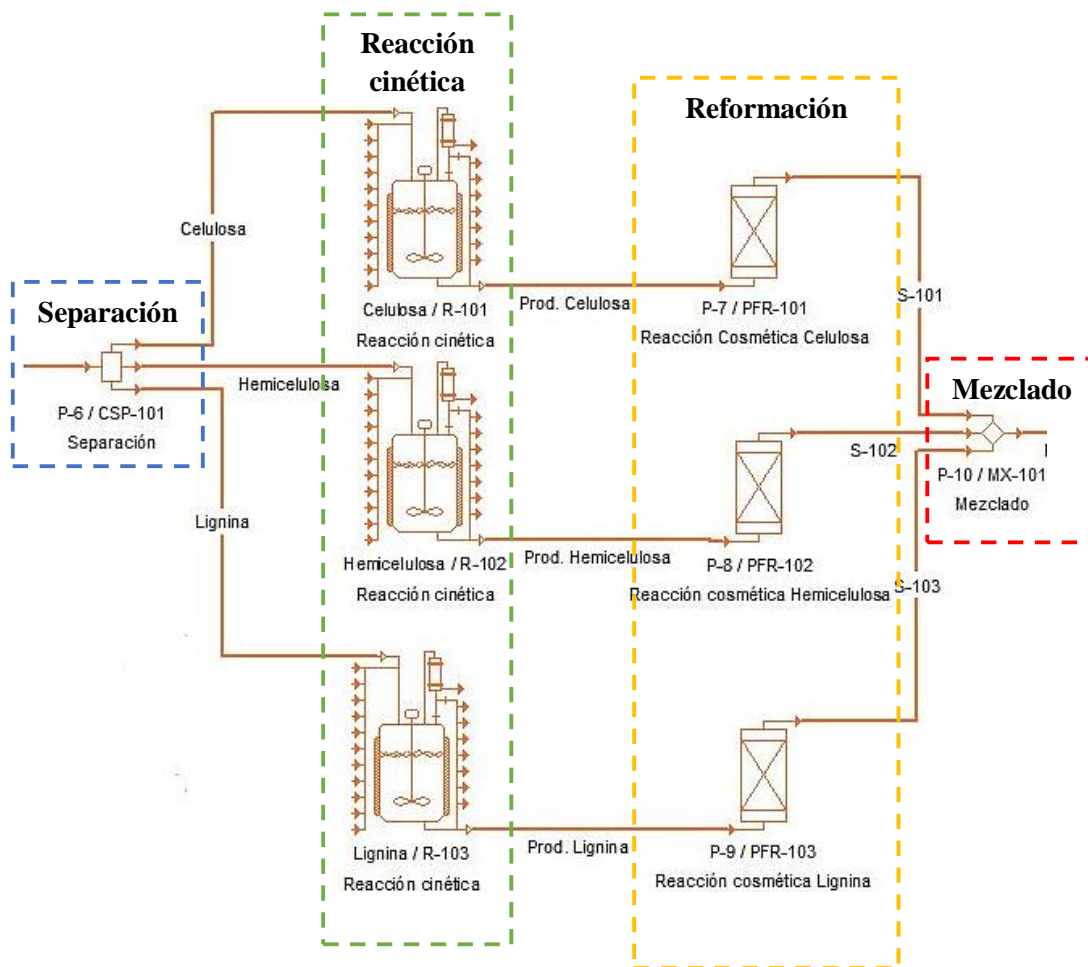


3. Sección de reactor de pirólisis En el caso de estudio presentado por Thomsen, Hauggaard, Bruun, & Ahrenfeldt, en 2011; se aplicó un conjunto de módulos del software SuperPro Designer® con el objetivo de realizar los cálculos correspondientes a la reacción de pirólisis de la paja residual del cultivo de trigo en Holanda. Siendo dicho modelo el primero de su clase a nivel mundial y que ha sido empleado en publicaciones posteriores en muy pocas ocasiones (Mabrouki, Abbasi, Guedri, Omri, & Jeguirim, 2015) y (Mabrouki, Guedri, Abbasi, Omri, & Jeguirim, 2016).

Dada la complejidad de la reacción, Thomsen y colaboradores optaron por emplear el principio de superposición sobre los mecanismos de reacción de cada uno de los componentes de referencia – celulosa, hemicelulosa y lignina – de tal forma que las reacciones se suponen independientes y al final los productos de cada una se adicionan a los de las demás rutas de reacción. Esta suposición es recurrente en la mayor parte de modelos cinéticos y simulaciones del proceso de pirólisis, no obstante, se ha demostrado que no es completamente veraz pues existe evidencia de alteraciones de los parámetros cinéticos ante la presencia de determinados productos; lo que supone una interacción entre los mecanismos de reacción de los componentes de referencia.

Por tanto, el esquema sugerido para la simulación del proceso de pirólisis en el software SuperPro Designer® contempla cuatro segmentos principales de reacción: Separación de biomasa en componentes de referencia, reacción cinética, reformación y mezclado de productos resultantes. Estas secciones se identifican en la siguiente figura del detalle de la sección de pirólisis del modelo empleado.

Figura 37. Segmentos empleados en simulación de reactor de pirólisis rápida de biomasa lignocelulósica.



En la sección de separación, se desvían los componentes de referencia de la biomasa a procesar en los flujos correspondientes. Luego, empleando los parámetros cinéticos para celulosa, hemicelulosa y lignina presentados en el marco teórico; se simulan las reacciones correspondientes al tiempo y temperatura de reacción. Seguidamente, se aglomeran cada uno de los productos y residuos en la fase que le corresponde según los productos de interés: biocarbón, bioaceite, gas pirolítico y agua. Para esto, se empleó el esquema general presentado a continuación, definido como una serie de reacciones estequiométricas que se desarrollan en los reactores de flujo pistón. Finalmente, en el segmento de mezclado se recolectan los productos finales obtenidos de cada ruta de reacción paralela en un solo flujo.

Tabla 29. Esquema general de reacciones de reformación de productos obtenidos en reacciones cinéticas (reactivos) en productos finales de proceso.

Reactivos	Producto
Fracción sin reaccionar + char + cenizas	Biocarbón
Tar + Vapores	Bioaceite
Gas	Gas pirolítico

Es en la parte de la reformación, donde se consideran las entalpías de reacción de degradación de la biomasa dentro del modelo. Sin embargo, al tratar de incorporar los cálculos de entalpías de reacción, dado que para el proceso de pirólisis están establecidas a nivel de formación de las fases de productos finales y no específicamente para cada uno de los productos; la integración de estos cálculos en la sección de reformación resultaba en sistemas divergentes para el simulador. Siendo este uno de los aspectos resaltados por los autores en la publicación correspondiente a la propuesta del modelo.

Afortunadamente, se contactó al Dr. Tobias Thomsen, uno de los autores de dicha publicación; quien amablemente compartió información valiosa para la aplicación del modelo propuesto en el desarrollo del presente trabajo. Fue así como, se identificó que la integración de la entalpía del proceso se realiza en algunas de las reacciones de reformación y no en todas, como se consideró inicialmente. Siendo las reacciones con los componentes obtenidos de las reacciones cinéticas en mayor proporción, aquellas en las que se considera el efecto de la entalpía de reacción.

En cuanto a los balances de energía, estos resultaban en sistemas de ecuaciones divergentes para el simulador puesto que existían valores de entalpías estándar de formación para los compuestos de referencia del modelo. Por tanto, al conocer la entalpía de reacción en la que estos compuestos participan, se deben ignorar las entalpías estándar de formación correspondientes; razón por la que la mayor parte de compuestos puros registrados presentan una entalpía estándar de formación de 0 J/gmol.

A continuación, se presentan las reacciones de reformación para las cuales se consideró el efecto de la entalpía de reacción.

Tabla 30. Reacciones de reformación para las que se integran los cálculos de entalpías de reacción.

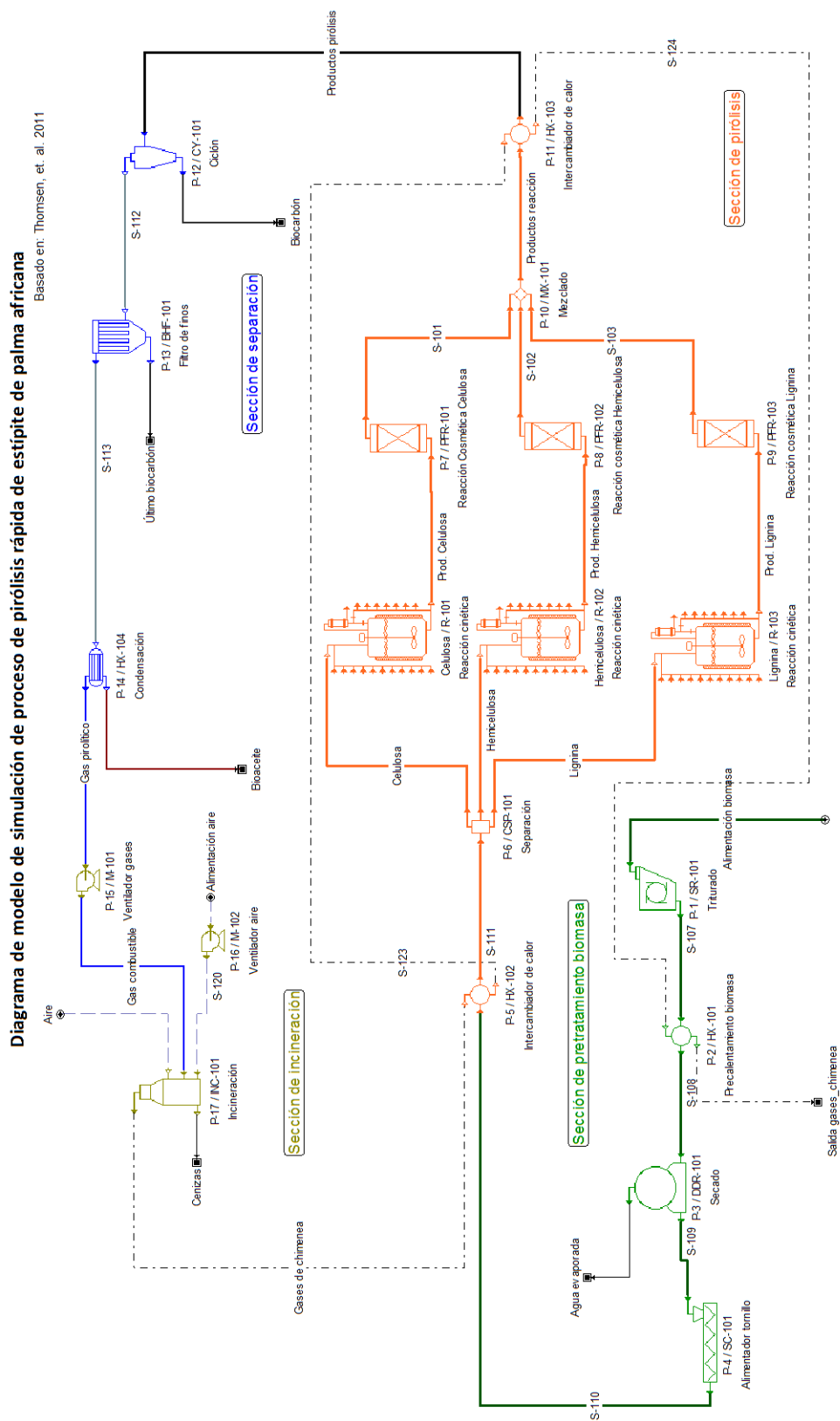
Operación/Reactor	Reacción	Entalpía de reacción (J/g)	Compuesto de referencia
P-7/PFR-101	Char → Biocarbón	-2000.0	Biocarbón
	Tar → Bioaceite	538.0	Bioaceite
	Vapores → Bioaceite	538.0	Bioaceite
	Gas → Gas pirolítico	538.0	Gas pirolítico
P-8/PFR-102	Char → Biocarbón	-2000.0	Biocarbón
	Vapores → Bioaceite	538.0	Bioaceite
	Gas → Gas pirolítico	538.0	Gas pirolítico
P-9/PFR-103	Char → Biocarbón	116.0	Biocarbón
	Vapores → Bioaceite	116.0	Bioaceite
	Gas → Gas pirolítico	116.0	Gas pirolítico

Por último, en la Tabla 31, se presenta el resumen de las operaciones unitarias empleadas en el modelo, la etapa simulada y una descripción breve de su función dentro del modelo. La descripción detallada de los parámetros ingresados en los módulos de operaciones unitarias empleadas se puede consultar en el Anexo B. El esquema final del proceso de pirólisis rápida de biomasa lignocelulósica se presenta en la Figura 38, basándose en el modelo propuesto por Thomsen, Hauggaard, Bruun, y Ahrenfeldt, en 2011.

Tabla 31. Descripción de módulos empleados en elaboración de esquema de flujo de proceso de pirólisis rápida de estípite de palma africana.

Módulo	Operación	Función
Triturador	P-1/SR-101	Reducción de tamaño de partícula de trozos de biomasa
Pre calentador de biomasa	P-2/HX-101	Calentamiento de biomasa de menor tamaño previo a secado de la misma
Secado	P-3/DDR-101	Secado de biomasa a procesar
Tornillo alimentador	P-4/SC-101	Transporte mecánico de biomasa seca a alimentar hacia el reactor
Intercambiadores de calor	P-5/HX-102	Calentar la biomasa a procesar y garantizar que la sección de reacción de pirólisis se modele como un proceso adiabático
	P-11/HX-103	Separar el flujo de biomasa alimentada en sus componentes de referencia según el flujo correspondiente
Separador de componentes	P-6/CSP-101	Transformar adiabáticamente las corrientes de flujo de componentes de referencia según la cinética del modelo empleado para cada componente en virtud del tiempo y temperatura de reacción
Reactores cinéticos	R-101, 102 y 103	Aglomerar los residuos y productos obtenidos de la reacción de los componentes de referencia en las fases de productos y subproductos de la reacción según fases correspondientes: biocarbón, bioaceite y gas pirolítico.
Reactores de flujo pistón	P-7/PFR-101	Mezclar los flujos obtenidos de cada reacción de componente de referencia, aplicando así el principio de superposición de la cinética de reacciones empleada
	P-8/PFR-102	
	P-9/PFR-103	
Mezclador	P-10/MX-101	Retirar la mayor parte de biocarbón del flujo de productos de la reacción
Ciclón	P-12/CY-101	Filtrar partículas finas producidas en proceso de pirólisis rápida
Filtro de finos	P-13/BHF-101	Separar la fracción de vapores presentes en flujo de productos del proceso
Condensador	P-14/HX-104	Transportar flujo de gases de pirólisis obtenidos luego del proceso de reacción y alimentar el flujo de aire requerido, respectivamente.
Sopladores	P-15/M-101 P-16/M-102	Generar la combustión de los gases obtenidos del proceso para obtención de energía y utilización de gases de chimenea como medio de calentamiento del reactor y acondicionamiento de biomasa
Incinerador	P-17/INC-101	

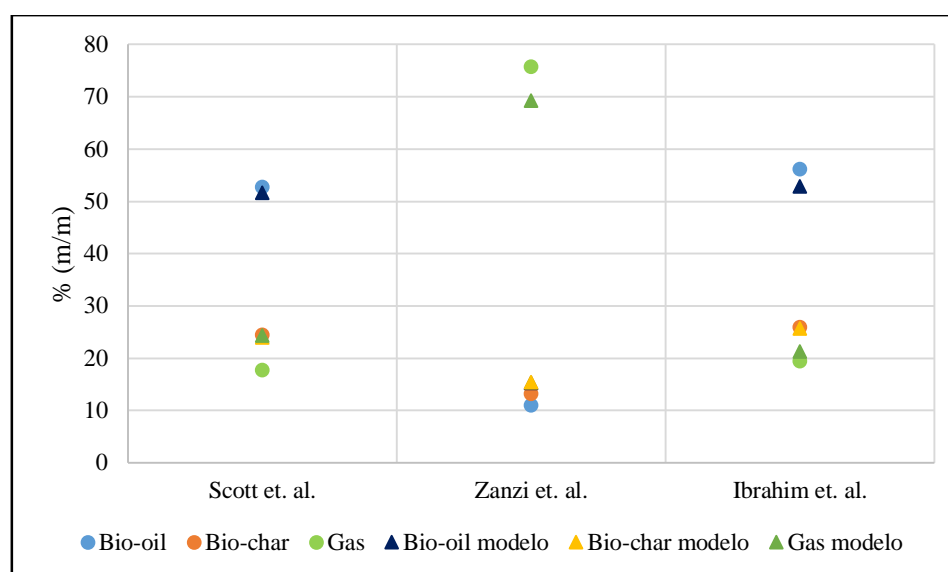
Figura 38. Diagrama de modelo de simulación de pirólisis rápida de estípite de palma africana.



a. **Validación del modelo.** Con el objetivo de conocer la exactitud del modelo que se realizó, se compararon los valores reportados en diversas publicaciones y los resultados obtenidos al emplear las condiciones de dichas experimentaciones, tales como: biomasa empleada, tiempo de residencia, temperaturas de operación y rendimientos de la reacción según la fase de producto obtenido.

Para esto se emplearon los estudios sobre pirólisis rápida de paja de trigo realizados por: (Zanzi, Sjöström, & Björnbom, 2002) y (Scott, Majerski, Piskorz, & Radlein, 1999); y reportados por: (Thomsen, Hauggaard, Bruun, & Ahrenfeldt, 2011). A continuación, se presentan las gráficas comparativas de las pruebas realizadas en el simulador y los resultados publicados.

Figura 39. Comparación de resultados publicados y de simulación de pirólisis rápida de paja de trigo.



De acuerdo con esta comparación, se determinó que el error de los resultados obtenidos por simulación respecto a los reportados en las publicaciones para pirólisis rápida de paja de trigo es de: 9.3 ± 4.3 % (m/m). Los valores del análisis de error anterior, se pueden consultar en el anexo B.2.

G. ESTIMACIÓN DE COSTOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN DE PIRÓLISIS RÁPIDA

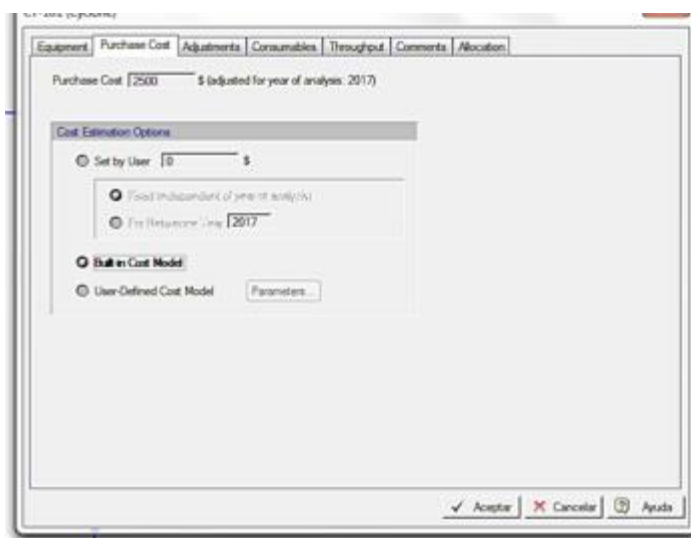
Al no poder realizar la construcción de la planta piloto, se decidió utilizar la herramienta de simulación SuperPro Designer® para realizar el escalamiento de la planta piloto. Dicha simulación se describe en el módulo “Simulación de pirólisis de estípites de palma africana Deli x AVROS empleando SuperPro Designer®” el cual simula la pirólisis rápida de una planta piloto con capacidad de procesar 100 kg/h. De dicha simulación se enlistó la maquinaria utilizada y haciendo uso del software SuperPro Designer® se realizó la estimación de capacidades a grandes razgos de la maquinaria y la estimación de los costos de esta.

1. **Estudio de parámetros.** Primero se utilizó el manual de usuario donde se observó cada parámetro, los cuales se describirán a continuación. Luego de investigación y de observar los precios de referencia del software, se ingresaron los datos necesarios para la estimación del costo de maquinaria.

Todos los modelos incorporados para la estimación de costos muestran el costo en dólares estadounidenses en un año determinado. Utilizando del ajuste de inflación automático del programa, se ajustarán los precios de referencia al año que se desee proyectar. La inflación que toma en cuenta es la inflación de Estados Unidos de Norteamérica.

Al momento en que se agrega un proceso nuevo al modelo, automáticamente el software asigna un recurso de “equipo” para el tipo de operación agregado. Este también asume que el usuario no conoce las dimensiones del equipo a utilizar, por lo tanto, estima la capacidad del equipo a grandes rasgos que se acomode la capacidad requerida de las operaciones más demandantes. Para el cálculo del costo de maquinaria, el programa tiene modelos incorporados que estiman el costo para cada tipo de equipo basado en el tamaño variable. Algunas de sus fórmulas usadas, para estimar los costos fueron dadas por fabricantes que se mantienen en el anonimato.

Figura 40. Cuadro de diálogo del "precio de compra" y "datos de equipo"



El costo de compra de los materiales se estima con la herramienta “Material Cost”, el cual usa los modelos incorporados que corresponden a cierto material de construcción. El material tiene efecto en el precio de compra. El factor de material se escala hacia arriba o hacia abajo en relación al precio base de la maquinaria.

Adicionalmente al equipo principal, se provee apoyo para la ejecución de otras operaciones. En la interfaz principal no se observarán dichos equipos auxiliares sin embargo son tomados en cuenta para el cálculo del costo de la maquinaria.

El costo de instalación para cada quipo se calcula como una fracción del precio de compra. El valor más común entre las referencias obtenidas por los proveedores que se mantienen anónimos es de 30% sobre el costo del precio de compra. A pesar de que se conoce que dicho factor es muy variable ya que depende del tamaño y tipo de maquinaria, se tomará dicho valor como el mínimo para la instalación de la maquinaria.

2. **Análisis de maquinaria.** Se utilizará las secciones de la simulación realizada para el escalamiento de la planta piloto de pirólisis rápida en el cual se observa los elementos necesarios. La descripción de aquellos que si se tomarán en cuenta para la estimación de costos se encuentra en la sección de análisis de resultados.

a. Pre calentamiento biomasa

Figura 41. Sección de pretratamiento de biomasa de simulación

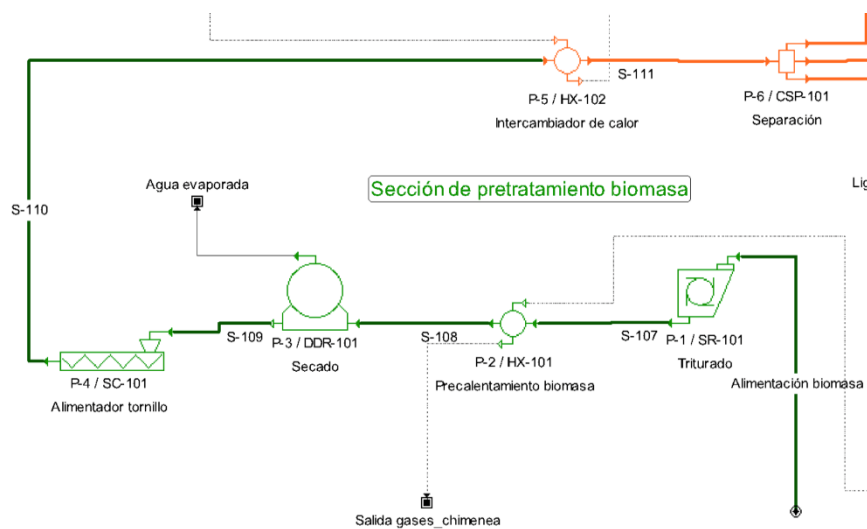


Tabla 32. Maquinaria asignada por el simulador para la sección de pre calentamiento de biomasa

Maquinaria
Triturador
Pre-calentador biomasa
Secado
Alimentador Tornillo

b. Pirólisis

Figura 42. Sección de pretratamiento de biomasa de simulación

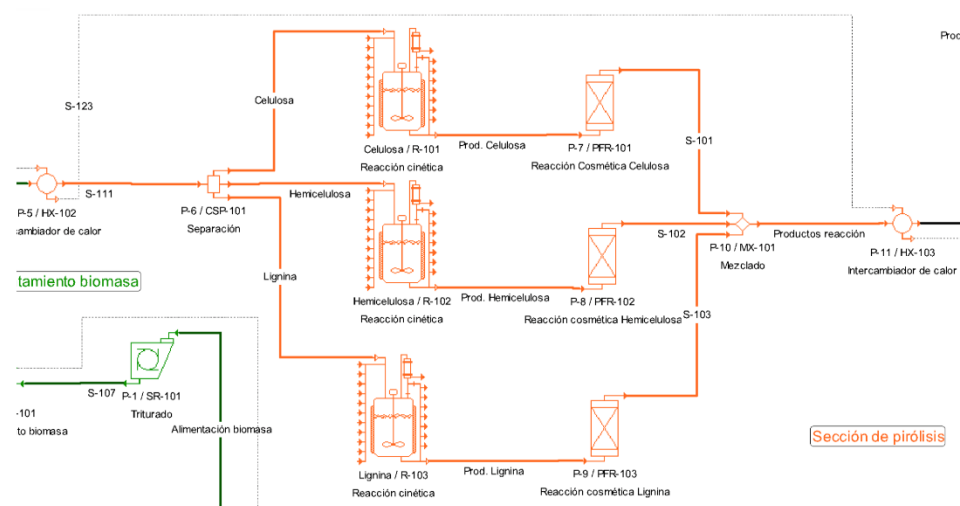


Tabla 33. Maquinaria asignada por el simulador para la sección de pirólisis

Maquinaria
Intercambiador de calor
Separación
Reacción cinética
Reacción cosmética
Mezclado
Intercambiador de calor

c. Separación

Figura 43. Sección de separación en simulación

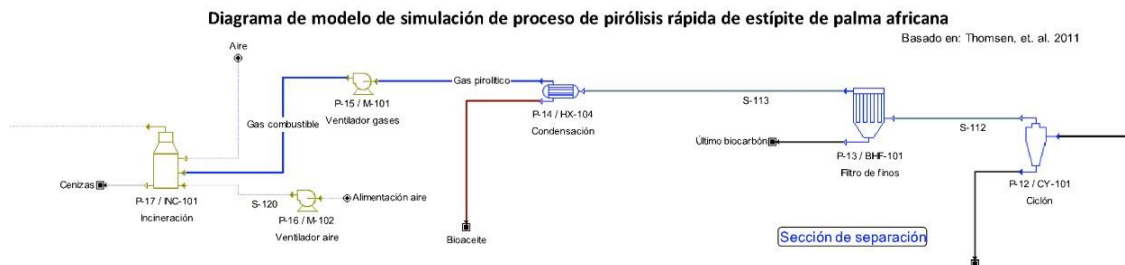


Tabla 34. Maquinaria asignada por el simulador para la sección de separación

Maquinaria
Ciclón
Filtro de finos
Condensación
Ventilador de gases
Ventilador de aire
Incineración

d. **Parámetros ingresados** Para poder estimar el costo de la maquinaria, se determinó parámetros para cada maquinaria a la cual sí se le estimó el costo.

Tabla 35. Parámetros y datos ingresados para la estimación de costos provistos por la simulación

Elemento	Código	Cálculo de tamaño	Material	Opción de estimación de costo	Ajuste del año	Porcentaje del costo de instalación
Precalentamiento biomasa	HX-101	Calculated (design mode)	SS304	Built in cost model	2017	5%
Triturador	SR-101	Calculated (design mode)	SS304	Built in cost model	2017	5%
Secado	DDR-101	Calculated (design mode)	CS	Built in cost model	2017	5%
Ciclón	CY-101	Calculated (design mode)	SS304	Built in cost model	2017	5%
Filtro de finos	DHF-101	Calculated (design mode)	SS304	Built in cost model	2017	105%
Condensador	HX-104	Calculated (design mode)	SS304	Built in cost model	2017	5%
Ventilador de gases	M-101	Calculated (design mode)	SS304	Built in cost model	2017	5%

Notas: La columna "Tamaño" indica el parámetro que fue seleccionado para la estimación de la capacidad, el cual fue "design mode." Esta toma como referencia el flujo asignado durante la simulación. La columna "Material" muestra el material seleccionado para la construcción donde SS304 representa acero inoxidable 304 y CS hace referencia al acero al carbón. La columna "Operación de estimación de costo" muestra el parámetro "Built in cost model" el cual estima el costo de construir la maquinaria necesaria. Finalmente, la columna "Ajustado para año" muestra que se proyecta el costo al año 2017.

H. PROPUESTAS DE PRESUPUESTO PARA LA OBTENCIÓN DE PIRÓLISIS NIVEL PILOTO

Con el fin de obtener resultados a nivel piloto, inicialmente se planteó obtener un presupuesto para manufacturar el equipo de pirólisis para una planta piloto. De esta propuesta, luego de una entrevista realizada a un ingeniero mecánico dueño de una planta de pirólisis local donde se procesan neumáticos y aceites, se determinó que para una planta piloto de pirólisis es mejor la importación de equipo que comprar componente por separado o manufacturarlo localmente, debido a los elevados costos de fabricación.

Por lo tanto, utilizando esta intervención se realizan las siguientes propuestas para la obtención de resultados a nivel piloto.

1. **Importación del equipo.** Para esta propuesta, con el fin de facilitar la logística de las pruebas, se plantó una ubicación adecuada para la planta piloto de acuerdo a la distribución de las fincas actuales y el volumen de estípite existente en cada finca (anexo F – Tabla 131).

Para la importación del equipo de pirólisis, se inició con la búsqueda de proveedores de dicho equipo, donde se tuvo respuesta de un proveedor en China el cual realiza e instala todo el equipo involucrado en el proceso de pirólisis rápida, con capacidad de hasta 10 toneladas métricas por día. Cabe mencionar que el proveedor que dio respuesta es el mismo que provisionó a la empresa guatemalteca que ya realiza pirólisis. Esto es importante, ya que dentro de las entrevistas realizadas a la empresa de pirólisis guatemalteca, se mencionó que para este equipo se tuvo un porcentaje del 35% sobre el costo de la maquinaria, para el costo de instalación. (Saldarriaga, 2017)

Gracias a los datos proporcionados por el proveedor, se realizó una estimación de inversión inicial necesaria y costos de operación del sistema para un mes. Cabe mencionar que el costo del equipo cotizado incluye lo necesario para la pirólisis, es decir: reactor, condensadores y ciclón de separación de partículas sólidas; además cuenta con el sistema necesario para reutilizar el gas obtenido de la pirólisis. Finalmente, de ejecutarse esta propuesta se realizan sugerencias a tomar en cuenta en seguridad industrial.

Figura 44. Equipo de pirólisis cotizado



2. **Tercerización de pruebas** Además de la entrevista concedida, también se realizó una visita a la empresa de pirólisis en Guatemala, en donde se verificó que el proceso era apto para tratar biomasa. Por lo tanto, se evaluó la posibilidad de realizar pruebas a nivel piloto con el equipo que la empresa ya posee, para el estípite de la palma africana.

De esta propuesta, la empresa se tuvo una respuesta positiva a la cual se adjuntó una cotización con el costo por kilogramo tratado en su planta (anexo D, Figura 199). Con esta información, se realizó el presupuesto necesario para realizar tres pruebas mínimo, dos a distintas humedades (media y alta) y una más para verificar los resultados de la humedad que obtenga mejor rendimiento dependiendo lo que la empresa más le interese.

Para esta propuesta, el presupuesto tomó en cuenta el costo de las pruebas, transporte de la biomasa desde las fincas hasta el lugar de la prueba, y desde la prueba hasta laboratorios en la capital, asumiendo que los estudios seguirán siendo realizados por la universidad. Por otro lado, también se consideró el pretratamiento de la biomasa, pues ya se ha mencionado que se requiere triturar y secar. Sin embargo, para estas pruebas no sería necesario un triturado riguroso pues el reactor tiene el espacio suficientes para un tamaño de muestra mayor al utilizado a nivel laboratorio. No obstante, esto no descarta un triturado previo pues el estípite mide 12.5 metros, para el cual se sugiere utilizar el método de corte y trituración con la maquinaria que la empresa ya posee (anexo E, Figura 216). En relación al secado, se sugiere trabajar con humedades medias y altas. Ya que una humedad de 75% se obtiene del estado normal de la palma, y una humedad del 55% que se puede lograr con secado al sol.

Finalmente, para ambas propuestas, la importación y tercerización, se plantean ventajas y desventajas. Sin embargo, la propuesta en general de obtención de resultados a nivel piloto se realizó con el fin de obtener información más acertada que permita una más amplia investigación, antes de inversiones mayores.

I. ESTUDIO DE MERCADO

Realizar un análisis de contexto empleando herramientas PESTEL, fuerzas de Porter y 4 P's

Para ello se determinó las posibles aplicaciones del producto sólido del módulo "Aplicaciones de los productos obtenidos de la pirólisis de estípite de palma africana Deli x AVROS". Empleando estas aplicaciones se identificaron dos grandes escenarios: energía eléctrica y enmienda de suelos. De los cuales se realizó un análisis de contexto.

Para el PESTEL se investigó datos de los proveedores de la materia prima utilizada para la pirólisis, la palma africana. También, se investigaron datos sobre el mercado de energía eléctrica nacional para incorporar al análisis información sobre la posible generación de este tipo de energía con la combustión del carbón.

Para realizar el análisis de las “Las 5 fuerzas de Porter” se investigó datos acerca de los proveedores de la materia prima para la pirólisis, sobre los productos sustitutos que existen en los mercados de energía eléctrica y enmienda de suelos y de los posibles clientes en cada mercado. También, se investigó acerca de las barreras de entrada que podrían tener nuevos competidores y la rivalidad actual en cada mercado.

Para llevar a cabo el análisis de las 4 P's (producto, precio, plaza y promoción) se definió el producto sólido obtenido de la pirólisis, también denominado char o biocarbón, con las características descritas en el módulo “Aplicaciones de los productos obtenidos de la pirólisis de estípote de palma africana Deli x AVROS”. Se investigó sobre el precio que tiene el biocarbón y sus sustitutos en los mercados propuestos. Luego, se identificó el punto de venta del char de acuerdo a dónde se comercializan los productos sustitutos. Finalmente, se definió como se informaría al cliente sobre el producto.

J. IDENTIFICACIÓN DE INTERESADOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE PIRÓLISIS

Para identificar a los interesados en el mercado de energía eléctrica, enfocado en el mercado nacional, se investigó sobre datos históricos de importaciones de la hulla bituminosa en la sección de estadísticas económicas del Banco de Guatemala. Tomando en cuenta dichas importaciones se realizó proyecciones para los próximos cinco años utilizando el modelo matemático que se adecuara a los datos y que expresara la tendencia del producto.

Para el caso del mercado de enmienda de suelos se trabajó por separado la sección de jardines y la sección de plantaciones agrícolas. En la sección de plantaciones agrícolas se obtuvo información del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) acerca del suelo sobre utilizado debido a la realización de actividades productivas intensas. Además, se buscó en publicaciones científicas las dosis de aplicación del biocarbón para obtener la producción total de biocarbón dirigida al mercado de plantaciones agrícolas.

Ahora bien, en la sección de jardines, se obtuvo información del Instituto Nacional de Estadística (INE) sobre la cantidad de casas formales pertenecientes a personas clasificadas como no pobres que existen en a nivel nacional. Además, se obtuvo del “Reglamento para viviendas individuales” de la Municipalidad de Guatemala el porcentaje de área verde que debe tener una casa. Utilizando ambos datos se determinó el total de área verde, jardines, que existe en la ciudad de Guatemala. Para determinar la dosis de aplicación de biocarbón en jardines se obtuvo un promedio para los rangos inferiores y superiores de pH tolerados de distintos tipos de césped, y obtener la diferencia entre ambos promedios de rangos y saber cuanto debe cambiar el pH. Tomando como referencia la dosis de aplicación para un cambio determinado de pH en plantaciones agrícolas, se sacó una relación para obtener la dosis de aplicación para el cambio de pH en césped. Finalmente, se obtuvo la producción total necesaria dirigida al mercado de jardines.

K. LISTA DE COTEJO PARA LOCALIZACIÓN DE PLANTAS INDUSTRIALES

Se identificó los criterios logísticos más importantes a tomar en cuenta para la localización de la planta de producción, a nivel industrial, de pirólisis de estípites de palma africana. Se definió el lugar de localización y con una lista de cotejo se evaluó los aspectos de cumplimiento de la localización.

L. DEFINICIÓN DE OPERACIONES DEL PROCESO DE PIRÓLISIS

El proceso de pirólisis lenta se definió en el módulo “Propuesta técnica de un proceso de pirólisis de palma africana Deli x AVROS a escala laboratorio”. Tomando el proceso descrito, este se definió en siete operaciones y la secuencia que debe seguir el proceso. Luego, se cotizó maquinaria que cumpliera con todas las características necesarias para llevar a cabo cada operación a nivel industrial.

Se preparó un perfil de capacidades de todas las máquinas propuestas para las operaciones del proceso, todas en toneladas métricas por segundo para hacer una comparación entre ellas e identificar el cuello de botella del proceso.

M. PROGRAMACIÓN EN SIMIO

En el programa de simulación SIMIO se preparó un perfil de capacidades con un modelo determinístico. Se utilizó la figura de un «source» o fuente, dos «servers» o servidores y dos «sinks» o bancos, para modelar el flujo del proceso.

- Source: representa la tasa de entrada de producto y se utilizó un tiempo de 170 segundos por tonelada métrica. Se nombró el source» como “tritadora» para representar la tasa de llegadas resultando en dicho valor esperado.
- Server1: se nombró como «bioreactor» y se le asignó un tiempo de 12 horas por tonelada métrica, una tasa de entrada de 3 toneladas métricas para una de salida. La salida del bioreactor se divide en dos rutas para ejemplificar el balance de masas.
- Server2: se nombró como «empacadora» y se le asignó una tasa de 75 segundos por tonelada métrica.
- Sink1: fue el que se utilizó para balancear la salida del «Server1».
- Sink2: se nombró como «cliente final» y representa la salida del proceso de los sacos de biocarbón ya empacados.

Se utilizaron «paths» como conectores con las mismas distancias representativas que se consideraron en el análisis financiero para las distancias que recorren los camiones.

Se realizó una programación del modelo en 3D utilizando figuras descargables predeterminadas como se puede observar en la Figura 81.

Para el flujo de material en el modelo se utilizaron tres procesos programables. El primero para asignar la figura de estípites de palma africana utilizando la programación de un «Assign» en la trituradora. El segundo para asignar la figura de un carbón utilizando la programación de un «Assign» en el «Bioreactor». El tercero, de igual forma pero con una figura de sacos como empaque. Finalmente, la simulación se corrió 10 veces con tiempo de programación de 24 horas.

N. DETERMINACIÓN DE NECESIDADES DE PERSONAL PARA LA OPERACIÓN DEL PROCESO

Para determinar la cantidad de personal necesaria para una planta de pirólisis lenta se tomó como referencia la publicación «Large-Scale Pyrolysis Oil Production: A Technology Assessment and Economic Analysis» de National Renewable Energy Laboratory, un laboratorio nacional del departamento de energía de los Estados Unidos (Ringer, Putsche, & Scahill, 2006). En dicha publicación se menciona que se estimó la cantidad y habilidad del personal necesario para operar una planta de pirólisis basándose en la experiencia de NREL. La cantidad de personal para cada puesto propuesto se modificaron haciendo una descripción de tareas. Además, se hizo una descripción de cada puesto de trabajo, describiendo responsabilidades, competencias y conocimientos necesarios.

O. DETERMINACIÓN DE COSTOS

La inversión inicial se realizó sumando los montos de las cotizaciones realizadas para cada una de las máquinas, equipo y terreno propuesto para la implementación de la planta de producción, a nivel industrial, de pirólisis de estípites de palma africana. Además, se agregó el monto de 3 meses de operación. También se consideró la opción de cambiar la trituradora por una excavadora con un accesorio y así poder tener otra opción de inversión inicial un poco más baja.

Los salarios del personal se tomaron del artículo científico «Demanda laboral para ingenieros en Guatemala: un análisis de solicitud de empleados desde el año 2013 hasta el año 2016» (Silva, Morfin, Nery, Álvarez, & deLeón, 2017), y el salario mínimo se tomó del Ministerio de Trabajo y Previsión Social. Además, se incluyó las prestaciones de ley que se indican en el Código de Trabajo como IGSS (10.67%), aguinaldo (8.33%), bono14 (8.33%), vacaciones (4.15%), indemnización (8.33%) e INTECAP(2%).

También se calculó los distintos costos en los que incurrirá la planta al entrar en operación como: salarios de personal, electricidad, combustible, materiales, entre otros. Para determinar dichos costos se definió que al año se tienen 280 días disponibles al año, también se determinó que un ciclo de trabajo constaría de 90 días y el mantenimiento tomaría 6 días. Empleando especificaciones del proveedor. Tomando en cuenta el tiempo de un ciclo de trabajo, el rendimiento de cada máquina propuesta para el proceso y el costo del diésel y del kilovatio-hora, se calcularon los costos operacionales.

Se determinó cuantas toneladas métricas de biocarbón se podrían producir al año. Luego se realizó un sistema de costeo que incluye la mano de obra, los materiales y los costos indirectos de fabricación para determinar el costo de una tonelada métrica de biocarbón. Para obtener el precio de venta se le agregó al costo de producción un 12% de margen, el cual especificó la empresa de gasas y aceites que era el porcentaje de margen que deseaban, y también se le agregó el impuesto sobre el valor agregado.

P. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD ECONÓMICA

Se realizó un análisis de rentabilidad económica para 5 distintos escenarios, cada uno con proyecciones a 15 años.

1. **Escenario 1.** Se planteó haciendo variaciones en precio de venta anual, aumentándolo un 4.755% debido a que en los últimos 10 años ese fue el promedio de inflación. De igual forma se planteó que anualmente se le haría un aumento del 5% al salario de los empleados. También se varió el combustible diésel en un 0.2% debido a que ese fue el promedio de variación entre los años 2013-2016. La cantidad de materiales indirectos (sacos de empaque) se varió un 0.02% anual debido a que este fue el promedio de variación del barril de petróleo entre los años 2013-2016. Se utilizó un porcentaje de variación del petróleo debido a que los sacos son de polipropileno, polímero derivado del petróleo. En este escenario se plantea vender el biocarbón al precio de venta de acuerdo con el costo de operación que incluye un 12% de margen y el IVA.

2. **Escenario 2.** En el segundo escenario se planteó que biocarbón tiene un precio de venta basado en el costo de operación, al cual se le agrega un 12% de margen y el IVA. Para este escenario también se hicieron las mismas variaciones que en el primer escenario exceptuando el aumento del 5% anual al salario de los empleados.

3. **Escenario 3.** El tercer escenario se trabajó bajo el supuesto de que el biocarbón incursiona en el mercado de enmienda de suelos. En este mercado la cal agrícola tiene un precio de Q781.00 por tonelada métrica, por lo tanto ese fue el precio de venta asignado al biocarbón. En este escenario también se hizo las variaciones de precio de venta por inflación, incremento del 5% anual en salarios, variación de 0.2% de diésel y variación de 0.02% del barril de petróleo para variar el material indirecto. Estas fueron las mismas variaciones que se hicieron en el escenario 1 que se hicieron en el primer escenario.

4. **Escenario 4.** En el cuarto escenario, de igual forma, se planteó un precio de venta igual al de la cal agrícola y variar los mismos factores que el escenario 3, exceptuando el incremento del 5% anual al salario de los empleados.

5. **Escenario 5.** El quinto escenario se trabajó bajo el supuesto de que el biocarbón incursiona en el mercado de energía eléctrica, en el cual una tonelada métrica de hulla bituminosa tiene un precio de Q670.00. Por lo tanto ese fue el mismo precio de venta asignado al biocarbón. En este escenario también se hizo las variaciones de precio por inflación, de material indirecto y de combustible diésel, sin incluir aumento del 5% anual salarios de personal para no incurrir en más gastos.

Q. EVALUACIÓN DE RENTABILIDAD ECONÓMICA

Se obtuvo la tasa interna de retorno para los escenarios 1 y 2 usando la función “TIR” en Excel.

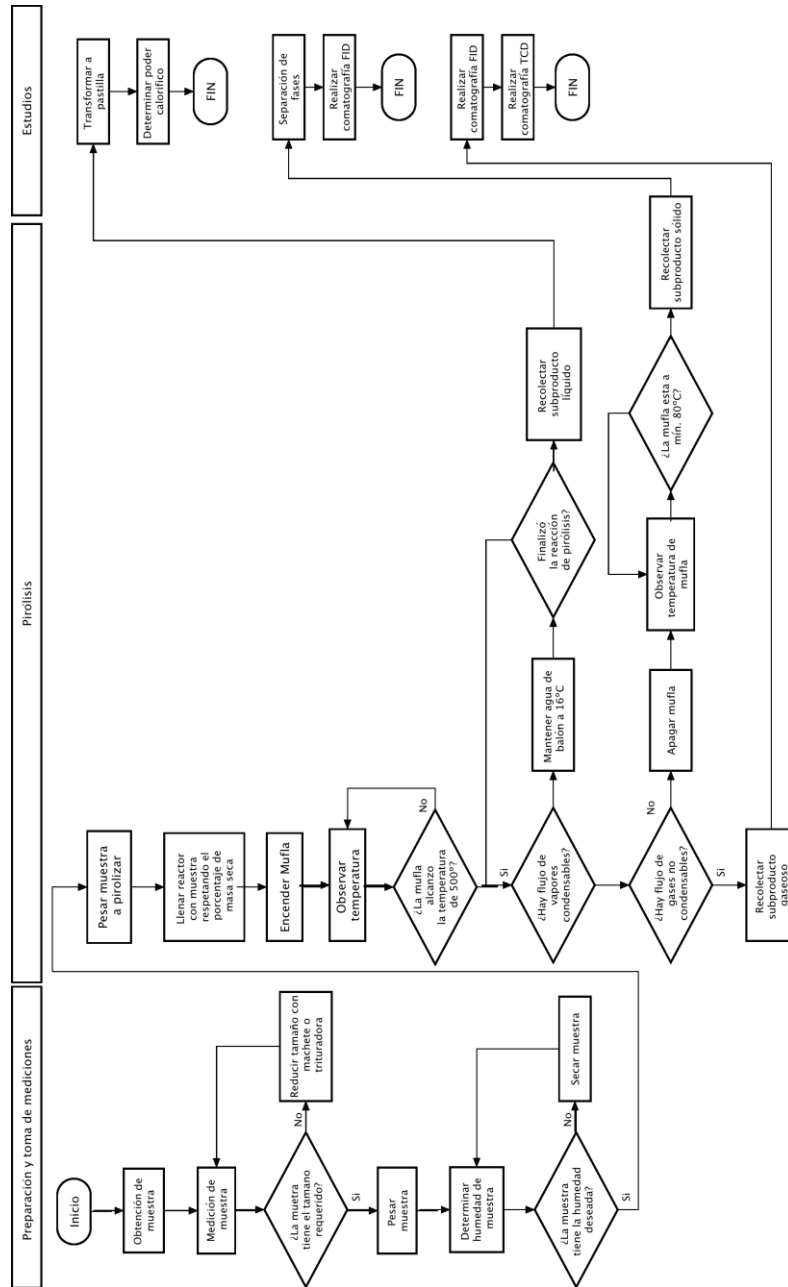
Se calculó la rentabilidad requerida utilizando el modelo de valoración de activos financieros (CAPM). Para obtener dicha rentabilidad se tomó que dentro del modelo, la tasa de rentabilidad libre de riesgo es de 2.73%, la cual es la tasa de invertir en los bonos del tesoro de Estados Unidos (Tresury, 2017). El índice de riesgo no diversificable que se utilizó fue el índice de riesgo país que obtuvo Guatemala en el Informe Riesgo País II Trimestre 2017 según la Secretaría Ejecutiva del Consejo Monetario Centroamericano, índice de 5. Para la rentabilidad del mercado se tomó en cuenta tanto el mercado de energía renovable como el de agricultura, para los cuales se obtuvo que eran 3.80% y 17.53% respectivamente. Ambas rentabilidades se obtuvieron del índice S&P 500, pero fueron ajustadas a Guatemala. Para realizar el ajuste de las rentabilidades del se utilizó la relación de inflación que existe entre Guatemala (2.2%) y Estados Unidos (1.3%), siendo dicha relación de 59.09%.

De igual manera se calculó otra rentabilidad requerida de la inversión tomando en cuenta que la empresa de aceites y grasas expresó que la tasa mínima atractiva de rendimiento que ellos utilizan es del 12%. Por lo tanto la rentabilidad requerida de la inversión se obtuvo debería de ser de 12.31%, ingresando al modelo la rentabilidad sin riesgo (2.73%) tomando en cuenta también, el índice de riesgo país de Guatemala (5), la rentabilidad del mercado de energía renovable ajustado y la TMAR de la empresa (12%).

VII. RESULTADOS

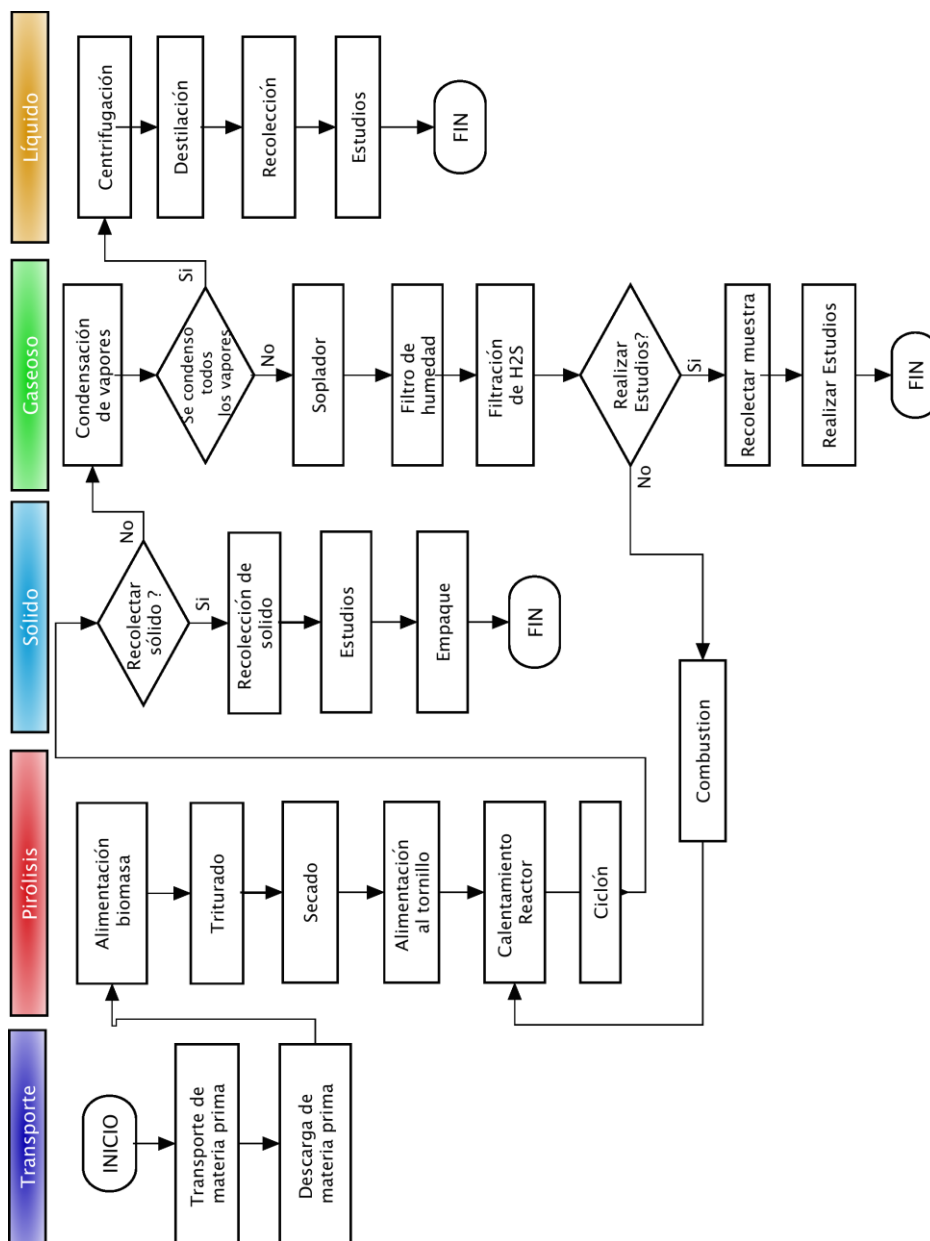
A. DIAGRAMAS DE FLUJOS

Figura 45. Diagrama de operaciones realizadas durante pruebas de laboratorio



El siguiente diagrama de flujo representa una propuesta de las operaciones adicionales necesarias para el tratamiento de los subproductos.

Figura 46. Diagrama de flujo de operaciones sugeridas para la planta piloto



B. PRUEBAS A ESCALA LABORATORIO DE PIRÓLISIS DE ESTÍPITE DE PALMA AFRICANA

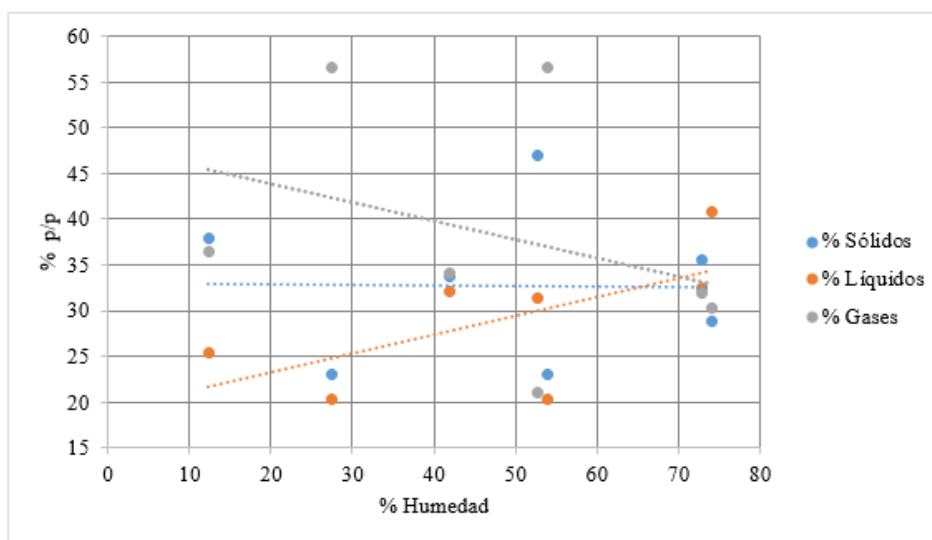
Tabla 36. Balance de masa de productos sólidos, líquidos y gaseosos

Prueba	Masa de Estipe ($\pm 0.01\text{g}$)	Biomasa seca ($\pm 0.01\text{g}$)	Tiempo de operación ($\pm 0.13\text{min}$)	Rendimiento (% m/m)		
				Sólido	Líquido	Gaseoso
1	45.31	39.72	49	38.00	25.46	36.54
2	76.90	65.34	79	46.94	31.25	31.81
3	90.08	46.56	78	23.12	20.28	56.60
4	80.27	36.22	102	33.74	32.19	34.07
5	108.85	20.77	73	28.91	40.81	30.28
6	88.16	23.94	73	35.52	32.50	31.98
7	45.08	28.30	54	23.12	20.28	56.60

*Los rendimientos de todas las fases se presentan en base seca.

La tabla anterior muestra un balance másico de productos sólidos, líquidos y gases. La fase gaseosa no se midió, se determinó por tara de la masa inicial de palma y los productos sólidos y líquidos recuperados en el proceso de pirólisis.

Figura 47. Rendimiento másico como función de la humedad



La gráfica anterior muestra que los líquidos aumentan en función del aumento de la humedad y que los gases disminuyen, por efecto de condensación en el líquido. El porcentaje de sólidos oscila en línea recta, no se ve afectado por la variación de la humedad.

Por otro lado, a nivel laboratorio el proceso seguido involucró un pre acondicionamiento de la materia prima. Los tratamientos previos realizados fueron el triturado y secado de la biomasa. El proceso continuó con la alimentación y sellado del reactor que se introdujo a la mufla. Dentro de la mufla, el reactor se llevó hasta los 500°C provocando la separación de la materia prima en tres productos principales, un sólido, un líquido y un gas. El proceso de transformación se muestra en la Figura 31.

Tabla 37. Condiciones controladas durante las pruebas de pirólisis lenta.

Prueba	Humedad ($\pm 0.01\%$ m/m)	Temperatura final ($\pm 1^\circ\text{C}$)	Tiempo de residencia a T final ($\pm 0.13\text{min}$)	Producto favorecido
1	12.32	500 °C	15 min	Sólido
2	52.90		30 min	Sólido
3	27.47		30 min	Gas
4	42.00		17 min	Gas
5	74.00		30 min	Líquido
6	72.85		24 min	Sólido
7	53.93		6 min	Gas

*El producto favorecido se determina utilizando el Tabla 36.

**Para la prueba 1 se utilizó el sistema de la Figura 23, para las pruebas 2 a 4 la Figura 29 y las pruebas 5 a 7 la Figura 32.

Tabla 38. Poder calorífico de la fase sólida obtenida de la pirólisis lenta.

Muestra	Poder calorífico
Estípites	3.58 MJ/kg
Carbón para prueba 2	$28.31 \pm 0.67\text{MJ/kg}$
Carbón para prueba 3	$26.41 \pm 0.51\text{ MJ/kg}$
Carbón para prueba 4	$27.54 \pm 0.60\text{ MJ.kg}$
Media	$27.42 \pm 0.78\text{MJ/kg}$
Aumento de poder calorífico	7.66 veces

*El poder calorífico del estípites es un dato dado por la plantación.

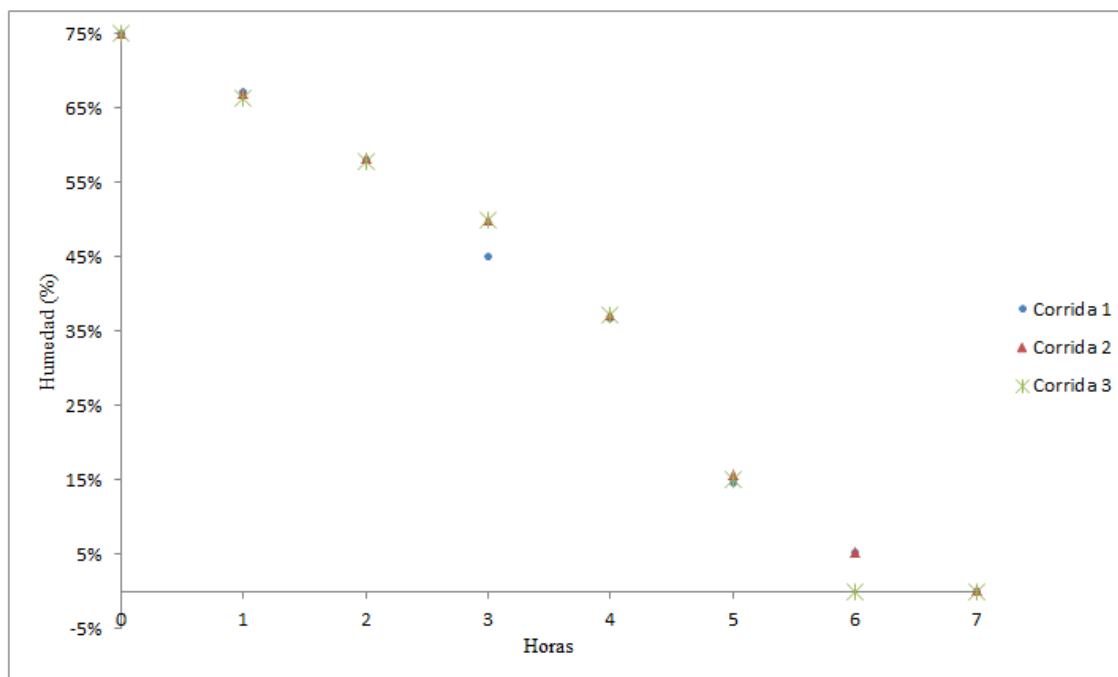
C. ANÁLISIS DE PRODUCTOS OBTENIDOS POR PRUEBAS A ESCALA LABORATORIO

Tabla 39. Análisis granulométrico del sólido introducido al reactor de pirólisis

Mesh	% Acumulado
Inicial	0%
20	85.20%
30	92.60%
45	97.20%
60	98.70%
80	99%
100	100%
Finos	100%

Los porcentajes representan la proporción másica en más de 80% del tamaño. Se puede decir que el tamaño de las partículas es de 20 Mesh.

Figura 48. Curva de secado para estípites de palma



La gráfica anterior muestra el comportamiento de reducción de la humedad del estípites de palma en función del tiempo en horas.

Tabla 40. Resultados de análisis para abonos orgánicos para carbón obtenido en pruebas a humedades menores al 50% y su comparación con otros productos utilizados para enmiendas.

Parámetro	Valor *Char de pirólisis	Valor Humivita® 45-25	Valor Estiércol de oveja (Tortosa, Albuquerque, Ait- Baddi, & Cegarra, 2012)	Valor Estiércol de vaca (Durán & Henríquez, 2007)	Valor Regenerador MASSÓ Garden	Unidades
pH	10.38	4.9	8.51	7.8	-	
C/N	54.13	63	14.3	10.9	14.5	
N	0.78	0.31	1.77	1.8	2	% m/m
P ₂ O ₅	2.79	-	2.2	2.0	-	% m/m
K ₂ O	16.09	-	16.5	1.1	1	% m/m
CaO	1.41	-	10.9	2.3	-	% m/m
MgO	1.93	-	1.87	0.7	-	% m/m
Azufre	0.35	-	13200	-	-	ppm
Boro	21.58	-	-	-	-	ppm
Cobre	19.73	-	51	64	-	ppm
Hierro	2618.00	-	4139	6124	-	ppm
Manganeso	82.45	-	226	422	-	ppm
Zinc	102.20	-	185	308	-	ppm
Carbono orgánico	42.22	19.3	25.2	19.2	29	% m/m
Materia orgánica	76.00	33	45.6	33.1	52	% m/m
Ceniza	24.00	-	-	-	-	% m/m

*realizado por el laboratorio de Anacafé, Analab

De las seis pruebas analizadas, se realizó una comparación de todos los componentes encontrados y se obtuvo el promedio de intensidad para los compuestos que fueron consistentes entre el 83 – 100% de los casos.

Figura 49. Componentes encontrados en el 100 – 83% de las pruebas para la fase acuosa del líquido

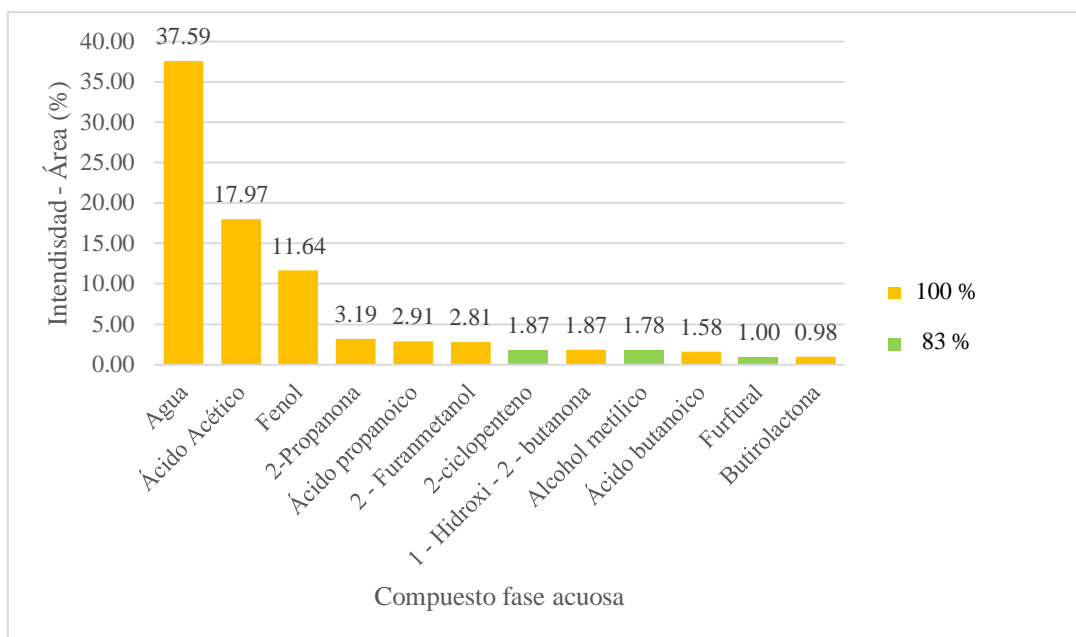


Tabla 41. Cromatografía de gases con detector FID para fase acuosa

Compuesto/Corrida	1	2	3	4	5	6
Humedad*	12.32%	52.9%	27.47%	42.00%	74.00%	72.85%
Ácido Acético	19.41%	26.24%	17.67%	21.84%	11.00%	11.67%
Fenol	11.83%	17.86%	11.68%	14.23%	8.96%	11.06%

*La humedad hace referencia a porcentaje de humedad, los porcentajes de ácido acético y fenol son porcentajes de proporción másica.

La tabla anterior muestra los compuestos principales en la fase acuosa, en base húmeda. Los porcentajes representan una proporción másica en cromatografía. A continuación, se muestra un análisis gráfico de estos datos. Se seleccionaron ácido acético y fenoles en las muestras líquidas porque eran los que estaban en mayor proporción másica. La distribución de todos los compuestos obtenidos en la cromatografía de gases a la fase acuosa y orgánica se muestra en anexos.

El Porcentaje en el eje vertical representa la proporción másica de ácido acético y fenol (según sea el caso) producido al hacerle pirólisis al estúpido de palma a las humedades que muestra el eje horizontal.

Figura 50. Proporción másica de ácido acético en función de la humedad (fase acuosa).

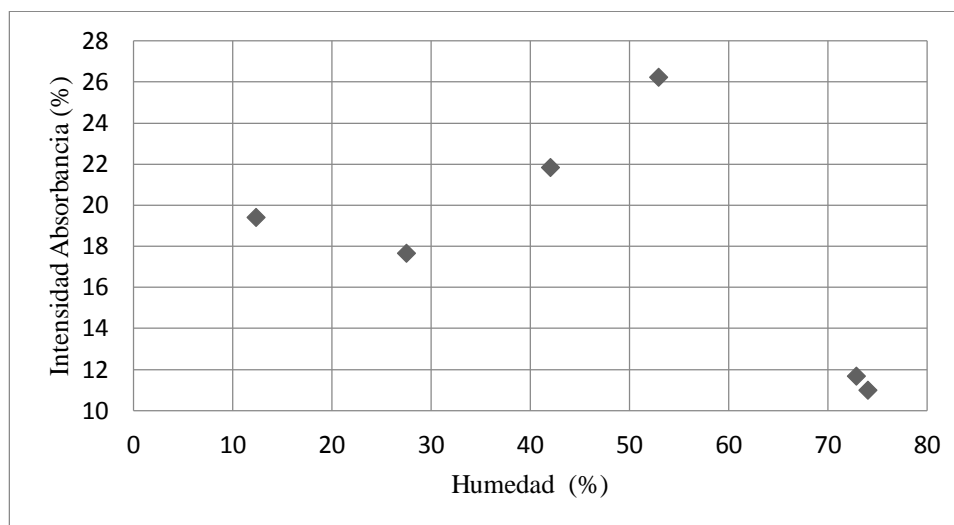
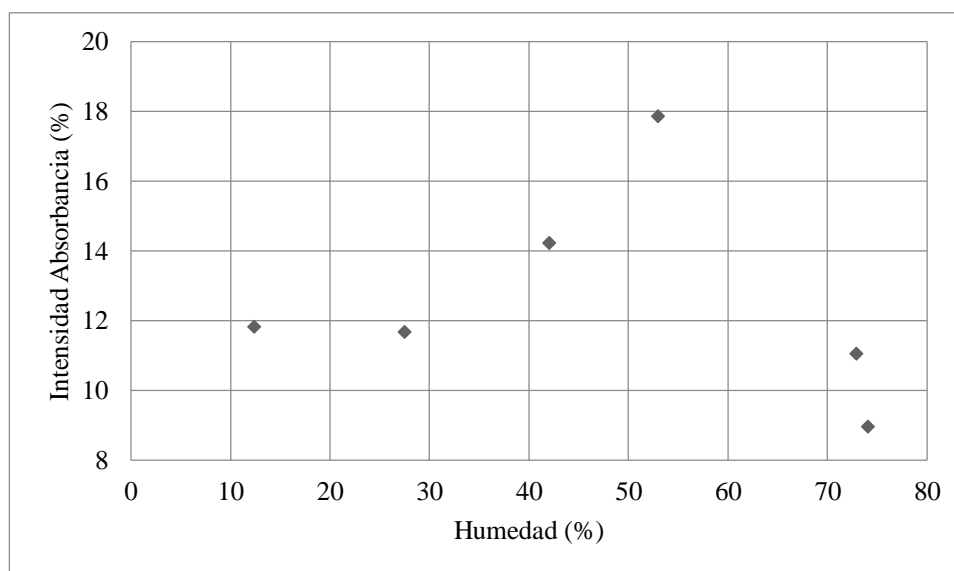


Figura 51. Proporción másica de fenol en función de la humedad (fase acuosa)



Ambas gráficas muestran un aumento en la obtención de productos en humedades mayores al 50 por ciento, pero menores a la humedad inicial de la palma. Adviértase que es absorbancia y no concentración

Para la fase orgánica se realizó el mismo procedimiento y estos fueron los resultados

Figura 52. Componentes encontrados en el 83% de las pruebas de la fase orgánica del líquido.

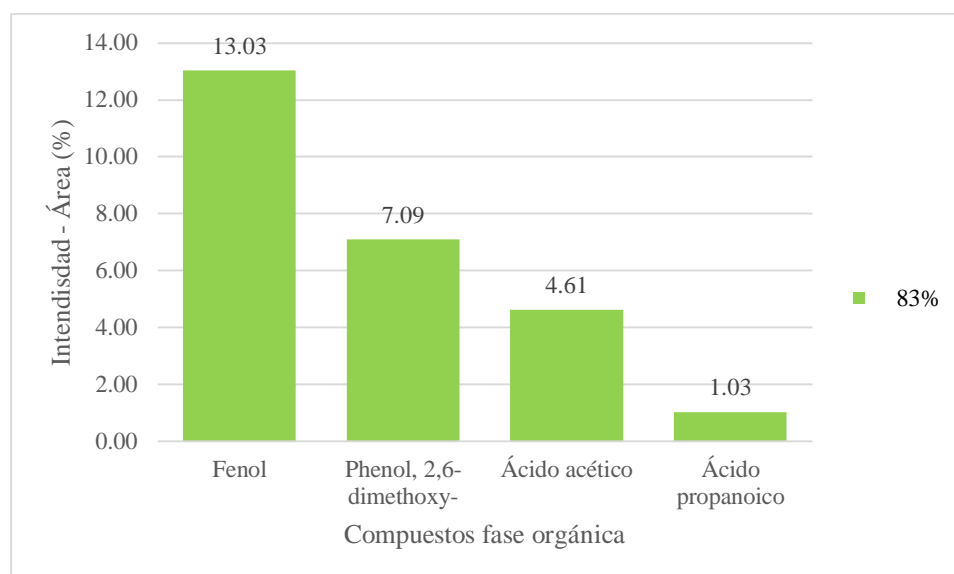


Tabla 42. Cromatografía de gases con detector FID para fase orgánica

Compuesto/Corrida	1	2	3	4	5	6
Humedad *	12.32%	52.9%	27.47%	42.00%	74.00%	72.85%
Ácido Acético	-	21.57%	15.62%	15.51%	6.44%	6.01%
Fenol	-	5.72%	3.05%	3.31%	1.41%	2.19%

*La humedad hace referencia a porcentaje de humedad, los porcentajes de ácido acético y fenol son porcentajes de proporción másica.

Figura 53. Proporción másica de ácido acético en función de la humedad (fase orgánica)

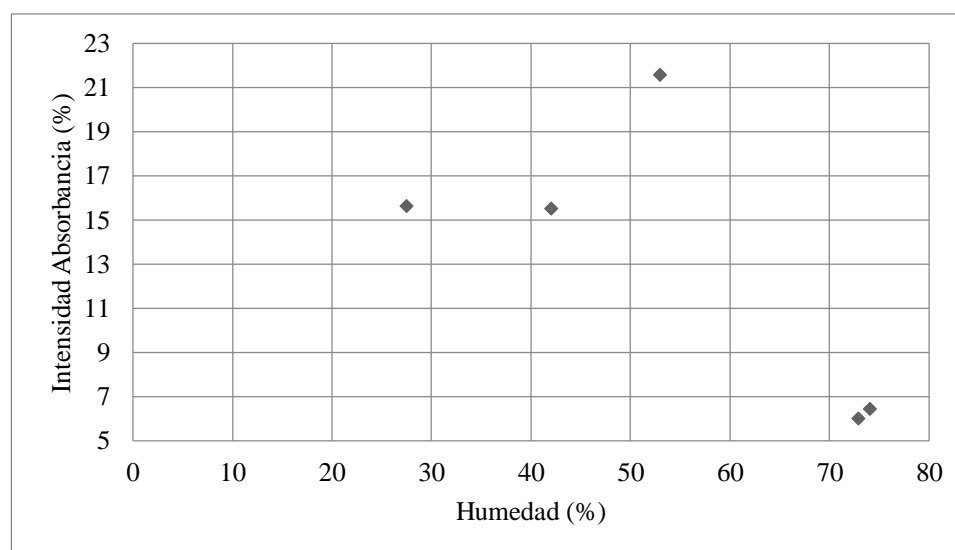


Figura 54. Proporción másica de fenol en función de la humedad (fase orgánica)

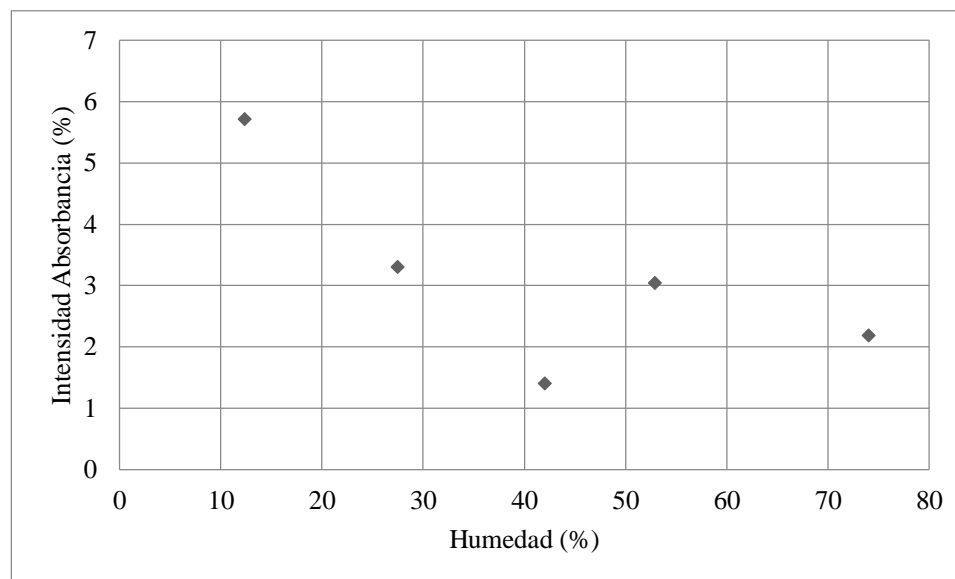


Tabla 43. Cromatografía de gases con detector FID y TCD para determinación de metano en fase gaseosa

Tabla 44. Análisis elemental por absorción atómica

Elemento	Porcentaje (m/m)
Potasio	5.17%
Calcio	0.010%
Sodio	0.010%
Magnesio	0.13%

Los porcentajes representan el promedio de tres corridas de la misma muestra sólida realizado en cromatografía de gases. Se determinaron estos iones porque son los iones esenciales en los regeneradores de suelos.

Tabla 45. Cromatografía de gases con detector FID y TCD para determinación de metano en fase gaseosa

Corrida	Humedad*	FID		TCD	
		Metano	H ₂ S	Metano	H ₂ S
1	52.90%	4.85%	11.50%	-	-
2.1	53.93%	2.71%	-	1.14%	6.53%
2.2	53.93%	5.56%	11.06%	2.41%	1.72%
2.3	53.93%	6.32	18.52%	1.18%	2.10%

*La columna de humedad refiere a la humedad del estípite de palma introducido al reactor para realizar pirólisis. Los porcentajes en sulfuro de hidrógeno y metano son proporciones másicas en el producto gaseoso producido por la pirólisis.

Sólo se consiguió hacer análisis a dos corridas de pirólisis en la fase gaseosa; por la baja cantidad de producto. Se recolectaron las muestras hasta que estas presentaban propiedades de inflamación al someterlas al fuego. En la segunda corrida para la fase gaseosa se analizaron tres muestras.

Figura 55. Subdivisión de rendimientos de los elementos encontrados de la muestra de humedad inicial del 52.9%

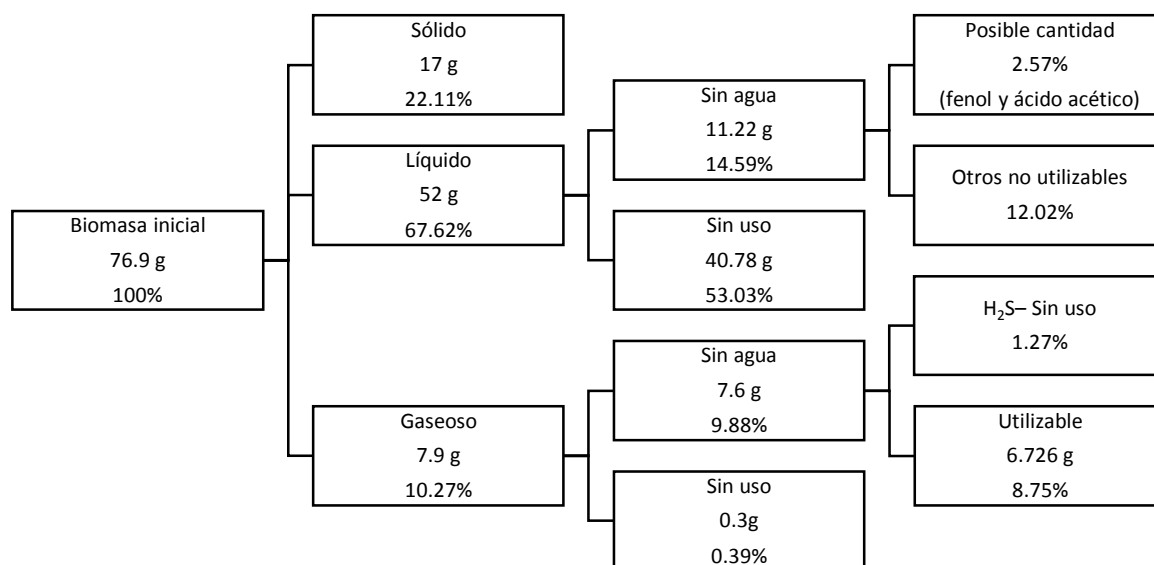


Tabla 46. Resumen de rendimientos finales de la reacción de pirólisis

Escenario	Utilizable	Indefinido
Considerando al fenol y ácido acético como subproducto líquido principal	33.29%	66.71%
Considerando al ácido piroleñoso como subproducto principal	98.48%	1.52%

D. PROPUESTA DE APLICACIONES DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA PIRÓLISIS DE ESTÍPITE DE PALMA AFRICANA DELI X AVROS

Tabla 47. Comparación de resultados por cromatografía de gases de ácidos piroleñosos obtenidos de diferentes materias primas.

Compuesto	Bagazo de caña (Cutíño, 2009)	Cascarilla de café (Cutíño, 2009)	Residuos de tabaco (Cutíño, 2009)	*Estípite (prueba 5)
% Área				
Dióxido de carbono	0.76	1.31	0.00	0.00
Agua	73.60	74.71	83.00	69.58
Ácido butírico	1.19	1.15	0.51	0.00
Cresol	0.08	0.20	0.08	0.00
Amonio	0.40	0.33	4.20	0.00
Ácido acético	31.50	20.31	8.47	11.00
Alcohol furfurílico	0.07	0.00	0.00	0.00
Metanol	0.68	0.98	0.28	0.31
Ácido fórmico	0.80	0.10	0.31	0.00
Fenol	0.95	0.92	0.17	8.96
Ácido butanoico	0.00	1.15	0.00	0.38
Propionamida	0.00	0.00	0.11	0.00
2-pirrolidinona	0.00	0.00	0.62	0.00
Acetamida	0.00	0.00	1.00	0.00
Nicotina	0.00	0.00	0.96	0.00
Propanol	0.00	0.00	0.03	0.00
Ácido 3 metil pentanoico	0.00	0.00	0.20	0.00

*los resultados de los análisis de cromatografía de gases fueron extraídos del módulo “Análisis de laboratorio para viabilidad de pirólisis de palma africana Deli x AVROS” presentado por el estudiante David Alejandro Súchite Sosa.

Tabla 48. Propuesta de uso para fase líquida.

Ácido piroleñoso/vinagre de madera	Extracción de ácido acético
	

(Fuente: google images)

Tabla 49. Propuesta de uso de gas de pirólisis.

Reutilizar gas de pirólisis en sistema de pirólisis	Obtención de azufre elemental por planta de Claus al adsorber H_2S de gas
	

(Fuente: google images)

Tabla 50. Comparación de char con diferentes tipos de carbón utilizados en la generación de energía.

Parámetro	Tipos de carbón para generación de energía				Unidades
	Char de pirólisis	Carbón coque (OICOMEX, 2016)	Carbón mineral (Subdirección de Información Minero Energética, 2012)	Carbón vegetal para altos hornos en Brasil considerado bueno a excelente (FAO, 1983)	
Humedad	4	1-5	1-5	10 max	% m/m
*Ceniza	24	9-12	7.65-25.95	3-4	% m/m
Materia volátil	-	1-1.6	29-35	20-25	% m/m
*Carbono fijo	42.22	83-88	80-90	75-80	% m/m
*Azufre	0.35	5000-10000	13700-21500	-	ppm
Granulometría	6.98-16.92	Elegida por comprador	130-40	20-50	mm
Densidad	**0.09	-	-	0.25-0.30	g/cm ³

*realizado por el laboratorio de Anacafé, Analab, a solicitud de los estudiantes de la Universidad del Valle de Guatemala.

**se modeló los carbonos como cilindros, se les determinó su diámetro, largo y masa

Tabla 51. Propuesta de uso para la fase sólida.

Mejorador de suelos	Carbón en briquetas
 <p>REGE PALM PRODUCIDO A TRAVÉS DE PALMA AFRICANA POR PIRÓLISIS MEJORADORES DE SUELOS PRODUCTO ORGÁNICO</p>	

*Ver propiedades en tabla 15.

(Fuente: imágenes propias de autor del módulo)

E. CONDICIONES DE OPERACIÓN RECOMENDADAS, PARA PROCESO DE PIRÓLISIS RÁPIDA, OBTENIDAS POR SIMULACIÓN DE PROCESO

A continuación, se presentan las condiciones para las cuales se obtuvo los mayores rendimientos en proporción másica libre de agua de cada uno de los productos del proceso de pirólisis rápida, según el modelo desarrollado en el software SuperPro Designer®:

Tabla 52. Condiciones que favorecen la producción de cada fase, por proceso de pirólisis rápida según modelo de simulación desarrollado en SuperPro Designer®.

Producto	Porcentaje de obtención (%m/m)	Temperatura (°C)	Tiempo de residencia (s)	Humedad de biomasa a procesar (% m/m)
Biocarbón	26.43	475.0	10.0	16.0
Bioaceite	35.24	575.0	1.0	16.0
Gas pirolítico	59.17	650.0	10.0	16.0

Las gráficas correspondientes a los resultados anteriores y las diferentes pruebas realizadas en el software, se presentan en el Anexo B – «Resultados para caso de estudio de pirólisis rápida de estípite de palma africana»

Empleando dichos resultados se obtuvo los siguientes los factores a considerar para el diseño y operación de una planta piloto de pirólisis rápida de estípite de palma africana Deli x AVROS según el producto a favorecer considerando un uso *in-situ* del gas pirolítico como combustible para el calentamiento del reactor:

Tabla 53. Factores a considerar en diseño de planta piloto de pirólisis rápida de estípite de palma africana Deli x AVROS.

Factor	Producto a favorecer		
	Bioaceite	Biocarbón	Gas pirolítico
Humedad [% (m/m)]	Mínima – cercana al 16% (m/m)	Mínima – cercana al 16% (m/m)	Mínima – cercana al 16% (m/m)
Temperatura [°C]	575 a 600	475 a 500	600 a 650
Tiempo de residencia [s]	1	10	10
Consideraciones adicionales	Evacuar y disminuir temperatura rápidamente de los vapores generados para favorecer su condensación	Reducir tamaño de partícula para asegurar que alcance la temperatura requerida	Retener por mayor tiempo los vapores generados a la temperatura indicada

F. COSTOS ASOCIADOS

1. **Análisis de costos a nivel laboratorio** Existen dos desgloses de costos, el real y el estimado. En el real se presentan los costos reales del proyecto, tomando en cuenta que varios utensilios fueron prestados. En el rubro de estimados, se encuentran los costos de inversión inicial si no se contara con la maquinaria adecuada.

Tabla 54. Costo de equipos y utensilios empleados

No.	Artículo	Descripción / Cantidad	Real	Estimación	Proveedor
1	Mufla	1	-	Q27,081.34	biokim
2	Cristalería	Desglose en tabla 5	-	Q2,999.30	Proinca
3	Lámina de grafito extendido sin inserción de lámina	Desglose en el siguiente tabla	Q2,670.00	Q2,670.00	PROINDESA
4	Reactor	1 m	-	Q821.00	Soluciones en Acero S.A.
5	Grasa niquelada	0.453 kg	Q300.00	Q300.00	DIFRATTI, S.A.
6	Globo metálico	Q10/u	Q100.00	Q100.00	Librería VH3
7	Rollo de fibra de vidrio	1 (7.62 m de largo, 7.62cm de ancho x 2.54 cm de grueso)	-	Q84.80	DIDERISA
8	Manguera de hule	2.13 m, 0.9525 ø	-	Q12.21	Orion
Total			Q2,975.00	Q33,237.85	

Tabla 55. Desglose de cristalería utilizada

Artículo	Precio unitario	Cantidad	Total	Proveedor
Beaker 1000ml	Q80.00	2	Q160.00	
Balon 500 ml	Q49.50	2	Q99.00	
Condensador	Q590.00	2	Q1,180.00	
Tubo conector de vidrio de 3 cuellos	Q850.00	1	Q850.00	
Tapón de Hule #4	Q5.15	1	Q5.15	Proinca
Soporte universal	Q200.00	1	Q200.00	
Pinza universal de 3 dedos	Q75.00	4	Q300.00	
Sostenedores de pinza universal	Q50.00	4	Q200.00	

Figura 56. Diagrama de Pareto de la estimación de costos a escala laboratorio

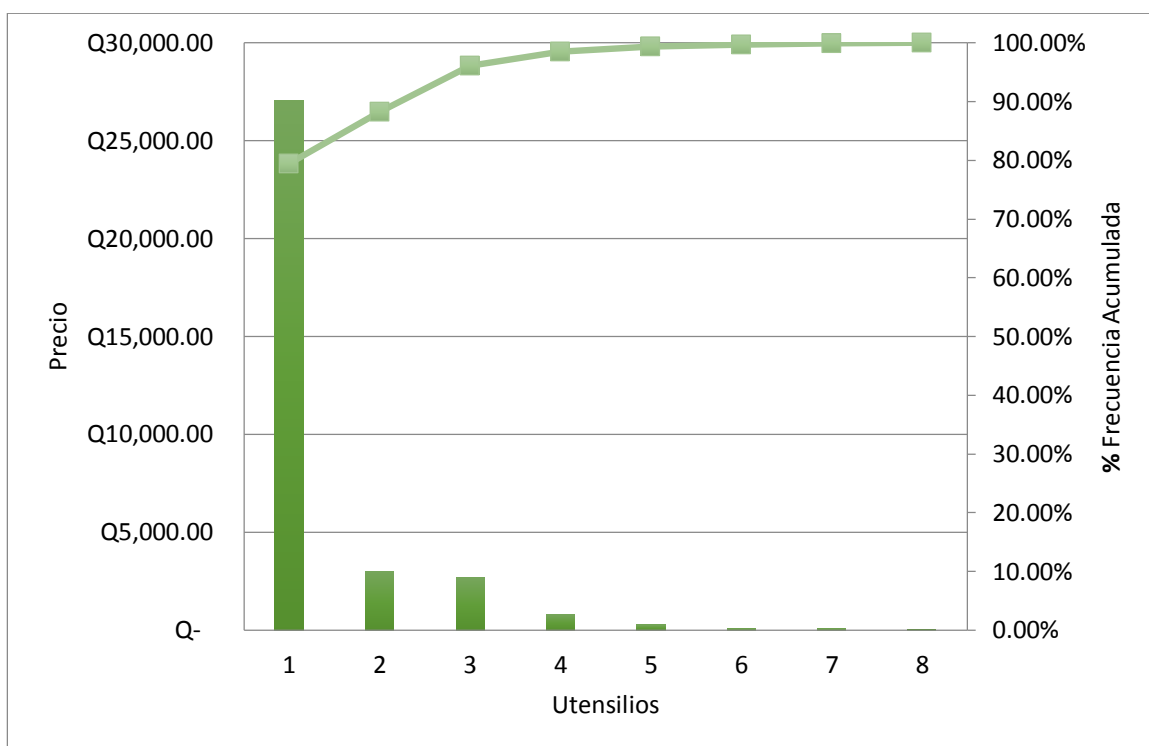


Tabla 56. Frecuencia acumulada del costo de los utensilios

No.	Artículo	% Acumulado
1	Mufla	79.49%
2	Cristalería	88.29%
3	Lámina de grafito extendido sin inserción de lámina	96.13%
4	Reactor de acero inoxidable	98.54%
5	Grasa niquelada	99.42%
6	Globo metálico	99.72%
7	Fibra de vidrio	99.96%
8	Manguera plástica	100.00%

Era de interés obtener los costos a nivel laboratorio para tener un punto de partida y referencia, por lo que continuación se detallan los rubros de los costos cuantificados.

Como se menciona en la metodología seguida, se estimaron los costos de operación de las pruebas de pirólisis realizadas. Para estas pruebas fue necesario triturar y secar el estípite previamente, por lo que a continuación se detallan los costos del triturado y el secado.

Tabla 57. Costo de consumo eléctrico del triturado de 7.5 kg. de estípites de palma.

No. Prueba	Tiempo de triturado (h)	Consumo de energía (kWh)	Costo total (Q)
*Todas las pruebas	0.17	0.187**	Q0.12

* La capacidad de la trituradora (anexo E) permitió procesar toda la biomasa usada en las pruebas, en 10 minutos.

**El consumo eléctrico se obtuvo de las especificaciones técnicas de la maquinaria (anexos E) y el tiempo de utilización del equipo.

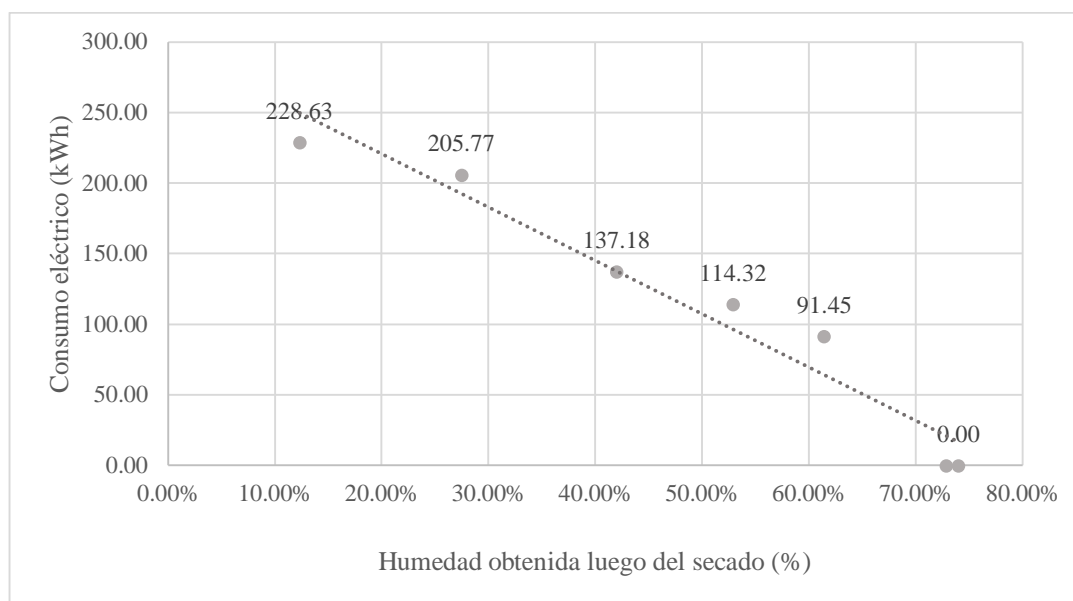
Tabla 58. Costo de consumo eléctrico del secado de 6.5 kg. de estípites de palma.

No. Prueba	Humedad (%)	Tiempo en horno (h)	Consumo de energía (kWh)	Costo Total (Q)
1	12.32%	5	228.63	Q148.61
2	52.90%	2.5	114.32	Q74.30
3	27.47%	4.5	205.77	Q133.75
4	61.43%	2	91.45	Q59.44
5	42.00%	3	137.18	Q89.17
6	74.00%	-	-	-
7	72.85%	-	-	-

*Nota 1: Únicamente se secaron 6.5 kg de los 7.5 para obtener muestras a humedad alta. Esto representó únicamente el 25% de la capacidad del horno.

*Nota 2: El consumo eléctrico se obtuvo de las especificaciones técnicas de la maquinaria (anexos E) y el tiempo que la muestra estuvo dentro del equipo para llevarse a la humedad indicada.

Figura 57. Relación entre el porcentaje de humedad obtenido con el secado y consumo eléctrico del horno usado.



Luego de los tratamientos previos realizados, se realizó la pirólisis de las muestras obtenida a distintas humedades. Para el tratamiento de pirólisis se tomaron en cuenta los costos de consumo eléctrico de la mufla y de consumo de agua para los condensadores según el flujo de laboratorio usado y la tarifa asignada a la zona.

Tabla 59. Costo de consumo eléctrico del procesado en mufla para las siete pruebas analizadas.

No. Prueba	Humedad (%)	Masa ingresada (g)	Tiempo en mufla (h)	Consumo de energía (kWh)	Costo Total (Q)
1	12.32%	45.30	1.00	1.8	Q1.17
2	52.90%	76.90	0.82	1.47	Q0.96
3	27.47%	90.07	1.30	2.34	Q1.52
4	61.43%	286.94	0.93	1.68	Q1.09
5	42.00%	80.27	1.13	2.04	Q1.33
6	74.00%	108.88	1.22	2.19	Q1.42
7	72.85%	88.20	1.22	2.19	Q1.42

*Nota 1: El consumo eléctrico se obtuvo de las especificaciones técnicas de la maquinaria (Anexo E) y el tiempo que tomó cada una de las pruebas desde que se encendió hasta que se apagó, pasados los 500°C.

*Nota 2: La masa ingresada al reactor varió en relación a la humedad.

Figura 58. Relación entre el porcentaje de humedad y masa ingresada al reactor.

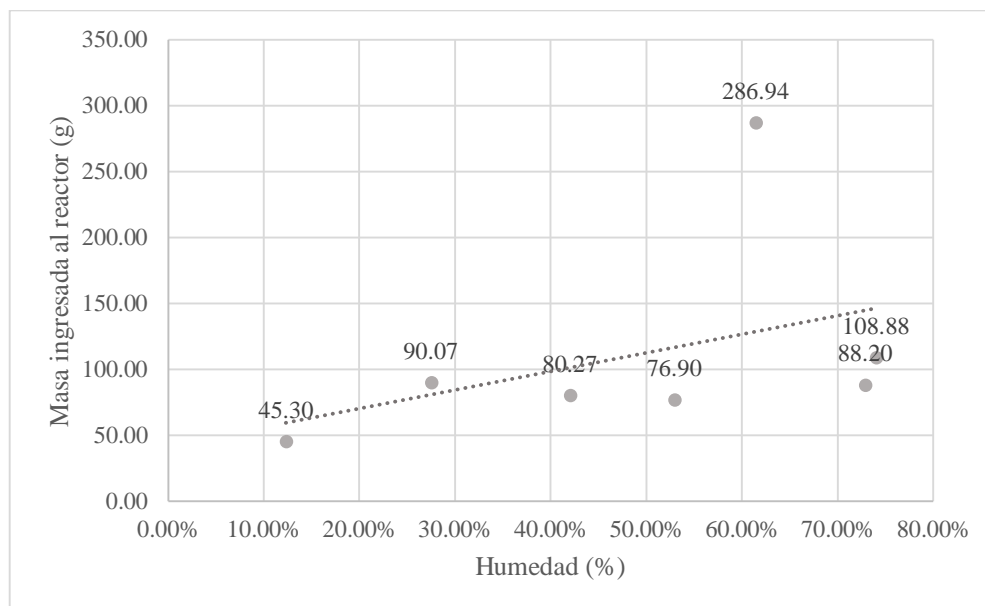
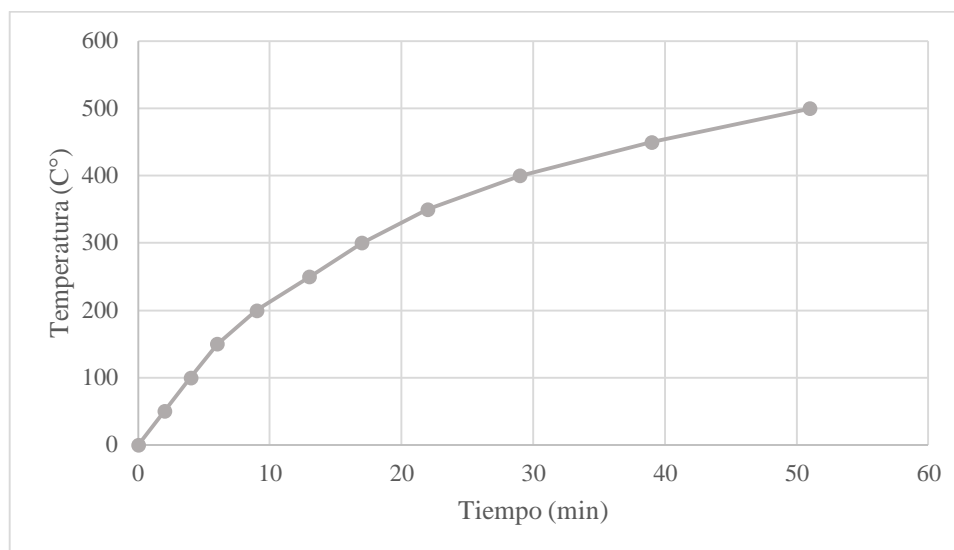


Figura 59. Relación entre el porcentaje de humedad y masa ingresada al reactor.



*Nota 1: Tasa de calentamiento promedio para las siete corridas realizadas.

Tabla 60. Costo de consumo de agua utilizado por el sistema de pirólisis a nivel laboratorio.

No. Prueba	Humedad (%)	Tiempo de uso de agua (h)	Flujo de agua (m ³ /h)	Agua utilizada (m ³)	Costo por consumo (Q/m ³)	Costo total (Q)
1	12.32%	1.00	0.093	0.093	Q7.63	Q0.85
2	52.90%	0.82	0.093	0.076	Q7.63	Q0.69
3	27.47%	1.30	0.093	0.121	Q7.63	Q1.11
4	61.43%	0.93	0.093	0.087	Q7.63	Q0.79
5	42.00%	1.13	0.093	0.105	Q7.63	Q0.96
6	74.00%	1.22	0.093	0.113	Q7.63	Q1.03
7	72.85%	1.22	0.093	0.113	Q7.63	Q1.03

Por lo tanto, para los costos de operación a nivel laboratorio se obtuvo el siguiente total.

Tabla 61. Costo de operación total para las siete prueba analizadas.

No. Prueba	Humedad (%)	Costo de triturado (Q)	Costo de secado (Q)	Costo de mufla (Q)	Costo de agua (Q)	Costo total (Q)
1	12.32%	Q0.02	Q148.61	Q1.17	Q0.85	Q150.65
2	52.90%	Q0.02	Q74.30	Q0.96	Q0.69	Q75.97
3	27.47%	Q0.02	Q133.75	Q1.52	Q1.11	Q136.39
4	61.43%	Q0.02	Q59.44	Q1.09	Q0.79	Q61.35
5	42.00%	Q0.02	Q89.17	Q1.33	Q0.96	Q91.47
6	74.00%	Q0.02	-	Q1.42	Q1.03	Q2.48
7	72.85%	Q0.02	-	Q1.42	Q1.03	Q2.48
Total						Q520.78

*Nota 1: Costo total de operación incluye el triturado, secado, consumo de agua y electricidad del proceso de pirólisis a nivel laboratorio.

*Nota 2: Costo obtenidos bajo condiciones de operación a nivel laboratorio en la Universidad del Valle de Guatemala.

Tabla 62. Rendimiento neto por producto obtenido en relación a la humedad evaluada

No. Prueba	Humedad (%)	Masa ingresada (g)	Rendimiento sólido (%)	Rendimiento líquido (%)	Rendimiento gaseoso (%)
1	12.32%	45.30	33.33%	34.66%	32.01%
2	52.90%	76.90	22.11%	67.62%	10.27%
6	74.00%	108.88	7.51%	84.59%	7.90%

*Nota 1: Se evaluaron únicamente 3 humedades; baja, media y alta.

Tabla 63. Costo estimado del triturado de 1 kg. con equipo a nivel laboratorio.

Masa total (kg)	Costo por tiempo usado (Q)	Costo por kilogramos triturado (Q)
7.50	Q0.12	Q0.02

*Nota 1: A partir de los costos obtenidos (tabla 57) se estimó el costo de triturado de 1 kilogramo.

Tabla 64. Costo estimado del secado de 1 kg. con equipo a nivel laboratorio.

Humedad	Masa total (kg)	Costo por tiempo usado (Q)	Costo por kilogramo secado (Q)
12.32%	24.00	Q148.61	Q6.19
52.90%	24.00	Q74.30	Q3.10
74.00%	24.00	-	-

*Nota 1: Los costos obtenidos para 1kg, asumen la utilización de toda la capacidad del horno.

Tabla 65. Costo estimado de procesado en mufla de 1 kg. con equipo a nivel laboratorio.

Humedad	Masa total (g)	Costo por tiempo usado (Q)	Costo por kilogramo procesado (Q)
12.32%	45.30	Q1.17	Q25.83
52.90%	76.90	Q0.96	Q12.43
74.00%	108.88	Q1.42	Q13.07

*Nota 1: Los costos se ven sujetos a la capacidad del reactor y la masa la cual varía según la humedad

Tabla 66. Costo estimado de agua para el procesado de 1 kg. en los condensadores usados a nivel laboratorio.

Humedad	Masa total (g)	Costo por tiempo usado (Q)	Costo por kilogramo procesado (Q)
12.32%	45.30	Q0.85	Q18.77
52.90%	76.90	Q0.69	Q9.03
74.00%	108.88	Q1.03	Q9.50

*Nota 1: Los costos se ven sujetos a la capacidad del reactor y la masa la cual varía según la humedad

Tabla 67. Costo de operación estimado para obtener 1kg. de producto, a nivel laboratorio.

Humedad	Biomasa necesaria para un 1kg de producto			Costo total de operación de 1kg por producto (Q)		
	Sólido (kg)	Líquido (kg)	Gaseoso (kg)	Sólido (Q/kg)	Líquido (Q/kg)	Gaseoso (Q/kg)
12.32%	3.00	2.89	3.12	Q152.43	Q146.60	Q158.73
52.90%	4.52	1.48	9.73	Q111.14	Q36.33	Q239.16
74.00%	13.31	1.18	12.66	Q300.72	Q26.71	Q286.04

*Nota 1: Costos de operación por producto a partir de su rendimiento en relación a la humedad.

*Nota 2: Se tomaron únicamente las humedades baja, media y alta.

*Nota 3: Los costos totales contemplaron secado (1kg) + triturado (1kg) + costo en mufla (1kg) + costo de agua (1kg)

2. Costo estimado utilizando SuperPro Designer ®

Tabla 68. Costos y capacidad estimadas por el simulador SuperPro Designer®

Elemento	Capacidad estimada	Material	Costo de compra	Factor de instalación	Costo instalación	Información adicional
Pre calentamiento biomasa	0.01m ² transferencia de calor	CS	\$9,000	0.5	\$4,500	
Triturador	100.00 kg/h	SS304	\$83,000	0.5	\$41,500	
Secado	1.61 m ²	CS	\$67,000	0.5	\$33,500	
Ciclón	44,095.22 L/h	SS304	\$5,000	0.5	\$2,500	Diametro del cuerpo: 0.07 m Diámetro de salida del gas: 0.03 m Diametro de salida de polvo: 0.02 Altura total: 0.28 m Presión de para limpieza del aire: 10 bars Eficiencia de ompresión 80% Área de tela de filtro; 0.98 m ²
Filtro de finos	0.98 m ²	SS304	\$66,000	1.5	\$99,000	
Condensador	0.06 m ² transferencia de calor	SS304	\$92,000	0.5	\$4,600	
Ventilador de gases	7,810.32 L/h	SS304	\$10,000	0.5	\$5,000	

Figura 60. Diagrama de Pareto de los costos de maquinaria

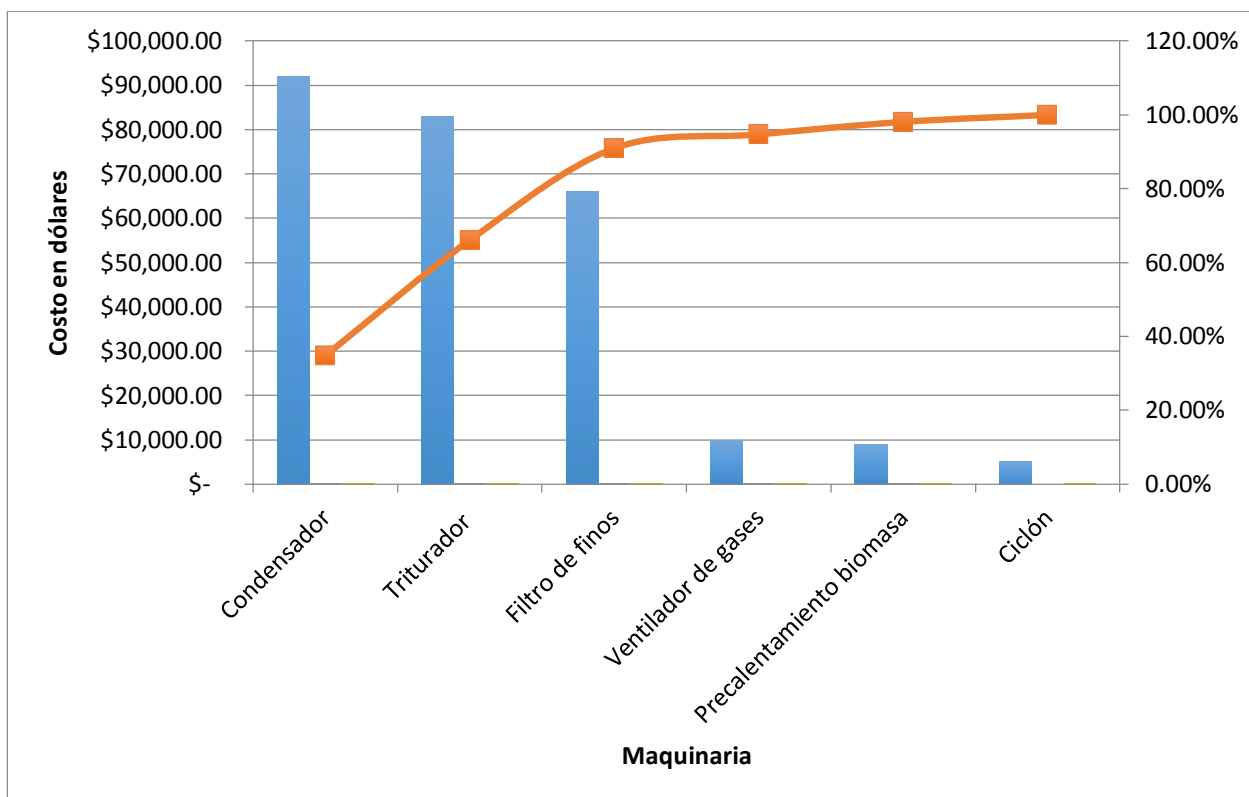


Tabla 69. Frecuencia acumulada del costo estimado de la maquinaria

Máquina	Frecuencia acumulada
Condensador	34.72%
Triturador	66.04%
Filtro de finos	90.94%
Ventilador de gases	94.72%
Precalentamiento biomasa	98.11%
Ciclón	100.00%

G. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ECONÓMICO DE LOS SUBPRODUCTOS GASEOSO Y LÍQUIDO

1. **Producto gaseoso** Inicialmente, al realizar las pruebas, se decidió quemar el gas obtenido, en el cual se observó una llama azul, por lo que se creyó que esta contenía metano. Al momento de realizar las pruebas se realizaron con el objetivo principal de encontrar metano. Sin embargo, basándonos en las pruebas de cromatografía del gas, se encontró una intensidad en promedio de 4.86% en la cromatografía con detector FID y un promedio de 1.58% en la cromatografía TCD. En la siguiente tabla se encuentra un análisis de ventajas y desventajas de una serie de criterios para seleccionar el subproducto gaseoso.

Tabla 70. Análisis de ventajas y desventajas entre el gas de síntesis y metano

Criterio	Gas de síntesis	Metano
Proceso adicional	<ul style="list-style-type: none"> - Deshumificador - Filtración de ácido sulfhídrico 	<ul style="list-style-type: none"> - Deshumificador - Filtración de ácido sulfhídrico, carbono y dióxido de carbono - Licuado de gas
Mecanismos adicionales a agregar a planta de pirólisis lenta	<ul style="list-style-type: none"> - Tubería de recirculación - Sistema de filtración de ácido sulfhídrico - Conexión a hogera - Hogera 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de filtración de ácido sulfhídrico, carbono y dióxido de carbono - Cuarto de enfriamiento para licuado de gases - Cuarto bajo presión para almacenamiento de gases
Resultado	Mezcla de gases que al encenderse se obtiene una llama azul que alcanza altas temperaturas	Gas metano de baja calidad
Rendimiento en condiciones ideales	Del gas obtenido se reutilizaría 88% (asumiendo que la intensidad es proporcional a cantidad)	Del gas obtenido se utilizaría 4.85% (asumiendo que la intensidad es proporcional a cantidad)
Conclusión	Luego de observar la serie de criterios y tomando en cuenta que se desea agregar el mínimo de procesos adicionales a la pirólisis lenta; la mínima inversión al subproducto gaseoso obtenido y el mayor provecho se seleccionó el gas de síntesis para su reutilización en la planta.	

Tabla 71. Perfil del producto de gas de síntesis obtenida de tratar palma africana Deli x AVROS con pirólisis

Perfil del producto	
Nombre genérico	Gas de síntesis
Clase	Bien
Tipo	De consumo industrial
Finalidad del producto	Dependiendo de la calidad del gas, es utilizado como materia prima para creación de hidrógeno, metano y etanol entre otros. El gas de interés en el gas de síntesis obtenido de la pirólisis lenta es el metano, sin embargo, por su intensidad revelada en la cromatografía, se propone usar el gas de síntesis para reutilización de la alimentación de la planta. Ya que esta provee de una llama azul al combustionar, se investigaría su uso como alternativa al uso del reactor para llegar a las altas temperaturas necesarias durante el proceso de pirólisis, proveyendo un ahorro en el proceso al no utilizar energía eléctrica en el reactor.
Sustitutos	Dentro del proceso de pirólisis lenta, los sustitutos para alcanzar las altas temperaturas son cualquier maquinaria u tecnología que llegue a los 500°C por ejemplo mufla, horno, resistencias eléctricas, quema de combustibles fósiles o quema de gas natural.
Propuesta de valor	La producción del gas de síntesis obtenido de la pirólisis lenta es un proceso menos dañino al ambiente el cual aprovecha el residuo de la palma africana y le da una segunda vida para que puedan ser recirculado y reutilizado en el mismo sistema de pirólisis lenta pasando únicamente por un proceso adicional para su uso.

Para su uso, es necesario la purificación del ácido sulfhídrico. A pesar que la empresa mencionó tener un separador de dicho gas, se incluye una cotización de un filtro de gas que puede ser instalado en otro punto de la planta y es de menor tamaño.

Tabla 72. Especificaciones y precio de filtro de ácido sulfhídrico

Especificaciones	Valor
Capacidad	2,000 kg/hr
Diámetro de entrada	600 mm
Altura de entrada	1,700 mm
Medio de purificación	Mezcla de carbono 6
Carga de desecante	Aproximadamente 275 kg
Precio	\$950,000.00
Proveedor	UNION

La selección de gas de síntesis como producto tiene sus fortalezas y debilidades, oportunidades y amenazas que serán observadas en el siguiente análisis FODA.

Tabla 73. Análisis FODA del gas de síntesis

Análisis FODA del gas de síntesis	
FORTALEZAS	
Ahorro	La llama producida por la combustión del gas de síntesis alcanza altas temperaturas como las necesarias para la pirólisis. Se podría implementar un sistema de recirculación de dicho gas y quitar el uso de calentadores que requieran electricidad o combustible fósil, reduciendo los costos de producción.
Menos dañino al medio ambiente	La quema del gas de síntesis libera dióxido de carbono, el menos efectivo de los gases de efecto invernadero en cuanto a retención de calor. Por lo que la quema del gas de síntesis evita liberar gases de efecto invernadero más efectivos. Según el artículo 5; dicha ley provee de incentivos como
Decreto número 52-2003, Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable Acuerdo	<ul style="list-style-type: none"> • Exención de derechos arancelarios para las importaciones, cargas y derechos consulares sobre la importación de maquinaria y equipo, utilizado exclusivamente para la generación de energía en el área donde se ubiquen los proyectos de energía renovable. • Exención del pago del impuesto sobre la renta • Exención del impuesto a las empresas mercantiles y agropecuarias
Licencia ambiental	Los dos últimos incentivos entrarán en vigencia a partir de la FIE por un periodo de 10 años Ya que la empresa ya tiene su licencia ambiental, no es necesaria otra licencia para la producción de dicho producto.
OPORTUNIDADES	
Investigación de posibilidad de ahorro completo	Utilizar el gas de síntesis por sí solo o combinarlo junto al carbón para su uso como combustible que logre susituir al 100% el uso de otro medio de calentamiento para llegar a las las altas temperaturas.
Generación de electricidad	Evaluar en invertir en un proceso de almacenamiento o una planta eléctrica por turbina utilizando el gas de síntesis para la generación limpia de electricidad
Tratamiento de desechos propios	Aprovechando la planta de pirólisis, se puede evaluar la posibilidad del uso de gas de síntesis para pirolizar otros desechos o basura dentro de la planta.
DEBILIDADES	
Falta de ficha técnica	Se requiere la realización de más pruebas para determinar la composición del gas y su poder calorífico para determinar su uso o existencia de mercado
Procesamientos adicionales	La recirculación del gas dentro del sistema requiere de un sistema adicional de separación de ácido sulfhídrico, requiriendo así una inversión adicional. De igual manera, el trato del ácido sulfhídrico requiere otro proceso para desechar dicho componente.
Maquinaria especializada	La maquinaria para realizar el proceso de pirólisis estima que requiere una alta inversión inicial y cierta maquinaria del extranjero.
AMENAZAS	
Creación de regulaciones	Con el tiempo, Guatemala podría llegar a crear regulaciones de pirólisis o procesos de tratamiento del ácido sulfhídrico los cuales exijan elementos que no se hayan contemplado y requieran inversión adicional o reestructuración.
Proceso no regulado por las leyes guatemaltecas	No existe ningún tipo de regulación el cual de a conocer normas para evitar los riesgos existentes en el tratamiento, por lo tanto, se utilizaría normas extranjeras.

2. Producto líquido

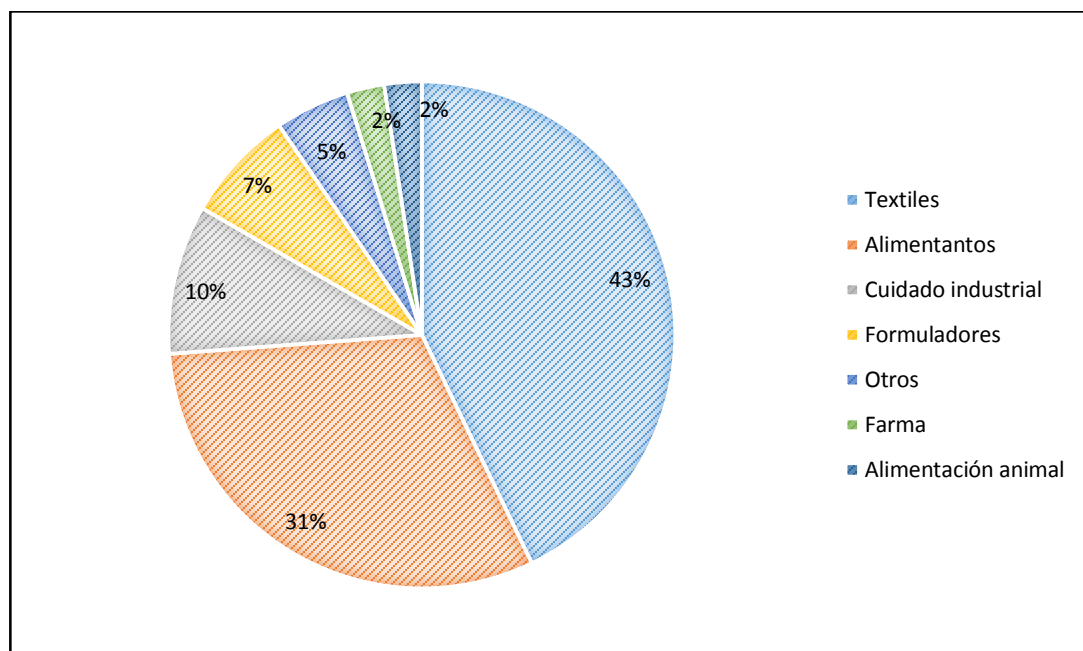
a. Análisis del mercado para la primera propuesta económica del subproducto líquido: Extracción del fenol

Tabla 74. Aspecto a considerar para el mercado del ácido acético

Segmento de clientes	
Alimentos	En la industria alimenticia este producto es muy común. Suele ser utilizado como conservante, estabilizador del pH, saborizante o coagulante en productos alimenticios como la mayonesa. Los principales clientes en la industria alimenticia son los productos enlatados o para conservar, y la industria de vinagres y aderezos. Este rubro representa el 31 % de mercado. (Figura 61)
Textiles	El ácido acético se usa en cueros y telas. Este es muy importante porque ayuda a la fijación del color para teñidos textiles. En Guatemala la industria textil representa un 42% de la distribución de mercado para el ácido acético (Figura 61)
Otros usos	Agricultura: Ingrediente de insecticidas y germicidas. Apicultura: se utiliza para el control de larvas y huevos. Revelado fotográfico: Aunque el mercado es pocos, hay quienes aún realizan este método y por lo tanto el ácido acético. Existen otras pequeñas aplicaciones que en total representa el 4% del mercado (Figura 61)
Rivalidad de los competidores	
Alimentos	Por regulaciones a nivel mundial, el ácido acético para la industria alimenticia únicamente puede ser producido por procesos biológicos, es decir la fermentación.
Otras industrias	El ácido acético en la industria química, es preparado por carbonilación de metanol (reacción entre el metanol y el monóxido de carbono). 75% de la industria del ácido acético es producida por este método, pues representa menos costos en comparación con la fermentación. Los competidores además cuentan precios competitivos que oscilan entre Q9.00 - Q12.00 por 1L (Tabla 75.)
Capacidad de los proveedores	
Estípite de palma africana	No se podría utilizar el ácido acético proveniente de la pirólisis de palma para el sector alimentos, pues no es un proceso biológico El estípite de palma sería la materia prima para la producción, por lo que la misma empresa sería su proveedor. La capacidad de producción estaría sujeta a la cantidad de estípite que se pueda obtener, procesar por pirólisis y la capacidad del proceso adicional de extracción del ácido acético

(Albaugh, 2017)

Figura 61. Distribución del mercado del ácido acético en Guatemala



(GTM, 2017)

Tabla 75. Rangos de precios de los proveedores de ácido acético para la presentación de 1L.

Producto	Presentación	Rango de precios de los proveedores				
		A	B	C	D	E
Ácido Acético	Litro	\$1.27	\$1.35	\$1.45	\$1.56	\$1.69
Ácido Acético	Litro	Q9.44	Q10.06	Q10.78	Q11.61	Q12.58

(GTM, 2017)

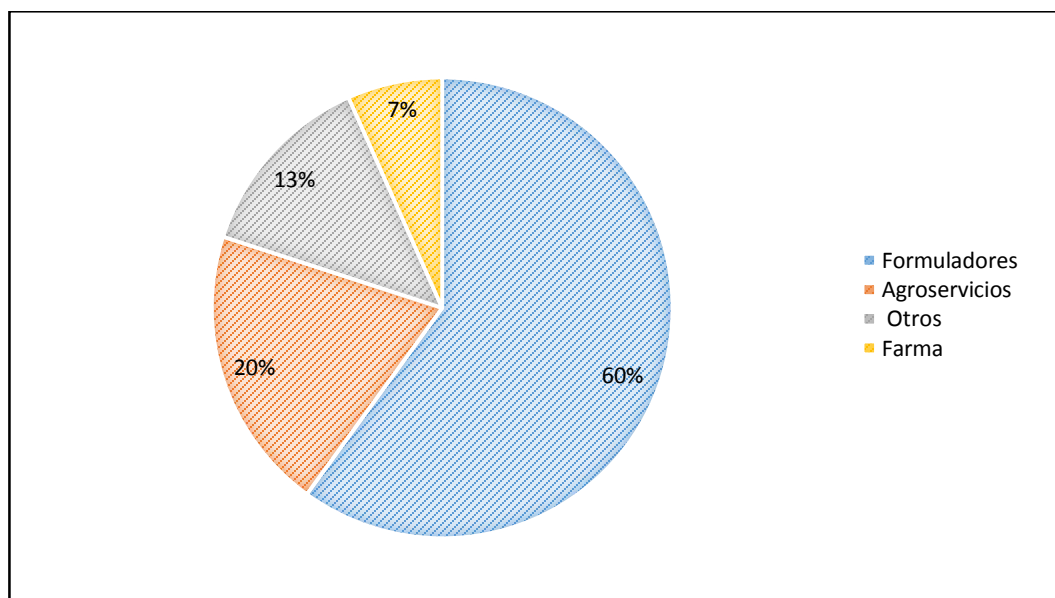
b. Análisis del mercado para la segunda propuesta económica del subproducto líquido: Extracción del fenol

Tabla 76. Aspectos a considerar para el mercado del fenol

Segmento de clientes	
Formuladores	El fenol se utiliza para la formulación de resinas fenólicas en la industria plástica, colorantes de industrias químicas, solventa para la refinación de aceites lubricantes, formulación de agentes preservantes y adhesivos, tintas y pintura. Este sector representa un 60% del mercado en Guatemala. (Figura 62)
Agroindustria	Por otro lado, es utilizado como uno de los componentes principales en la industria de agroquímicos, presentes en los herbicidas, fungicidas e insecticidas. Para estos fines el fenol representa el 20% de la industria (Figura 62)
Medicina	También es utilizado como desinfectante general, utilizado para cosméticos y odontología, como en enjuagues bucales. Además tiene una particular aplicación en la formulación de ácido salicílico (aspirina) como reactivo de síntesis.
Rivalidad de los competidores	
Todos los sectores	La producción de fenol a nivel industrial, se obtienen por la oxidación de cumeno, que luego en presencia de un ácido se obtienen fenol y acetonas, separados por destilación. El proceso mencionado se realiza a grandes escalas y no requiere más operaciones para obtener el producto final. Bajo este modelo de producción los competidores tienen la capacidad de ofrecer al mercado precios desde Q17 - Q21.50 por 218kg de producto (Tabla 77)
Capacidad de los proveedores	
Estípote de palma africana	Bajo el modelo analizado, la materia prima a utilizar sería estípote acumulado en las plantaciones de palma, por lo que la misma empresa sería el proveedor. La capacidad de producción sería acotada por la cantidad de estípote, capacidad productiva de pirólisis y el proceso adicional de extracción del fenol.

(Albaugh, 2017)

Figura 62. Distribución del mercado del ácido acético en Guatemala



(GTM, 2017)

Tabla 77. Rangos de precios de los proveedores fenol para la presentación de 1L.

Producto	Presentación	Rango de precios de los proveedores				
		A	B	C	D	E
Fenol	Litro	\$2.28	\$2.41	\$2.46	\$2.65	\$2.87
Fenol	Litro	Q17.02	Q17.94	Q18.36	Q19.71	Q21.35

(GTM, 2017)

c. Análisis del mercado para la tercera propuesta económica del subproducto líquido: Vinagre de madera – Fungicida, insecticida y adherente. Para unos productores de carbón de madera en Costa Rica, los líquidos obtenidos en la pirólisis pueden emplearse para uso comercial tal y como se obtienen de ella. En Costa Rica se realiza una pirólisis lenta de la madera de la cual se obtiene un carbón con propiedades fertilizantes al igual de los líquidos con propiedades adherentes de nutrientes y ayuda a la eliminación de plagas en los cultivos. Por lo que se quiso comparar la composición de estos líquidos con los obtenidos a nivel laboratorio de la palma.

Tabla 78. Compuestos principales del vinagre de madera comparado con los líquidos obtenidos.

Compuesto principales	Vinagre de madera	Líquidos de palma
Agua	X	X
Ácido acético	X	X
Metanol	X	X
Fenoles	X	X
Ácido valérico	X	-

Tabla 79. Aspecto a considerar para el mercado del vinagre de madera o ácido piroleñoso

Segmento de clientes	
Sector agrícola	Los herbicidas, insecticidas y fungicidas son productos químicos empleados para evitar el crecimiento indeseado de ciertas plantas, insectos y hongo que perjudican los cultivos. En Guatemala la agricultura representa el 27.73% del uso la tierra, esto se traduce en 25,597.89 km ²
Palma africana	Para un nicho más específico, la industria de palma ha recibido muchas críticas por el abuso de químicos en el suelo. Al ser un producto orgánico, no solo ayudaría al control de plagas, sino a la reputación. Según la gremial de palmicultores, la aplicación de fungicidas e insecticidas es necesaria, pues en los últimos 4 años se han tenido pérdidas en más 1,500 hectáreas, por malos controles. Por lo tanto, este producto podría utilizarse en las mismas plantaciones de palmas representado las cuales en Guatemala representan 518 km ²
Rivalidad de los competidores	
Sector agrícola	Según estadísticas del banco de Guatemala, la agricultura es la 4ta actividad económica más importante del país, y como consecuencia existen muchas agroindustrias para la alta demanda de productos para este sector. Los precio de los herbicidas e insecticidas aplicados a los cultivos de palmas oscilan entre Q42.00 - Q83.00 por litro. Además se suelen mezclar con adherentes que agregan al precio entre Q17.00 - Q30.00 (Tabla 80)
Capacidad de los proveedores	
Estúpide de palma africana	Utilización del estúpide de palma africana acumulado en las fincas. Por lo tanto, la capacidad estaría limitada por la cantidad de estúpide y capacidad productiva de pirólisis.

(Banco de Guatemala, 2012) (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, 2005)

Para en análisis anterior se utilizaron precios cotizados en las agroindustrias sobre los productos usado en cultivos de palma.

Tabla 80. Precios de los productos agroquímicos usualmente en los cultivos de palma africana.

Descripción	Precio (Q/L)	Descripción	Precio (Q/L)
Herbicida	Q42.44	Adherente	Q28.62
Herbicida	Q42.44	Adherente	Q20.25
Herbicida	Q56.66	Adherente	Q30.00
Herbicida	Q60.28	Adherente	Q17.67
Insecticida	Q83.61	Adherente	Q35.77

3. Comparación de las propuestas comerciales de los líquidos.

Tabla 81. Costo de producción de líquidos de pirólisis tomando como parámetro los costos de operación de pirólisis de una empresa ya establecida y los rendimientos obtenidos a nivel laboratorio.

Humedad (%)	Rendimiento de líquidos (%)	Cantidad de biomasa (kg)	Costo de biomasa(Q/kg)	Costo de líquido (Q/kg)	Densidad (kg/m ³)	Costo kg de líquido (Q/L)
12%	35%	2.89	Q4.00	Q11.54	1100	Q12.70
53%	68%	1.48	Q4.00	Q5.92	1100	Q6.51
74%	85%	1.18	Q4.00	Q4.73	1100	Q5.20

*Nota 1: El costo del proceso de pirólisis por kilogramo fue obtenidos de una empresa guatemalteca que realiza pirólisis (Anexo D).

*Nota 2: Se utilizó el rendimiento de los líquidos para las humedades baja, media y alta.

Tabla 82. Diferencia entre precios de la competencia y costos de operación de líquidos de pirólisis en relación a la intensidad obtenida de ácido acético para las diferentes humedades

Humedad (%)	Intensidad de ácido acético (%)	Cantidad de biomasa (kg)	Costo de procesar biomasa (Q/kg)	Costo total (Q/kg)	Costo total (Q/L)	Precio de Venta (Q/L)	Diferencia
12%	19.41%	5.15	Q4.00	Q20.61	Q22.67	Q10.90	-Q11.77
53%	26.24%	3.81	Q4.00	Q15.24	Q16.77	Q10.90	-Q5.87
74%	11.00%	9.09	Q4.00	Q36.36	Q40.00	Q10.90	-Q29.10

*Nota 1: Estos costos contemplan únicamente el proceso de pirólisis de acuerdo a la biomasa necesaria según la intensidad de ácido acético obtenida en las cromatografías, para las diferentes humedades.

Tabla 83. Diferencia entre precios de la competencia y costos de operación de líquidos de pirólisis en relación a la intensidad obtenida de fenol, para las diferentes humedades

Humedad (%)	Intensidad de Fenol (%)	Cantidad de biomasa (kg)	Costo de procesar biomasa (Q/kg)	Costo total (Q/kg)	Costo total (Q/L)	Precio de Venta (Q/L)	Diferencia
12%	6.07%	16.47	Q4.00	Q65.90	Q72.49	Q18.88	-Q53.61
53%	17.86%	5.60	Q4.00	Q22.40	Q24.64	Q18.88	-Q5.76
74%	8.96%	11.16	Q4.00	Q44.64	Q49.11	Q18.88	-Q30.23

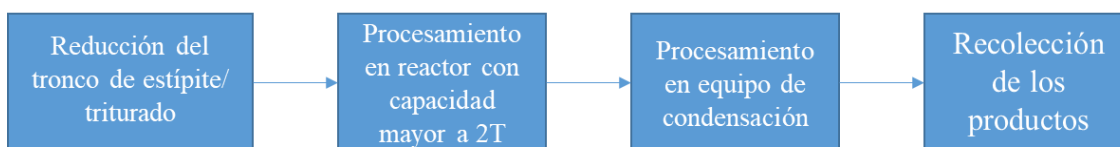
*Nota 1: Estos costos contemplan únicamente el proceso de pirólisis de acuerdo a la biomasa necesaria según la intensidad de fenol obtenida en las cromatografías, para las diferentes humedades.

Tabla 84. Diferencia entre precio de la competencia del ácido piroleñoso y costos de operación de líquidos de pirólisis

Humedad (%)	Rendimiento de los líquidos (%)	Cantidad de biomasa (kg)	Costo de procesar biomasa (Q/kg)	Costo total (Q/kg)	Costo total (Q/L)	Precio de Venta (Q/L)	Diferencia
12%	34.66%	2.89	Q4.00	Q11.54	Q12.70	Q40.41	Q27.71
53%	67.62%	1.48	Q4.00	Q5.92	Q6.51	Q40.41	Q33.90
74%	84.59%	1.18	Q4.00	Q4.73	Q5.20	Q40.41	Q35.21

H. PROPUESTA PARA LA OBTENCIÓN DE PIRÓLISIS A NIVEL PILOTO

Figura 63. Proceso mínimo para la obtención de resultados a nivel piloto



Por limitaciones de tiempo, y bajo las sugerencias y parámetros planteados, se desarrollaron dos propuestas para la operación del sistema de pirólisis a nivel piloto las cuales se describen a continuación.

1. Importación del equipo

Figura 64. Ubicación sugerida de equipo piloto por el método del centroide, para la realización de pirólisis.

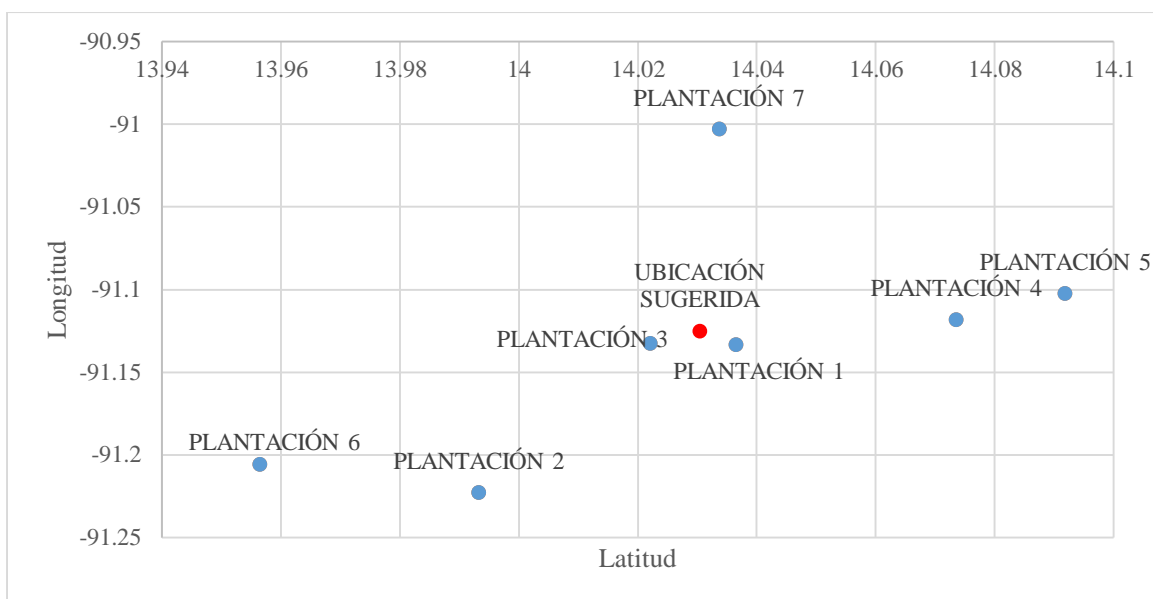


Tabla 85. Presupuesto para la inversión inicial necesaria para la importación del equipo tomando en cuenta maquinaria y acondicionamiento del terreno, según especificaciones del proveedor.

Maquinaria			
Rubro	Precio (\$)	Cantidad	Monto (Q)
Equipo FOB	\$58,600.0	1	Q439,500.00
Instalación *0.35	\$20,510.0	1	Q153,825.00
Transporte Principal	\$21,000.0	1	Q157,500.00
Transporte en tierra			Q5,798.00
Sub total			Q750,825.00
Acondicionamiento del terreno			
Rubro	Precio (Q/m ²)	Área (m ²)	Monto (Q)
Suelo	Q225.00	300.00	Q67,500.00
Techo	Q285.00	300.00	Q85,500.00
Sub Total			Q153,000.00
Total			Q903,825.00

*Nota 1: Datos obtenidos por el proveedor (anexos E, Figura 219)

*Nota 2: Porcentaje de instalación referenciado por la empresa de pirólisis de Guatemala. (Saldarriaga, 2017)

*Nota 3: El acondicionamiento de terreno hace referencia a las instalaciones físicas necesarias para ubicar el equipo.

Tabla 86. Estimación para un mes de operación del equipo cotizado.

Rubro	Consumo	Dimensional	Costo GT	Costo diario	Costo mensual
Agua	60	m ³ /mes	Q23.52	Q58.80	Q1,411.20
Electricidad	244	kWh/día	Q0.65	Q158.60	Q3,806.40
Trituradora *Solo 2h	14	gal/h	Q18.00	Q504.00	Q12,096.00
Operarios	3	Personas	Q79.48	Q238.44	Q7,252.56
Total					Q24,566.16

*Nota 1: Datos obtenidos para los cálculos obtenidos por especificaciones del proveedor (anexos E, Figura 219).

*Nota 2: Trituradora diésel (anexos E Figura 216).

Este estudio solo contempló la estimación del costo de la maquinaria, de instalación, construcción y operación. Sin embargo se deben tomar en cuenta otras consideraciones, como la seguridad y el conocimiento para la operación de misma, pues al no ser el negocio principal se debe pensar en invertir en capacitaciones y acondicionamiento para la seguridad.

Tabla 87. Aspectos generales de seguridad a tomar en consideración para la operación del equipo de pirólisis cotizado.

Rubro	Medidas a tomar
Temperatura	La máquina debe operar a temperaturas en rangos de 450°C - 1000°C. Esto no solo irradia calor al ambiente, sino también es peligroso para los operarios. Para evitar accidentes se deben de colocar barandas de protección que limiten el área del reactor. Según el reglamento de salud y seguridad ocupacional, se debe dejar libre como mínimo 1.5m alrededor de cualquier equipo que irradie calor. La mayoría de plantas de pirólisis se ubican en espacios abiertos, cubiertas por únicamente por un techo, lo que contribuye a la constante ventilación, lo cual se recomienda. Sin embargo es importante mencionar que el material del reactor (Q245R) es especial para equipos térmicos. Según especificaciones (anexo E, Figura 221) tiene el equipo posee el aislamiento necesario.
Riesgo mecánico	El reactor del equipo funciona con un sistema de rotación, por lo tanto los ejes externos deben de estar cubiertos con guardas para evitar el enrollamiento.
Prevención de incendios	El equipo puede operar tanto como electricidad, o por la quema de combustible. Para cualquiera de los casos, se deben tener extintores que puedan controlar cualquier imprevisto. También se debe contemplar que el producto sólido obtenido es una fuente de biomasa y los gases obtenidos también podrían ser combustibles. Por estos factores, se recomienda tener extintores de polvo ABC, que cubren la mayoría de incendios.
Protección personal	La pirólisis es un proceso termo-químico, por lo que tiene implícito un riesgo químico de los productos obtenidos. Se recomienda que los operarios trabajen con equipo especial para el calor, y no tocar los líquidos obtenidos directamente. Por otro lado, la materia sólida obtenida, al igual que cualquier carbón desprende polvos y partículas que podrían ocasionar daños respiratorios. Para retirar el material sólido del reactor se deben usar trajes especiales, esto evita que sus ropas se impregnen del material. Además, para prevenir daños respiratorios, se recomienda utilizar filtros de aire y mascarillas para los operarios.
	También se debe contemplar, que según indicaciones del proveedor la máquina provoca un nivel de ruido ≤ 85 dbA. Esto según la OSHA se clasifica como ruidos molestos, por lo tanto, al trabajarse todos los días cerca de la maquinaria, se debe utilizar equipo de protección auditiva.

2. Estimación del presupuesto para tercerizar resultados de pirólisis a nivel piloto

Tabla 88. Costo por tratamiento de estípite en planta de pirólisis de Guatemala.

Capacidades	Masa (t)	Masa (kg)	Costo por kg (Q/kg)	Costo por lote	Pruebas sugeridas	Costo total
Capacidad de Diseño	10	10,000	Q4.00	-	-	-
Capacidad utilizada	7.5	7,500	Q4.00	Q30,000.00	3	Q90,000.00
Cantidad Sugerida	6	6000	Q4.00	Q24,000.00	3	Q72,000.00

*Nota 1: Cotización del precio de pruebas en anexo D, figura 199

Tabla 89. Costo de servicio de transporte desde las fincas hasta los laboratorios de estudio.

Recorrido	Distancia (km)	Masa (kg)	Costo por kg (Q/km/kg)	Costo por viaje + peaje	Costo total
Desde finca - planta	111	6000	Q0.003	Q2,043.75	Q6,131.25
De planta - laboratorios	46.4	5200	Q0.003	Q723.84	Q2,171.52
TOTAL					Q8,302.77

*Nota 1: La empresa únicamente procesaría los desechos, estos son cálculos de la logística asociada a las pruebas a nivel piloto.

*Nota 2: Se calculó el transporte terrestre con el promedio de flete nacional. (SEGEPLAN, 2013)

Tabla 90. Presupuesto estimado para la realización de pruebas tercerizadas a nivel piloto de estípite.

Rubro	Descripción	Cantidad	Costo	Sub - total
Transporte 1	Transportar la materia prima desde las fincas hasta la planta de pirólisis.	3	Q2,043.75	Q6,131.25
Transporte 2	Transportar los líquidos y sólidos resultantes hasta laboratorios de estudio.	3	Q723.84	Q2,171.52
Prueba de pirólisis	Tratamiento de biomasa en por pirólisis	3	Q24,000.00	Q72,000.00
Contenedor IBC	Contenedor con capacidad de 1000 L para el transporte y almacenamiento de químicos	4	Q2,092.79	Q8,371.14
Total				Q88,673.91

*Nota 1: El presupuesto contempló la compra de contenedores para manejo adecuado de los líquidos obtenidos y su transporte.

3. Comparación de propuestas para la operación de pirólisis a nivel piloto, aspectos positivos y negativos. Debido a las diferencias de los procedimientos propuestos, se decidió realizar una comparación cualitativa, enfocados en los aspectos positivos y negativos de cada método propuesto. Por lo tanto a continuación describen las diferencias en presupuestos tomados en cuenta, y posteriormente en la evaluación de ventajas y desventajas.

Tabla 91. Comparación de presupuestos en relación a los costos calculados.

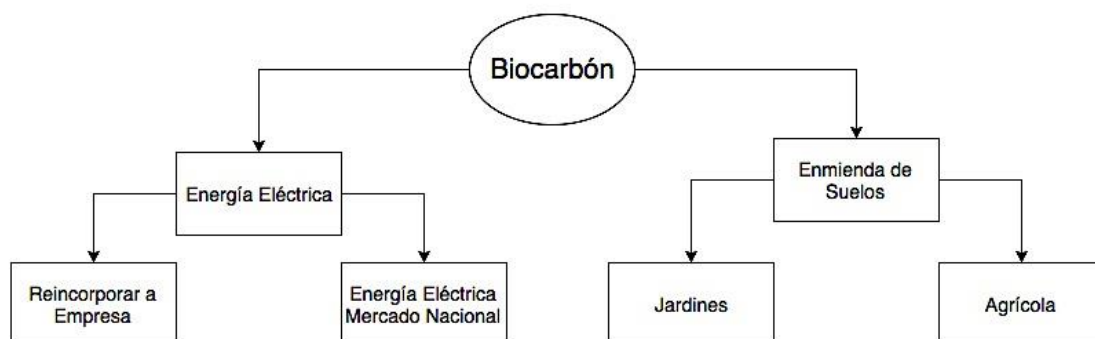
COSTOS NECESARIOS DE PRUEBAS		
	IMPORTAR	TERCERIZAR
Costos implicados	Inversión + Operaciones + Capacitación + Logística	Inversión + Logística
Costos calculados	Inversión + Operaciones	Inversión + Logística
Monto presupuestado	Q928,391.16	Q88,673.91
Diferencia	Q839,717.25	

Tabla 92. Evaluación de aspectos positivos y negativos de cada opción

Opción	Ventajas	Desventajas
Importar	Equipo de pirólisis propio con capacidad de procesar hasta 10ton/día.	Inversión inicial alta para resultados poco tangibles.
	Ayudaría a proporcionar resultados más acertados sobre el mercado y la producción a niveles más grandes.	Mayor inversión en comparación de la propuesta de tercerizar.
	Punto de partida para varios módulos operando a nivel industrial.	No se tiene certeza del comportamiento de los resultados bajo el modelo de operación de pirólisis rápida.
	En Guatemala existe una empresa de pirólisis que está en crecimiento y utiliza el mismo equipo. En caso de que los resultados fueran favorables, existe un posible comprador local del equipo.	La industria de palma no tiene conocimiento del proceso de pirólisis. Esto requiere inversión adicional de tiempo y dinero para capacitación y aprendizaje del nuevo proceso.
	La empresa de pirólisis guatemalteca podría brindar capacitaciones orientadas al funcionamiento del equipo y logística de operación.	La importación de maquinaria y manejo de operación tiene riesgos asociados.
		De no ser favorables los resultados, no se podría recuperar la inversión de acondicionamiento del terreno.
Tercerizar	Menor inversión en comparación con la propuesta de importación del equipo.	La realización de las pruebas depende de la disponibilidad de tiempo de la empresa contratada.
	Se transmiten los riesgos asociados de las operaciones, a la empresa contratada.	Si los resultados son positivos, debe hacerse una nueva inversión para iniciar las operaciones.
	La empresa que se contrataría está ubicada en Guatemala. Además, se encuentra en un lugar intermedio entre las plantaciones de palma y la universidad. Esto facilita la logística de obtención de resultados.	

I. ESTUDIO DE MERCADO

Figura 65. Mercado potencial del biocarbón



1. PESTEL

a. Político

1) General del país

- Corrupción política, Guatemala tiene un índice de 28 de percepción de la corrupción (Transparency International, 2017).
- Inestabilidad política

2) Proveedores de materia prima para la pirólisis El Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación es la institución del Estado que fomenta el desarrollo rural integral a través de la transformación y modernización del sector agropecuario, forestal e hidrobiológico (MAGA, 2017).

3) Enmienda de suelos El Programa de Fertilizantes del MAGA tiene dentro de sus objetivos el mejoramiento de los rendimiento de maíz y frijol, así como la contribución al mejoramiento de salud alimentaria (vía incremento en la producción de alimentos). El Programa consiste, en su mayoría, en subsidiar la adquisición de fertilizante de un número creciente de pequeños productores (Gálvez, 2013).

4) Sector de Energía Eléctrica Dentro de las prioridades presidenciales de la Política General de Gobierno 2016-2020 en la sección de ambiente y recursos naturales el Gobierno identificó incrementar la participación de energía renovable en la matriz energética como una acción estratégica (Política general de Gobierno, 2016).

b. Económico

1) Proveedores de materia prima para la pirólisis

- El sector palmicultor representa el 1% del PIB de Guatemala.
- El cultivo de palma de aceite genera inversiones por más de USD \$1.800 millones.
- Las exportaciones de palma de aceite representa al año más USD \$400 millones.
- El cultivo de la palma aceitera contribuye con el 15.5% del PIB de peten y el 5.8% del PIB del Departamento de Izabal. (de León, 2016)

2) Sector de Energía Eléctrica

- Del 2011-2016 el promedio de inversión extranjera directa en electricidad es de 273.5 millones.
- De la matriz energética del 2011-2016, la energía renovable tiene una participación promedio de 62.5% y la no renovable de 37.5%. (CNEE, Informe estadístico 2016, 2016)

3) Enmienda de suelos

- Guatemala importó en el 2016 \$1,707,530 en abonos de origen animal o vegetal, incluso mezclados entre si o tratados químicamente.
- Se exportó \$516,117 en abonos de origen animal o vegetal, incluso mezclados entre si o tratados químicamente, en el 2016. (BanGuat, 2017)

c. Sociocultural

1) Proveedores de materia prima para la pirólisis

- El cultivo de palma aceitera genera 1 puesto de trabajo por cada 6 hectáreas de palma cultivada (de León, 2016).
- El sector palmicultor genera más de 25 mil empleos directos y 125 mil empleos indirectos (de León, 2016).
- El aceite de palma es la más producido en el mundo, el más utilizado para cocinar y está presente en una interminable lista de alimentos procesados, productos cosméticos, de limpieza, entre otros (GREPALMA, 2017).
- Comunidades de la Franja Transversal del Norte, la Costa Sur y Sayaxché, Petén, manifestaron su rechazo a las compañías de Palma Africana instaladas en el país y exigieron a las autoridades investigar su posible responsabilidad en la contaminación de los ríos donde operan (CERIGUA, 2015).

d. Tecnológico

1) Proceso

- Tendencias de nuevas tecnologías: Según la organización Health Care without harm, la pirólisis es un tratamiento ‘nuevo’ y propone una solución viable ambientalmente para tratar residuos (GreenPeace, 2010).

e. Ecológico

1) Proveedores de materia prima para la pirólisis

- El cultivo de palma aceitera ocupa el 4% del área total de cultivos sembrados en el país.
- La mejor adaptación de la palma de aceite se encuentra en la franja ecuatorial, entre los 15°a 20° latitud norte y sur, pues es donde las condiciones ambientales son más estables (horas de sol, viento, lluvia y temperatura) (GREPALMA, 2017).
- Bajo un esquema sostenible, simula a un bosque lluviosos por los siguientes factores:
 - Reincorpora grandes cantidades de materia orgánica al suelo
 - Protege el suelo de la erosión al utilizar cobertura leguminosa
 - Mantiene temperaturas bajas del suelo
 - Renueva el suministro de materia orgánica superficial en los residuos reciclados de cultivo. (GREPALMA, 2017)

f. Legal

1) Proveedores de materia prima, palma africana, para la pirólisis

- Licencia ambiental:
 - Decreto No. 68-86 Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente
 - Acuerdo Gubernativo No. 137-2016
 - Reglamento de Evaluación, control y Seguimiento Ambiental → requieren una licencia ambiental para operar
- Requerimiento del diagnóstico ambiental:
 - Acuerdo Gubernativo No.137-2016
 - Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental
- Arancel Integrado de aceite de palma y sus fracciones, incluso refinado, pero sin modificar químicamente. Identificado como el inciso arancelario 1511:
 - Tratamiento general: Valor en Aduanas más DAI por 12%.
 - Tratado de Libre Comercio entre los Estados Unidos Mexicanos y las Repúblicas de Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua - MX: 0%

- Tratado de Libre Comercio entre Centroamérica y Chile - CL: 0%
- Tratado de Libre Comercio República Dominicana, Centroamérica y Estados Unidos de América - US: 0%.
- Tratado de Libre Comercio entre la República de Guatemala y la República de China (Taiwán) - TW: 1%.
- Tratado de Libre Comercio entre Centroamérica y República Dominicana - DO: 0%. (SAT, 2017)

2) Sector de energía eléctrica

- Arancel integrado de la hulla bituminosa, identificado como el inciso arancelario 27011200
 - Tratamiento general: Valor en aduanas más DAI por 12%.
 - Tratado de Libre Comercio Entre Los Estados Unidos Mexicanos y las Repúblicas de Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua - MX: 0%
 - Tratado de Libre Comercio entre Centroamérica y Chile - CL: 4.7%
 - Tratado de Libre Comercio República Dominicana, Centroamérica y Estados Unidos de América - US: 0%.
 - Tratado de Libre Comercio entre la República de Guatemala y la República de China (Taiwán) - TW: 0%.
 - Tratado de Libre Comercio entre Centroamérica y República Dominicana - DO: 0%.
 - Acuerdo por el que se establece una Asociación entre la Unión Europea y sus Estados Miembros, por un lado, y Centroamérica, por otro (UE) – ADAE: 5%
 - Tratado de Libre Comercio entre la República de Colombia y las Repúblicas de El Salvador, Guatemala, Honduras – CO: 0%
 - Tratado de Libre Comercio y de Intercambio preferencial entre las repúblicas de Panamá y Guatemala – PA: 1%. (SAT, 2017)
- Ley y Reglamento de Incentivos para el desarrollo de proyectos de Energía Renovable (MEM, Ley y Reglamento de Incentivos de Energía Renovable, 2005).

2. Las cinco fuerzas de Porter

a. Poder de negociación de los proveedores. La materia prima para poder realizar la pirólisis que produce el biocarbón, es el estípite de palma africana. El cultivo de palma de aceite en Guatemala representa del total del área agrícola cultivable en el país, es decir, 150,000 hectáreas. La palma aceitera en Guatemala se localiza en tres zonas principalmente: zona sur (pacífico) en los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Retalhuleu, Suchitepéquez y Escuintla; en la zona oriental (atlántico) en los departamentos de Izabal y Alta Verapaz; y en la zona norte, en el sur de Petén, norte de Alta Verapaz y nororiente de Quiché (GREPALMA, 2017). Algunas de las corporaciones y empresas más importantes propietarias de los cultivos de palma africana son Grupo HAME, Grupo M.E.M.E., Corporación Olmeqa, NaturAceites, IDEALSA, entre otros (USAC, 2017). Es por lo anterior que el poder de negociación de los proveedores es uno de los factores más relevantes para el proyecto.

b. La amenaza de productos sustitutos

1) Energía eléctrica. Actualmente en Guatemala se importa el 100% de Hulla Bituminosa, la cual puede ser utilizada en la producción de vapor para la generación de energía. En el ámbito de la energía renovable Guatemala se cuenta con energía hidráulica, geotérmica eólica, solar y de la biomasa. En cuanto a hidroeléctricas posee 33, las cuales dentro de la matriz energética generan aproximadamente el 28% de la energía (MEM, 2017).

Otro sustituto para el biochar de pirólisis podría ser la leña, la cual es la fuente de energía que más se utiliza en el país. Esta se utiliza principalmente para la cocción de alimentos, especialmente en las áreas no electrificadas y en los hogares más pobres.

2) Enmienda de suelos. El biochar obtenido por pirólisis también puede ser utilizado como un regenerador de suelos. Esto debido a sus propiedades y sus componentes químicos descritos en el módulo: "Aplicaciones de los productos obtenidos de la pirólisis de estípites de palma africana Deli x AVROS". En el mercado existen algunos como Massó Garden, el cual está destinado para ser aplicado en jardines. Este regenerador de suelos se compara con el biochar obtenido por su alto contenido en materia orgánica.

El biochar también es comparable con abonos orgánicos como el estiércol de oveja y el humus de lombriz por su gran aporte de materia orgánica. El estiércol de oveja teniendo un 45.6%p/p y el biochar 76%p/p esto le da al biochar una ventaja competitiva en contenido orgánico como abono.

Otro uso alternativo al biochar es el que cumple la función del yeso agrícola. El yeso agrícola es un mineral muy suave compuesto por sulfato de calcio di-hidratado. Este se ha convertido en una enmienda del suelo que ha demostrado ser capaz de recuperar suelos sódicos degradados y mejorar varias propiedades físicas del suelo (INTAGRI, 2017).

La cal agrícola es el material más utilizado para encalar los suelos, aplicar al suelo sales básicas que neutralizan la acidez. Esta contiene principalmente carbonato de calcio (CaCO_3). Esta se obtiene a partir de roca caliza y roca calcárea o calcita que se muele y luego se cierne en malla de distintos tamaños (Espinosa, 1999).

Además de los anteriores, otro sustituto podrían ser los fertilizantes, pero estos a diferencia de los regeneradores de suelos, aportan nutrientes directamente a las plantas y no al suelo.

c. **La amenaza de nuevos competidores.** En un principio puede que no exista la amenaza de nuevos competidores ya que actualmente en Guatemala la pirólisis es un tema relativamente nuevo, solo existe una planta de pirólisis en Guatemala, la cual se enfoca en convertir los neumáticos de desecho en petróleo crudo. Sin embargo es importante analizar los efectos de diferentes factores que son barrera de entrada para nuevo competidores.

1) **Inversión de capital.** Las inversiones de capital dependen del tipo de planta de pirólisis que se desee instalar y de la capacidad. Para una planta de pirólisis rápida, la inversión puede ser desde \$97,000 hasta \$143 millones.

2) **Energía eléctrica.** En Guatemala se suele importar carbón mineral por lo que tratar de vender el biochar como sustituto de éste podría ser inusual, ya que los consumidores no están acostumbrados a la compra local. En Guatemala ya se cuenta con países proveedores específicos de carbón mineral, por lo que tratar de que esto se cambie puede resultar en una barrera.

Esto se debe a que la fidelidad a proveedores de carbón mineral puede resultar el factor decisivo para la provisión de carbón. Además, puede que se considere riesgoso intentar cambiar el carbón mineral por biochar en temas tan importantes como la generación de energía eléctrica cuando no se tiene la certeza del funcionamiento según la percepción de los usuarios.

3) **Enmienda de suelos.** Es posible que a las personas les parezca raro comprar carbón como enmienda de suelos, ya que este es un producto del cual no se tiene mucho conocimiento como enmienda de suelos. Las personas también están acostumbradas a productos comunes como cal, yeso, abonos, entre otros, por lo que podrían estar renuentes a la idea de probar un producto nuevo.

d. **Poder de negociación de compradores**

1) **Energía eléctrica.** Dentro del mercado de energía eléctrica los principales compradores serían las cuatro generadoras que utilizan carbón mineral para la generación de electricidad: ESI S.A., San José, La Libertad y Las Palmas² (OLADE, 2014). En este mercado también es conocido que los transportistas de electricidad juegan un papel muy importante, algunos de estos son el Instituto Nacional de Electrificación, Transportista Eléctrica Centroamericana S.A., Duke Energy International Transmission, entre otros (CNEE, Informe estadístico 2016, 2016).

2) **Enmienda de suelos.** En este mercado los compradores estarían constituidos por personas dueñas de extensiones de tierras cultivadas. Sobre dichas extensiones de tierras cultivadas se presta atención sobre todo a aquellas que presentan sobre utilización, y que por lo tanto necesiten reducir la acidez del suelo a causa de la sobreutilización para poder seguir cultivando en esa área.

También, este producto está destinado para jardines pero dentro de este mercado las personas que lo comprarían serían aquellas dentro del estrato socioeconómico A+. Las personas que tienen ingresos, dentro de esta clasificación, como para cubrir sus necesidades de la canasta básica, y darse lujos como el de cuidar y preocuparse por el aspecto de su jardín.

e. **Rivalidad actual**

1) **Segmento de mercado de energía eléctrica.** Dentro de este mercado la rivalidad se definirá en poder competir con el precio de importación de la hulla bituminosa, el cual es de Q.670.00 /t.

2) **Segmento de mercado de enmienda de suelos.** La mayor rivalidad en este segmento sería con los fertilizantes, ya que estos aportan los nutrientes directamente a las plantas. Por lo tanto, los agricultores no le dan tanta importancia en devolver los nutrientes al suelo sino más bien en proporcionarlos directamente a las plantas utilizando fertilizantes. Otra rivalidad fuerte sería con los abonos, ya que estos son muy comunes entre los agricultores y ya conocen los efectos y dosis necesarias de aplicación para sus cultivos.

3. **Análisis de las 4 P's**

a. **Producto.** El biochar es el producto sólido obtenido de la pirólisis de estípites de palma africana. Este residuo carbonoso puede ser utilizado como combustible, carbón activado y enmienda de suelos. El biochar es rico en nutrientes como potasio, fósforo, carbono, hierro, entre otros, además, posee un alto porcentaje de materia orgánica brindándole características de regenerador. Su poder calorífico es muy similar al de la hulla bituminosa, pudiendo ser utilizado como combustible y como sustituto de la leña.

b. **Precio.** El biocarbón no es un producto que se comercialice o produzca en Guatemala pero si se puede encontrar en algunos países como Alemania, Austria, Australia, Estados Unidos, entre otros; por lo tanto no tiene un precio establecido en el país.

Analizando el mercado de generación de energía eléctrica, la hulla bituminosa se importa a un precio de Q.0.67/kg.

En el mercado de enmienda de suelos la cal agrícola tiene un precio de \$4.75 por saco de 45 kg y el abono orgánico de Q60.00 por saco de 100 kg.

c. Plaza . El producto final puede tener dos usos principalmente, energía eléctrica o enmienda de suelo. Para la comercialización de la energía eléctrica se contemplaron los siguientes contextos:

Cuatro generadoras que utilizan carbón:

- Las Palmas 2,
- San José,
- La Libertad
- ESI, S.A.

(OLADE, 2014)

Para la enmienda de suelos, se contempló los siguientes lugares:

Agrícola:

- Encargo de clientes
- Posible alianza con empresas de seguros agrícolas

Jardines:

- Viveros
- Tiendas de venta agrícola

d. Promoción. La estrategia de promoción se basará en contratos con las generadoras de energía eléctrica mientras para la enmienda de suelos, se realizará una labor de publicidad y venta en viveros. Finalmente para la promoción en enmienda de suelos para la venta agrícola se acudirá a una atenciónal cliente, mayoritariamente fincas, personalizada.

J. IDENTIFICACIÓN DE INTERESADOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE PIRÓLISIS

1. Mercado de energía eléctrica

Figura 66. Datos históricos de importaciones de hulla bituminosa

	Año	Toneladas (métricas)	Valor 1 tonelada métrica (Q)
1	2002	377,711.39	362.40
2	2003	428,522.91	354.89
3	2004	360,291.24	371.29
4	2005	362,989.02	422.44
5	2006	510,493.95	456.05
6	2007	464,943.48	544.49
7	2008	547,311.36	706.56
8	2009	282,774.97	986.14
9	2010	614,906.83	894.12
10	2011	576,028.67	1122.46
11	2012	698,655.18	861.37
12	2013	996,190.11	822.80
13	2014	1,624,610.91	725.10
14	2015	1,983,633.31	591.99
15	2016	2,191,312.14	554.94
	Promedio		651.80

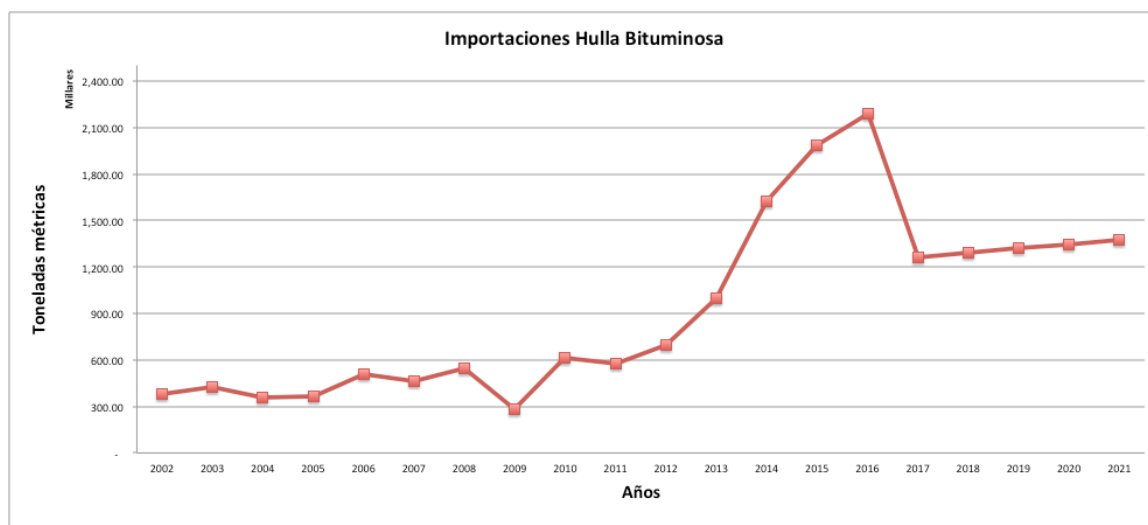
Figura 67. Proyecciones de importaciones de hulla bituminosa

Proyecciones	
$Y = 503,553.00 \ln(x) - 135,226.00$	
$R^2 = 0.49803$	
16	1,260,919.37
17	1,291,447.08
18	1,320,229.37
19	1,347,455.08
20	1,373,283.97

Figura 68. Consolidado de importaciones de hulla bituminosa en Guatemala para los años 2002 a 2021

	Año	Tonelada métrica
1	2002	377,711.39
2	2003	428,522.91
3	2004	360,291.24
4	2005	362,989.02
5	2006	510,493.95
6	2007	464,943.48
7	2008	547,311.36
8	2009	282,774.97
9	2010	614,906.83
10	2011	576,028.67
11	2012	698,655.18
12	2013	996,190.11
13	2014	1,624,610.91
14	2015	1,983,633.31
15	2016	2,191,312.14
16	2017	1,260,919.37
17	2018	1,291,447.08
18	2019	1,320,229.37
19	2020	1,347,455.08
20	2021	1,373,283.97

Figura 69. Consolidado de importaciones de hulla bituminosa en Guatemala para los años 2002 a 2021



2. Mercado de enmienda de suelos

1) Mercado de enmienda de suelos en plantaciones agrícolas

Figura 70. Mapa de intensidad de uso de la tierra

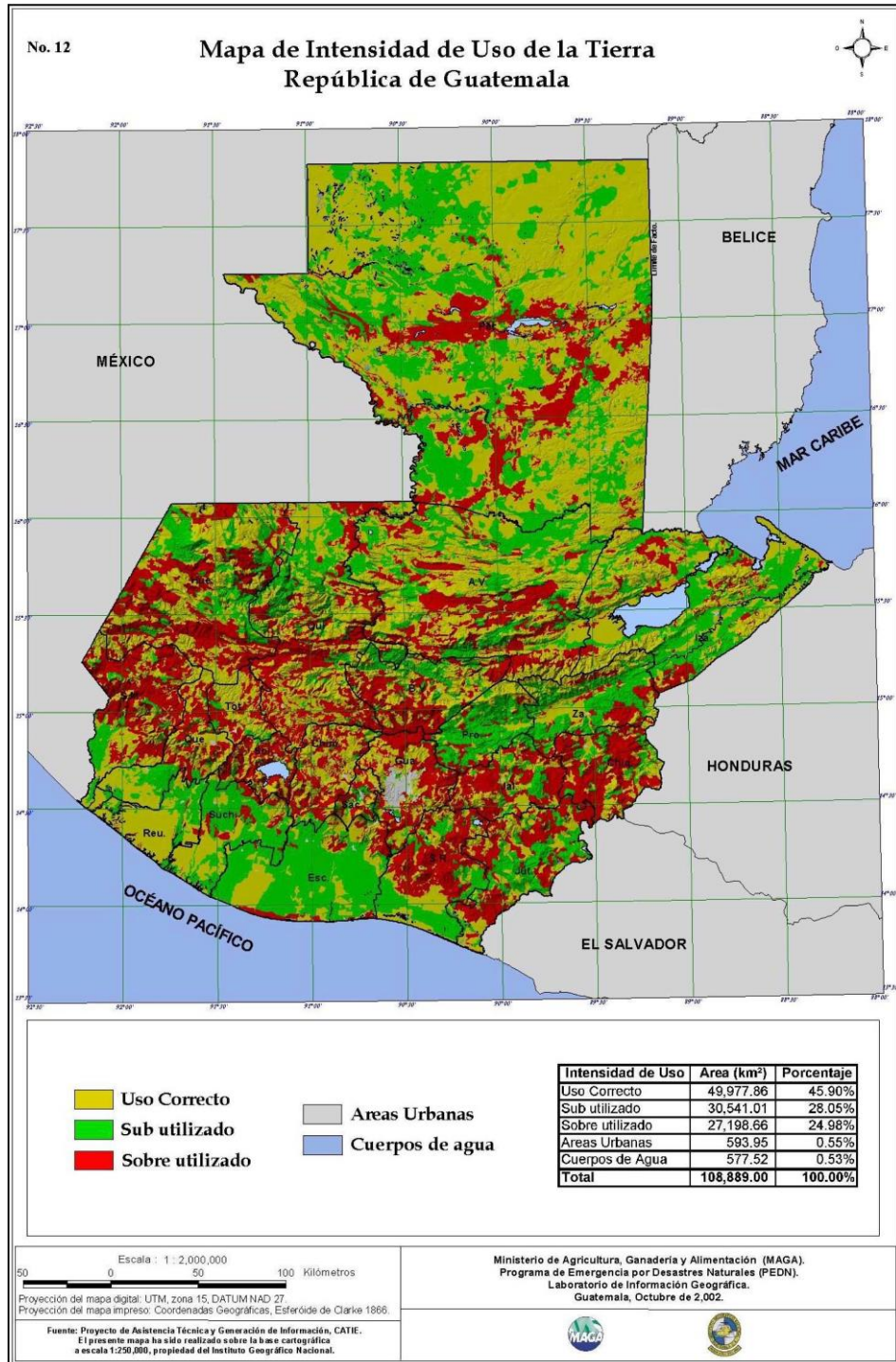


Figura 71. Suelo sobre utilizado en la República de Guatemala y dosis de aplicación de biocarbón

Intensidad de uso	Área (km ²)	Hectáreas	Porcentaje
Uso correcto	49,977.86	4,997,786.00	45.90%
Sub utilizado	30,541.01	3,054,101.00	28.05%
Sobre utilizado	27,198.66	2,719,866.00	24.98%
Áreas urbanas	593.95	59,395.00	0.55%
Cuerpos de agua	577.52	57,752.00	0.53%
Total	108,889.00	10,888,900.00	100%

Dosis	Producción
30 t/ha	81,595,980.00

2) Mercado de enmienda de suelos en jardines

Figura 72. Porcentaje de área mínima verde establecida por la Municipalidad de Guatemala

Área mínima (m ²)	12% área verde (m ²)
55	6.6
85	10.2
100	12
150	18
97.5	11.7

Figura 73. Cuantificación de casas formales no pobres a nivel nacional de la República de Guatemala

Total Nacional			
Tipo de Vivienda	Pobres	No Pobres	Total Población
Casa Formal	1,118,308.00	1,503,456.00	2,621,764.00
Apartamento	3,320.00	39,598.00	42,918.00
Cuarto casa vecindad	18,231.00	62,402.00	80,633.00
Rancho	53,480.00	12,436.00	65,916.00
Casa Improvisada	100,848.00	71,464.00	172,312.00
Total	1,294,187.00	1,689,356.00	2,983,543.00

Área verde total (m ²)	17,590,435.20	17.59 km ²
------------------------------------	---------------	-----------------------

Figura 74. Dosis de aplicación de biocabón en jardines y producción de biocarbón para jardines

Rangos de pH en césped		
Promedio inferior	Promedio Superior	Diferencia entre superior e inferior
5.65	7.16	1.52

Aplicación		
Agricultura	Césped	
Toneladas por hectarea	40.00	24.25
Gramos por metro cuadrado	4,000.00	2,424.62
Kilogramos por metro cuadrado	4.00	2.42
Libras por metro cuadrado	8.80	5.33

Cambio de pH en agricultura	Área verde total (m ²)	17,590,435.20
2.5	Producción (ton)	42,650.04

K. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

La planta estaría ubicada en el departamento de Escuintla, en el kilómetro 58.5 carretera Siquinalá. El terreno cotizado está ubicado dentro de un parque industrial con las coordenadas 14°18'18.1"N, 90°47'33.8"W.

Figura 75. Vista de la localización de la planta

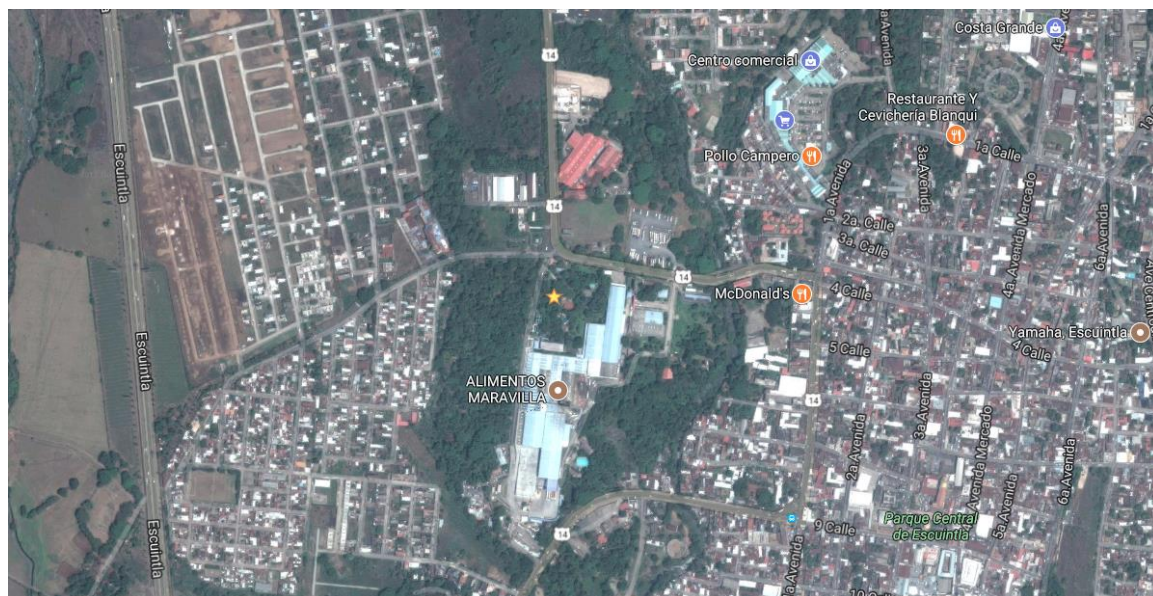


Tabla 93. Lista de cotejo

Aspecto a evaluar		Si	No
1.	Cercanía de proveedores	X	
2.	Cercanía con clientes	X	
3.	Parque Industrial	X	
4.	Acceso por carreteras	X	
5.	Servicio de agua	X	
6.	Planta de tratamiento	X	
7.	Urbanización	X	
8.	Garita con control de acceso	X	

L. OPERACIONES DEL PROCESO DE PIRÓLISIS

Figura 76. Diagrama de la secuencia de las operaciones del proceso

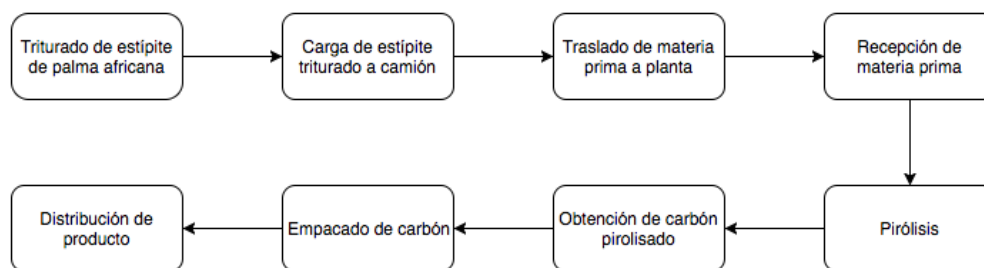


Tabla 94 Perfil de capacidades del proceso

CAPACIDADES [t/s]						
Trituradora	Cargar camión		Reactor		Empacadora	Cosedora
0.00059	1 operario	0.00015	input	0.00007	0.01333	0.01591
	3 operarios	0.00046	output	0.00002		
	cargadora (maq.)	0.01673				

M. PROGRAMACIÓN SIMIO

Figura 77. Resumen de resultados de SIMIO

Drop Filter Fields Here							Drop Column Fields Here	
Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average Total		
Conveyor	Conveyor1	[Travelers]	Content	NumberOnLink	Average	0.0002		
					Maximum	1.0000		
				FlowTime	TimeOnLink	Average (Ho...	0.0037	
					Maximum (Ho...	0.0037		
					Minimum (Ho...	0.0037		
			Throughput	NumberEntered	Total	2.0000		
	NumberExited	Total	2.0000					
ModelEntity	CarbonPalmaAfricana	[Population]	Content	NumberInSystem	Average	317.3490		
					Maximum	634.0000		
				FlowTime	TimeInSystem	Average (Ho...	18.0029	
					Maximum (Ho...	23.9788		
					Minimum (Ho...	12.0270		
			Throughput	NumberCreated	Total	636.0000		
	NumberDestroyed	Total	2.0000					
Path	Path1	[Travelers]	Content	NumberOnLink	Average	0.0297		
					Maximum	1.0000		
				FlowTime	TimeOnLink	Average (Ho...	0.0014	
					Maximum (Ho...	0.0014		
					Minimum (Ho...	0.0014		
			Throughput	NumberEntered	Total	636.0000		
	NumberExited	Total	636.0000					

End of run 100% (30.00 Hours) martes, 10 de octubre de 2017 06:00:00 a.m.

Figura 78. Resultados de la simulación en SIMIO parte 1

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic Type	Value
Conveyor	Conveyor1	[Travelers]	Content	NumberOnLink	Average	0.00024944
Conveyor	Conveyor1	[Travelers]	Content	NumberOnLink	Maximum	1
Conveyor	Conveyor1	[Travelers]	Content	NumberOnLink	Minimum	0
Conveyor	Conveyor1	[Travelers]	FlowTime	TimeOnLink	Average	0.00374167
Conveyor	Conveyor1	[Travelers]	FlowTime	TimeOnLink	Maximum	0.00374167
Conveyor	Conveyor1	[Travelers]	FlowTime	TimeOnLink	Minimum	0.00374167
Conveyor	Conveyor1	[Travelers]	Throughput	NumberEntered	Total	2
Conveyor	Conveyor1	[Travelers]	Throughput	NumberExited	Total	2
ModelEntity	CarbonPalmaAfricana	[Population]	Content	NumberInSystem	Average	317.348987
ModelEntity	CarbonPalmaAfricana	[Population]	Content	NumberInSystem	Maximum	634
ModelEntity	CarbonPalmaAfricana	[Population]	Content	NumberInSystem	Minimum	0
ModelEntity	CarbonPalmaAfricana	[Population]	FlowTime	TimeInSystem	Average	18.0028639
ModelEntity	CarbonPalmaAfricana	[Population]	FlowTime	TimeInSystem	Maximum	23.9787528
ModelEntity	CarbonPalmaAfricana	[Population]	FlowTime	TimeInSystem	Minimum	12.026975
ModelEntity	CarbonPalmaAfricana	[Population]	FlowTime	TimeInSystem	Observations	2
ModelEntity	CarbonPalmaAfricana	[Population]	Throughput	NumberCreated	Total	636
ModelEntity	CarbonPalmaAfricana	[Population]	Throughput	NumberDestroyed	Total	2
Path	Path1	[Travelers]	Content	NumberOnLink	Average	0.02968
Path	Path1	[Travelers]	Content	NumberOnLink	Maximum	1
Path	Path1	[Travelers]	Content	NumberOnLink	Minimum	0
Path	Path1	[Travelers]	FlowTime	TimeOnLink	Average	0.0014
Path	Path1	[Travelers]	FlowTime	TimeOnLink	Maximum	0.0014
Path	Path1	[Travelers]	FlowTime	TimeOnLink	Minimum	0.0014
Path	Path1	[Travelers]	Throughput	NumberEntered	Total	636
Path	Path1	[Travelers]	Throughput	NumberExited	Total	636
Path	Path2	[Travelers]	Content	NumberOnLink	Average	3.33E-05
Path	Path2	[Travelers]	Content	NumberOnLink	Maximum	1
Path	Path2	[Travelers]	Content	NumberOnLink	Minimum	0
Path	Path2	[Travelers]	FlowTime	TimeOnLink	Average	0.001
Path	Path2	[Travelers]	FlowTime	TimeOnLink	Maximum	0.001
Path	Path2	[Travelers]	FlowTime	TimeOnLink	Minimum	0.001
Path	Path2	[Travelers]	Throughput	NumberEntered	Total	1
Path	Path2	[Travelers]	Throughput	NumberExited	Total	1

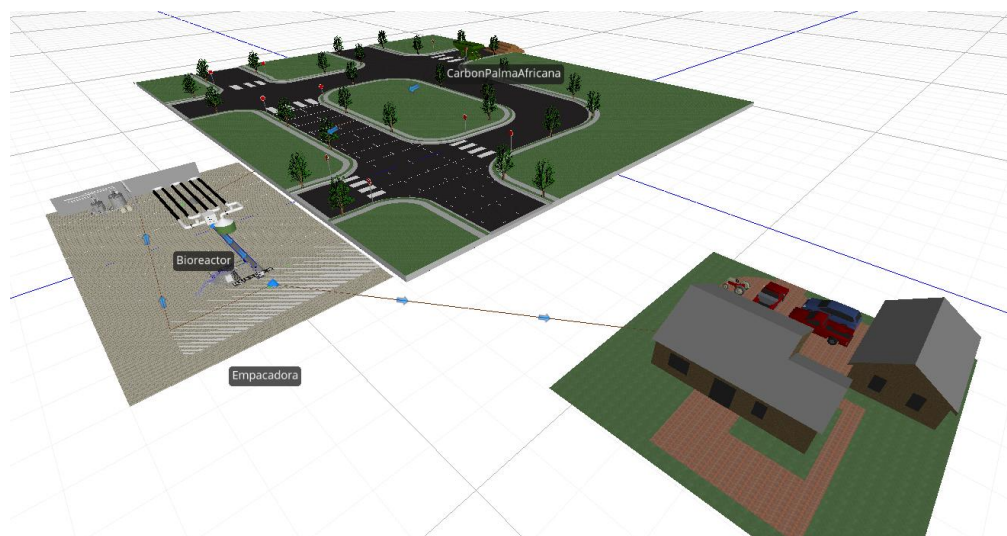
Figura 79. Resultados de la simulación en SIMIO parte 2

Server	Bioreactor	[Resource]	Capacity	ScheduledUtilization	Percent	99.9953333
Server	Bioreactor	[Resource]	Capacity	UnitsAllocated	Total	3
Server	Bioreactor	[Resource]	Capacity	UnitsScheduled	Average	1
Server	Bioreactor	[Resource]	Capacity	UnitsScheduled	Maximum	1
Server	Bioreactor	[Resource]	Capacity	UnitsScheduled	Minimum	1
Server	Bioreactor	[Resource]	Capacity	UnitsUtilized	Average	0.99995333
Server	Bioreactor	[Resource]	Capacity	UnitsUtilized	Maximum	1
Server	Bioreactor	[Resource]	Capacity	UnitsUtilized	Minimum	0
Server	Bioreactor	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Average	29.9986
Server	Bioreactor	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Occurrences	1
Server	Bioreactor	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Percent	99.9953333
Server	Bioreactor	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Total	29.9986
Server	Bioreactor	[Resource]	ResourceState	TimeStarved	Average	0.0014
Server	Bioreactor	[Resource]	ResourceState	TimeStarved	Occurrences	1
Server	Bioreactor	[Resource]	ResourceState	TimeStarved	Percent	0.00466667
Server	Bioreactor	[Resource]	ResourceState	TimeStarved	Total	0.0014
Server	Bioreactor	InputBuffer	Content	NumberInStation	Average	316.317682
Server	Bioreactor	InputBuffer	Content	NumberInStation	Maximum	633
Server	Bioreactor	InputBuffer	Content	NumberInStation	Minimum	0
Server	Bioreactor	InputBuffer	HoldingTime	TimeInStation	Average	11.9527778
Server	Bioreactor	InputBuffer	HoldingTime	TimeInStation	Maximum	23.9055556
Server	Bioreactor	InputBuffer	HoldingTime	TimeInStation	Minimum	0
Server	Bioreactor	InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	636
Server	Bioreactor	InputBuffer	Throughput	NumberExited	Total	3
Server	Bioreactor	OutputBuffer	Content	NumberInStation	Average	0.00018828
Server	Bioreactor	OutputBuffer	Content	NumberInStation	Maximum	1
Server	Bioreactor	OutputBuffer	Content	NumberInStation	Minimum	0
Server	Bioreactor	OutputBuffer	HoldingTime	TimeInStation	Average	0.00282415
Server	Bioreactor	OutputBuffer	HoldingTime	TimeInStation	Maximum	0.00282415
Server	Bioreactor	OutputBuffer	HoldingTime	TimeInStation	Minimum	0.00282415
Server	Bioreactor	OutputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	2
Server	Bioreactor	OutputBuffer	Throughput	NumberExited	Total	2
Server	Bioreactor	Processing	Content	NumberInStation	Average	0.99995333

Figura 80. Resultados de la simulación en SIMIO parte 3

Server	Bioreactor	Processing	Content	NumberInStation	Maximum	1
Server	Bioreactor	Processing	Content	NumberInStation	Minimum	0
Server	Bioreactor	Processing	HoldingTime	TimeInStation	Average	12
Server	Bioreactor	Processing	HoldingTime	TimeInStation	Maximum	12
Server	Bioreactor	Processing	HoldingTime	TimeInStation	Minimum	12
Server	Bioreactor	Processing	Throughput	NumberEntered	Total	3
Server	Bioreactor	Processing	Throughput	NumberExited	Total	2
Server	Empacadora	[Resource]	Capacity	ScheduledUtilization	Percent	0.13888889
Server	Empacadora	[Resource]	Capacity	UnitsAllocated	Total	2
Server	Empacadora	[Resource]	Capacity	UnitsScheduled	Average	1
Server	Empacadora	[Resource]	Capacity	UnitsScheduled	Maximum	1
Server	Empacadora	[Resource]	Capacity	UnitsScheduled	Minimum	1
Server	Empacadora	[Resource]	Capacity	UnitsUtilized	Average	0.00138889
Server	Empacadora	[Resource]	Capacity	UnitsUtilized	Maximum	1
Server	Empacadora	[Resource]	Capacity	UnitsUtilized	Minimum	0
Server	Empacadora	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Average	0.02083333
Server	Empacadora	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Occurrences	2
Server	Empacadora	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Percent	0.13888889
Server	Empacadora	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Total	0.04166667
Server	Empacadora	[Resource]	ResourceState	TimeStarved	Average	9.98611111
Server	Empacadora	[Resource]	ResourceState	TimeStarved	Occurrences	3
Server	Empacadora	[Resource]	ResourceState	TimeStarved	Percent	99.8611111
Server	Empacadora	[Resource]	ResourceState	TimeStarved	Total	29.9583333
Server	Empacadora	InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	2
Server	Empacadora	InputBuffer	Throughput	NumberExited	Total	2
Server	Empacadora	OutputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	2
Server	Empacadora	OutputBuffer	Throughput	NumberExited	Total	2
Server	Empacadora	Processing	Content	NumberInStation	Average	0.00138889
Server	Empacadora	Processing	Content	NumberInStation	Maximum	1
Server	Empacadora	Processing	Content	NumberInStation	Minimum	0
Server	Empacadora	Processing	HoldingTime	TimeInStation	Average	0.02083333
Server	Empacadora	Processing	HoldingTime	TimeInStation	Maximum	0.02083333
Server	Empacadora	Processing	HoldingTime	TimeInStation	Minimum	0.02083333

Figura 81. Modelo 3D de programación en SIMIO



N. NECESIDADES DE PERSONAL

Tabla 95. Necesidades de personal para el proceso

Personal	Cantidad
Gerente de planta	1
Ingeniero de planta	1
Supervisor de mantenimiento	1
Gerente de laboratorio/Químico	1
Supervisor de turno	3
Técnico de mantenimiento	3
Operador de turno	14
Piloto de camión	2
Asistente administrativo	1

1. Gerente de planta.

Perfil A: el gerente de planta debe de ser dominante e influyente, pues debe tener la capacidad de liderar un equipo entero de profesionales y técnicos.

Perfil B:

Competencia	Nivel	Descripción
Asunción de riesgos	4	Es la capacidad para emprender y asumir acciones con el objetivo de lograr un beneficio o una ventaja importante.
Delegación de autoridad y responsabilidades	4	Es la capacidad para hacer que las demás personas actúen según nuestros deseos, utilizando apropiadamente el poder personal que el puesto confiere.
Maximización del desempeño	4	Comprometerse al desarrollo de sus colaboradores, su evaluación y que utilicen todo su potencial y sus capacidades.
Liderazgo estratégico, individual y visionario	4	Capacidad para dirigir y lograr que las personas contribuyan de manera efectiva la consecución de los objetivos.
Iniciativa	3	Saber identificar problemas u oportunidades y llevar a cabo acciones que contribuyan a la solución.

Perfil C:

Conocimiento	Debe saber al menos ..
Materia prima y materiales	Materia prima para el proceso de producción
Maquinaria y equipo	Maquinaria y equipo a nivel general. Conocimiento sobre softwares utilizados por la empresa
Métodos y procesos	Proceso de producción, análisis financieros, planificación de estrategias
Mercado	Mercado potencial y posición de competencia en el mercado
Medio ambiente	Impacto ambiental del producto, legislación
Mano de obra y manejo de personal	Liderazgo y capacidad de comunicación con cualquier persona

Responsabilidades:

Responsable de todas las actividades que conlleva el proceso de producción v.g. fabricación, mantenimiento, logística, calidad, entre otras. Dirige y controla el recurso humano para cumplir con las metas establecidas según la misión de la empresa. Es responsable también de velar por el cumplimiento de reglas y normativas de calidad, prevención de riesgos y es el encargado de tomar decisiones en pro del futuro de la planta.

2. Ingeniero de planta

Perfil A: el ingeniero de planta debe ser influyente y conforme, pues estará en constante tacto con los operarios a los cuales debe de dirigir y apoyar, de igual manera debe ser metódico y sistemático para trabajar con los procesos y la programación de las máquinas.

Perfil B:

Competencia	Nivel	Descripción
Conocimientos técnicos y profesionales	4	Haber alcanzado un nivel satisfactorio de habilidades o conocimientos técnicos y profesionales en las áreas relacionadas con el puesto.
Delegación de autoridad y responsabilidades	3	Es la capacidad para hacer que las demás personas actúen según nuestros deseos, utilizando apropiadamente el poder personal que el puesto confiere.
Maximización del desempeño	4	Comprometerse al desarrollo de sus colaboradores, su evaluación y que utilicen todo su potencial y sus capacidades.
Trabajo en equipo y colaboración	3	Trabajar efectivamente con el equipo y grupo de trabajo o personas fuera de la línea formal de autoridad para alcanzar los objetivos de la organización.
Iniciativa	4	Saber identificar problemas u oportunidades y llevar a cabo acciones que contribuyan a la solución.

Perfil C:

Conocimiento	Debe saber al menos ..
Materia prima y materiales	Materia prima y materiales a utilizar a nivel detallado
Maquinaria y equipo	Maquinaria y equipos a nivel detalle, con capacidad de manejar cualquier equipo que esté en la planta
Métodos y procesos	Experto en los procesos de producción, en los softwares tanto administrativos como operativos.
Mercado	Conocimiento del comportamiento de la demanda del mercado, competencia y capacidad de implementar mejoras en el proceso
Medio ambiente	Impacto de los procesos y sus residuos en el medio ambiente
Mano de obra y manejo de personal	Liderazgo, solidaridad y tolerancia con los operarios. Debe saber manejar a un grupo de operarios.

Responsabilidades:

Responsable de diseñar los procesos de la planta que optimicen el funcionamiento de la misma. Debe poseer el conocimiento profundo de los detalles involucrados en cada proceso de la planta, del tipo de producto a fabricar y de las materias primas a transformar.

3. Supervisor de mantenimiento

Perfil A: El supervisor de mantenimiento debe ser Estable e Influyente, debe de poder enfrentar los problemas diarios de las máquinas, mantenerse tranquilo pero ser proactivo. Debe tener la capacidad de dirigir y apoyar a los técnicos de mantenimiento y poder cumplir con las metas de producción.

Perfil B:

Competencia	Nivel	Descripción
Conocimientos técnicos y profesionales	4	Haber alcanzado un nivel satisfactorio de habilidades o conocimientos técnicos y profesionales en las áreas relacionadas con el puesto.
Delegación de autoridad y responsabilidades	3	Es la capacidad para hacer que las demás personas actúen según nuestros deseos, utilizando apropiadamente el poder personal que el puesto confiere.
Maximización del desempeño	4	Comprometerse al desarrollo de sus colaboradores, su evaluación y que utilicen todo su potencial y sus capacidades.
Adaptabilidad	3	Mantener la eficacia en diferentes entornos y con diferentes tareas, responsabilidades y personas
Concientización de seguridad	4	Estar consciente sobre las condiciones que afectan la seguridad de los empleados

Perfil C:

Conocimiento	Debe saber al menos ..
Materia prima y materiales	Materia prima y materiales a nivel medio
Maquinaria y equipo	Maquinaria y equipos a nivel detalle, con capacidad de manejar cualquier equipo que esté en la planta
Métodos y procesos	Experto en los procesos de producción y en los softwares operativos.
Mercado	Conocimiento del comportamiento de la demanda del mercado a nivel general.
Medio ambiente	Impacto de los procesos y sus residuos en el medio ambiente
Mano de obra y manejo de personal	Liderazgo, solidaridad y tolerancia con los operarios. Debe saber manejar a un grupo de operarios.

Responsabilidad:

Responsable de coordinar, programar, asignar, supervisar y velar por el cumplimiento de las actividades que conlleva el mantenimiento de la maquinaria de la planta. Debe cumplir con las normativas y políticas establecidas para realizar el mantenimiento apropiado en su tiempo adecuado. Deberá crear programas de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo para el equipo a su cargo, logrando que la producción mantenga un flujo adecuado para cumplir con los objetivos de la empresa.

4. Jefe de laboratorio

Perfil A: el jefe de laboratorio debe ser conforme y estable, debe ser analítico y proactivo, siempre buscando la forma de mejorar los procesos químicos de la producción.

Perfil B:

Competencia	Nivel	Descripción
Conocimientos técnicos y profesionales	4	Haber alcanzado un nivel satisfactorio de habilidades o conocimientos técnicos y profesionales en las áreas relacionadas con el puesto.
Análisis y evaluación de problemas	4	Obtener información relevante e identificar los asuntos y relaciones clave a partir de una base de información. Relacionar y comparar datos de diferentes fuentes. Identificar las relaciones de causa efecto
Innovación	3	Generar soluciones creativas para las situaciones de trabajo. Probar formas diferentes y originales para abordar los problemas y las oportunidades en la organización
Comunicación	3	Expresar las ideas en forma eficaz en situaciones individuales y grupales (incluyendo comunicación no verbal); ajustar el lenguaje o la terminología a las características y las necesidades del público.
Concientización de seguridad	4	Estar consciente sobre las condiciones que afectan la seguridad de los empleados

Perfil C:

Conocimiento	Debe saber al menos ..
Materia prima y materiales	Materia prima y materiales a nivel detallado, siendo capaz de buscar sustitutos en el mercado.
Maquinaria y equipo	Maquinaria y equipos a nivel medio
Métodos y procesos	Experto en los procesos de producción y en los softwares operativos.
Mercado	Conocimiento del comportamiento del mercado a nivel general.
Medio ambiente	Impacto a nivel detalle de los procesos y sus residuos en el medio ambiente
Mano de obra y manejo de personal	Capacidad de interrelacionarse con un grupo de trabajo

Responsabilidad:

Responsable de investigar y mejorar los procesos químicos de la producción. Debe realizar pruebas de laboratorio, implementar o quitar materiales, llevar el control de los residuos, con el fin de optimizar la producción e implementar mejoras constantemente.

5. Supervisor de turno

Perfil A: El supervisor de turno de ser influyente y estable, debe ser capaz de liderar a los operarios y de poder dar el ejemplo con trabajo y esfuerzo. Debe ser tolerante, persuasivo y comunicativo.

Perfil B:

Competencia	Nivel	Descripción
Conocimientos técnicos y profesionales	4	Haber alcanzado un nivel satisfactorio de habilidades o conocimientos técnicos y profesionales en las áreas relacionadas con el puesto.
Delegación de autoridad y responsabilidad	4	Asignar la autoridad en la toma de decisiones y las responsabilidades relacionadas con tareas a las personas apropiadas que dependen directamente de uno. Utilizar eficientemente el tiempo, habilidades y potencial de quienes dependen directamente de uno.
Iniciativa	3	Hacer activos intentos por influir sobre los acontecimientos a fin de lograr los objetivos. Iniciar acciones en lugar de aceptarlas pasivamente. Realizar acciones que excedan lo requerido para alcanzar las metas.
Comunicación	3	Expresar las ideas en forma eficaz en situaciones individuales y grupales (incluyendo comunicación no verbal); ajustar el lenguaje o la terminología a las características y las necesidades del público.
Concientización de seguridad	4	Estar consciente sobre las condiciones que afectan la seguridad de los empleados

Perfil C:

Conocimiento	Debe saber al menos ..
Materia prima y materiales	Materia prima y materiales a nivel medio
Maquinaria y equipo	Maquinaria y equipos a nivel medio, capaz de manejar los equipos de producción
Métodos y procesos	Debe saber sobre los procesos de producción, con el fin de apoyar a los operarios
Mercado	Conocimiento general del mercado
Medio ambiente	Conocimiento general del impacto de los residuos
Mano de obra y manejo de personal	Capacidad de interrelacionarse con un grupo de trabajadores, teniendo la habilidad para liderarlos

Responsabilidad:

Responsable de todo lo referente a los procesos productivos. Supervisa la transformación de materia prima en producto terminado. Es responsable de los operarios en turno y del trabajo productivo. Genera reportes de producción y vela por el cumplimiento de buenas prácticas de manufactura.

6. Técnico de mantenimiento

Perfil A: el técnico de mantenimiento debe ser conforme y estable, debe ser capaz de seguir ordenes y debe ser proactivo, anticipándose a los posibles problemas que puedan ocurrir en los procesos productivos.

Perfil B:

Competencia	Nivel	Descripción
Conocimientos técnicos y profesionales	4	Haber alcanzado un nivel satisfactorio de habilidades o conocimientos técnicos y profesionales en las áreas relacionadas con el puesto.
Orientación a la calidad y atención al detalle	4	Realizar las tareas manifestando interés por todas las áreas afectadas, sin importar cuan pequeñas sean. Mostrar interés por todos los aspectos del puesto. Verificar con precisión los procesos y las tareas.
Salud física y capacidad	4	Mantenerse alerta durante un periodo de tiempo Estar libre de limitaciones físicas para el desempeño en el puesto
Comunicación	4	Expresar las ideas en forma eficaz en situaciones individuales y grupales (incluyendo comunicación no verbal); ajustar el lenguaje o la terminología a las características y las necesidades del público.
Concientización de seguridad	4	Estar consciente sobre las condiciones que afectan la seguridad de los empleados

Perfil C:

Conocimiento	Debe saber al menos ..
Materia prima y materiales	Materia prima y materiales a nivel medio
Maquinaria y equipo	Maquinaria y equipos a nivel experto, capaz de manejar todos equipos de producción para poder proporcionarles el mantenimiento adecuado
Métodos y procesos	Conocimiento de los métodos y procesos de producción a nivel medio
Mercado	Conocimiento general del mercado
Medio ambiente	Conocimiento general del impacto de los residuos
Mano de obra y manejo de personal	Capacidad de interrelacionarse con un grupo de operarios

Responsabilidad:

Responsables de que todos los equipos utilizados en el proceso de producción funcionen correctamente y de manera eficiente. Diagnostican y reparan averías. Responsables de realizar revisiones de mantenimiento periódicas a todos los equipos.

7. Operarios de turno

Perfil A: el operario de turno debe ser estable y conforme. Debe ser capaz de seguir instrucciones y de poder realizar trabajos repetitivos. Debe preciso y meticuloso en sus tareas.

Perfil B:

Competencia	Nivel	Descripción
Adaptabilidad	4	Mantener la eficacia en diferentes entornos y con diferentes tareas, responsabilidades y personas
Orientación a la calidad y atención al detalle	4	Realizar las tareas manifestando interés por todas las áreas afectadas, sin importar cuan pequeñas sean. Mostrar interés por todos los aspectos del puesto. Verificar con precisión los procesos y las tareas.
Salud física y capacidad	4	Mantenerse alerta durante un periodo de tiempo Estar libre de limitaciones físicas para el desempeño en el puesto
Aprendizaje práctico	4	Asimilar y aplicar de una manera oportuna información relacionada con el puesto que pueda variar en su complejidad
Concientización de seguridad	4	Estar consciente sobre las condiciones que afectan la seguridad de los empleados

Perfil C:

Conocimiento	Debe saber al menos ..
Materia prima y materiales	Materia prima y materiales a nivel medio
Maquinaria y equipo	Maquinaria y equipos a nivel medio
Métodos y procesos	Conocimiento de los métodos y procesos de producción a nivel medio
Mercado	Conocimiento general del mercado
Medio ambiente	Conocimiento general del impacto de los residuos
Mano de obra y manejo de personal	Capacidad de interrelacionarse con un grupo de operarios

Responsabilidad:

Son responsables de las tareas asignadas a su puesto, operando de manera adecuada las herramientas según los manuales técnicos. Deben cumplir con las normativas y reglamentos de la planta.

8. Asistentes administrativos

Perfil A: los asistentes administrativos deben ser conformes y estables, con la capacidad de seguir instrucciones, de organizar y programar diversas actividades. Deben ser capaces de llevar una agenda y de cumplir con las actividades requeridas. Deben ser analíticos y metódicos.

Perfil B:

Competencia	Nivel	Descripción
Adaptabilidad	4	Mantener la eficacia en diferentes entornos y con diferentes tareas, responsabilidades y personas
Control de la información	4	Establecer procedimientos de recopilación y revisión de la información necesaria para el manejo de los proyectos o de una organización. Tomar en consideración habilidades conocimientos y experiencia de individuos responsables y características de las asigna
Comunicación escrita	4	Expresar las ideas claramente en documentos que tengan la estructura, organización, gramática, terminología e idioma adecuados a las características y necesidades del destinatario
Habilidades para el teclado	4	La capacidad para operar una máquina de escribir o procesador de palabras a la velocidad requerida y con exactitud
Planeación y organización y manejo del trabajo	4	Establecer un curso de acción para si mismo y para los demás a fin de lograr un objetivo específico. Planear las asignaciones apropiadas de personal y la adecuada distribución de recursos

Perfil C:

Conocimiento	Debe saber al menos ..
Materia prima y materiales	Materia prima y materiales a nivel medio
Maquinaria y equipo	Maquinaria y equipos a nivel medio
Métodos y procesos	Conocimiento de los softwares de informática básica como Excel, Word, Project, entre otros.
Mercado	Conocimiento detallado del mercado
Medio ambiente	Conocimiento general del impacto de los residuos
Mano de obra y manejo de personal	Capacidad de interrelacionarse de manera formal y asertiva.

Responsabilidad:

Responsable de organizar y manejar la información de la planta. Debe poseer habilidades de informática, de atención al cliente, de hacer reportes y de ordenar la información. Es responsable de llevar una agenda y de manejar los contactos con proveedores y clientes. Es responsable de crear reportes y de llevar a cabo las minutas de las reuniones.

O. DETERMINACIÓN DE COSTOS

Tabla 96. Inversión inicial

Maquinaria	Costo
Trituradora FAE PT-400	Q4,565,652.00
Sistema Schottdorf	Q3,382,442.68
2 Camiones de volteo de 4.5 toneladas métricas	Q400,000.00
Silo de 10 toneladas métricas	Q37,000.00
Ensacadora	Q135,000.00
Cosedora manual de sacos	Q6,750.00
4 carretillas	Q900.00
Mini cargadora	Q85,000.00
Terreno	Q148,000.00
Capital de trabajo (6 meses de operación)	Q913,318.83
Total	Q9,674,063.51

Tabla 97 Inversión inicial baja

Maquinaria	Costo
Excavadora 320D2GC	Q1,465,200.00
Trituradora forestal UMM-EX150	Q392,200.00
Sistema Schottdorf	Q3,382,442.68
2 Camiones de volteo de 4.5 toneladas métricas	Q400,000.00
Silo de 10 toneladas métricas	Q37,000.00
Ensacadora	Q135,000.00
Cosedora manual de sacos	Q6,750.00
4 Carretillas	Q900.00
Mini cargadora	Q85,000.00
Terreno	Q148,000.00
Capital de trabajo (6 meses de operación)	Q913,318.83
Total	Q6,965,811.51

Tabla 98. Tiempo efectivo de trabajo y mantenimiento total productivo

Tiempo de trabajo y mantenimiento	
Días disponibles al año	280
Días de ejecución	90
Días de mantenimiento	6
Ciclos de funcionamiento	2.92
Días totales de producción	262.5
Días totales de mantenimiento	17.5

Tabla 99. Salarios de personal

Empleado	Cantidad	Salario mensual individual	Salario mensual +prestaciones individual	Salario anual
Gerente de Planta	1	Q9,000.00	Q12,658.38	Q151,900.50
Ingeniero de Planta	1	Q7,000.00	Q9,822.18	Q117,866.10
Supervisor de mantenimiento	1	Q5,000.00	Q6,985.98	Q83,831.70
Gerente de laboratorio/ Químico	1	Q6,500.00	Q9,113.13	Q109,357.50
Supervisor de turno	3	Q4,000.00	Q5,567.88	Q200,443.50
Técnico de mantenimiento	3	Q2,343.21	Q3,218.38	Q115,861.72
Operadores de turno	14	Q2,643.21	Q3,643.81	Q612,160.26
Pilotos	2	Q2,643.21	Q3,643.81	Q87,451.47
Asistentes Administrativos	1	Q2,643.21	Q3,643.81	Q43,725.73
				Q1,522,598.48

Tabla 100. Rendimiento y costo de maquinaria para un ciclo de trabajo

Máquina	Rendimiento	Costo (90 días)
Trituradora	54.89 L/h (14.5 gal/h)	Q70,346.47
Reactor	10kW	Q23,760.00
Cosedora manual	0.168kW	Q0.58
Camión de volteo	2.64 km/L	Q6076.80
Ensacadora	0.33kW	Q1.36
Saco	Q2.80/unidad	Q10,080.00

En un ciclo de trabajo, 90 días, la trituradora debe triturar 540 toneladas métricas de estípote, por lo tanto el reactor debe pirolizar durante 24 horas seguidas los 90 días del ciclo de trabajo para obtener 180 toneladas métricas de biocarbón. La ensacadora debe llenar 3,600 sacos con 50kg cada uno, los cuales la cosedora manual debe cerrar. El camión de volteo debe transportar las 180 toneladas métricas de biocarbón 80km

Con esta información se determinó que se pueden producir 525 t de biochar anuales y al realizar un sistema de costeo se obtuvo que el costo de producir una tonelada métrica de biochar es de Q4,334.76. Al ser este un producto para comercializar se debe asignar un precio de venta, por lo tanto al costo de producción se le incorporó un margen de utilidad del 12%. Este porcentaje de margen lo proporcionó la industria de aceites y grasas, y además se le agregó el IVA. El precio de venta para el biocarbón es Q5,516.96/t.

P. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD ECONÓMICA

1. **Escenario 1.** Para este escenario se obtuvo utilidades de operación positivas para los 15 años proyectados, estas siendo desde Q454,033.11 para el año 1 hasta Q1,089,383.53 en el año 15.

2. **Escenario 2.** Para este escenario se obtuvo que las utilidades de operación para los 15 años proyectados serán positivas. Las utilidades fueron aumentando siendo en el año 1 de Q454,033.11 y de Q3,100,869.66 en el año 15.

3. **Escenario 3.** En este escenario se obtuvo que las utilidades operativas de todos los años proyectados serán negativas, ya que los costos y los gastos serán mayores a los ingresos por ventas. La utilidad operativa para el año 1 fue de -Q2,032,347.33, las utilidades fueron incrementando su negatividad llegando al año 15 con una utilidad de -Q3,675,082.52.

4. **Escenario 4.** En el escenario 4 se obtuvo que todas las utilidades operativas de los 15 años proyectados serán negativas. Para el año 1 fueron de -Q2,032,347.33 y para el año 15 fueron de -Q1,663,596.39.

5. **Escenario 5.** Para este escenario se obtuvo que todas las utilidades operacionales serán negativas. En el año 1 fue de -Q2,032,347.33 y en el año 15 de -Q1,775,264.44.

Nota: El cálculo para cada uno de los escenarios se puede encontrar en la sección de Anexos.

Q. EVALUACIÓN DE RENTABILIDAD ECONÓMICA

Tabla 101. Rentabilidades requeridas para la implementación del procesos de pirólisis

Rentabilidad requerida	Rentabilidad requerida 2
38.45%	12.31%

Tabla 102 Tasa interna de retorno de escenarios 1 y 2

TIR	Escenario
1.23%	1
10.54%	2
5.31%	1 con inversión baja
15.08%	2 con inversión baja

VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. ANÁLISIS DE DISEÑO, PROCESO Y PRODUCTOS DE PIRÓLISIS A ESCALA LABORATORIO Y SU ESCALAMIENTO POR SIMULACIÓN.

1. Diseño técnico del proceso de pirólisis de palma africana Deli x AVROS a escala laboratorio. En la propuesta técnica de un proceso de pirólisis de palma africana Deli X AVROS, se tiene como objetivo principal la obtención de un sistema a escala laboratorio que permita producir la fase sólida, líquida y gaseosa. Para cumplir con esto se realizaron siete pruebas con estípite enviados desde la plantación de palma africana ubicada en Escuintla, Guatemala. Se utilizan estípite de múltiples lotes de años variados, realizando procesos de secado y reducción de tamaño de partícula para analizar las fluctuaciones en las propiedades de los tres productos mencionados. A cada fase se le calcula su rendimiento en utilizando la masa inicial de estípite ingresada, permitiendo identificar una tendencia, si existe alguna, que permita conocer sobre las condiciones adecuadas para favorecer la fase de interés.

La primera prueba se realizó con el objetivo de definir el límite inferior de humedad relativa (12.32% m/m) que puede contener la mezcla de estípite, analizando los resultados bajo esta condición y reportados en la Tabla 24. Para esta se favorecen los productos sólidos y gaseosos (con rendimientos de 38 y 36.54% m/m respectivamente), el cual respalda la información que describe la literatura. El rendimiento líquido se ve afectado debido al arrastre pobre que presentan los gases no condensables. Como presenta el Tabla 37, se identifica que la fase mayoritaria a bajas humedades será el sólido, ya que una cierta porción del contenido interno (gaseoso y líquido) fue eliminado durante el secado del estípite. Otro factor que desfavorece la producción del líquido es el tiempo en que se mantiene el reactor a 500°C, siendo solamente de 15 minutos. El bajo tiempo impide que el contenido interno del estípite llegue a la superficie y escape del reactor de pirólisis.

Con esta prueba inicial se logra determinar que la pirólisis requiere de una humedad adecuada para que se presente una evacuación oportuna de los productos líquidos y gaseosos. Adicionalmente, se confirma que el sistema de recolección de la fase gaseosa no es adecuado, donde el gas que ingresa a los Erlenmeyer retorna al sistema de condensación, complicando la salida del flujo desde el reactor. El producto sólido obtenido presenta una textura y apariencia parecida al carbón vegetal, utilizando un encendedor, se observa que el producto tiene mayor inflamabilidad al estípite sin tratar. Es durante esta práctica cuando se identifica que el producto sólido puede requerir pruebas adicionales para cuantificar su poder calorífico y elementos principales. Para contribuir con el establecimiento de los parámetros de trabajo, se implementó estípite con una humedad relativa más elevada (52.90% m/m).

El propósito consistía en favorecer el arrastre y evacuación de los gases no condensables, por lo que se implementa el secado parcial de la palma triturada. Con estas modificaciones se puede apreciar el incremento en el rendimiento de la fase líquida y sólida sobre la gaseosa, demostrado en el Tabla 36. El resultado de la prueba sugiere que podría utilizarse la humedad para manipular el rendimiento de la fase que se desea producir.

El sistema de recolección de gases se cambia por una tubería de vidrio que evacua el gas de manera controlada hacia el exterior. Adicionalmente, se identifica la presencia de gases inflamables, tras evaporar el agua, se presencia que la llama de un encendedor aumenta de tamaño cuando se coloca cerca de la descarga del contenido no condensable. En esta prueba fue donde se obtiene el mayor rendimiento de sólido (46.94% m/m), las condiciones que favorecieron esta fase es el alto tiempo (30 min) que permanece el reactor a 500°C. Esta operación permite que se evapore el contenido interno del estípito, favoreciendo la conversión de la materia prima en carbón.

La tercera prueba se ejecuta en un parámetro de humedad intermedio (27.47% m/m), buscando encontrar una tendencia que indique la relación de esta variable con los rendimientos. Nuevamente, se observa el favorecimiento de la fase sólida y gaseosa (23.12 y 56.60 % m/m, respectivamente) presenciando una gran variación de producto sólido con respecto a la prueba 1. El incremento del contenido gaseoso puede sugerir que el sistema de condensación no funciona correctamente. Durante la prueba, se experimentaron fallas con el arrastre de los gases condensables, sugiriendo que es adecuado incrementar la humedad. Para aclarar este concepto, se acude a la literatura (Brown, 2009) donde se establece que el producto debería tener un comportamiento similar a la primera prueba.

Durante la práctica, se percata de una menor cantidad de fracción líquida en el segundo balón, apoyando la sugerencia de que el agua de enfriamiento no poseía los 4°C establecidos. Dado a que las pruebas aun mantenían el comportamiento esperado y se producían los mismos compuestos mayoritarios en ambas fracciones líquidas se continúa manipulando la humedad en las pruebas posteriores. El producto sólido conserva su textura y apariencia durante las pruebas, optando a colocarlo en un calorímetro e identificar su poder calorífico para uso en calderas. El principal percance de la prueba calorimétrica implica la formación de una pastilla homogénea, se sugiere agregar un agente adherente como agua o glicerina para conservar la forma necesaria para que el calorímetro opere correctamente. Las pruebas determinan que el carbón pirolizado posee un poder calorífico de 26.41 MJ/kg, siendo cercano al obtenido en la prueba anterior (28.31 MJ/kg). Esta consistencia indica que el poder calorífico no se ve afectado en gran cantidad por la humedad. Por lo que el carbón producido conserva sus buenas características como combustible sólido como se indica en el Tabla 38.

Continuando con el control de la humedad del estípite, se realiza una cuarta prueba que sugiera el comportamiento entre la segunda y tercera prueba, estableciendo una humedad de 42.00%. La reacción brinda rendimientos esperados, donde se eleva el contenido de la fase líquida y produce una clara división entre la fracción acuosa y orgánica. Se evidencia que trabajar con humedades bajas provoca un aumento de presión en el sistema que se presenta por la dificultad de los gases no condensables de evacuar el sistema. Por el otro lado, se destaca que trabajar con una menor humedad favorece la separación entre ambas fracciones líquidas, haciendo posible el estudio de una fase acuosa sin influencia de la fase orgánica. Los rendimientos obtenidos de cada producto apoyan lo indicado en la teoría donde las tres fases se producen equitativamente con rendimientos cercanos al 33% cada una.

Esta prueba completa la especulación de que el poder calorífico del carbón se mantiene (Tabla 38), aun con las variaciones en las condiciones obteniendo un valor de 27.54 MJ/kg, promediando esta propiedad en 27.42 MJ/kg. Con este valor se comprueba que el sistema de pirólisis propuesto produce un carbón con un incremento de 7.66 veces al poder calorífico del estípite no tratado. Se recomienda utilizar este sistema para producir un combustible sólido que puede ser utilizado en calderas, dado a que es capaz de generar energía con resultados similares al carbón bituminoso y el coque.

Una quinta prueba se efectúa con el objetivo de estudiar la pirólisis con una humedad elevada (74.00%), que simula la forma en que ocurriría la reacción si se empleara estípite sin tratar. La producción de fase líquida resultó ser la más elevada de todas las pruebas, superando la fase sólida y gaseosa. La principal contraparte de esta condición implica que se favorece altamente la presencia de la fase acuosa, obteniendo una cantidad mínima de la fase orgánica. La desproporcionalidad de fases provoca que la fracción orgánica se presente como emulsiones, inhabilitando su separación de la fracción acuosa. La alta humedad apoya a la salida de los gases no condensables, aunque perjudica la calidad del gas inflamable, donde no se observa una llama fuerte al evaluar el contenido gaseoso. No se realizan análisis de las fases para las pruebas a altas humedades, debido que analizar ambas fases provocaría datos no confiables. A altas humedades, se empieza a favorecer la fase líquida (40.81% m/m) a pesar de que el tiempo que permanece el reactor en la mufla es igual al de la segunda prueba. Como lo indica la Tabla 36, el líquido fue el más favorecido a altas humedades llegando a un rendimiento de 40.81% m/m. Esta prueba sugiere que las humedades bajas tienden a favorecer a la fase sólida y altas humedades incrementan la fase líquida, cuando se trabajan con la misma cantidad de tiempo en donde el reactor permanece a 500°C por 30 minutos (Tabla 37).

Con esta quinta prueba revelando datos interesantes en cuanto al rendimiento de los productos, se estudió la pirólisis del estípite con humedad de 72.85%; cuyos resultados revelan cualidades similares a la práctica anterior. Nuevamente, se presenta un desequilibrio en la fracción acuosa y orgánica, además de un gas con poca capacidad de combustión. Aunque el rendimiento de cada fase resulta ser equitativo nuevamente, donde el sólido sobrepasa al resto por un margen de 3% m/m.

El tiempo de pirólisis se disminuye a 24 min (Tabla 37), favoreciendo nuevamente la producción del carbón, aclarando que se requieren por lo menos 30 min para descargar una mayor cantidad de producto líquido. En esta sexta prueba, es donde se presencia que el rendimiento de la fase líquida empieza a sobrepasar el de la fase gaseosa, siendo de 32.50% para la primera y 31.98% para la segunda. Adicionalmente, se observa que operar con material húmedo permite se pueda agregar una mayor masa, esto se debe a que el contenido de agua apelmaza el estípite y deja menos espacios vacíos dentro del reactor.

Se implementa una simulación adicional, agregando trozos de estípite de mayor tamaño (2x2x2cm aproximadamente). Se destaca la poca cantidad de material que entro en el reactor, debido a que los cubos implicaban una mayor área de espacio vacío. De esta manera, se podría observar un mejor comportamiento de lo que se desea realizar en las plantaciones de palma en cuanto a que se implemente estípite cortado en bloques. Se adiciona a una humedad moderada (53.93%), resultando en una producción de gas elevada, consecuentemente provocando la disminución del líquido. Esto incita que se requiere de un proceso de corte, permitiendo que se liberen los compuestos líquidos de la palma. Cabe aclarar que no se logran separar la fracción acuosa y orgánica. El rendimiento de la fase gaseosa no contribuye con su calidad de combustión, ya que la llama aún se mantiene débil. Adicionalmente, para mejorar el estudio de la fase gaseosa se puede implementar un sistema que separe el vapor de agua que no se condensa en el sistema. Era natural que en la práctica se debía esperar un cierto tiempo para poder encender y captar la fase gaseosa, implicando que existe una porción del agua que no se condensa.

Sintetizando los datos, se logra analizar los rendimientos de cada prueba, con el propósito de identificar las condiciones requeridas para favorecer específicamente una fase (Tabla 37). Con el sistema propuesto, no se pueden establecer valores específicos, aunque permite que se puedan realizar especulaciones sobre las condiciones de operación necesarias para cierta fase. Analizando las principales condiciones controladas, específicamente el tiempo de pirólisis, se determina que el tiempo de residencia debe ser cercano a los 30 minutos para asegurar que se elimine todo el contenido interno del estípite. En cuanto a la humedad, se comprueba que el líquido se favorece sobre el gaseoso una vez se llega a humedades superiores al 72.85%.

Sin embargo, es evidente que el sistema propuesto es adecuado para realizar la pirólisis del estípite, donde todas las pruebas realizadas transforman la materia prima en tres subproductos con propiedades útiles en el ámbito energético. Se considera un sistema que puede ser replicado con facilidad, además de tener un amplio campo de estudio al procesar residuos urbanos o distintas biomásas residuales (forestales, trigo o caña de azúcar). Cabe resaltar, que se pueden implementar las mismas técnicas de análisis para caracterizar los productos de otras materias capaces de ser pirolizadas. Esto brinda cierta versatilidad al sistema de laboratorio, por ende, es recomendable implementarlo para aprovechar eficientemente los restos agroindustriales.

2. Análisis de laboratorio para determinación de la viabilidad de pirólisis.

Previo a colocar el estípote de palma en el reactor de pirólisis se le realizaron análisis de granulometría determinando que el 80% de las partículas de estípote utilizado no supero el un Mesh de 20 (Tabla 39). Para el reactor utilizado es necesario que las partículas sean pequeñas, para que la transferencia de calor por pirólisis sea uniforme. El análisis fue solamente para determinar el tamaño de partícula utilizado para realizar pirólisis. Reducir tamaños según el antecedente D se realiza por la dimensión a escala laboratorio y planta piloto que se trabaje.

En la gráfica de secado (Figura 48) Se muestra el comportamiento de la reducción de humedad del estípote de palma africana triturado a tamaño de partícula 100-60 Mesh, secado en el deshidratador industrial a 90°C. Se supuso que el descenso de la humedad se dio sólo por pérdida de agua y no por evaporación de compuestos orgánicos volátiles en el estípote, que según el antecedente D podrían ser cetonas y alcoholes. El comportamiento de secado en el intervalo de 3 a 5 horas fue convexo relativo al resto del comportamiento puede deberse a la presencia de ceras que impiden la eliminación de agua, según la literatura, antecedente B por la propiedad anfiprótica de las ceras se forman enlaces con el agua que dificultan la eliminación de la misma. Luego de llegar al 15% de humedad no es adecuado seguir secando porque la humedad varía poco en función del tiempo de secado (Figura 48).

El poder calorífico de estípote de palma antes de darle tratamiento con pirólisis fue 3.58 MJ/kg, con el tratamiento de pirólisis, se eliminaron compuestos que impedían la combustión como las ceras. El poder calorífico del producto sólido obtenido fue de 27.42 ± 0.56 MJ/kg. El antecedente B expone que el poder calorífico del sólido producido por pirólisis de materia orgánica es de 19.07 MJ/kg, este valor refiere a que el estípote de palma tiene mayor poder calorífico que la madera seca que se ha tratado por pirólisis.

Se decidió utilizó el método de cromatografía de gases porque teóricamente la descomposición de las muestras por pirólisis generaría alcoholes y cetonas según antecedente B y D. La cromatografía de gases es útil para muestras ligeramente volátiles como los compuestos que se generarían de pirólisis. Este método ha sido útil para determinar cualitativamente los compuestos generados en la fase líquida (Antecedente E).

De acuerdo a las pruebas realizadas la mayor proporción de ácido acético y fenol se obtuvo en humedades de 53% del estípote de palma triturado introducido en el reactor. Las proporciones fueron mayores a 53% de humedad en fase acuosa y orgánica del producto líquido de pirólisis de palma (Figura 50-51, 53-54). Obteniendo 26.24% m/m y 21.57% m/m para ácido acético en fase acuosa y orgánica respectivamente y 17.86% m/m y 5.72% m/m para fenol en fase acuosa y orgánica, respectivamente.

Si se tienen humedades muy altas el vapor de agua generado en la pirólisis arrastra los compuestos volátiles de la mezcla dejando en el condensador los compuestos de menor volatilidad. El arrastre se produjo del reactor de pirólisis a los condensadores. Se utilizaron dos condensadores para favorecer a la condensación de los compuestos volátiles. Un arrastre a mayores humedades sólo dejará los compuestos de punto de ebullición mayor. El cromatógrafo de gases no puede determinar compuestos con punto de ebullición mayor a 230°C (temperatura máxima de operación). Hay una humedad adecuada de arrastre donde se aumenta la proporción de ácido acético y fenol que es 53%.

Se asumió que la fase gaseosa era el diferencial de masa inicial menos la masa obtenida en la fase sólida y líquida. Se supuso que todo el gas que salió no eran vapores condensables, en la fase gaseosa no se obtuvieron condensados. El antecedente B hace mención a que los gases producidos no son condensables en los supuestos de balance de materia y energía pero no se realizaron mediciones del producto final que pudieran probar esto.

En el estípite había compuestos volátiles como hexano y heptano que fueron evaporados, la existencia de estos compuestos se comprobó con cromatografía de gases, la literatura en el antecedente D menciona la formación de compuestos intermedios volátiles formados. Debido a que los compuestos no fueron consistentes en las pruebas realizadas de cromatografía de gases no se realizaron curvas de comparación de humedad y proporción másica.

En los cromatogramas de la fase líquida, para orgánicos y acuosos se utilizó etanol como solvente por eso en los análisis de absorbancia se identifica la existencia de etanol. Se utilizó como solvente de reconstitución, pero en análisis másicos deberían de omitirse. No se podían introducir en el cromatógrafo de gases sin etanol porque si no quedarían pegados en la columna cromatográfica, el etanol actúa como lubricante en la columna.

La complejidad de los cromatogramas, es decir la cantidad de compuestos que serían definidos por cromatografía y saldrían con un tiempo de retención definido, está ligada a la humedad utilizada de estípite de palma para introducir al reactor para pirolizar. Además de que los aceites son inestables entre sí y si tenían un mayor punto de ebullición de 230°C no saldrían de la columna cromatográfica (la pirólisis se realizó a 500°C). Los compuestos que tienen punto de ebullición de 230°C a 500°C no se logran detectar en el cromatógrafo de gases. Por eso la importancia de tener un arrastre adecuado de 53% de humedad para aumentar la proporción de compuestos de interés.

Fue posible determinar metano, se colocó alúmina para eliminar el vapor de agua generado. La mayor producción de metano fue de 6.32% en proporción másica, en análisis de cromatografía de gases con detector FID (Tabla 45). También se produjo sulfuro de hidrógeno en proporciones mayores de 18.52% en proporción másica. No se determinó el comportamiento del metano en función de la humedad porque dos datos no son significativos.

Del total de cada subproducto es necesario obtener el rendimiento de los compuestos principales de cada subproducto. En la Figura 10 se observa los rendimientos de cada subproducto y los rendimientos de los compuestos encontrados en la muestra con el 52.9% de humedad inicial. Se utilizó solo dicha muestra ya que fue a la única a la que le fue posible realizar las tanto las pruebas de cromatografía para el subproducto líquido como para el subproducto gaseoso. Se asume que las intensidades de las cromatografías son proporcionales a la cantidad del elemento encontrado en el gas y el líquido analizado. se observa los distintos rendimientos de los subproductos obtenidos durante la pirólisis. Se tomó en cuenta los resultados de las cromatografías obtenidas para obtener los rendimientos de los compuestos que integran a los subproductos y así visualizar de mejor manera cuanto de la biomasa inicial se aprovecha luego de la purificación de los subproductos. Se tomaron en cuenta dos escenarios, el primer escenario observa el rendimiento total de los subproductos purificados siendo los de principal interés fenol y ácido acético. El segundo escenario presenta el rendimiento total considerando al ácido piroleñoso como el de más atractivo para su comercialización.

3. Propuesta de aplicaciones de los productos obtenidos de la pirólisis de estípite de palma africana Deli x AVROS. Durante la experimentación se realizaron siete pruebas de pirólisis a escala laboratorio en un reactor de lecho fijo con una capacidad máxima de 110.00 g según la humedad. El objetivo de las pruebas era determinar las fases que se obtendrían del estípite de palma africana variando la humedad desde 12% hasta una humedad máxima de 73%. En todas las pruebas se obtuvo siempre las mismas fases: líquida, gaseosa y sólida. La fase líquida poseía dos fases propias, orgánica y acuosa.

Los resultados obtenidos de cada fase en cada prueba se presentan en base seca y base húmeda, esta última elimina la contribución del agua como parte del condensado recolectado. La caracterización de la fase líquida o condensados se realizó por cromatografía de gases con un detector FID. Para realizar el análisis y caracterización de la fase líquida se separaron los condensados. Sin embargo, no fue posible realizarlo en todas las pruebas por la baja cantidad de fase orgánica obtenida. En todas las pruebas los productos principales en la fase líquida-acuosa son ácido acético, agua y fenol, y en la fase líquida-orgánica etanona, heptano y acetona. La fase orgánica es tan poca que la purificación de estos productos no es de interés. En muchos casos no se pudo separar las fases por lo insignificante que era la orgánica.

El producto de mayor interés en la parte líquida se encuentra en la fase acuosa y es el ácido acético. Este es utilizado en la industria de alimentos; en la medicina; fabricación de acetato de vinilo, rayón y acetato de celulosa, y para controlar plagas de polillas en la cera en la apicultura. Los siguientes productos en mayor proporción son el fenol y la 2-propanona, el resto se pueden considerar trazas. El ácido acético encontró su punto máximo a una humedad relativa de 52.9% y una disminución mientras se aumentaba la humedad en la muestra. Esto se debe a que la cantidad de agua presente en las muestras disminuye el porcentaje de solventes a extraer. El estípite al ser cortado se encuentra con una humedad entre 75-80%, representado en la prueba 5 con 74% de humedad relativa, obteniendo un 11% de ácido acético para esa prueba. Pese a que en humedades entre el 40-50% se obtiene una mayor cantidad ácido acético lo más recomendable es trabajar con los estípites con su humedad original porque el secado de 772 000 toneladas resultaría imposible económicamente y por el tiempo que implicaría. El reto para esta fase radica en implementar un método económica y técnicamente rentable de extracción a partir de grandes volúmenes de condensado. Los métodos de recuperación actuales de ácido acético son destilación reactiva, la precipitación de sales, el uso de membranas y la extracción líquido-líquido, siendo esta última la que más desarrollo ha tenido.

Para poder obtener el ácido acético en alta pureza se requiere fabricar una pequeña destilería. La destilería debe ser fabricada en acero inoxidable o cobre, por la gran cantidad de ácidos orgánicos que se encuentra en la fase líquida, aumentado esto el costo de la fabricación de este equipo. Además, a diferencia de las destilerías de petróleo, en la cual, el 100% de los productos destilados se pueden vender, en la fase líquida obtenida por pirólisis más de la mitad de los productos destilados no se pueden comercializar por estar contaminados con agua o con algún otro producto presente en la fase. De esta fase los compuestos que se pueden vender al purificarlos es el metanol y el ácido acético. La competencia en la fabricación de estos dos compuestos es alta y por procesos que pueden llegar a ser más baratos, eficientes y producir compuestos de mayor pureza. El fenol sería el segundo producto de mayor interés por ser el tercero con mayor presencia en la fase acuosa. Sin embargo, es un producto que ha sido sustituido paulatinamente en la medicina y artículos de limpieza, resultando no recomendable la extracción de este producto. El resto de componentes independiente de la humedad permanecen en porcentajes muy bajos resultando su extracción injustificable.

Los productos identificados en la fase líquida por cromatografía hacen que se asemeje al denominado ácido piroleñoso que se obtiene de forma artesanal en fincas de diferentes maderas como el bambú o bagazo de caña. El ácido piroleñoso o vinagre de madera es conocido como el ácido multiusos porque lo utilizan como mejorador de suelos, fungicida e insecticida. En la Tabla 47 se tiene una comparación de compuestos obtenidos en la fase líquida según la biomasa que se utilice. La fase líquida obtenido cuenta con algunos de los compuestos presentes en otros ácidos piroleñosos. La ausencia de los otros compuestos se puede deber a que no fue posible identificarlos con el equipo con el que cuenta la Universidad del Valle de Guatemala, pero también se debe a la inestabilidad de la fase que se encuentra en constante reacción con ella misma lo que produce diferentes compuestos con el paso del tiempo.

Se comparó con la fase líquida obtenida de la prueba 5 porque fue la que se realizó a una mayor humedad y podría asemejar lo que se puede llegar a obtener al realizar la pirólisis con estípites recién cortados. Se necesita analizar por cromatografía de gases, la fase líquida de al menos otras dos pruebas, a una humedad de 74% para poder tener un fundamento estadístico que confirme que se obtendrán esos compuestos orgánicos en la fase líquida. Se encuentra la propuesta de utilizarlo como ácido piroleñoso que es utilizado como mejorador de suelo, fungicida o insecticida. Sin embargo, no se contó con el suficiente producto para realizar pruebas en pequeñas parcelas y evaluar sus propiedades. Es necesario realizar pruebas para evaluar las propiedades de este ácido piroleñoso obtenido porque sus usos son en productos de consumo humano, se vende para aplicarlo en tomates, hortalizas, lechugas, entre otros productos. No se puede arriesgar utilizar un producto que pueda contaminar alimentos con metales pesados o con bacterias que enfermen poblaciones. Otro aspecto importante que no han tomado en cuenta los actuales productores de ácido piroleñoso es que efecto tiene la escorrentía del suelo cuando llueve. No se sabe que tan bien se fija al suelo y que tanto se arrastra de este ácido cuando llueve. El problema es que, si se aplica a grandes extensiones de tierra y la lluvia lava el suelo, puede extraer este ácido y llevarlo a cuerpos de agua donde podría contaminarlos. El vinagre de madera cuenta con una alta tasa de compuestos orgánicos que pueden provocar una eutrofización en ríos, lagos o lagunas si llegará a estos cuerpos en grandes cantidades.

A nivel laboratorio se logró confirmar la presencia de ciertos compuestos presentes en otros ácidos piroleñosos, pero es necesario realizar pruebas a nivel planta piloto para validar los resultados obtenidos a nivel laboratorio y contar con el suficiente producto para hacer pruebas en parcelas y evaluar sus limitaciones, alcances, beneficios e inconvenientes de su uso.

La segunda fase que se obtiene en la pirólisis es la gaseosa. Durante las pruebas se realizaba un método cualitativo para determinar la calidad del gas y la presencia de gases inflamables; el gas de pirólisis obtenido se encendía con un mechero y observando si existía una llama constante y el color de la misma para analizar su calidad. Es importante destacar que la calidad del gas, que se obtuvo con humedades arriba del 70% (Anexos prueba 5 y 6), fue muy pobre; por la incapacidad del gas obtenido de sostener una llama constante.

La recolección de los gases fue el mayor obstáculo para la caracterización de los mismos. Únicamente se logró obtener cromatogramas para la prueba dos y siete (Anexo A). En ambas pruebas se pudo identificar metano y sulfuro de hidrógeno. En la prueba siete se tomaron tres muestras diferentes, una al inicio de la reacción de pirólisis, otra en un punto intermedio y una previo a que finalizara la reacción. El fin de este método de muestreo era asegurar la presencia y comportamiento del metano a lo largo de toda la reacción. En la Tabla 9 se puede observar que al principio había poco metano apenas un 2.51%, luego subió a 5.56% y alcanzó un punto máximo en 6.32%. Estas cantidades de metano son demasiado bajas para justificar una extracción de este gas para su comercialización. Se estima que este gas obtenido de la pirólisis posee un tercio del poder calorífico del gas natural.

Lo más recomendable para esta fase es reutilizar la fase gaseosa para el calentamiento del mismo sistema e intentar volver auto-sostenible el calentamiento para una pirólisis continua. Independientemente si el gas se utilizará en una combustión o solo será liberado al ambiente se debe eliminar el sulfuro de hidrógeno para prevenir la contaminación ambiental y corrosión de tuberías. Generalmente es más económico eliminar el H₂S del gas, que dióxidos de azufre de los gases de combustión. Si se desea aumentar el poder calorífico del gas o reducir el coste de transporte se puede evaluar eliminar el dióxido de carbono de la fase gaseosa. Los métodos de eliminación pueden ser absorción química o física a contracorriente a elevada presión, en un líquido que pase a través de una columna de platos o empacada. Una característica de la absorción física es que debe ocurrir a altas presiones y para aumentar la solubilidad a bajas temperaturas. Todos los gases presentan cierta solubilidad, generando pérdidas de los gases producto, lo que implica que se realice por etapas y se debe reciclar las primeras al absorbedor. Al obtener un bajo porcentaje de metano no es conveniente perder gas de interés, reduciendo aún más la cantidad de metano. Es más recomendable realizar la extracción del metano por una absorción química por su mayor selectividad que la absorción física y además permite que el sulfuro de hidrógeno obtenido se puede procesar en una planta de Claus para obtener azufre elemental que se puede comercializar. Este método es el que utiliza la industria petrolera para eliminar azufre de sus productos y posteriormente vender el azufre obtenido.

La tercera fase, la sólida, conocida como “Char” posee características de interés económico y energético. Guatemala es un país que en su matriz energética la presencia del carbón continúa siendo muy alta de hasta un 46.55% de la generación total en época seca (Anexo C Figura 187). Experimentalmente se obtuvo 185 gramos de carbono en las seis primeras pruebas y para realizar el análisis por ICP en el laboratorio de Analab se solicitaron 200 gramos como mínimo. Los resultados corresponden únicamente a una muestra de 185 gramos y se utilizó todo el char con el que se contaba en ese momento. Para validar los resultados obtenidos es necesario realizar al menos dos análisis más por ICP, para su caracterización, y poder calorífico para obtener una muestra estadística representativa y confirmar los resultados obtenidos.

El carbón producido por la pirólisis posee tentativas características para ser utilizado como carbón para la generación de energía eléctrica. El análisis de poder calorífico que se realizó se utilizó una mezcla de carbón de todas las pruebas que se tenían hasta ese momento, que eran cinco. Sería importante validar el valor del poder calorífico realizando más pruebas de pirólisis y analizándolas en un laboratorio externo para darle más fiabilidad. En este estudio no se logró realizar por la falta de muestra de carbón, se contaba únicamente con un reactor con el que se obtenían 20-25 gramos de carbón por prueba. Es importante resaltar que, el dato de poder calorífico para el estípite de palma, realizado por el laboratorio de Cementos Progreso, es puntual, no se cuenta con una incertidumbre.

Lo que hace el proceso de pirólisis tan atractivo es el aumento del poder calorífico del estipe luego de la reacción. El estipe de la palma inicia con un poder calorífico de 3.58 MJ/kg, resultando imposible realizar una combustión con este material. Luego de ser pirolizado aumenta su poder calorífico hasta casi 8 veces, a 27.42 ± 0.56 MJ/kg. Este poder calorífico es lo que lo hace tan atractivo para la combustión porque posee un valor muy cercano al del coque de carbón (29.86 MJ/kg), más alto que al del carbón mineral usado para generar electricidad (23.97 MJ/kg) y mucho más alto que el del bagazo de caña de azúcar (16.36 MJ/kg). Además, se puede considerar como una energía renovable de biomasa porque el dióxido de carbono que libera es el mismo que la planta ha absorbido. Es una materia prima que actualmente se encuentra desperdiciada en las plantaciones, pudriéndose y siendo criadero de plagas. Otra excelente característica que posee este carbón es su bajo contenido en azufre, apenas 0.35 ppm (Tabla 40), en comparación de, por ejemplo, el Ultra Low Sulfur Diesel (ULSD) que posee 15 ppm. Menguando la contaminación por dióxido de azufre uno de los grandes contribuyentes de la lluvia ácida. El principal reto de este carbón producido a través de pirólisis es poder competir en precio contra la hulla bituminosa importada de países como Colombia o Estados Unidos. La planta debe ser capaz de producir un carbón en al menos ese precio para competir en el mercado de ingenios o generadoras de energía a partir de carbón. Este char tiene gran potencial de ser una fuente de energía “verde”, es bajo en contaminantes de azufre y nitrógeno durante la combustión, puede ser considerado renovable y actualmente su materia prima se mide en miles de toneladas y va en aumento cada año al menos hasta el año 2026 que es el último año que se tienen predicciones de renovaciones de plantaciones de palma africana. Pese a que el poder calorífico posee un valor atractivo comparado con otros materiales usados en la generación de energía eléctrica se deben comparar otros valores como el porcentaje de cenizas, material volátil, la granulometría, humedad y una caracterización química de las cenizas. Por tratarse de pruebas a escala laboratorio los trozos introducidos al reactor eran muy pequeños resultando en trozos de carbón igualmente pequeños. La determinación de la densidad se realizó modelando los trozos de carbón obtenidos como cilindros midiéndoles a 10 diferentes trozos su diámetro y largo y determinado su masa. Se obtuvo una densidad aparente en la que se incluyen huecos y poros de 0.9 g/cm^3 .

El char puede ser utilizado también como un eco-leño para sustituir la leña que tanta deforestación genera en Guatemala. Se estima, según el INAB, que en Guatemala el 64% de la población aún utiliza la leña como fuente de energía, representando aproximadamente 27 millones de metros cúbicos de leña al año. Este consumo desmesurado de leña está agotando los bosques porque el 49% de la leña utilizada es recolectada en bosques naturales según el Instituto Nacional de Bosques. La leña puede tener un poder calorífico entre 19-20 MJ dependiendo el tipo de madera, un valor bastante menor a los 27.42 MJ/kg del eco-leño. Y este eco-leño no es exclusivo para las personas que utilizan la leña como fuente de energía o para cocinar sus alimentos diarios. El carbón producido de la pirólisis es completamente inodoro y puede ser utilizado como carbón de churrasco, puede ser vendido en supermercados o abarroterías. Como parte de la investigación se realizaron briquetas con el carbón obtenido (Tabla 51).

El char obtenido es fácilmente pulverizable, se pulverizó y se aglutinó en tubos de 5 cm de PVC aplicándole un poco de glicerina obtenida del proceso de biodiésel con aceite reciclado. Estas briquetas mantienen su forma y por estar pulverizado el carbón son fáciles de encender. El carbón puede ser reducido en tamaño utilizando un molino de martillos o de discos hasta obtener un polvo. Otro aspecto que se debe evaluar para la comercialización de estas briquetas son sus propiedades organolépticas específicamente su olor. El estípite de palma africana posee un olor fuerte y desagradable que se pierde en parte al separarlo en tres fases. Sin embargo, es necesario realizar un panel sensorial para determinar que el carbón no tiene ningún rastro de olor que al utilizarlo como carbón en una casa impregne los alimentos que se están consumiendo y afecte al consumidor.

La fase sólida o char no tiene como único uso ser fuente de energía. Se realizó un análisis con plasma acoplado inductivamente (ICP) para caracterizarlo elementalmente (Tabla 40). Los resultados proporcionan indicios de que posee propiedades para ser utilizado en las enmiendas agrícolas para mejorar algunas propiedades del suelo. Una de sus mejores características es su alto contenido de materia orgánica (76.00%), en comparación con otros mejoradores de suelo (tabla 40), que beneficia a suelos que han sido maltratados, erosionados o que han sido cultivados intensamente y se acidifican. Actualmente una de las fuentes de materia orgánica más utilizada es el estiércol de diferentes animales como ovejas o vacas. El contenido de materia orgánica de este material, se encuentra entre 33-45%, siendo bastante inferior al del biocarbón y además es inodoro. Este tipo de enmienda beneficia la estructura microbiana del suelo, favorece la retención de agua e incrementa la disponibilidad de nutrientes. El char cuenta además con un alto porcentaje de carbono orgánico que evita la disminución de la diversidad biológica y evita el crecimiento de nematodos y enfermedades como verticillium, phytophthora, rizoctonia, phytium y fusarium.

Utilizar mejoradores o regeneradores ayuda a mejorar la productividad de las plantaciones y sobre todo mantiene un suelo saludable y fértil cada vez más escaso. En Guatemala la falta de interés hacia el suelo y la creencia de que este no se gasta están causando que los mismos cada vez sean más infértiles y produzcan menos. El Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación estimaba que, en el año 2005, 24.90% (27, 19.66 km²) del suelo era sobre utilizado, en la figura 189 en anexos se observa el área sobre utilizada en rojo. Las plantaciones de palma, por ejemplo, tienden a desgastar los suelos y por lo mismo son pobres en nutrientes, en materia orgánica y se acidifican. (Garzón, 2010) Un área de producción saludable debe mantener un mínimo de 2.5% de materia orgánica. Un buen contenido de materia orgánica mejora las propiedades físicas como porosidad, estabilidad estructural y control de temperatura; químicas como capacidad de cambio iónico, capacidad tamponante y procesos redox, y biológicas como establecimiento y fomento de biodiversidad.

Un mejorador de suelos con alto contenido en materia orgánica y con una relación C/N arriba de 50 fomenta la humificación, que es la conversión por parte de la materia orgánica en humus. Los humus son compuestos orgánicos no identificados muy estables, entre los que se pueden encontrar el ácido húmico o el ácido fúlvico. El humus ayuda a desintoxicar el suelo de metales como aluminio o hierro que se encuentren en exceso, desacidifica el suelo al reaccionar con el aluminio, libera nutrientes paulatinamente para que la planta lo absorba, entre otros.

El char posee 11 de los 16 elementos necesarios para un suelo saludable y posterior crecimiento de la planta. El regenerador no solo provee materia orgánica, sino que, además provee de nutrientes importantes como magnesio, nitrógeno, fósforo o calcio. Uno de los elementos mayoritarios que aparecen en el análisis es el hierro. El alto porcentaje de hierro puede ser considerado una ventaja y desventaja. Es una ventaja porque pese a que es de los elementos más comunes en la corteza terrestre es usual que no se encuentre disponible para las plantas. La carencia de hierro se refleja en forma de clorosis foliar al ser catalizador de la clorofila. El regenerador puede aportar hierro a suelos con carencias del mismo. Sin embargo, el exceso de hierro también es tóxico para la planta, se debe ser cuidadoso de no sobresaturar el terreno con hierro. Aún así, la saturación de hierro en el suelo es inusual, en la Tabla 40 se puede observar que el estiércol de oveja o vaca son ricos en hierro también y son de los mejoradores más empleados por su cero costo. A diferencia de los estiércoles, el char no fomenta la degradación, haciendo un compostaje imposible. Al comparar el char contra otros productos que son mejoradores de suelos se puede observar que posee características similares, pero además posee más nutrientes y más materia orgánica.

El carbón obtenido para ser utilizado como regenerador debe ser triturado para facilitar su aplicación al suelo. CENIPALMA en Colombia reporta haber utilizado un rodillo de aproximadamente una tonelada de peso para su trituración. En Colombia ya se ha iniciado a utilizar este carbón para mejorar la calidad del área utilizada en la fase de renovación. En el mismo estudio se reporta mejoras en las condiciones reduciendo la acidez y disminuyendo el aluminio intercambiable con la dosis del char. Además, luego de las dosis se aumentó la concentración de potasio, fósforo y magnesio. La dosis aplicada con la que mejores resultados se obtuvieron fue de 30 toneladas por hectárea. Al utilizar el char en las mismas plantaciones de palma se lograría cerrar el ciclo de vida de la palma africana, una de las megatendencias que más auge está ganando a nivel industrial.

Las pruebas realizadas a nivel laboratorio son un indicio del potencial que puede tener el carbón obtenido a partir de la pirólisis. Pero son solo un pequeño primer acercamiento a sus propiedades a nivel laboratorio. Por la baja cantidad de carbono y líquido que se obtenía por cada prueba de pirólisis era imposible poder probar sus propiedades en parcelas para evaluar si la información reportada por otros autores acerca del ácido piroleñoso o char era aplicable también a lo obtenido de la palma africana. Antes de utilizar cualquier mejorador en productos de consumo humano es necesario realizarle pruebas para determinar si no los contamina.

El carbono es necesario analizar a profundidad las cenizas, para determinar si no hay presencia de metales pesados que se los pueda transmitir a las plantas. En el caso del ácido piroleñoso que no sea tóxico por algún compuesto que posea, que termine matando a la planta o contaminándola. Para realizar todas estas pruebas y validar los resultados obtenidos en esta investigación es necesario poder hacer una planta piloto que permite obtener más fase sólida y líquida. Para utilizar el char como sustituto al carbón vegetal o leña se deben realizar más estudios como cuánto tiempo se mantiene encendido o si impregna olores desagradables a los alimentos que se cocinen al utilizar este carbón.

4. Simulación de pirólisis de estípite de palma africana Deli x AVROS empleando SuperPro Designer®. Al considerar las cantidades de estípite de palma disponible para su tratamiento por pirólisis, un proceso por lotes o batch resultaría poco viable; pues se invertirían demasiados recursos tanto energéticos como tiempo. Por lo que, una operación continua resulta más atractiva, y la variante de pirólisis rápida se ajusta de mejor forma a un proceso de régimen continuo, además de contar con modelos cinéticos comprobados y diferentes casos de éxito a nivel industrial.

Por tanto, se planteó el escalamiento del proceso por pirólisis rápida para lo cual se desarrolló un modelo de simulación de pirólisis rápida de estípite de palma africana Deli x AVROS, empleando el software de simulación de procesos SuperPro Designer® v. 9. Compilación 9; para obtener la información técnica básica necesaria a considerar para el diseño de una planta piloto para este proceso. Por tanto, se aplicó el modelo propuesto por Thomsen, Hauggaard, Bruun, y Ahrenfeldt, en 2011; para un caso de estudio donde se procesa un flujo de alimentación de 100 kg/h de biomasa proveniente del estípite de palma africana, realizando variaciones en la humedad de la fuente de biomasa y los tiempos de reacción. Además, es importante destacar que como restricción, sólo se consideraron los resultados asociados a un proceso de pirólisis rápida autosuficiente en cuanto a la fuente de energía para el calentamiento del reactor; traducido en el uso de la energía liberada en la combustión de los gases de pirólisis producidos. Aunado a esto, es importante destacar que el modelo únicamente considera las cinéticas de reacción asociadas a la degradación térmica de los componentes de referencia empleados: hemicelulosa, celulosa y lignina.

La representación gráfica de los resultados obtenidos se presentan en el anexo B (figuras 175 -186), al igual que los valores correspondientes. Por otro lado, para facilitar la comprensión de estos; las distribuciones porcentuales másicas de los productos se presentan según la fase en la que se obtienen: líquida, sólida y gaseosa. Por tanto, el análisis de dichas distribuciones se realizará en dicho orden.

En cuanto a la fase líquida de producto, el bioaceite (figuras 175 a 178); para todas las simulaciones realizadas se confirmó que la cantidad a obtener de este producto está asociada al contenido de humedad presente en la biomasa a pirolizar. Dicha relación corresponde a una de tipo proporcional indirecta; pues para un bajo contenido de humedad, aumenta la cantidad de bioaceite a obtener y viceversa. Por otro lado, al analizar el efecto del tiempo de residencia de la biomasa en el reactor; se comprobó que al disminuir dicho tiempo, se incrementa la cantidad de bioaceite a obtener para una temperatura dada. Sin embargo, a nivel técnico, esto supone que el diseño del reactor debe ser capaz de proporcionar una tasa de calentamiento; tal que la partícula de biomasa alcance la temperatura deseada en un tiempo cada vez menor.

Asimismo, se destaca que al incrementar la temperatura de operación del reactor las proporciones de bioaceite a obtener se aproximan a un mismo valor; fenómeno que resulta más evidente para las operaciones a 650°C y tiempos de residencia mayores e iguales a 3 segundos. Este fenómeno resulta de mucho interés pues si la intención consiste en maximizar la producción de esta fase; se deberá operar a una temperatura relativamente baja, lo que involucra un menor consumo energético al inicio de la operación. Obteniéndose la máxima producción de bioaceite – 35.24% (m/m) – a 575 °C, 1 segundo de tiempo de residencia y 16% (m/m) de humedad. No obstante, aún así se puede garantizar, a nivel teórico, la continuidad de la etapa de pirólisis por combustión in-situ de los gases producidos.

Ahora bien, para la producción de biocarbón (figuras 179 a 182); se estableció una relación, entre la cantidad de producto a obtener y la humedad de la biomasa procesada, similar a la resultante para la producción de bioaceite. Sin embargo, la disminución en la cantidad de biocarbón a obtener es más drástica, en comparación a la del bioaceite, a medida que se incrementa la temperatura de operación. Este hecho concuerda con la teoría, pues ello refleja que existe una mayor devolatilización y degradación de biomasa lignocelulósica al incrementar la temperatura de reacción.

Por otro lado, contrario a lo observado para el bioaceite; las proporciones másicas de producto no tienden a un mismo valor, independientemente de operar a una mayor temperatura. En forma similar al bioaceite, la producción de biocarbón alcanza su máximo – 26.43% (m/m) – para un proceso a 475°C y 10 segundos de residencia en el reactor. Este fenómeno coincide con lo reportado en la literatura, pues temperaturas moderadas y altos tiempos de residencia son características del proceso de carbonización; donde se favorece la producción de la fase sólida.

Por último, en las figuras 183 a la 186; se presentan los perfiles de distribución de gas pirolítico en las pruebas realizadas por simulación. De nuevo, se comprobó el fenómeno descrito en la literatura sobre el efecto de la temperatura sobre la producción de esta fase; pues altas temperaturas la favorecen. Este hecho, se atribuye principalmente al predominio de las reacciones de descomposición del tar en gas; comúnmente denominadas como: reacciones secundarias del tar en fase de vapor.

Además, el efecto de la humedad sobre la generación de gas es más evidente a altas temperaturas, contrario a lo sucedido para el bioaceite; pues existe una mayor variación en la proporción másica a obtener de este producto en tanto la humedad de la fuente de biomasa disminuya. Es así como, se incrementa la proporción de gas a producir cuando la humedad de la biomasa se reduce.

Así mismo, se evidenció el efecto del tiempo de residencia del estípote de palma africana en la producción de gas, pues esta se favorece a medida que aumenta el tiempo de residencia. El anterior fenómeno se produce a raíz de una mayor interacción de los vapores producidos, en un medio a alta temperatura, y su subsecuente degradación en gases de pirólisis. Siendo esta una importante observación si se desea favorecer la obtención de bioaceite, pues será necesario evacuar, en poco tiempo, los vapores producidos para evitar su degradación en gas. Por el contrario, si se desea favorecer la producción de gas de pirólisis; se deberán someter los vapores producidos a altas temperaturas por mayor tiempo. Siendo esta una de las consideraciones principales en el diseño de gasificadores. Es así como, para una reacción a 650°C y 10 segundos de tiempo de residencia, procesando estípote con 16% (m/m) de humedad, se alcanza la máxima producción de gas pirolítico del 59.17% (m/m).

Por último, se puede notar que existe una zona definida de operatividad bajo las restricciones empleadas en el caso de estudio; que se caracteriza por disminuir su tamaño a medida que el tiempo de reacción decrece, mientras que se desplaza hacia temperaturas cada vez más altas. Siendo esto un aspecto importante a considerar en cuanto a la flexibilidad que el diseño de una planta de pirólisis deberá proveer para operar bajo diferentes escenarios, empleando la energía de combustión de los gases como fuente de calentamiento del reactor.

En cuanto al error asociado al modelo aplicado, este no se pudo determinar puesto que el proceso de validación se realizó exclusivamente con información sobre el proceso de pirólisis rápida de paja de trigo, tal y como se muestra en la sección de metodología. Por lo que se determinó un margen de error global del $9.3 \pm 4.3\%$. Por lo que, para dicha información de comparación, se considera que el error es aceptable a nivel de estudio preliminar, aunque se puede disminuir a medida que se obtenga una caracterización más certera de la fuente de biomasa a procesar en términos de los compuestos de referencia antes mencionados. Sin embargo, no se encontraron reportes publicados con la información sobre el tratamiento de estípote de palma africana empleando este proceso. Por ello se consideró inapropiado asociar el error determinado en las pruebas con paja de trigo para los resultados anteriormente discutidos; siendo esto un motivo para continuar con la investigación sobre pirólisis rápida aplicada al estípote de palma africana.

Finalmente, se debe indicar que todo el análisis realizado en el presente trabajo; por restricciones del software, considera exclusivamente la cinética de las reacciones propuestas para el estudio del proceso de pirólisis rápida de estípites de palma africana. Por tanto, los avances obtenidos en este trabajo no se pueden considerar como el fin de esta línea de investigación, sino como punto de partida para la integración de herramientas de asistencia por computadora para el estudio de fenómenos complejos. En este sentido, es necesario recalcar la necesidad de considerar los fenómenos de transferencia de calor, principalmente, y de masa, así como del flujo de las partículas sólidas para el diseño del reactor.

Para concluir, se desarrolló y aplicó, con éxito, un modelo de simulación de pirólisis rápida de estípites de palma africana Deli x AVROS, en el software de simulación de procesos SuperPro Designer®, para comprender los efectos de la humedad de la fuente de biomasa a procesar y el tiempo de residencia de esta última, en el reactor. Posteriormente, sobre la base de los resultados se obtuvieron algunas consideraciones técnicas básicas para el diseño de una planta piloto y las condiciones de operación bajo las cuales se puede garantizar, a nivel teórico, la continuidad de la misma empleando la combustión de los gases de pirólisis como mecanismo para el calentamiento del reactor.

5. Aplicación de diagramas de flujos. Luego de determinar las operaciones que se llevaron a cabo durante las pruebas, se realizó el diagrama de operaciones que se encuentra en la Figura 45 se encuentra dividido en tres segmentos: preparación y toma de mediciones previo al tratamiento, el proceso de pirólisis lenta y los estudios realizados a cada uno de los subproductos. No todas las operaciones del primer segmento se llevaron a cabo para cada una de las pruebas; por ejemplo, el corte de los estípites de palma se realizó una única vez obteniendo muestra suficiente para todas las pruebas. Dicha operación se llevó a cabo de dos maneras diferentes, se disminuyó el tamaño con machete y una trituradora de desechos orgánicos. Así mismo, para la operación del secado de las muestras se utilizó dos métodos. El primer método fue haciendo uso de la secadora industrial la cual se aprovechó para poder obtener la curva de secado del estípites, y el segundo método fue secando con el sol. De esta manera se varió su humedad relativa inicial de las muestras. Del proceso en sí de pirólisis se observó que la operación que marca el paso del proceso es la mufla, ya que de ella depende que se llegue a la temperatura de 500°C necesaria para la reacción. El tiempo que tarda para llegar la temperatura es tiempo en que se obtendrán los subproductos. Sin embargo, la operación más tardada es la de recolección del subproducto sólido, puesto que se tardaba pues se debe esperar a que la esta se enfríe, mínimo, 80°C para poder sacar el reactor de la mufla. En enfriamiento de esta tomó alrededor de 4 a 5 horas por cada prueba. Las pruebas realizadas fueron cálculo de poder calorífico para el subproducto sólido, cromatografía de gases FID para el subproducto líquido y cromatografía de gases FID y TCD para el subproducto gaseoso. No a todas las muestras se les realizaron las pruebas mencionadas anteriormente.

El diagrama de flujo de la Figura 28 busca realizar una propuesta para la planta industrial conociendo los procesos adicionales que se concluyeron durante las investigaciones y análisis de las pruebas. Este, a diferencia del anterior, es de pirólisis rápida. En este se agrega la sección de transporte donde se encuentra el transporte de materia prima y la descarga de esta. En la sección de pirólisis se agregó la alimentación continua de biomasa, el triturado, secado y alimentación por tornillo. Le sigue el calentamiento del reactor y el ciclón. Luego del ciclón se encuentran seccionados los procesos por subproducto. En la del sólido se le agregan estudios de la muestra y empaque final. Para el gaseoso, se le agrega el proceso de soplado, filtro de humedad y del ácido sulfhídrico. En esta se incluye la propuesta de re-utilizar el gas para que ayude al reactor a llegar a las altas temperaturas. Finalmente en el líquido se agregó la destilación, proceso necesario para la separación de componentes.

6. Análisis de costos

a. **Inversión escala laboratorio.** Para el cálculo de los costos a nivel laboratorio se toma en cuenta dos escenarios. El primer escenario describe los costos involucrados en la realización de las pruebas llevadas a cabo durante el proyecto en el cual se excluye todos los artículos prestados por la casa de estudios. El segundo escenario presenta los costos de todos los artículos utilizados durante las pruebas. Analizándolos es posible visualizar la inversión estimada necesaria para la realización de las pruebas. El costo estimado de inversión para la realización de las pruebas es de Q33,237.85, donde el elemento de más alto precio es la mufla la cual representa un 79.84% de los costos totales. Esto es debido a que es una maquinaria especializada y que es un elemento que debe ser importado desde el extranjero.

b. **Operación escala laboratorio.** Para llevarse a cabo la pirólisis debe acondicionarse la materia prima a tratar. A nivel laboratorio el proceso inició con la trituración del estípite, debido a la capacidad del reactor utilizado (Figura 18) se realizó un pre triturado y luego un triturado más riguroso (anexo F Figura 222). La palma tiene un 75% de humedad, aproximadamente, en su estado natural. Debido a esto, como parte del proceso se añadió el secado, en donde a distintos tiempos se tomar muestras para obtener distintas humedades de prueba (Tabla 22). Luego de estos procesos, la materia prima se sometió a la pirólisis de la cual se obtuvieron los 3 productos mencionados por la literatura.

Como parte del análisis de la operación de pirólisis se estimaron los costos incurridos a nivel laboratorio con el fin de demostrar que trabajar a niveles pequeños se incrementan los costos. Cabe mencionar que para el análisis de costos se tomó en cuenta únicamente el consumo eléctrico de cada maquinaria utilizada y el consumo de agua. Para ello se utilizó la tarifa correspondiente asignada a la cuidada de Guatemala, donde se encuentran los laboratorios de las pruebas, según la CNEE (Figura 32).

Con respecto al triturado, debido a la capacidad de la trituradora usada (Anexo E Figura 216), en el transcurso de 10 minutos se trituró 7.5 kilogramos de biomasa, lo que representó el total de la biomasa usada para las pruebas realizadas. Para este triturado, se calculó su costo de consumo eléctrico, el cual se observa en la Tabla 57, dando un costo total de Q0.12 para el triturado de 7.5kg, según las condiciones y equipo usado.

Para el secado realizado se empleó un horno industrial (Anexo E Figura 217), con el cual se tuvo la capacidad de secar 6.5kg de biomasa. Sin embargo, el horno tenía disponibles hasta 24 bandejas, de las cuales solo se utilizaron 6 para secar 6.5 kg, esto a nivel laboratorio representó un desperdicio del 75% del recurso. Cabe mencionar que no se secó todo lo triturado, pues se buscaba tener pruebas a humedades altas para buscar alguna relación entre humedad y rendimiento de los productos. Para obtener distintas humedades, se sacaron del horno muestras a distintas horas, y con el tiempo de residencia en el horno y a la humedad se la muestra se llevó, se realizó una curva de secado Figura 57

Con respecto a los costos, las muestras para todas las pruebas fueron secadas en la misma corrida del horno, por lo tanto el costo total de operación se obtuvo por el total de tiempo que estuvo encendido, es decir 5 horas o Q150 aproximadamente (Tabla 58). Sin embargo, en función del tiempo que permaneció la muestra en el horno, se estimó el costo de secar a distintas humedades. El impacto de estos costos se observan claramente en la Figura 12, a mayor reducción de la humedad mayor fue el tiempo de secado y por ende el costo.

Los costos ya mencionados fueron los costos asociados al tratamiento previo a la pirólisis, pero igual de importantes de analizar, pues se invirtió tiempo y costos en ellos.

Para la pirólisis en sí, se observa en las tablas 59 y 60 que los costos de electricidad y agua también variaron. Aunque no tanto en comparación con el secado. Esta variación podría deberse a que, a pesar que la mufla se llevó a 500°C siempre, el tiempo de procesamiento varió, pues llegados a los 500°C se esperaba un tiempo adicional (diferente en todas las pruebas) antes de apagar la mufla, para observar si aún sucedía algo en la reacción. Por lo tanto este tiempo podría estandarizarse para futuras pruebas a nivel laboratorio.

Los costos de consumo eléctrico del proceso de pirólisis se detallan en la Tabla 59. Es importante mencionar que para cada una de estas pruebas la masa procesada fue variable debido a la humedad, la cual al observar la Figura 58, se aprecia una relación entre estos factores, a mayor humedad de la prueba mayor masa ingresada.

Con respecto a la mufla también era importante evaluar su tasa de calentamiento, ya que según la teoría esto es uno de los factores que influyen en los rendimientos por productos (sólido, líquido, gaseoso) obtenidos. Por lo tanto, para un mejor análisis del proceso llevado a cabo a nivel laboratorio se realizó una curva de calentamiento de la mufla utilizada para las siete pruebas analizadas. Para llevar el reactor hasta los 500°C, la mufla tomó en promedio 1 hora, por lo que el modelo trabajado a nivel laboratorio fue pirólisis lenta. La Figura 59 muestra la tasa de calentamiento del proceso realizado. Vemos como a lo largo de la hora la velocidad de calentamiento varió y a medida que se acercó los 500°C, más tiempo se tomó para calentar. Como se sabe de la literatura, todos estos factores influyen directamente en el rendimiento de los productos obtenidos, por lo tanto, los resultados obtenidos y las estimaciones hechas a partir de estos, se obtuvieron bajo las condiciones de operación de pirólisis lenta.

Para el proceso de pirólisis también se calcularon los costos de consumo de agua de los condensadores, estos costos se detallan en el Tabla 60. Finalmente en la Tabla 61, se observa la estimación de los costos de operación para las siete pruebas realizadas, tomando en cuenta tratamientos previos y proceso de pirólisis, dando un costo total de operación de Q520.78

A partir de los costos obtenidos, se decidió evaluar el costo de obtener un 1kg. de cada producto, a partir del rendimiento obtenido por producto y los costos de operación calculados a nivel laboratorio. Para este cálculo se tomaron en cuenta únicamente tres humedades; baja, media y alta (Tabla 62).

Debido a que, tanto el horno como el triturado tenían la capacidad de procesar más de 1kg, se pudo estimar el costo de 1kg a partir de los ya calculados (tablas 57 y 58). Sin embargo, en el caso del reactor, no se tuvo la capacidad de procesar tanta biomasa al mismo tiempo, por lo que a medida que la masa ingresada aumentó el costo disminuyó. Es decir que, para procesar un kilogramo de biomasa con el equipo utilizado, sería necesario repetir el proceso de pirólisis varias veces. Por lo tanto, según la masa ingresada, en relación a la humedad, se obtuvieron los costos necesarios para procesar 1kg de biomasa en el sistema de pirólisis (tablas 63 y 64).

Los cálculos anteriores proporcionaron un estimado de procesar 1kg de biomasa a partir del equipo de laboratorio, sin embargo bajo estos costos y con el rendimiento de los productos obtenidos era también de interés calcular el costo de obtener 1kg de cada uno de los productos. Por lo tanto, a partir del rendimiento obtenido por las distintas humedades se calculó el costo por 1kg para cada producto obtenido de la pirólisis (sólido, líquido y gaseoso).

En la Tabla 67 se puede observar, en relación a la humedad, cuanta biomasa es necesaria para la producción de 1kg de cada producto y el costo estimado de esta operación a nivel laboratorio. Para estimar los costos de cada producto se utilizó el método de prorrateo, pues de un mismo proceso se obtuvo simultáneamente tres productos. De estos resultados vemos que, con una humedad baja el rendimiento de los productos es bastante parejo, por lo tanto los costos también serán parecidos. Para la humedad media, observamos que el rendimiento de los líquidos aumentó y por lo tanto su costo también disminuyó, mientras que para el sólido se tuvo un rendimiento medio y costo más elevado, finalmente para el gas el costo aumentó exageradamente por su bajo rendimiento. Por último, para la humedad alta, el rendimiento del sólido y el gas fue escaso, lo cual se proyecta en sus altos costos, mientras que el líquido reportó un rendimiento del 84% disminuyendo considerablemente sus costos. Se puede observar una reducción en los costos de Q146.00 hasta Q 36.00, entre la humedad baja y media; y de Q36.00 a Q26.00, entre la humedad media y alta.

Finalmente de la Tabla 67 se puede observar los altos costos de operación incurridos para la obtención de tan solo 1kg. de productos. Por lo tanto, el aumentar la capacidad a una escala más grande, como planta piloto o nivel industrial sugiere mejores costos de producción y un análisis más acertado de los resultados. Sin embargo, para obtener mejores resultados se requiere de inversión en equipo especial y con mayor capacidad.

En este orden de ideas, si se desea continuar se deben de realizar estudios a mayor nivel para que cualquier inversión realizada se justifique. Por lo tanto antes de invertir en plantas piloto e industriales vale la pena analizar el potencial económico de los productos obtenidos. Por esta razón se procesó a realizar un estudio del potencial económico de los sub productos obtenidos a partir de la pirólisis de palma africana.

c. Estimación con uso del software SuperPro Designer®. Para el escalamiento a la planta piloto, se optó por la utilización de pirólisis rápida ya que del mismo se podría obtener una mayor cantidad de muestras en menor cantidad de tiempo. La información disponible acerca de plantas de pirólisis rápida en cuanto a la maquinaria a utilizar y los costos de la misma es escasa, por lo tanto, el simulador SuperPro Designer® pudo proveer de información de las maquinarias usadas para llevar a cabo la pirólisis rápida de acuerdo a la simulación realizada. Esta se divide en tres secciones: la sección de precalentamiento, pirólisis y separación. En la sección de precalentamiento se asignó automáticamente por el software un triturado, el precalentamiento de biomasa, secado de biomasa y el alimentador de tornillo. De los elementos mencionados, el programa provee parámetros para calcular maquinaria del triturado, precalentado y secado. El cálculo del costo del tornillo no está incluido, el programa únicamente tiene la opción de asignar el precio de este y sus especificaciones. Esto puede ser a que el precio de un tornillo es sumamente variable. Este puede variar dependiendo del tamaño de partícula a transportar y la fricción del elemento entre otros.

Por lo tanto, la estimación del tornillo no es brindado por el software ya que este no cuenta con parámetros para realizar dichos cálculos ni referencias por la variedad de elementos a considerar. A pesar que en la sección de pirólisis sí se cuenta con parámetros para la estimación de la maquinaria, no se tomará en cuenta dichos cálculos puesto que la secuencia descrita en la sección es una adaptación del proceso real a las capacidades que el software provee. Por lo tanto, la sección quedará excluida de la estimación a realizar. Ya que ninguna maquinaria utilizada para la simulación de pirólisis se asemeja al de un reactor para el proceso real. La última sección, separación, se compone por el ciclón, filtro de finos, condensación, ventilador de gases, ventilador de aires y la incineración. De estos, no se tomará en cuenta el ventilador de aire ni el de incineración debido a que el incinerador provisto por el software es un incinerador de sólidos, no de gases, por lo que se le fue agregado el ventilador de aire para que “incinerara” el aire junto con los gases y así lograr completar la simulación. Un incinerador de sólidos tendrá distintas características a la de los gases, por lo que se excluirá de la estimación. Para el ciclón, filtro de finos y condensación se sugiere utilizar acero inoxidable puesto que esta maquinaria estará expuesta a materiales corrosivos, por lo tanto, se propone la utilización de acero ya que es un material que resiste la corrosión. Ya que se desconoce los componentes del subproducto gaseoso y se conoce que este tiene sulfuro de hidrógeno, es necesario utilizar el acero inoxidable para evitar que este se deteriore por la presencia de este gas.

A pesar de que no se modela la pirólisis utilizando un reactor como se planteó para el diseño de la planta piloto, fue capaz de simular todas las reacciones que se llevan a cabo. Para una capacidad de procesamiento de 100kg/h de biomasa, el simulador fue efectivo al estimar los costos del pre-calentador, triturador, secado, ciclón, filtro de finos, condensador y ventilador de gases. El reactor como tal no pudo ser calculado debido a que el modelo simulado no utiliza un reactor como tal, en vez, utiliza una secuencia la cual es una adaptación del proceso real a las capacidades del software que se asemejan las reacciones obtenidas en la pirólisis rápida. De igual manera, el software tampoco fue efectivo en la estimación del costo del alimentador de tornillo por falta de parámetros y a que para el diseño del tornillo es necesario tomar más variables en cuenta. Las estimaciones realizadas por el software muestra un precio estimado el cual hace referencia a un año base, y ajustando la inflación automática de Estados Unidos se ajusta al año que se desea proyectar. Los factores que toman en cuenta para la estimación son la capacidad requerida establecida, el cual ajusta la maquinaria a las necesidades requeridas. Otro factor es el material a utilizar para la construcción y el costo de instalación. El factor de instalación es sumamente variable, sin embargo, el cual el software mantiene un rango de factores de instalación el cual dependiendo del tipo de maquinaria y el material a utilizar, facilitando así la estimación de instalación de la maquinaria. Luego de realizar la estimación con los parámetros descritos en la sección de metodología, se estimó un costo de \$256,000.00. En el diagrama de Pareto de la maquinaria se puede observar que los elementos más caros obtenidos por el simulador son el condensador, el triturador y el filtro de fino. Dichas maquinarias representan el 90% de los costos totales, excluyendo el costo del tornillo y del sistema para realizar la pirólisis.

A pesar de que la información está basada en la base de datos de empresas estadounidenses, la estimación más provechosa que se obtiene del software es el de las capacidades de maquinaria. Esta herramienta puede utilizarse en el futuro para poder estimar las medidas necesarias para la capacidad de una planta a escala industrial ya que la estimación de la capacidad se ajusta al flujo de biomasa deseado. El software presenta muchas más utilidades como costo de mantenimiento, de mano de obra, de contratista, instalaciones, tratamiento de desechos y otra variedad de aspectos que facilitan la estimación de costos para plantas industriales. Con la investigación de factores adecuados a los parámetros guatemaltecos, se podría estimar los costos de elementos o capacidades necesarios.

7. Análisis de subproductos

a. **Subproducto gaseoso.** Como se mencionó anteriormente, el presente trabajo se enfocará en el análisis del subproducto gaseoso. En las primeras pruebas se observó cualitativamente si el gas obtenido combustionaba. Se observó que de este se obtenía una llama azul durante las pruebas. A pesar de haberse realizado siete pruebas, únicamente de cuatro se pudieron obtener lecturas durante la cromatografía puesto que las muestras recolectadas de dicho producto contenían poco gas y no eran de buena calidad para el análisis. De esas cuatro pruebas, únicamente se obtuvo resultado de la primera y séptima prueba. De la séptima prueba se obtuvo tres muestras de gas, una durante el inicio de la reacción, otra a mitad de esta y la última muestra fue a finales de la reacción. De igual manera, a esta muestra también se retiró la humedad en la muestra final agregando gel de sílice previo a recolectar el gas. Las pruebas de cromatografía, que se amplían en el módulo “Análisis de laboratorio para determinación de la viabilidad de pirólisis de palma africana Deli x AVROS,” determinan que el gas obtenido es un gas de síntesis. Los gases de interés a buscar en el gas de síntesis era el metano, puesto que este gas es considerado como una fuente de energía. De igual manera se encontró sulfuro de hidrógeno, el cual también se le analizó ya que es un gas de alto poder corrosivo el cual es necesario tratar. Los resultados de las cromatografías no representan las proporciones de metano o ácido sulfhídrico en el gas obtenido; estas muestran la intensidad en que estas se encuentran. Para encontrar la proporción del gas, es necesaria una curva de calibración, sin embargo, las instalaciones donde se realizaron las pruebas no contaban con dichas curvas. Tampoco se clasificaron todos los elementos que componían al gas ya que no se contaba con los parámetros necesarios para identificarlos. Se observa que intensidad más alta encontrada en las pruebas realizadas fue de 6.32% de la cromatografía FID y de 2.41% en la TCD. El sulfuro de hidrógeno se encontró con una intensidad máxima de 18.52% en la cromatografía FID y un 6.53% en la de TCD. Para la selección del subproducto, se realizó una tabla comparativa del gas de síntesis y metano.

Sin embargo, dicho análisis se realiza únicamente empleando dos resultados los cuales se debe tomar en cuenta que no se analizó por cromatografía todo el vapor obtenido durante la prueba, no se pudo identificar todos los elementos encontrados por falta de referencias y asumiendo que el gas de pirólisis contiene carbono y dióxido de carbono ya que son elementos comúnmente encontrado en los gases de pirólisis.

De la comparación se concluye que el gas de síntesis obtenido no es apto para la obtención de metano ya que para la obtención de metano debe pasar por cinco procesos adicionales de los cuales se obtendría como resultado un gas metano de baja calidad y en poca cantidad. Cabe mencionar que no se analizó todo el gas de la prueba, solo se analizó partes de la muestra ya que no se contaba con una recolección efectiva de todo el gas. Por lo tanto, no se puede concluir que hay pocas cantidades de metano ya que en la última cromatografía realizada se obtuvo un total de 14.59% de metano de las muestras recolectadas de la misma prueba.

Sin embargo, al desconocer toda la composición del gas y la proporción exacta de metano en esta, se selecciona el gas de síntesis como subproducto obtenido de la pirólisis. Ya que este no es un gas que sea comerciable, pero tiene la característica de combustión y llama azul que llega a más de 1,000°C, se determina que este es apto para recircular en el proceso de pirólisis. En el análisis FODA, se observa que entre sus fortalezas se encuentra que el gas puede proveer de beneficios económicos al ser reutilizado pues se ahorraría en la disminución o reemplazo del uso de otros métodos para poder llegar a la temperatura necesaria. También se observa que, por el tipo de proyecto que es, sería clasificado como proyecto de energía renovable y se podría disfrutar de distintos beneficios provistos por la ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable. Entre sus debilidades más grandes es que no se cuenta con una ficha técnica para poder explorar en su totalidad los posibles mercados y usos del mismo.

b. **Subproducto líquido.** Como se menciona en la sección de análisis de laboratorio para es estudio para determinación de viabilidad de pirólisis en palma africana Deli x AVROS, el análisis de componentes de los líquidos se realizó por cromatografía de gases. Estas cromatografías se realizaron únicamente para 6 de las 7 pruebas de laboratorio, debido a la dificultad de la separación ente fase acuosa y orgánica. (Anexo A) Luego, con los resultados obtenidos en las cromatografías se buscaron componentes que fueran consistentes y que estuvieran en mayor intensidad.

Para la fase acuosa, en el 100% de las pruebas y con un gran porcentaje de intensidad, se encontró agua, ácido acético y fenol, además de otros componentes en menor intensidad (Figura 49). De esto podemos decir que el agua era de esperarse por el alto contenido de humedad, mientras que el ácido acético y el fenol al presentar una alta intensidad de 17% y 11% respectivamente.

Por otro lado, para la fase orgánica ningún componente estuvo presente en el 100% de las pruebas. Esto podría deberse al nivel trabajado. A nivel laboratorio, la masa obtenida de los líquidos fue baja y cualitativamente se pudo observar que la fase acuosa era mucho mayor en proporción a la orgánica. Además, que la separación se empleó el método de decantación, dificultando la separación, pues para la fase orgánica en algunas de las pruebas se formaron emulsiones. Aun así en el 83% de las pruebas, al igual que en la fase acuosa se tuvo una intensidad promedio del 13% para el fenol (Figura 52).

Cualitativamente se intentó quemar los líquidos con el fin de determinar su potencial como combustible, sin embargo esto no dio resultado. A nivel comercial, estos líquidos presentan una desventaja, pues como se pudo observar en la Figura 49 el agua es el principal agente. Esto es debió al alto porcentaje de humedad, la cual no solo influyen en la proporción del producto obtenido, sino también pudo haber influenciado el potencial combustible de los líquidos. Algunos modelos de pirólisis suelen tratar desechos derivados del petróleo, por lo que estos líquidos suelen ser procesados y utilizados como combustible por su alto poder calorífico. Sin embargo al presentar un alto porcentaje de humedad, los líquidos de biomasa obtenidos no son combustibles.

A partir de esta desventaja, se investigaron otras alternativas más específicas con el objetivo de proponer un producto viable económicamente, y analizando las intensidades de ácido acético y fenol, encontradas en los líquidos, se procedió a evaluar la situación del mercado para ambos productos.

Se inició realizado una evaluación del mercado para el ácido acético, los hallazgos más importantes se resumen en la Tabla 74. Este estudio reveló que los principales clientes para este producto son la industria textil y alimenticia, representando 70% del mercado en conjunto (Figura 61). Sin embargo se descarta la posibilidad de trabajar con el mercado de alimentos, pues la normativa mundial indica que el ácido acético solo se puede obtener de procesos biológicos. Por otro lado, la rivalidad de los competidores es fuerte, pues para el 75% de la extracción de ácido acético se emplea el método de carbonilación. Este método permite a los competidores tener precios que oscilan entre los Q9.00 y Q12.00 por cada litro (Tabla 75). También se evaluó que para establecer la pirólisis como fuente de comercialización del ácido acético, la capacidad de producción se vería restringida por la cantidad de materia prima disponible (estúpite), el proceso productivo de pirólisis y un proceso adicional de extracción de ácido acético.

El siguiente producto evaluado fue el fenol, pues al igual que el ácido acético, se observó alta intensidad en las pruebas a nivel laboratorio. Para este producto también se evaluaron los clientes, competidores y proveedores como se muestra en la Tabla 76. Este estudio permitió observar que los principales clientes del fenol son formuladores de diversas industrias en las que el fenol forma parte de la materia prima base. Seguidos de los formuladores, las agroindustrias también son un cliente potencial pues representan el 20% de mercado, utilizando este compuesto como uno de los agentes principales en los herbicidas, insecticidas, fungicidas y fijadores de compuestos.

La rivalidad de la competencia se encuentra en el proceso de producción del fenol ya que para la obtención de este producto, a nivel industrial se utiliza el método de oxidación de cumeno. Este procedimiento les permite a los competidores manejar precios entre Q17.00 y Q21.50 por cada litro (Tabla 77). Finalmente, al igual que en la propuesta anterior, el poder de los proveedores estaría limitado por la cantidad de estípites disponible en las plantaciones, el proceso productivo de pirólisis y un proceso adicional de extracción de fenol.

Una última opción fue evaluada para los líquidos, y es que en Costa Rica (como se menciona en los antecedentes) se realiza pirólisis de madera de la cual se obtiene el denominado vinagre de madera (vinagre de madera, es el nombre que le dan a los líquidos obtenidos de la pirólisis de madera). Este vinagre de madera por sus componentes tiene las propiedades de herbicida, fungicida, insecticida y ayuda a la fijación de compuestos en tierra. Por lo tanto, se buscó coincidencia de los componentes del vinagre de madera con los líquidos obtenidos de la pirólisis de estípites. Aunque no se encontró información detallada de todos los compuestos del vinagre de madera, el estudio realizado en Costa Rica menciona los principales agentes obtenidos. Por lo tanto, al comparar los componentes, se obtuvo presencia de 4 de los 5 componentes mayoritarios mencionados por la literatura. La Tabla 78 muestra los componentes en los cuales se obtuvo una coincidencia, dejando la posibilidad de que los líquidos obtenidos de la pirólisis de palma cumplan con la misma función de fungicida, insecticida y fijador de nutriente. Una ventaja que se obtendría de este producto, es que en Costa Rica lo venden tal y como se obtiene de la pirólisis por lo que no requeriría ningún proceso adicional.

Pensando en la similitud de componentes con el vinagre de madera, y la posibilidad de que funcione como tal, se decidió realizar el mismo estudio de clientes, competidores y proveedores para este producto. Debido a que este producto es vendido como producto agrícola orgánico, se buscó el mercado agrícola de Guatemala. Entre los hallazgos obtenidos, se encontró que, el sector agrícola representa 4to lugar de producción en Guatemala, además representa el 27.73% del uso de la tierra, lo que se traduce en 25,597km². A partir de esto, se observó que el mercado potencial es grande, pero un mercado más accesible y conocido serían los mismos palmicultores. Los cultivos de palma representan 518km² del territorio Guatemalteco y además se han visto perjudicados por las demandas de las comunidades por el uso excesivo de suelo y agentes químicos (Gremial de Palmicultores de Guatemala, 2016). Por lo tanto, podría venderse y usarse como un producto que ayude a las plantaciones de palma con menor impacto ambiental, representando un ahorro de agroquímicos.

En el caso de la competencia del ácido piroleñoso (vinagre de madera), se realizan diversas formulaciones químicas para obtener los distintos agroquímicos. Los agroquímicos, más comunes, usados en cultivos de palma oscilan entre Q17 – Q83.61 por litro. Por último, en el caso del poder de los proveedores, al igual que en los dos casos anteriores, dependería de la producción de palma de la empresa.

Finalmente, luego de analizar el mercado, competencia y proveedores de las opciones mencionadas. Se decidió analizar su potencial económico el mismo contexto. Para esta comparación se utilizaron los costos de operación por kilogramo, de una empresa de pirólisis en Guatemala con la capacidad de 10 ton/día (Anexo D Figura 199). Como se ha mencionado con anterioridad, la humedad influyen en la cantidad de líquidos obtenidos, por lo tanto se tomaron de referencia nuevamente 3 humedades (baja, media y alta).

En el Tabla 81 se resumen los costos de producción de un kilogramo y de un litro de líquido, dados los rendimientos y la densidad de los líquidos. Una vez calculado el costo se procedió a analizar la diferencia que se obtendría entre el precio de venta promedio de la competencia y los costos de producción (según los datos brindados).

Analizando únicamente los costos de producción de líquidos de pirólisis en relación al porcentaje de intensidad de ácido acético contenido en los líquidos, vemos en la Tabla 82, que para obtener 1L ácido acético a una humedad baja sería necesario procesar 5kg de biomasa, mientras que para una humedad media se requerirán de 3kg de estípites y finalmente para una humedad alta serían necesarios 9.09 kg de materia prima. Vemos que a una humedad media se requiere de menor producto para la obtención de 1L de ácido acético, este fenómeno se discute en el módulo presentado por el estudiante David Alejandro Súchite Sosa. Por lo tanto, los según los costos de operación consultados y los precios de la competencia, por cada litro vendido, dejaría diferencias negativas de por lo menos Q11.77, Q5.87 y Q29.10 para las humedades baja, media y alta.

Al igual que el ácido acético, el fenol presentó el mismo comportamiento en la intensidad según la humedad. Por lo tanto, tomar los precios de la competencia y los costos de operación referenciados, vemos en la Tabla 83 que por cada litro comercializado, se obtendrían diferencias negativas de al menos Q53.61, Q5.76 y Q30.23 para las humedades baja, media y alta .

Nuevamente se recalca que, para las diferencias encontradas, se tomó en cuenta únicamente los costos de la pirólisis. En realidad los costos serían mucho más elevados, pues el ácido acético y el fenol deben pasar por un proceso adicional para su extracción. Por lo tanto, bajo los parámetros tomados, (costos de operación de una planta piloto) tanto la extracción del ácido acético como la del fenol no son alternativas rentables bajo el proceso de pirólisis, dejando la posibilidad que a con costos de operación a nivel industrial esto cambie.

Por otro lado, en la Tabla 84 se observa el precio de la empresa de Costa Rica y los costos de operación consultados, bajo este producto se observa una diferencia positiva de Q35.00 por litro vendido al mismo precio que en Costa Rica, lo representaría un margen de hasta 87%, pues no se debe agregar ningún proceso adicional. Por lo tanto, de ser funcional, esto podría representar grandes ahorros a la industria de la palma en productos agrícolas.

Estos resultados son solo una propuesta, pero es indispensable probar si en realidad los líquidos ayudan a combatir las plagas específicas de las palmas y realizar más investigación sobre la pirólisis a una escala mayor, pues las características obtenidas a nivel laboratorio podrían variar a una escala, piloto o industrial. Por lo tanto, antes de descartar o aprobar grandes inversiones a nivel industrial, se debería tomar en cuenta un nivel intermedio como pruebas o plantas piloto. Aunque bajo el contexto guatemalteco, eso no suele ser común, sin embargo este paso es importante pues previene invasiones fallidas. Por lo tanto se proponen dos alternativas para escalar este proceso a nivel piloto, antes de realizar inversiones más fuertes.

8. **Propuestas para la obtención de resultados a nivel planta piloto para pirólisis.** Con el fin de obtener resultados a nivel piloto, inicialmente se planteó la fabricación local del equipo de pirólisis para una planta piloto. De esta propuesta, luego de una entrevista realizada a un ingeniero mecánico dueño de una planta de pirólisis de neumáticos de la región, sugirió que para una planta piloto de pirólisis es mejor la importación de equipo que comprar componente por separado o manufacturarlo localmente, debido a los elevados costos. (Saldarriaga, 2017)

Por limitaciones de tiempo, se plantearon dos alternativas adicionales para la obtención de resultados a nivel piloto, considerando que para cualquier propuesta se debe de cumplir como mínimo con un triturado del tronco de estípote, un procesamiento en un reactor, equipo de condensación y finalmente recolección de los productos obtenidos (Figura 63). En la Figura 63 se indica un procesado mayor a 2 t. lo que representa al menos el 10% de lo que la empresa de las palmas debería procesar por día. En esta fase ya no se contempló un secado, pues luego de hablar con la empresa consideraron que no sería un proceso que agregarían.

Bajo estas restricciones, como primera alternativa (luego de descartar la manufactura local) se presupuestó y analizó la obtención de resultados a nivel piloto bajo la importación del equipo de pirólisis. Como punto inicial de esta propuesta, se planteó una ubicación adecuada para el equipo empleando la localización de las plantaciones de palma y bajo el volumen de estípote (materia prima para el proceso) acumulado en cada finca. Utilizando el método del centroide y las coordenadas de latitud y longitud, se obtuvo que el equipo de pirólisis podría ubicarse entre dos plantaciones de la empresa (Figura 64). Bajo un modelo de consumir los productos obtenidos, en esta ubicación se ahorrarían costos de logística y se evitarían los costos de inversión en el terreno. Sin embargo, para la construcción deberían sacrificar metros de plantaciones y esto no es su principal negocio, por lo que representaría una desventaja. Por otro lado, año con año se cortan toneladas de estípote que acumulan espacio y aumenta las bacterias. Considerando que la pirólisis es un proceso que pretende deshacerse de estos residuos, el costo de ceder terreno podría ser un costo asumible.

Siguiendo con la misma propuesta, se realizó un presupuesto de los costos principales medibles para una inversión inicial (Tabla 85). Comparando proveedores en china con experiencia en fabricación de equipos de pirólisis, se obtuvo el precio de venta FOB y las especificaciones técnicas para una maquinaria de pirólisis con capacidad de 10ton/día. Utilizando estos datos, se calculó una inversión que contempla maquinaria, instalación, transporte principal y transporte secundario. El costo de instalación se obtuvo con entrevistas realizadas a los dueños de la empresa de pirólisis guatemalteca (Saldarriaga, 2017).

Para este presupuesto, también se tomó en cuenta en costo de acondicionamiento del terreno, según especificaciones del proveedor el equipo requiere un área de 300m², además comentó que la instalación física solo requiere de suelo apropiado y techo, evitando la acumulación del calor. Empleando los parámetros de la maquinaria (Anexo E Figura 219) y costos promedios de construcción nacionales, publicados por la Secretaría General del Gobierno de Guatemala, se calculó el acondicionamiento físico necesario, a primera instancia. Por lo tanto, al sumar estos costos de maquinaria, instalación y construcción, se obtuvo un presupuesto inicial de Q903, 825.00, como se detalla en la Tabla 85.

No obstante, el presupuesto dado anteriormente fue solo para obtener el equipo, por lo que se calculó también el costo de operación de la maquinaria para un mes según las especificaciones técnicas del proveedor y la ubicación geográfica planteada. Para estos costos se tomó en cuenta lo necesario para la operación de pirólisis y esto incluye en costo del triturado de la materia prima a utilizar. Cabe mencionar, que no se tomaron costos de secado, pues basados en los resultados a nivel laboratorio el costo del secado es muy alto y requeriría una maquinaria adicional, por otro lado, en el caso del triturado, la empresa ya cuenta con un equipo que les permite reducir el tamaño del tronco. Los costos de operación se detallan en la tabla 86, se puede observar que el rubro más significativo es el de la trituradora, pues debe cortar los troncos gruesos de estípate. Para el triturado, únicamente se contemplaron 2 horas de uso, pues en la visita realizada se observó el tiempo y esfuerzo que hace la maquinaria, por lo que con 2 horas al día sería suficiente estípate para la capacidad del reactor. Otro aspecto importante de mencionar es que a diferencia del triturado a nivel laboratorio y la propuesta piloto, pues a nivel laboratorio el triturado no representaba ningún rubro fuerte en los costos, mientras que a mayor nivel este es el más significativo. Finalmente, los costos de operación estimados por mes suman un total de Q24,566.16 los cuales contemplan únicamente las especificaciones técnicas obtenidas.

Por otro lado, la propuesta de obtener resultados a nivel piloto con la maquinaria requerida implican riesgos y costos asociados ello, por lo tanto en la Tabla 87 se detallan algunos de los principales riesgos que se deberían contemplar para las operaciones del equipo piloto. La seguridad es algo imprescindible, por lo que en cada rubro se sugiere equipo el equipo necesario para mitigar el riesgo asociado. Aunque no esté cuantificada en el rubro de inversión inicial, la seguridad y la capacitación del personal implican un costo.

Siguiendo con la evaluación de propuestas, se decidió investigar a una empresa guatemalteca que realiza el proceso de pirólisis para el tratamiento de residuos sólidos urbanos (RSU), neumáticos y aceites, ellos accedieron a compartir sus costos, y además a contribuir con el estudio para procesar los desechos de palma con su maquinaria.

Bajo esta segunda propuesta, se tomaron en cuenta los costos de procesar la biomasa, costos de transportes desde las fincas hasta la planta y la planta hasta laboratorios en la ciudad, asumiendo que los estudios seguirán (tablas 88 y 89) Adicionalmente, también se cuantificó el costo de contenedores especiales para el almacenamiento de productos químicos, que faciliten el transporte y almacenamiento. Por lo tanto, se pudo observar en la tabla 90 que el costo presupuestado estimado total fue de Q88, 673.91. Cabe mencionar que en esta propuesta se estimaron 3 corridas, que podrían ser más, pero se espera que no se hagan menos. La razón es que, aunque la empresa tenga el conocimiento del proceso de pirólisis factores como la humedad podrían variar los resultados.

Como último punto se decidió comparar ambas propuestas para la obtención de resultados a nivel piloto. En la tabla 91 se muestran las diferencias de inversiones necesarias, los costos implicados para cada una de ellas y los costos calculados. Debido a las diferencias de los procedimientos, la comparación fue cualitativa, enfocada a los aspectos positivos y negativos encontrados para cada método propuesto (Tabla 92).

Ante esta comparación, a pesar que en la tercerización no se obtenga recompensa monetaria de la producción, (aunque obteniendo la planta propia tampoco se asegura la utilización de los productos) se obtiene el conocimiento necesario para tomar mejores decisiones. A este conocimiento no se le podría asignar un valor como tal, pero sí podría ahorrar pérdidas por malas decisiones. Por lo que sería recomendable iniciar con pruebas tercerizadas que validen la viabilidad de los productos obtenidos. Y como paso siguiente, tomar decisiones de inversión de maquinaria propia, para lo cual el módulo de 10ton/día propuesto sería un buen punto de partida.

Adicionalmente, en este estudio se intentó buscar la posibilidad de calcular un retorno de la inversión del equipo piloto dependiendo de lo que se podría ahorrar la empresa en productos agrícolas. Sin embargo, existieron algunas restricciones, ya que sin la validación, y el conocimiento de dosis de aplicación, fue imposible determinar las cantidades ideales para producir y aplicar en los cultivos, y por lo tanto determinar el ahorro, o no, en los productos agrícolas.

Por otro lado, la finalidad del estudio era evaluar la posibilidad de realizar pirólisis en estípites de palma africana y conseguir un punto de partida para más investigación. Por ahora no se puede asegurar la funcionalidad de los líquidos como producto agrícola, y por lo tanto justificar si vale la pena invertir para una mayor producción.

Por lo tanto, un próximo paso sería validar el uso de los líquidos de pirólisis en plantaciones de palma como producto agrícola orgánico. Además, de determinar concentración de aplicación en los suelos para descartar niveles peligrosos de toxicidad en los líquidos. Sin embargo, bajo los antecedente citados y el conocimiento obtenido en las pruebas a nivel laboratorio se tiene mayor certeza de la funcionalidad del producto sólido como un producto comercializable.

B. ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE PIRÓLISIS DE ESTÍPITE DE PALMA AFRICANA DELI X AVROS

1. **Supuestos.** La identificación de interesados se trabajó bajo el supuesto que las aplicaciones propuestas para el biocarbón en el módulo “Aplicaciones de los productos obtenidos de la pirólisis de estípite de palma africana Deli x AVROS” se cumplen. Por lo tanto el biocarbón se puede comparar con la cal agrícola, abonos orgánicos y la hulla bituminosa. El mercado de enmienda de suelos se trabajó bajo el supuesto que la tierra sobre utilizada son las plantaciones agrícolas.

La localización de la planta de pirólisis se desarrolló bajo el supuesto que la localidad escogida está cerca de los proveedores de estípite de palma africana, ya que la distancia entre planta y fincas no se cuantificó. También, se supone que existe fácil acceso por carretera ya que en el mapa se puede observar el acceso por carretera pero no se sabe acerca del estado de la carretera. Además, se supone que el terreno escogido cuenta con servicio de agua y planta de tratamiento ya que así lo especifica la inmobiliaria. De igual forma, se supone que la urbanización es un beneficio.

El proceso de la planta de pirólisis se realizó bajo el supuesto que el proceso descrito en el módulo “Propuesta técnica de un proceso de pirólisis de palma africana Deli x AVROS a escala laboratorio” se puede escalar a de una planta de producción, a nivel industrial. También, se asumió que material del silo y de los sacos para el empaque pueden utilizarse para almacenar el estípite y el biocarbón, respectivamente.

En la determinación de costos se trabajó con un tipo de cambio de Q7.4 por \$1.00 y Q8.7 por 1€. También, se trabajó el supuesto de que el precio del reactor es el especificado en la publicación “Slow Pyrolysis in Brista”. (Jonsson, 2016)

Para determinar los costos operacionales se determinó que al año se se tienen 280 días disponibles al, que la planta puede trabajar por 90 días seguidos y luego se debe parar por 6 días para que se enfríe el reactor y se le pueda dar mantenimiento.

El análisis de rentabilidad económica se desarrollo bajo el supuesto que la planta produce 525 toneladas métricas de biocarbón al año y que todo el producto se vende debido a que la demanda de dicho producto en todos los mercados es mucho mayor a la capacidad de producción.

2. **Estudio de mercado.** Del estudio de mercado informa que existe mucha materia prima para poder realizar la pirólisis y que actualmente la mayoría de empresas no le saca ningún provecho a los estípites de palma africana. De dicho estudio, también es importante recalcar que en Guatemala se importan alrededor de un millón de toneladas de hulla bituminosa anualmente, por lo que el biocarbón podría tomar cierto porcentaje del mercado de la hulla bituminosa si este tuviese un precio competitivo. En cuanto al mercado de enmienda de suelos, sería muy importante demostrar que el biocarbón en realidad podría sustituir productos como la cal agrícola o los abonos orgánicos. Sería importante convencer a los compradores que el biocarbón puede lograr resultados competitivos a los de sus sustitutos.

3. **Identificación de interesados en la implementación de la planta de pirólisis.** De las aplicaciones propuestas se identificaron los dos escenarios más viables: energía eléctrica y regenerador de suelos. Cada uno de estos escenarios tiene dos opciones como se observa en la Figura 65.

a. **Energía eléctrica.** Este escenario tiene dos opciones: la primera, utilizar el biocarbón para reincorporarlo al sistema eléctrico de la empresa proveedora de la materia prima. El biocarbón se utilizaría en las calderas para producir vapor y finalmente generar energía eléctrica que pueda ser reincorporada al sistema. Actualmente, la empresa proveedora de la materia prima, estípites de palma africana, introduce el raquis de la palma africana en las calderas y de igual forma, genera electricidad.

La segunda opción es incursionar en el mercado de eléctrico nacional. Guatemala es un país que no produce carbón mineral, por lo tanto debe importarlo, y en su mayoría lo hace de Colombia. Las importaciones que se realizan de este producto se designan en su totalidad a la generación de electricidad, por lo tanto tiene como destino principal las cuatro generadoras que utilizan este recurso: ESI S.A., San José, La Libertad y Las Palmas (OLADE, 2014). Según el Banco de Guatemala en el 2016 se importaron 2,191,312.14 toneladas métricas de hulla bituminosa. Por lo tanto, utilizando como base las importaciones de hulla bituminosa desde el año 2002 hasta el 2016, se hicieron proyecciones de importaciones para los próximos 5 años. En los años 2017-2021 se proyecta que se importarán entre 1,260,919.47 y 1,373,283.97 toneladas métricas de hulla bituminosa. Se utilizó modelo matemático logaritmico debido a que este toma en cuenta no solo variable cuantitativas sino también cualitativas como el ciclo de vida de un producto, inestabilidad y corrupción política, riesgos de un mercado en el país, entre otros. De igual manera se puede observar en la Figura 68 el potencial que existe para incursionar en ese mercado siendo utilizando el biocarbón como sustituto de la hulla bituminosa.

Dentro de este escenario el biocarbón estaría categorizado como una fuente de energía renovable, específicamente de biomasa. Por lo tanto estaría regida por la ley y reglamento de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable. El reto en este escenario sería competir con los bajos precios a los que se importa la hulla bituminosa, Q670 por tonelada métrica, esto debido a que dicho producto no paga ningún otro impuesto más que el IVA como consecuencia de un Tratado de Libre comercio con Colombia.

b. **Enmienda de suelos.** Por las características presentadas en el módulo “Aplicaciones de los productos obtenidos de la pirólisis de estípites de palma africana deli x AVROS” se identificó que el biocarbón puede ser utilizado para jardines y como encalado de suelos en plantaciones agrícolas.

c. **Plantaciones agrícolas.** En la última publicación del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) sobre la intensidad de uso de la tierra se indicó que 27,198.66 km² (24.90%) está sobre utilizada, como se puede observar en la Figura 71. El MAGA califica un suelo sobre utilizado como un suelo con limitaciones, como la erosión, y que a pesar de estas limitaciones se realizan actividades productivas intensivas que favorecen el deterioro edáfico y del medio en general. Por lo tanto se identificó esta extensión de tierra como mercado potencial (MEM, 2005).

d. **Jardines.** Debido al aporte de materia orgánica que tiene el biocarbón se encontró que en el mercado existen distintos productos que ofrecen un aporte elevado de dicho componente como el de abonos orgánicos, estiércol de oveja, humus de lombriz, un regenerador de suelos llamado MASSÓ Garden, entre otros. Debido al uso que se le daría a este producto se catalogó que las personas de un estrato socioeconómico alto serían las interesadas. Estas personas tienen ingresos suficientemente altos como para cubrir las necesidades básicas y darse lujos como el de cuidar su jardín. El Instituto Nacional de Estadística realizó una caracterización de la República de Guatemala en la que se detalla que en toda la nación existen 1,503,456 viviendas formales no pobres y según el Reglamento para viviendas individuales de la Municipalidad de Guatemala, estas deben contar con una área verde mínima del 12%. Por lo tanto se calculó que existe una extensión de 17.59 km² de jardín como mercado potencial.

4. **Localización de la planta.** Al tratar de encontrar la localización más apropiada para la planta se tomaron en cuenta distintos factores. Se evaluó que de alguna manera la planta estuviera cerca de los proveedores de materia prima, por lo tanto se evaluó la opción de localizarla en las tres zonas donde se cultiva palma africana: zona sur (pacífico) en los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Retalhuleu, Suchitepéquez y Escuintla; en la zona oriental (atlántico) en los departamentos de Izabal y Alta Verapaz; y en la zona norte, en el sur de Petén, norte de Alta Verapaz y nororiente de Quiché. Seguido se tomó en cuenta la cercanía con los posibles clientes para de tratar de acortar las distancias al momento de distribuir.

Debido a que no se tiene especificado al mercado que se está dirigiendo el biocarbón, se optó por localizar la planta en una localidad flexible que sea capaz de responder ante cambios. Por lo tanto se decidió que la planta debía estar ubicada en el departamento de Escuintla, esto debido a que se le dio prioridad a las fincas de palma africana de la empresa de aceites y grasas. En este departamento se buscó un área industrial por temas de permisos municipales e impacto ambiental.

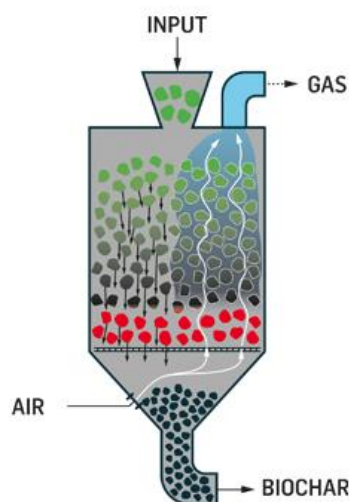
Se cotizó un terreno que cumpliera con estas características y se encontró uno que cumplía con todas las características. El terreno cotizado está ubicado dentro de un parque industrial en Escuintla con las coordenadas 14°18'18.1"N, 90°47'33.8"W. El terreno cuenta con fácil acceso por carreteras, urbanización completa, planta de tratamiento, garita de control de acceso, entre otros.

5. Operaciones del proceso de la planta pirólisis Para la logística de entrada se decidió que la trituradora PT-400 triturará los estípites de palma africana en las fincas, luego de que estén trituradas una mini cargadora llenará un camión de volteo para que este pueda llevar la materia prima a la planta. La segunda operación es la descarga de la materia prima en un silo con la capacidad de almacenar 10 toneladas métricas. Seguido, los operarios deben encargarse de transportar la materia prima hacia los reactores para llenarlos y mantener un flujo constante de 0.25 toneladas métricas (250kg) de estípites triturados por hora. Luego, el reactor debe pirolizar la materia prima para así poder obtener biocarbón.

Para el proceso de pirólisis lenta es indispensable contar con un reactor adecuado que posea un conjunto de características técnicas como, por ejemplo, la tasa de transferencia debe de ser de 5-7°C/min, debe de manejar material con un tamaño de partícula mayor de 2mm de diámetro.

Bajo dichos requerimientos se encontró una compañía que produce biocarbón utilizando pirólisis lenta, llamada "Carbon Terra", localizada en Augsburg, Alemania. El proceso de pirólisis es llamado "Schottdorf-Meiler" y produce "char", calor y gas. La configuración general del sistema incluye un reactor de pirólisis, un quemador de gas, una turbina de vapor y un generador de energía. La maquinaria utilizada en el proceso se vende en módulos de 4, 8 o 16 hornos y una cámara de combustión a fuego bajo. El proceso es continuo y auto térmico, el sistema puede procesar más de 100 diferentes tipos de biomasa (CarbonTerra, 2017).

Figura 82 Schottdorf-Meiler



La zona ejemplificada según los puntos rojos como se muestra en la Figura 82 alcanza una temperatura de 700°C y los gases calientes se elevan para crear una zona de destilación. El gas de combustión sube por el reactor y la biomasa funciona como un filtro para limpiar los gases. La planta puede operar por largos períodos de tiempo, sin embargo, en general debe ser apagada de 2 a 4 veces al año según especificaciones del proveedor. El proceso de reinicio del reactor toma entre 6 y 9 días, incluyendo el enfriamiento y el trabajo de mantenimiento.

La capacidad de un “Schottdorf-Meiler”, un módulo compuesto por cuatro reactores, se muestra en la Tabla 103.

Tabla 103 Capacidad de un Schottdorf-Meiler

Capacidad de producción energética [MW]	1,000
Entrada de biomasa [toneladas métricas/día]	6.0
Salida de biochar [toneladas métricas/día]	2.0

Luego de la pirólisis el biocarbón debe de ser llevado al área de empaque, donde sacos de polipropileno serán llenados hasta llegar al peso de 0.05 toneladas métricas (50kg) por una báscula ensacadora. Estos sacos deben ser cosidos con una cosedora manual. Finalmente, como logística de salida se decidió que el biocarbón se almacenarían en la bodega de producto terminado, la cual debería de tener una capacidad mínima de almacenamiento para 10 toneladas métricas. Esto se determinó suponiendo el peor escenario. En el cual el camión distribuidor haya ido al departamento más lejano, se haya averiado y para todo esto hayan pasado cinco días para que pueda volver a distribuir. Durante estos cinco días, la planta habrá producido 10 toneladas métricas de biocarbón las cuales deben ser almacenadas.

En la Tabla 94 se presenta el perfil de capacidades de cada una de las operaciones del proceso. De dicha tabla se puede observar que el recurso con una capacidad menor a la demandada sobre el es el reactor. Tal recurso produce solamente 0.00002 toneladas métricas de biocarbón en un segundo, por lo tanto es el que marca el ritmo de la producción de la planta de pirólisis.

6. Programación SIMIO. De este análisis sobresale que el cuello de botella es el reactor, según la teoría de restricciones el tiempo de ciclo y el «throughput» del proceso se determina a través del mismo. Los resultados se pueden observar en la figura a continuación como resumen.

Los resultados se presentan en la Figura 78 en los cuales se puede observar que en el «Model Entity», en la categoría de «throughput» produce 2 toneladas métricas, la cuales llegaron al «Sink» de “cliente final”. El «Server» “bioreactor” tiene un tiempo de 11.95 horas, tiempo necesario para producir una tonelada de biocarbón. El «Server» “empacadora” tiene un tiempo de espera de 9.98 horas, esto indica que el 99.86% del tiempo espera para poder trabajar. Debido a que este server va justo después del “bioreactor”, indica que ese recurso es el cuello de botella. El «Sink» “cliente final” pasa, en promedio, 12 horas en el sistema para recibir una tonelada métrica de biocarbón como se observa en la Figura 80.

7. Necesidades de personal. En la Tabla 95 se puede observar que se requieren de nueve puestos de trabajo para operar la planta. Cada uno de estos empleados ocupando los puestos de trabajo deben cumplir con un perfil específico, responsabilidad y ciertas competencias adecuadas. A la propuesta hecha por el NREL se le hicieron algunas modificaciones en cantidad de personal, ya que operar una planta de pirólisis lenta difiere con una planta de pirólisis rápida en el tiempo de residencia de la materia prima en el reactor y en la parte de generación de energía eléctrica. Se determinó que se necesitan tres supervisores de turno ya que habrán tres turnos al día, de 8 horas cada uno. Se necesitan de catorce operarios en total, derivado de las necesidades de producción en el cuello de botella y recurso limitado por su capacidad se plantearon tres turnos de ocho horas cada uno para los operarios de los reactores y empaque. Se requieren de dos operarios por turno para manejar los reactores. Ellos deben prestar mucha atención a los reactores ya que estos no pueden quedarse sin materia prima en ningún momento, ya que al ser este el recurso que tiene menor capacidad que la demandada. De igual forma se asignaron dos operarios para empaque, uno debe manejar la ensacadora y otro la cosedora manual. Un operario para manejar la trituradora y otro para manejar la mini cargadora y llenar el camión de volteo. Para transportar la materia prima a la planta se necesitará de un piloto y para distribuir el producto final se necesitará de otro piloto.

8. **Determinación de costos.** Para determinar los costos se realizaron distintas cotizaciones sobre la maquinaria necesaria para instalar una planta de pirólisis de residuos agroindustriales de palma africana, además de todo el equipo indispensable para logística y el terreno de localización. También se calcularon los distintos costos en los que incurrirá la planta al entrar en operación como: salarios de personal, electricidad, combustible, materiales, entre otros. Cabe mencionar que estos costos pertenecen solamente al equipo y maquinaria propuesta en este trabajo, por lo que los estos podrían variar si se utilizara otro tipo de maquinaria y equipo. Los salarios también son solamente una propuesta y podrían cambiar o variar.

El sistema Schottdorf incluye un reactor, un quemador de gas, una turbina de vapor y un generador de energía. El sistema completo tiene un precio de €388,000 (Jonsson, 2016). A este costo se le debe agregar el costo de importación para tener un dato más específico, flete seguro e impuestos. Dentro de la inversión inicial se agregaron tres meses de operación para considerar que al momento de iniciar producción aún no se cuenta con ninguna clase de ingreso, sino hasta el segundo mes, luego de vender lo que se produjo en el primer mes. Por lo tanto se debe considerar poder pagar los primeros salarios y costos de fabricación dentro de la inversión inicial, hasta que los ingresos por ventas sean más estables.

Para determinar los costos operacionales se determinó que se debe incluir los salarios de personal, para los cuales se definió que se tienen 280 días disponibles al año, que la planta puede trabajar por 90 días seguidos y luego se debe parar por 6 días para que se enfríe el reactor y se le pueda dar mantenimiento.

Los costos operacionales también deben incluir los costos de insumos según rendimiento de la maquinaria. Estos costos se determinaron utilizando el consumo energético o de combustible que el proveedor indicaba para cada equipo. Para la energía eléctrica se utilizó la tarifa no social, residencial, publicada por La Comisión Nacional de Energía Eléctrica para la distribuidora EEGSA, la cual es de Q1.10/kWh. En cuanto al combustible, todas las máquinas utilizan diésel, para el cual el Ministerio de Energía y Minas publicó que el precio era de Q5.02/litro (Q18.99/galón). Por consiguiente se determinó el costo que se produce al utilizar estas máquinas durante 90 días de operación, un ciclo de operación.

9. Análisis de rentabilidad

a. **Escenario 1.** En este escenario se trabajó bajo el supuesto que las 525 toneladas métricas de biocarbón eran vendidas a un precio de Q5,516.96, precio que incluye un margen del 12% y el impuesto sobre el valor agregado. Este precio contempla que se cubran costos de producción como mano de obra, materiales y costos indirectos de fabricación entre los cuales está diésel y la energía eléctrica. Debido a que este precio de venta tiene contemplados los costos, en los 15 años proyectos se tienen utilidades. Este escenario propone que todos los años se le hace un incremento del 5% al salario del personal, ya que y también se hace un aumento del 4.755%. Un incremento en la inflación indica que las cosas tienen un precio más elevado, por lo que sería justo hacer un aumento casi igual al salario de las personas.

b. **Escenario 2.** Este escenario también se desarrolló tomando en cuenta el precio de venta que contempla los costos de producción. Pero en este escenario no se hace un incremento anual del 5% en los salarios del personal, por lo que la utilidades presentadas en los 15 años proyectados son mayores a las del escenario 1. Se planteó este escenario ya que es de conocimiento que muchas empresas no hacen un aumento anual en los salarios del personal. De esta forma, el empresario puede tener contemplar más de una opción.

c. **Escenario 3.** El escenario 3 se llevó a cabo bajo el supuesto que el biocarbón incursiona en el mercado de enmienda de suelos en el cual una tonelada métrica de cal agrícola tiene un precio Q781.00, por lo tanto el biocarbón debería de tener un precio similar. Al vender el biocarbón al mismo precio que la cal agrícola se puede observar que solo resulta en pérdida. Esto debido a que ese precio no cubre costos de operación ni algún otro gasto en los que pueda incurrir la planta de producción.

d. **Escenario 4.** El escenario 4 se desarrolló, al igual que en el escenario 3, bajo el supuesto que se incursiona en el mercado de enmienda de suelo y que el biocarbón se vende al mismo precio que dicho sustituto. La diferencia en este escenario es que no se hace el aumento anual del 5% en el salario del personal. Esto para verificar si al no hacer el aumento, pueden haber utilidades. De igual forma, en este escenario se puede apreciar que las proyecciones a 15 años finalizan de igual forma en pérdidas. Existen pérdidas ya que el precio de venta del biocarbón no termina de cubrir los costos y los gastos.

e. **Escenario 5.** Este escenario se trabajó bajo el supuesto que el biocarbón incursiona en el mercado de energía eléctrica, específicamente como sustituto de la hulla bituminosa. Para poder competir con dicho producto, el biocarbón debe tener un precio similar o competitivo. Por lo tanto al suponer que el biocarbón se vende al precio de una tonelada métrica de hulla bituminosa, Q670.00, se puede observar que solo hay pérdidas. Esto debido a que el precio no termina de cubrir los costos y gastos en los que debe incurrir la planta para su operación.

10. Evaluación de rentabilidad. Para los escenarios 3,4,5 no se pudo obtener una tasa interna de retorno ya que todos los flujos netos eran negativos. Esto indica que ninguno de estos escenarios presenta rentabilidad. Por lo tanto la TIR solo se obtuvo para los escenarios 1,2. Para realizar la evaluación se tomó en cuenta la inversión inicial. Además, para los escenarios 1 y 2 se propuso una versión inicial más baja al cambiar la trituradora PT-400 por una excavadora con un accesorio para triturar los estípites. La excavadora junto con el accesorio son más baratos que la trituradora PT-400. En la Tabla 96 se puede observar la inversión inicial propuesta y en la Tabla 97 se puede observar la inversión inicial baja.

Como se puede observar en la Tabla 102, ninguno de los escenarios tiene una TIR mayor a la rentabilidad requerida 38.45%, esto indica que el riesgo es mayor al posible retorno. Pero el escenario 2 con inversión baja presenta una TIR mayor a la rentabilidad requerida tomando en cuenta solo la TMAR de la empresa y el mercado de energía renovable, 12.31%. Por lo que la empresa de aceites y grasas podría optar por este escenario, pero se debe tomar en cuenta que esta segunda rentabilidad requerida (12.31%) no toman en cuenta las rentabilidades de los mercados. Además, este escenario supone que el precio de venta del biocarbón es tomando en cuenta el costo de producción al cual se le agrega un 12% de margen y el impuesto sobre el valor agregado.

En la sección de anexos se puede observar detalladamente la TIR, los ingresos, los egresos y los flujos de efectivo de cada uno de los escenarios. De igual manera se puede observar detalladamente los valores utilizados para el cálculo de las dos rentabilidades requeridas.

IX. CONCLUSIONES

A continuación, se describen los resultados más significativos del estudio:

1. Se realizaron siete pruebas de pirólisis con el sistema propuesto y se confirmó la producción de los materiales reportados por la literatura (sólido, líquido y gaseoso), en una proporción cercana al 33% de cada uno. Se verificó la producción de un gas inflamable en la fase no condensable. De la misma manera, se produjo una fase líquida conformada de dos fracciones (acuosa y orgánica) y, finalmente, una fase sólida.
2. Las condiciones adecuadas para que haya suficiente arrastre de la fase gaseosa y líquida en el sistema de pirólisis lenta fueron: una humedad de 12.90% a 74%, temperatura de 500 °C y tiempos de operación entre 15 y 45 min.
3. De acuerdo a las siete pruebas realizadas, se determinó que las condiciones para favorecer la fase sólida (carbón) son humedades iniciales cercanas al 50% (m/m) para el estípite, calentando hasta 500 °C y manteniendo esta temperatura durante 30 minutos.
4. Con ambos sistemas utilizados de pirólisis lenta se obtuvo un carbón con un poder calorífico promedio de 27.42 MJ/kg, que representa un incremento de 7.66 veces al valor original del estípite no tratado (3.58MJ/kg).
5. Se realizó una curva de secado del estípite de palma africana de humedades de 75% a 0%, para determinar el comportamiento de pérdida de humedad en función del tiempo. Se determinó que el secado es uniforme hasta cumplir las 3 horas y que en el intervalo de 3 a 5 horas el comportamiento de secado es convexo en teoría por la presencia de ceras en la constitución del estípite.
6. Se identificaron los componentes de las mezclas, comparando los tiempos de retención con los de la biblioteca digital interna del cromatógrafo de gases. De acuerdo a los datos obtenidos la mayor proporción másica de ácido acético y fenol, en fase orgánica y acuosa, se obtuvo a una humedad de 53% del estípite de palma africana. Con 26.24% m/m y 21.57% m/m para ácido acético en fase acuosa y orgánica respectivamente y 17.86% m/m y 5.72% m/m para fenol en fase acuosa y orgánica respectivamente.
7. Se determinó la presencia de metano en la fase gaseosa y la proporción másica por cromatografía gaseosa con detector FID, con un máximo de proporción másica de 6.32%.

8. La producción de bioaceite, en el modelo de pirólisis rápida, se favorece al procesar una fuente de biomasa de bajo contenido de humedad – cercana al 16% (m/m) y tiempo de residencia en el reactor – 1 s. En cuanto a la temperatura de operación, esta deberá oscilar entre los 575 y 600 °C; pues es más evidente el efecto de la humedad de la biomasa a procesar y se incurre en menores costos de operación durante el arranque del reactor. No obstante, el máximo de producción de bioaceite obtenido fue de: 35.24%; para una operación a 575 °C, 1 segundo de tiempo de residencia y un contenido de humedad del 16%. Además, se debe evacuar y disminuir la temperatura de los vapores generados para evitar su conversión en gas pirolítico.
9. La producción de biocarbón, en el modelo de pirólisis rápida, se favorece a temperaturas que oscilan los 475 a 500 °C junto con una operación con mayor tiempo de residencia – 10 s – y bajo contenido de humedad en la biomasa a procesar – cercana al 16% (m/m). Es así como para la máxima producción de biocarbón – 26.43% – se obtuvo a 475 °C, 10 segundos de tiempo de residencia y 16% de humedad. Además, se debe garantizar que el tamaño de partícula permita asegurar que esta adquiera la temperatura requerida por el proceso.
10. La producción de gas de pirólisis, en el modelo de pirólisis rápida, se favorece a medida que se incrementa el tiempo de residencia – 10 segundos – y la temperatura dentro del reactor oscila entre 600 y 650 °C, y la humedad de la fuente de biomasa a procesar tiende al 16% (m/m). Siendo 59.17% el porcentaje másico máximo obtenido a 650°C y 10 segundos de tiempo de residencia, procesando estípite con 16% de humedad. Para ello, se debe retener por mayor tiempo los vapores generados en el rango de temperatura recomendado.
11. Existe una zona definida de operatividad bajo las restricciones empleadas en el caso de estudio del modelo de simulación de pirólisis rápida; que se caracteriza por disminuir su tamaño a medida que el tiempo de reacción decrece, mientras que se desplaza hacia temperaturas cada vez más altas.
12. Se propone reingresar la fase gaseosa en el sistema de calentamiento, como combustible, por su bajo contenido de metano, 6.81% en su pico más alto, ya que no se justifica comercializarlo como gas natural. El sulfuro de hidrógeno generado se debería eliminar por absorción con absorbentes químicos y se podría convertir por una planta de Claus en azufre elemental.

13. La propuesta para la fase líquida es utilizar el líquido obtenido como ácido piroleñoso, sin purificar, para ser usado como mejorador de suelos, ya que contiene agua, ácido acético, fenol, ácido fórmico y ácido butanoico. Como segunda propuesta, tomando en cuenta los resultados obtenidos de los cronogramas, se podría purificar el ácido acético presente y comercializarlo. Aunque, para realizar esta purificación se requeriría una pequeña destilería en acero inoxidable o cobre que aumentaría el costo de la misma enormemente. A diferencia de las destilerías de petróleo, todo lo destilado se puede comercializar, en esta destilería más de la mitad de los productos no se pueden comercializar por estar en muy bajas proporciones o contaminados con agua.
14. Las propuestas para la fase sólida que se proponen tomando en cuenta los resultados obtenidos de los análisis por ICP y poder calorífico son sustituto del carbón vegetal y mineral para la generación de energía, y como mejorador de suelos. Pese a que carbón obtenido es muy pequeño, es fácilmente pulverizable lo que permite realizar briquetas, con tubos de PVC y un aglomerante como glicerina, para aumentar su tamaño.
15. El trabajo realizado culmina únicamente en propuestas de aplicaciones para las tres fases obtenidas, debido a la pequeña cantidad de material que se obtenía por prueba, fue imposible realizar pruebas en parcelas para determinar los alcances, limitaciones y posibles beneficios que podrían tener la fase sólida o líquida como mejorador de suelos. Tampoco fue posible evaluar propiedades organolépticas de la fase sólida para ser empleado como sustituto del carbón vegetal.
16. Los costos de operación para las siete pruebas a nivel laboratorio representaron un gasto de Q520.78, en las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala. Se determinó que a este nivel la obtención de 1kg de productos; sólido, líquido y gaseoso, representa costos mayores a Q111.00, Q26.00 y 158.00, respectivamente, y sujetos a la humedad de la muestra.
17. De acuerdo a los costos de producción analizados, en relación a los precios del mercado, estos indican que la comercialización del ácido acético y fenol, presentes en los líquidos obtenidos, trabajando a una humedad del 53%, dejarían pérdidas de Q5.00 por litro.
18. La venta del ácido piroleñoso como agente agroquímico, obtenido de la pirólisis de estípites de palma, trabajando con una humedad del 74%, dejaría una ganancia de Q35.00 por litro, con un precio de venta de Q40.41/L (igual al de la competencia), por lo que el ácido piroleñoso sería una opción económicamente viable.
19. En comparación con la propuesta de importación de equipo, la tercerización de la operación a nivel piloto tiene un presupuesto estimado de Q88, 673.91, con una diferencia de Q839,717.25 con respecto a la importación, siendo la opción más viable para la operación a nivel piloto

20. El análisis económico demuestra que para competir en los mercados de enmienda de suelos y energía eléctrica los precios deben ser iguales a los de los productos sustitutos, pero dichos precios no cubren los costos y los gastos de operación de la planta.
21. Para que la implementación de la planta sea rentable el precio de una tonelada de biocarbón debe de ser de Q5,681.13 para poder cubrir los costos, los gastos y tener utilidades operativas positivas.
22. La planta debería de localizarse en Escuintla para responder a necesidades de logística, como cercanía a proveedores de materia prima y a los posibles clientes, así como fácil acceso por carreteras. El proceso debe ser de pirólisis lenta para obtener la mayor cantidad de biocarbón posible, según la tecnología escogida, 2 toneladas diarias. Para la operación de la planta de pirólisis se necesitan aproximadamente 27 empleados, en su mayoría operarios que se dediquen a manejar el reactor.
23. Con la identificación de operaciones se desarrolló un diagrama de las operaciones que se divide en tres segmentos, preparación y toma de mediciones previos a la pirólisis, proceso de pirólisis y pruebas realizadas luego de la pirólisis, en el cual la operación más tardada es la recolección del subproducto sólido, el cual tarda de 4 a 5 horas.
24. Se estimó los costos del proyecto con dos escenarios. El primero toma en cuenta que la mayoría de utensilios son prestados en el cual el costo total fue de Q2,975.00 y el segundo escenario muestra un costo de Q33,237.85 el cual incluye todos los utensilios, donde el precio más alto es de la mufla, el cual presenta el 79.48% de los costos totales.
25. El uso del software de simulación utilizado para la estimación de costos no fue efectivo para la estimación de la maquinaria necesaria puesto que a pesar de que este simulaba de manera efectiva la pirólisis rápida, no contaba con parámetros de maquinaria para la estimación de la pirólisis rápida ya que se utilizó una secuencia que se adaptó a las capacidades del simulador, sin embargo, fue capaz de estimar los costos de precalentamiento y separación.
26. Tampoco fue capaz de realizar la estimación del costo del tornillo, ya que el software no tiene la capacidad de realizar el diseño del mismo ya que para el diseño del tornillo se requiere una mayor cantidad de requisitos además del flujo de biomasa.
27. Las estimaciones se realizaron siguiendo estándares de Estados Unidos, y se obtuvo que el costo total de la maquinaria para la planta de pirólisis rápida simulada con una capacidad de 100 kg/h es de \$265,000.00

28. En la República de Guatemala existen 17.59km² de área verde, identificado como mercado potencial de enmienda de suelos para jardines, en el cual se podría aplicar el biocarbón.
29. El 24.98% de la tierra de la República de Guatemala está sobre utilizada, por lo que se podría aplicar el biocarbón obtenido de la pirólisis de estípites de palma africana como enmienda de suelos.
30. Guatemala importa más de un millón de toneladas métricas de hulla bituminosa, por lo que el biocarbón podría incursionar en el mercado de energía eléctrica como un sustituto de dicho carbón mineral.
31. La planta debería de localizarse en Escuintla, km 58.5 carretera Siquinalá, para responder a necesidades de logística, como cercanía a proveedores de materia prima y a posibles clientes, así como fácil acceso por carreteras.
32. El proceso de pirólisis de estípites de palma africana, según la tecnología escogida, produce 2 toneladas métricas de biocarbón.
33. Para la operación de la planta de pirólisis se necesitan aproximadamente 27 empleados, que realicen operaciones de empaquetado, manejo del reactor, pilotos de camiones y triturado de estípites.
34. La evaluación de rentabilidad demuestra que la implementación del proceso de pirólisis de estípites de palma africana tiene una rentabilidad requerida de 38.45%, pero vendiendo el biocarbón a un precio de Q5,516.96/t, se tiene una tasa interna de retorno 1.23%.
35. El análisis de rentabilidad indica que para que el biocarbón pueda incursionar en el mercado de energía eléctrica o enmienda de suelos debería de tener un precio competitivo al de los productos sustitutos, pero dichos precios no cubren los costos y gastos de las operación del proceso.
36. Para que la implementación de la planta sea rentable el precio del biocarbón debería ser Q5,516.96/t para cubrir los costos, los gastos y tener utilidades operativas de Q454,033.11 en el año 1 y de 1,089,383.53 en el año 15.

X. RECOMENDACIONES

- Colocar los condensadores de forma diagonal, para evitar que se cree una sobre presión en los tapones del sistema de condensación y generar un desnivel que permita que el líquido condensado fluya hacia los balones de recolección del producto.
- Direccionar el ángulo de salida de la chimenea de tal modo que permita que el producto evacue por un cambio de nivel, evitando que se acumulen los condensados en la manguera.
- Realizar la pirólisis de palma en un rango de humedad de 55% a 70% para obtener un mejor comportamiento del rendimiento de cada fase, permitiendo obtener una tendencia más confiable de la fase que mayor rendimiento posee en una determinada humedad relativa.
- Mantener el carbón dentro de la mufla hasta que se enfríe completamente, dado a que el contacto con un exceso de oxígeno en el ambiente puede provocar la auto ignición del producto. Por ende, debe mantenerse en un ambiente aislado para evitar disminuciones en el rendimiento del sólido.
- Cerciorar que el agua de enfriamiento del sistema se encuentre a 4 °C para ambos condensadores, asegurándose de utilizar suficiente hielo y un medio de recirculación de agua.
- Asegurar de que la reacción ocurra en un ambiente con extracción de gases, libre a la atmósfera o poseer equipo de protección corporal y respiratorio. Al pirolizar la palma se pueden experimentar olores que provocar irritación nasal y respiratoria.
- En las curvas de secado realizar mediciones del diferencial de humedad en intervalos de tiempo menores a 1 hora, para obtener un comportamiento continuo de este proceso.
- Centrifugar la fase líquida para evitar que se formen emulsiones y que las proporciones másicas varíen cuando se inyecten las muestras al cromatógrafo de gases.
- Realizar pirólisis y análisis a otros productos de la palma africana, como la cascarilla o raquis, para determinar si tienen mayores proporciones de ácido acético y fenol.
- Realizar análisis elemental de otros compuestos elementales como azufre, plomo, nitrógeno y fósforo, en espectrofotómetro de llama.
- Realizar estudios sobre la valorización energética de los otros subproductos como fuentes para el calentamiento del reactor y las condiciones de operación del proceso bajo dichos esquemas.

- Verificar los fenómenos descritos en el presente trabajo empleado pruebas experimentales, de escala adecuada, con el objetivo de identificar variaciones en los resultados, establecer el error asociado a las proporciones de fase de producto obtenido por simulación y realizar los ajustes necesarios en el modelo empleado.
- Analizar el efecto de los fenómenos de transferencia de calor y masa dentro del proceso de pirólisis de estípites de palma africana, como resultado de la variación del tamaño de partícula a procesar.
- Garantizar la distribución homogénea de las partículas dentro del reactor y una transferencia de calor adecuada a las mismas, para asegurar una conversión máxima de la biomasa.
- Establecer claramente las bases de diseño del equipo a desarrollar, evaluando a nivel técnico y económico la o las fases de producto a favorecer y los requerimientos para desarrollar el proceso a escala piloto.
- Las propiedades del ácido piroleñoso, rico en ácidos orgánicos, lo convierten en un posible mejorador de suelos para desacidificar suelos. Es necesario previo a aplicarlo realizar pruebas para evaluar que sea seguro para el consumo humano y para las plantas. Asimismo, es importante evaluar que bien se adhiere a la tierra para evitar que llegue a mantos de agua con lo que se pueda provocar una eutrofización.
- Realizar pruebas en plantaciones de palma con los líquidos obtenidos de la pirólisis del estípites, para validar sus propiedades como fungicida, insecticida y fijador de nutrientes; y obtener o no, una dosis de aplicación en los suelos
- Se deben hacer curvas de calibración para obtener la concentración de los componentes obtenidos de los líquidos, evaluar toxicidad y posibles formas de comercialización o la adecuada forma de desecharlos.
- El poder calorífico, determinado para el char, es un dato alto (27.42 ± 0.56 MJ/kg) comparado con otros combustibles sólidos, que lo podría hacer atractivo para generar energía, pero se deben realizar al menos dos análisis más para obtener una muestra estadística representativa, asimismo es necesario obtener datos de materia volátil y contenido químico de las cenizas presentes.
- Es importante buscar un método eficiente para la producción de biocarbón y aplicación en el suelo para que sea rentable para las plantaciones. Es necesario también evaluar el efecto del char en el desarrollo y producción de las palmas africanas. Se recomienda evaluar el char como mejorador de las condiciones fisicoquímicas y biológicas a largo plazo para determinar el alcance de sus beneficios y poder encontrar beneficios adicionales.

- De acuerdo, al contenido de materia orgánica, 76% m/m y su relación C/N de 54.13, son indicios de que podría utilizarse como un mejorador de suelos que promovería la humificación y ayudaría a desacidificar el suelo disminuyen la acidez intercambiable. Previo a aplicarlo en cultivos es necesario realizar una caracterización química de las cenizas para evitar que metales pesados contaminan el suelo y la planta que conllevaría a afectar poblaciones. El producto obtenido posee aplicaciones en alimentos por lo que es necesario realizar todas las pruebas necesarias para asegurarse que no tenga ningún efecto negativo en la salud del consumidor.
- Se le podría buscar otra aplicación al carbón como carbón activado para lo que se necesitaría aplicarle un método químico o con vapor para activarlo y posteriormente evaluarlo para determinar sus capacidades como filtro. Es necesario realizar pruebas con el carbón pulverizado y activado para evaluar que tan buen absorbedor es frente a otros carbones activados.
- De llevarse a cabo una planta de pirólisis para la palma africana, recomienda aprovechar los productos obtenidos de la pirólisis en las mismas plantaciones de palma para mejorar la imagen y obtener ahorros.
- Considerar en la inversión inicial los costos de infraestructura y de instalación de maquinaria para que sea más detallada.
- Automatizar la alimentación de materia prima del reactor ya que al ser este el recurso limitante no puede quedarse en ningún momento sin materia prima para trabajar.
- Utilizar el software para poder determinar las dimensiones o capacidades de la maquinaria para la elaboración de la planta piloto.
- Realizar la construcción de la planta piloto de pirólisis rápida para poder realizar una mayor cantidad de pruebas y así obtener muestras de mayor tamaño y calidad para observar la variación de rendimientos de los subproductos en pirólisis rápida y analizar los tiempos de los procesos.
- Realizar el diseño del reactor y del tornillo con ayuda de un ingeniero mecánico para determinar con más exactitud los requerimientos y especificaciones de dicha maquinaria para poder estimar los costos de estas con mayor exactitud.
- Antes de implementar una planta industrial se recomienda implementar una planta piloto para tener datos más certeros y no solo los de laboratorio.
- Se recomienda considerar en la inversión inicial los costos de infraestructura y de instalación de maquinaria para que sea más detallada.

- Se recomienda automatizar la alimentación de materia prima del reactor ya que al ser este el recurso limitante no puede quedarse en ningún momento sin materia prima para trabajar.
- Se recomienda contemplar los costos de importación de la tecnología del sistema Schottdorf dentro de la inversión para que esta sea más detallada.
- Se recomienda consultar con un agrónomo o un especialista para determinar de una mejor manera la dosis de aplicación, tanto para jardines como para plantaciones agrícolas.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- (FAO), O. d. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Santiago de Chile: FAO.
- (INAB), I. N. (2005). *Estrategia nacional de producción sostenible y uso eficiente de leña 2013-2024*.
- Abad, R. C. (2002). *Introducción a la Simulación y a la Teoría de Colas*. España: NETBIBLO, S.L.
- Abdullah, N., Sulaiman, F., & Aliasak, Z. (2013). A case study of pyrolysis of oil palm wastes in Malaysia. *AIP Conference Proceedings*, 1528(1), 331-336.
- Albaugh. (2017). *Atanor S.C.A.* Obtenido de <http://www.atanor.com.ar/negocios-e-industrias/quimicos-y-petroquimicos/>
- Alvarez Bonilla, F., & Hira, Y. (2009). *Ácidos Piroleñosos*. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA. Costa Rica: InfoAgro. Obtenido de <http://www.infoagro.go.cr/Infoagro/Desplegables/Usos%20del%20C3%81cido%20Pirole%20C3%B1oso.pdf>
- Arévalo, G., & Castellano, M. (2009). *Manual de Fertilizantes y Enmiendas*. Tegucigalpa: Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano.
- Arpe, H.-J., & Weissermel, K. (1978). *Química Orgánica Industrial*. Barcelona, España: Editorial Reverte, S.A. .
- ASD Costa Rica. (s.f.). *El programa de mejoramiento de la palma aceitera de ASD*. Recuperado el 21 de mayo de 2017, de ASD Costa Rica: http://www.asd-cr.com/index.php?option=com_content&view=article&id=54&Itemid=60&lang=es
- Awalludin, M., Sulaiman, O., Hashim, R., & Wan Nadhari, W. (2015). An overview of the oil palm industry in Malaysia and its waste utilization through thermochemical conversion, specifically via liquefaction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(50), 1469-1484.
- Balladares, E. G. (2015). *"Validación del método de cromatografía de gases para la determinación de canabioides en muestra incautadas que ingresaron en el laboratorio de ingeniería química forense del departamento de criminalística de la provincia de Chimborazo"*. Escuela de bioquímica y farmacia, Bioquímica Farmacéutica. Riobamba: Escuela superior Politécnica de Chimborazo.
- Banco de Guatemala. (2012). *BanGuat*. Obtenido de http://www.banguat.gob.gt/Publica/guatemala_en_cifras_2012.pdf
- BanGuat. (13 de septiembre de 2017). *Banco de Guatemala*.
- Barnstead|Thermolyne. (s.f.). OPERATION MANUAL. Obtenido de <https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/ncnr/E133FurnaceThermolyne48000.pdf>
- Bidgwater, A. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy*, 38, 68-94.

- BINOATURS BIOTECHNOLOGIES. (2015). *bionaturbiotech*. (Bionatur, Productor) Recuperado el 3 de 10 de 2017, de H2S: <http://bionaturbiotech.com/depuracion-gases/h2s>
- Brown, J. N. (2009). *Development of a lab-scale auger reactor for biomass fast pyrolysis and process optimization using response surface methodology*. Iowa State University Digital Repository.
- Cai, W., & Liu, R. (2016). Performance of a commercial-scale biomass fast pyrolysis plant for bio-oil production. *Fuel*, 182, 677-686. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.06.030>
- CarbonTerra. (13 de octubre de 2017). Obtenido de <http://www.carbon-terra.eu/en/>
- Casado, E. (2012). *Operaciones Básicas de Laboratorio*. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- CERIGUA. (29 de julio de 2015). *Centro de Reportes Informativos sobre Guatemala*. Recuperado el 13 de octubre de 2017
- CNEE. (2016). *Informe estadístico 2016*. Guatemala: Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
- CNEE. (16 de Septiembre de 2017). *Matriz Energética*. Obtenido de http://www.cnee.gob.gt/wp/?page_id=2436
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica . (2017). Pliegos Tarifarios. Obtenido de <http://www.cnee.gob.gt/Calculadora/pliegos.php>
- de León, P. (2016). *Impactos socioeconómicos del cultivo de palma de aceite en Guatemala*. Guatemala: Central American Business Intelligence.
- Diebold, J. (1994). A unified, global model for the pyrolysis of cellulose. *Biomass and Bioenergy*, 7(1-6), 75-85.
- DOING ENERGY. (2017). *Pyrolysis plant*. Obtenido de http://www.wastetireoil.com/Pyrolysis_plant/Pyrolysis_Plant/waste_tyre_pyrolysis_plant_520.html
- Durán, L., & Henríquez, C. (2007). Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 41-51.
- Ebrigerová, A. (2005). Structural diversity and application potencial of hemicelluloses. *Macromolecular Symposia*, 232(1), 1-12.
- edX, Inc. (2017). *WageningenX: BB03x Advanced Biorefinery*. Recuperado el 27 de junio de 2017, de 2.1.4 Components in (Lignocellulosic) Biomass: https://courses.edx.org/asset-v1:WageningenX+BB03x+2T2017+type@asset+block@BB03x_2.1.4_Lignocellulosic_refinery.pdf
- Espinosa, J. (1999). *Acidez y Encalado de los Suelos*. San José: International Plant Nutrition Institut.
- Gálvez, J. (2013). *Evaluación del Programa de Fertilizantes del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación*. Guatemala: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, URL.
- Garzón, E. (2010). Biocarbón de estípites de palma de aceite: una alternativa para el aprovechamiento de la biomasa y el mejoramiento de la calidad del suelo en fase de renovación. 31.

- Geissman, T. (1974). *Principios de Química Orgánica* (2da edición ed.). Madrid: Editorial Reverté.
- Gómez, A., Klose, W., & Sonia, R. (2008). *Pirólisis de Biomasa Cuesco de Palma de Aceite*. Recuperado el 16 de 07 de 2017, de uni-kassel: <http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-457-8.volltext.frei.pdf>
- GreenPeace. (2010). *Pirólisis: una técnica de tratamiento térmico no tradicional*. Washington, DC: Green Peace.
- Gremial de Palmicultores de Guatemala. (2016). *La Palma en Guatemala*. Recuperado el 1 de mayo de 2017, de <http://www.grepalma.org/palmicultura-en-guatemala?o=4>
- Gremial de Palmicultores de Guatemala. (2016). *La Palma en Guatemala*. Guatemala. Obtenido de <http://www.grepalma.org/para-que-sirve-la-palma-de-aceite?o=4>
- GREPALMA. (13 de septiembre de 2017). *Gremial de Palmicultores de Guatemala*. Obtenido de <http://www.grepalma.org/>
- GSI, G. S. (2013). *Tercerización de Servicios (Outsourcing)*. Panamá. Obtenido de <http://e-gsi.net/servicios/tercerizaci%C3%B3n-de-servicios-outsourcing>
- GTM. (2017). *Mercado del ácido acético*. Diana León, Analista comercial. Guatemala. Obtenido de <http://www.gtm.net/es/industrial/catalogodeproductos.html>
- Guatemala, M. d. (s.f.). *Reglamento para viviendas individuales*. Municipalidad de Guatemala. Guatemala: Municipalidad de Guatemala.
- Guatemala, M. d. (s.f.). *Reglamento para viviendas individuales*. Guatemala: Municipalidad de Guatemala.
- Gustafsson, M. (2013). *PYROLYSIS FOR HEAT PRODUCTION Biochar - the primary byproduct*. Sweden: University of Gävle.
- Harris, D. C. (2010). *Quantitative Chemical Analysis*. Nueva York: W.H. Freeman and Company.
- Hernes, P., & Hedges, J. (2004). Tannin signatures of barks, needles, leaves, cones, and wood at the molecular level. *Geochimica Cosmochimica acta*, 68(6), 1293-1307.
- Hossain, A., & Davies, P. (2013). Pyrolysis liquids and gases as alternative fuels in internal combustion engines - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 165-189.
- Huang, Y., Anderson, M., McIlveen-Wright, D., Lyons, G., McRoberts, W., Wang, Y., . . . Hewitt, N. (2015). Biochar and renewable energy generation from poultry litter waste: A technical and economic analysis based on computational simulations. *Applied Energy*, 160, 656-663.
- INE. (2016). *Caracterización de la República de Guatemala*. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística.
- INTAGRI. (5 de octubre de 2017). Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/manual-de-uso-del-yeso-agricola>
- Intelligen, Inc. (s.f.). *Papers and product literature*. Recuperado el 1 de mayo de 2017, de SuperPro Designer(R) Literature: <http://www.intelligen.com/literature.html>

- Intelligen, Inc. (s.f.). *SuperPro Designer(R)*. Recuperado el 1 de mayo de 2017, de SuperPro Designer overview: http://www.intelligen.com/superpro_overview.html
- Jacobs, F., & Chase, R. (2014). *Administración de Operaciones*. México D.F., México: Mac Graw Hill Education.
- Jonsson, E. (2016). *Slow Pyrolysis in Brista*. Sweden: University of Kungliga Tekniska Högskolan.
- Jonsson, E. (2016). *Slow Pyrolysis in Brista: An Evaluation of Heat and Biochar Production in Sweden*. Energy Technology. Suecia: Kungliga Tekniska Högskolan.
- Kan, T., Strezov, V., & Evans, T. J. (2016). Lignocellulosic biomass pyrolysis: A review of product properties and effects of pyrolysis parameters. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 57, 1126-1140.
- Khor, K., Lim, K., & Zainal Alimuddin, Z. (2010). Laboratory-scale Pyrolysis of Oil Palm Trunks. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 32(6), 518-531.
- Kim S., K. B. (2012). *Bio-oil from the pyrolysis of palm and Jatropha wastes in a fluidized bed*. Republica de Corea: Universidad de Sungkyunkwan.
- Korn, G. (2007). *Advanced Dynamic-State Simulation*. Hoboken, Nueva Jersey: John Wiley.
- Kumar, A. (2015). *Process Modelling and Simulation in Chemical, Biochemical and Environmental Engineering*. Boca Ratón, Florida, Estados Unidos: CRC Press - Taylor & Francis Group.
- La empresa Emgrisa. (14 de 07 de 2016). *Emgrisa*. (G. Enusa, Productor) Recuperado el 16 de 08 de 2017, de Subproducto o Residuo: <http://www.emgrisa.es/publicaciones/subproducto-o-residuo/>
- Lara, H. R. (27 de julio de 2017). Tendencias y Desafíos de la Gerencia de operaciones. *Presentación Gerencia y Operaciones*, 19-23. Guatemala, Guatemala, Guatemala: Unviersidad del Valle.
- Lawrence, J. (2005). *Fundamentos de inversiones*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN.
- Lehmann, J. (2007). Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(7), 381-387. doi:10.1890/1540-9295(2007)5[381:BITB]2.0.CO;2
- Lower and Higher Heating Values of Hydrogen and Other Fuels*. (2015). Obtenido de U.S. Department of Energy: <http://hydrogen.pnl.gov/hydrogen-data/lower-and-higher-heating-values-hydrogen-and-other-fuels>
- Mabrouki, J., Abbasi, M. A., Guedri, K., Omri, A., & Jeguirim, M. (2015). Simulation of biofuel production via fast pyrolysis of palm oil residues. *Fuel*, 159, 819-827.
- Mabrouki, J., Guedri, K., Abbasi, M. A., Omri, A., & Jeguirim, M. (2016). Simulation of the fast pyrolysis of Tunisian biomass feedstocks for bio-fuel production. *Comptes Rendus Chimie*, 19, 466-474.
- Macy, R. (2005). *Química Orgánica Simplificada*. Madrid: Editorial Reverté.
- MAGA. (13 de septiembre de 2017). *Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación*. Recuperado el 2017, de MAGA: <http://web.maga.gob.gt/mision-y-vision/>

- Martín, V. E. (2004). *Proyectos de Inversión en ingeniería (su metodología)*. México D.F, México: Limusa, S.A. de C.V. Grupo noriega Editores.
- Mayer, L. (1975). *Métodos de la Industria Química vol 1*. Madrid: Editorial Reverté.
- Meier, D., van de Beld, B., Bridgwater, A. V., Elliott, D. C., Oasmaa, A., & Preto, F. (2013). State-of-the-art of fast pyrolysis in IEA bioenergy member countries. *Renewable Sustainable Energy Review*, 20, 619-641.
- MEM. (2005). *Atlas temático de la República de Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Energía y Minas.
- MEM. (2005). *Ley y Reglamento de Incentivos de Energía Renovable*. Guatemala: Ministerio de Energía y Minas.
- MEM. (5 de octubre de 2017). Obtenido de <http://www.mem.gob.gt/energia/energias-renovables/>
- MEM. (30 de septiembre de 2017). *Ministerio de Energía y Minas*. Obtenido de MEM: <http://www.mem.gob.gt/hidrocarburos/precios-combustible-nacionales/historico-precios-nacionales/>
- Mettler, M., Vlachos, D., & Dauenhauer, P. (2012). Top ten fundamental challenges of biomass pyrolysis for biofuels. *Energy Environmental Science*, 5, 7797-7809.
- Miller, R., & Bellan, J. (1997). A generalized biomass pyrolysis model based on superimposed cellulose, hemicellulose and lignin kinetics. *Combustion Science Technology*, 126(1-6), 97-137.
- Milosavljevic, V., & Suuberg, E. (1996). Thermal effects in cellulose pyrolysis: Relationship to char formation processes. *Industrial Engineering & Chemistry Research*, 35, 653-662.
- Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación. (2005). *Maga.gob*. Obtenido de <http://web.maga.gob.gt/sigmaga/download/mapa-coverturavegetal.pdf>
- Ministerio de Trabajo. (2017). *Salario Mínimo 2017*. Guatemala. Obtenido de <http://www.mintrabajo.gob.gt/index.php/salariominimo.html>
- Miskolczi N., A. A. (2009). *Fuels by pyrolysis of waste plastics from agricultural and packaging sectors in a pilot scale reactor*. Hungría: Universidad de Pannonia.
- Municipalidad de Guatemala. (2017). *Muniguate*. Obtenido de http://consultas.muniguate.com/consultas/dir_servicios/fiscalizacion.jsp?emp=90&dep=2&tra=161
- Navas, S. (2003). Evaluación fungicida y antitermítica preliminar del líquido piroleñoso. *Tecnología en Marcha*, 16(3), 30.
- n-hexano*: ATSDR. (2016). Obtenido de Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts113.html
- Nurul Islam, M., Zailani, R., & Farid, N. (1998). Pyrolytic oil from fluidised bed pyrolysis of oil. *Renewable Energy*, 12.

- OLADE. (2014). *Acceso a mercados energéticos -fase2- Guatemala*. Guatemala: Organización Latinoamericana de Energía.
- Ooi, L.-H., & Heriansyah. (2005). Palm pulverisation in sustainable oil palm replanting. *Plant Production Science*, 8(3), 345-348.
- Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2011). *Generación de modelos de negocio* (11va. Edición ed.). (L. Vázquez, Trad.) Barcelona, España: Centro Libros PAPP, S.L.U.
- O'Sullivan, A. (1997). Cellulose: the structure slowly unravels. *Cellulose*, 4(3), 173-207.
- (2016). *Política general de Gobierno*. Guatemala: Gobierno de la República de Guatemala.
- Ranzi, E., Amaral, P. E., & Frassoldati, A. (2017). Mathematical Modeling of Fast Biomass Pyrolysis and Bio-Oil Formation. Note II: Secondary Gas-Phase Reactions and Bio-Oil Formation. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(4), 2882-2896. doi:10.1021/acssuschemeng.6b03098
- Ranzi, E., Amaral, P., & Frassoldati, A. (2017). Mathematical Modeling of Fast Biomass Pyrolysis and Bio-Oil Formation. Note I: Kinetic Mechanism of Biomass Pyrolysis. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(4), 2867-2881.
- Ranzi, E., Corbetta, M., Manenti, F., & Pierucci, S. (2014). Kinetic modeling of the thermal degradation and combustion of biomass. *Chemical Engineering Science*, 110, 2-12.
- Razuan R., C. Q. (2010). *Pyrolysis and combustion of oil palm stone and palm kernel cake in fixed-bed reactors*. Inglaterra: Universidad de Sheffield.
- Real Academia Española. (2001). *Diccionario de la Lengua Española*. Madrid, España.
- Rév, E. (2013). *Process modelling and simulation*. Budapest, Hungría.
- Ringer, M., Putsche, V., & Scahill, J. (2006). *Large-scale Pyrolysis Oil Production: A Technology Assessment and Economic Analysis*. EE.UU.: National Renewable Energy Laboratory.
- S. Blanchard, B., & E. Blyler, J. (2016). *System Engineering Management* (5ta Edición ed.). (Wiley, Ed.) Florida, Estados Unidos: John Wiley & Sons.
- Saldarriaga, A. (12 de 10 de 2017). *Planta de pirólisis y producción*. (M. Imeri, Entrevistador)
- Sanchez, G. V. (2006). *Introducción a la Teoría económica; Un enfoque latinoamericano* (2ª edición ed.). México D.F., México: Pearson Educación de México.
- SAT. (2017 de octubre de 2017). *Portal SAT*. Obtenido de <http://portal.sat.gob.gt/sitio/index.php/esat/autoconsultas-aduanas/arancel-integrado.html>
- Scott, D., Majerski, P., Piskorz, J., & Radlein, D. (1999). A second look at fast pyrolysis of biomass - the RTI process. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 51, 23-37.
- Seedland. (29 de septiembre de 2017). *Seedland*. Obtenido de Seedland: <http://lawnfertilizers.com/info/lime-sulphur.html>

- SEGEPLAN. (2013). *Guía sobre costos promedio de construcción y transporte*. Guatemala: Gobierno de Guatemala.
- Serio, M., Bassilakis, R., Kroo, E., & Wójtowicz, M. (2002). Pyrolysis processing of animal manure to produce fuel gases. *Fuel Chemistry Division Preprints*, 47(2), 588-592.
- Serrano, J. F. (2014). ¿Es posible inferir la eficiencia de un proceso de combustión a partir de una inspección visual de llama? *Fonocimientos Fluidos*, 64-70.
- Shibata, M., Varman, M., Tono, Y., Miyafuji, H., & Saka, S. (2008). Characterization in Chemical Composition of the Oil Palm (*Elaeis guineensis*). *Journal of the Japan Institute of Energy*, 87, 383-388.
- Silva, C., Morfin, P., Nery, L., Álvarez, E., & deLeón, I. (2017). Demanda laboral para ingenieros en Guatemala: un análisis de solicitud de empleados desde el años 2013 hasta el año 2016. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*, 20.
- SIMIO. (15 de octubre de 2017). *SIMIO LLC*. Recuperado el 2017, de <https://www.simio.com/about-simio/>
- Skoog, D., West, D., Holler, J., & Crouch, S. (2015). *Fundamentos de química analítica*. México D.F: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.
- smartdraw. (2016). *smartdraw*. Recuperado el 15 de 08 de 2017, de Símbolos de diagramas de flujo: <https://www.smartdraw.com/flowchart/simbolos-de-diagramas-de-flujo.htm>
- Sosa, H. A. (2006). Costo de operación de los vehículos. En *Ingeniería Vial I*. Santo Domingo: Instituto Tecnológico de Santo Domingo. Obtenido de <https://books.google.com.gt/books?id=OcefqXpOiswC&pg=PA26&dq=costos+de+operaci%C3%B3n&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjKjNu4-vXWAhVEYyYKHYhHCK8Q6AEIOzAF#v=onepage&q=costos%20de%20operaci%C3%B3n&f=false>
- Stefanidis, S., Heracleous, E., Patiaka, D., Kalogiannis, K., Michailof, C., & Lappas, A. (2015). Optimization of bio-oil yields by demineralization of low quality biomass. *Biomass Bioenergy*, 83, 105-115.
- Tech, U. (2016). *Goldratt y la Teoría de Restricciones*. ibidem-verlag.
- Thomsen, T., Hauggaard, H., Bruun, E., & Ahrenfeldt, J. (2011). *The potential of pyrolysis technology in climate change mitigation - Influence of process design and - parameters, simulated in SuperPro Designer Software*. Riso Technical University of Denmark, National Laboratory for Sustainable Energy. Technical University of Denmark.
- Tortosa, G., Albuquerque, J., Ait-Baddi, G., & Cegarra, J. (2012). The production of commercial organic amendments of fertilisers by composting of two-phase olive mil waste ("alperujo"). *Journal of Cleaner Production*, 48-55.
- Transparency International*. (13 de septiembre de 2017). Recuperado el 2017, de https://www.transparency.org/news/feature/corruption_perceptions_index_2016

- TRAPP. (2017). Obtenido de <http://www.trapp.com.br/es/produtos/compostaje/trituradores-de-ramas,-truncos-y-residuos-organicos./producto/tr-200>
- Tresury, U. D. (13 de octubre de 2017). *U.S. Department Of Tresury*. Obtenido de U.S. Department Of Tresury: <https://www.treasury.gov/resource-center/data-chart-center/interest-rates/Pages/TextView.aspx?data=longtermrate>
- Urquijo, J. (2005). *Trabajo fin de carrera: Seguridad Alimentaria y Desarrollo Sostenible en Zonas Marginadas de Guatemala*. Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Proyectos y Planificación Rural. Madrid: Esucela Superior de Ingenieron Agrónomos.
- USAC. (2017). *La palma africana en Guatemala: expansión y grupos de capital*. Guatemala: El Observador.
- Van Horne, J. C. (2002). *Fundamentos de Administración Financiera*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Wu, D., Zhang, A., Xiao, L., Ba, Y., Ren, H., & Liu, L. (2017). Pyrolysis Characteristics of Municipal Solid Waste in Oxygen-free Circumstance. *Energy Procedia*, 105, 1255-1262.
- Yakub, M., Abdalla, A., Feroz, K., Suzana, Y., Ibraheem, A., & Chin, S. (2015). Pyrolysis of Oil Palm Residues in a Fixed Bed Tubular Reactor. *Journal of Power and Energy Engineering*, 3, 185-193.
- Zanzi, R., Sjöström, K., & Björnbom, E. (2002). Rapid pyrolysis of agricultural residues at high temperature. *Biomass and Bioenergy*, 23, 357-366.

XII. ANEXOS

A. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE PRODUCTOS OBTENIDOS EN PRUEBAS A ESCALA LABORATORIO

A continuación, se presentan diferentes resultados para cada uno de los análisis realizados a los diferentes productos obtenidos durante la fase de experimentación a escala laboratorio.

Tabla 104. Especificaciones de la mufla utilizada en las pruebas 1 a 4.

Marca	Thermo Scientific
Modelo	F48025-60-80
Amperaje	15 A
Dimensiones interiores	25 x 18 x 13 cm
Dimensiones exteriores	50 x 34 x 19 cm
Frecuencia	60 Hz
Consumo de energía	1800W
Bandejas	Acero inoxidable
Rango de temperatura	100°C a 1200°C
Voltaje	120V

Tabla 105. Especificaciones de la mufla utilizada en las pruebas 5 a 7

Marca	Thermo Scientific
Modelo	F6030CM-33-AVL
Amperaje	18.3 A
Certificaciones	Aprobado CSA. Marcado CE
Dimensiones interiores	25 x 33 x 18 cm
Dimensiones exteriores	51 x 48.5 x 53.3 cm
Frecuencia	60 Hz
Consumo de energía	4400W
Bandejas	Acero inoxidable
Control de temperatura	Programable digital con 4 programas
Rango de temperatura	100°C a 1200°C
Voltaje	240V

Tabla 106. Especificaciones del reactor de lecho fijo para la pirólisis lenta.

Material	Acero inoxidable 304 DN 50
Diámetro	9.5 cm
Largo	21.6 cm
Brida	Acero inoxidable 304 DN 50
Pernos	4
Apertura de pernos	0.635 cm

Figura 83. Incremento de temperatura con el tiempo para la prueba 1.

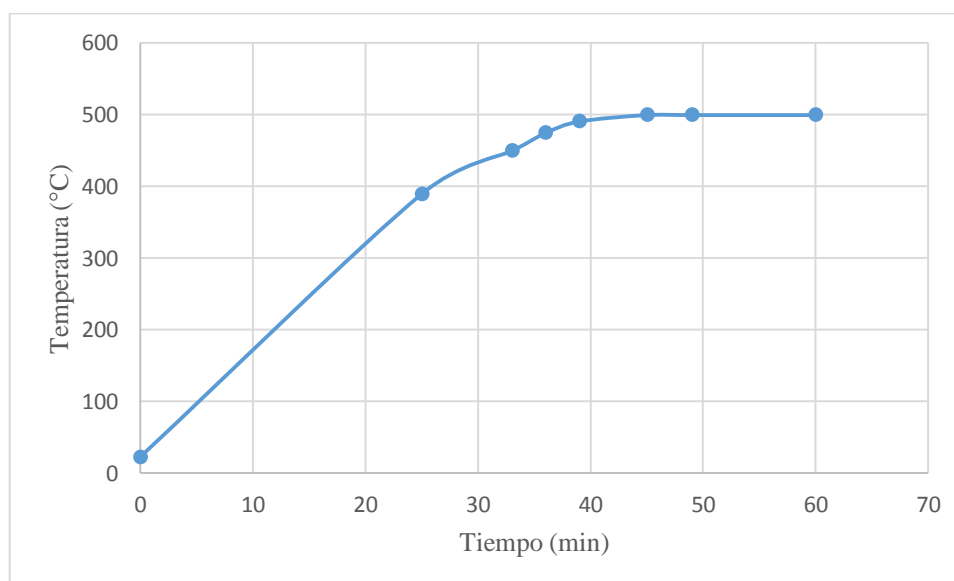


Figura 84. Incremento de temperatura con el tiempo para la prueba 2.

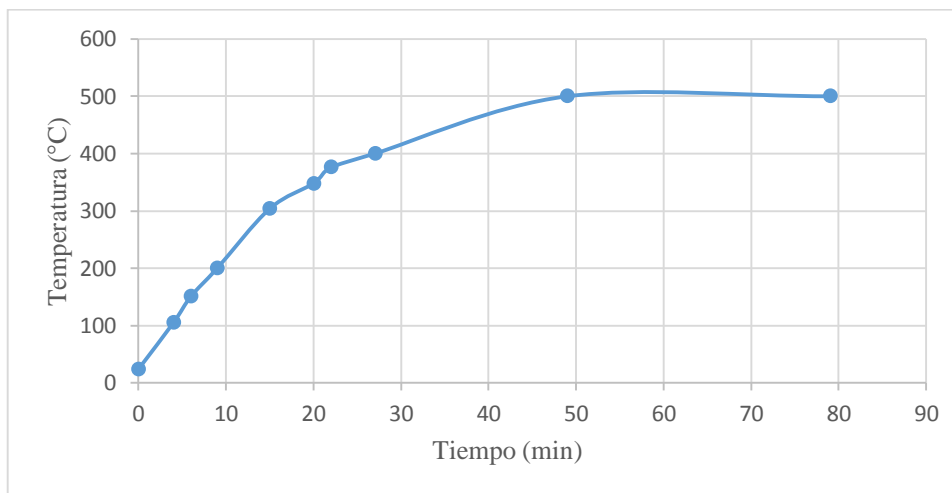


Figura 85. Incremento de temperatura con el tiempo para la prueba 3.

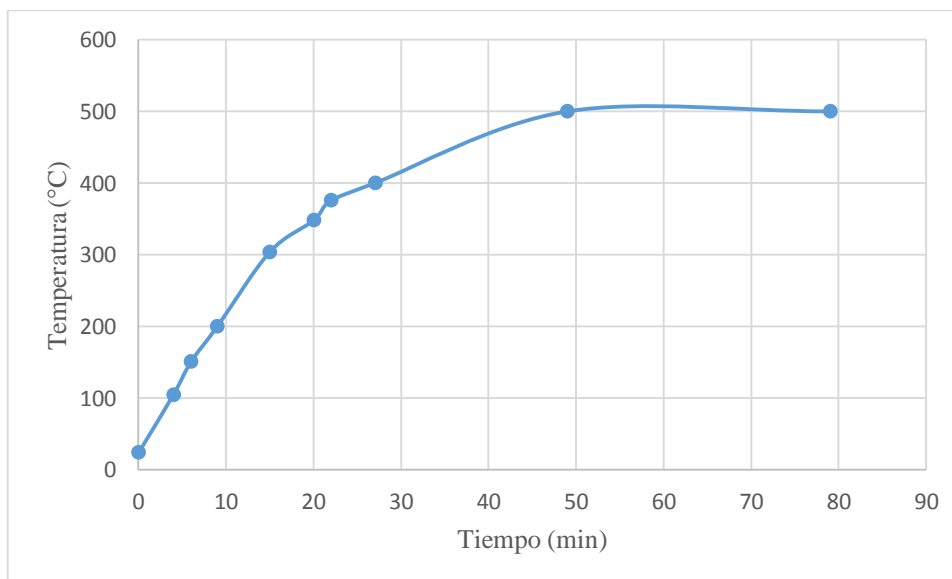


Figura 86. Incremento de temperatura con el tiempo para la prueba 4.

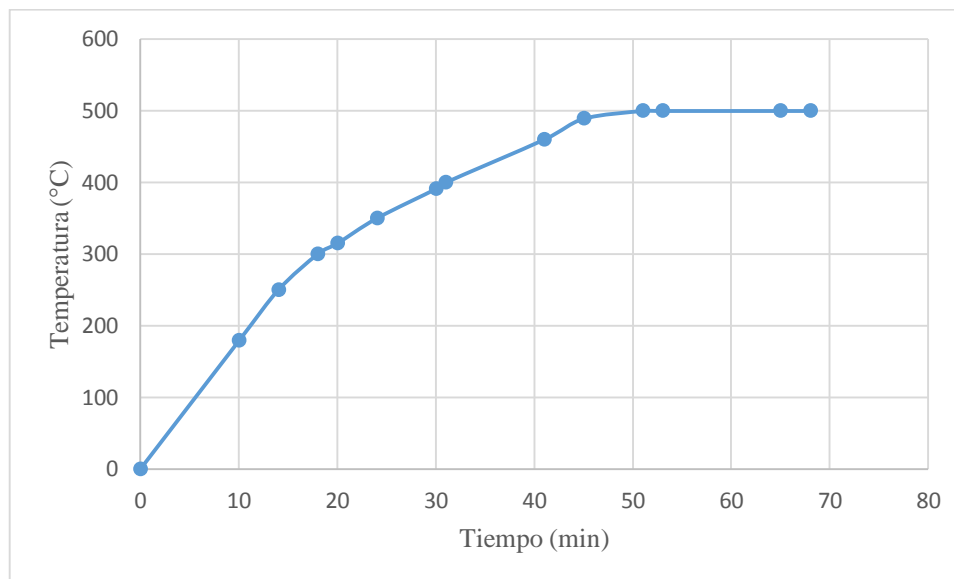


Figura 87. Incremento de temperatura con el tiempo para la prueba 5.

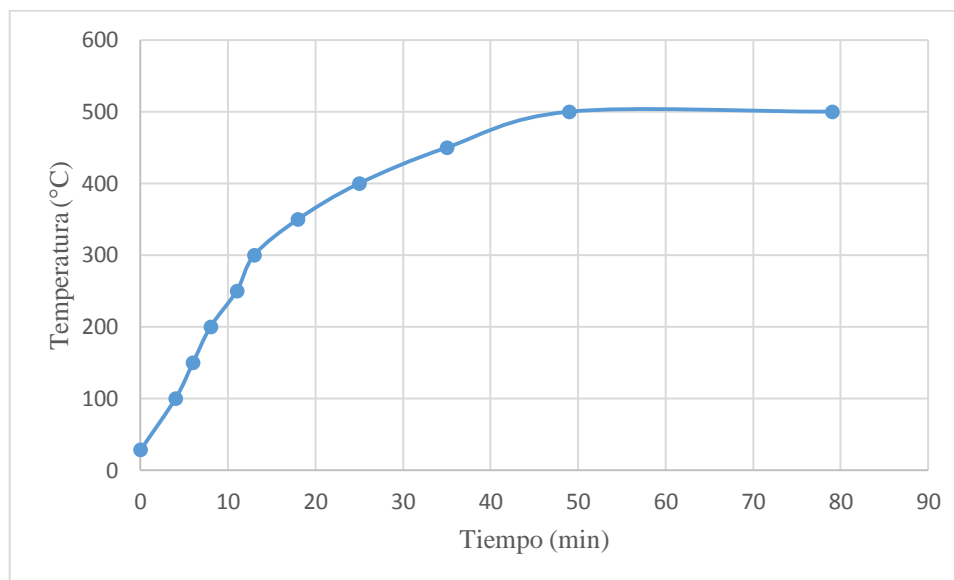


Figura 88. Incremento de temperatura con el tiempo para la prueba 6.

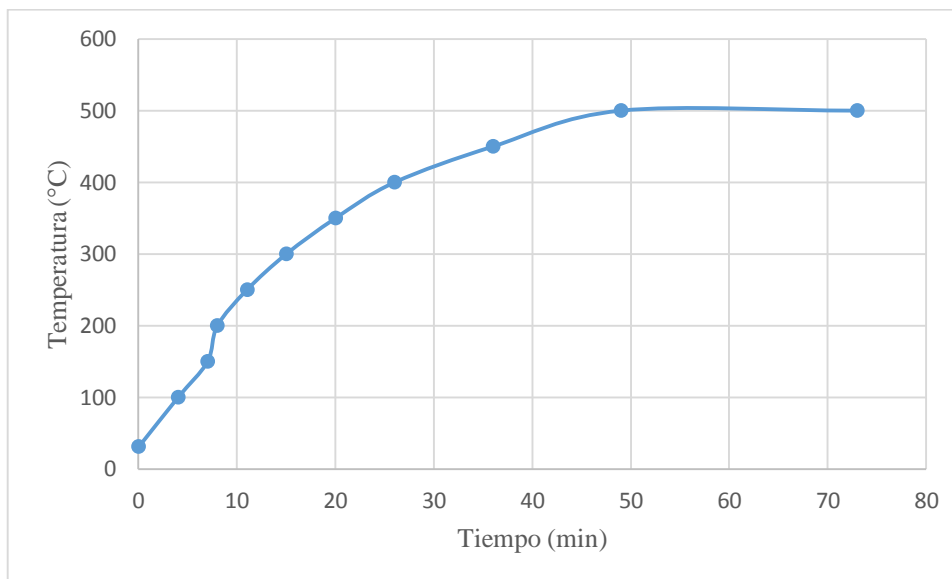


Figura 89. Incremento de temperatura con el tiempo para la prueba 7.

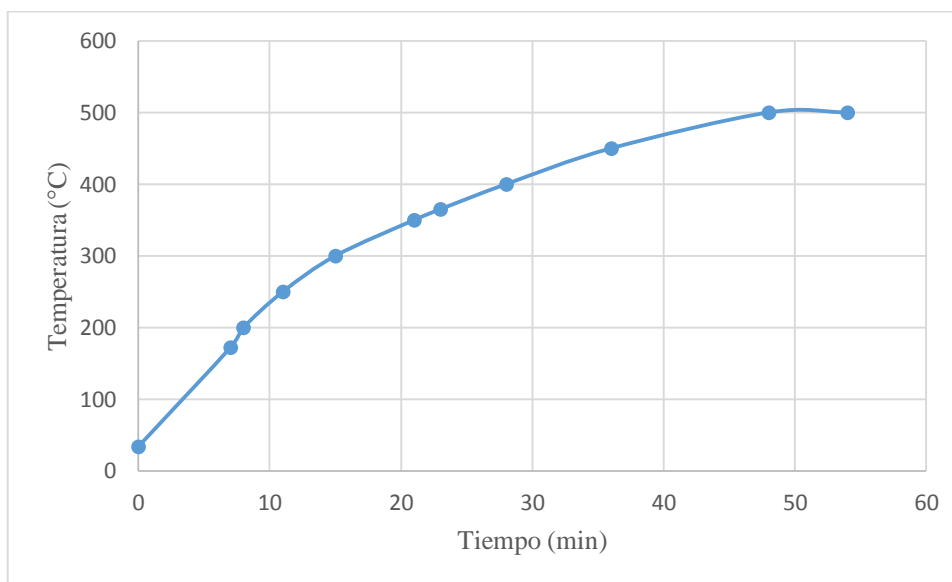


Tabla 107. Tasa de calentamiento según la mufla utilizada.

Prueba	Mufla	Tasa de calentamiento ($\pm 0.03^{\circ}\text{C}/\text{min}$)
1		10.60 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$
2	F48025-60-80	9.71 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$
3		9.83 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$
4		9.80 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$
5		9.63 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$
6	F6030CM-33-AVL	9.57 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$
7		9.71 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$

1. Cromatogramas de gases

Figura 90. Cromatograma de gases para fase acuosa – corrida 1

File :C:\msdchem\1\DATA\Ing Quimica\2017\170120-00002.D
Operator : AdeM
Acquired : 20 Jan 2017 9:29 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Instrument : GC-MSD
Sample Name: Extracto acuoso
Misc Info : Extracto acuoso
Vial Number: 6

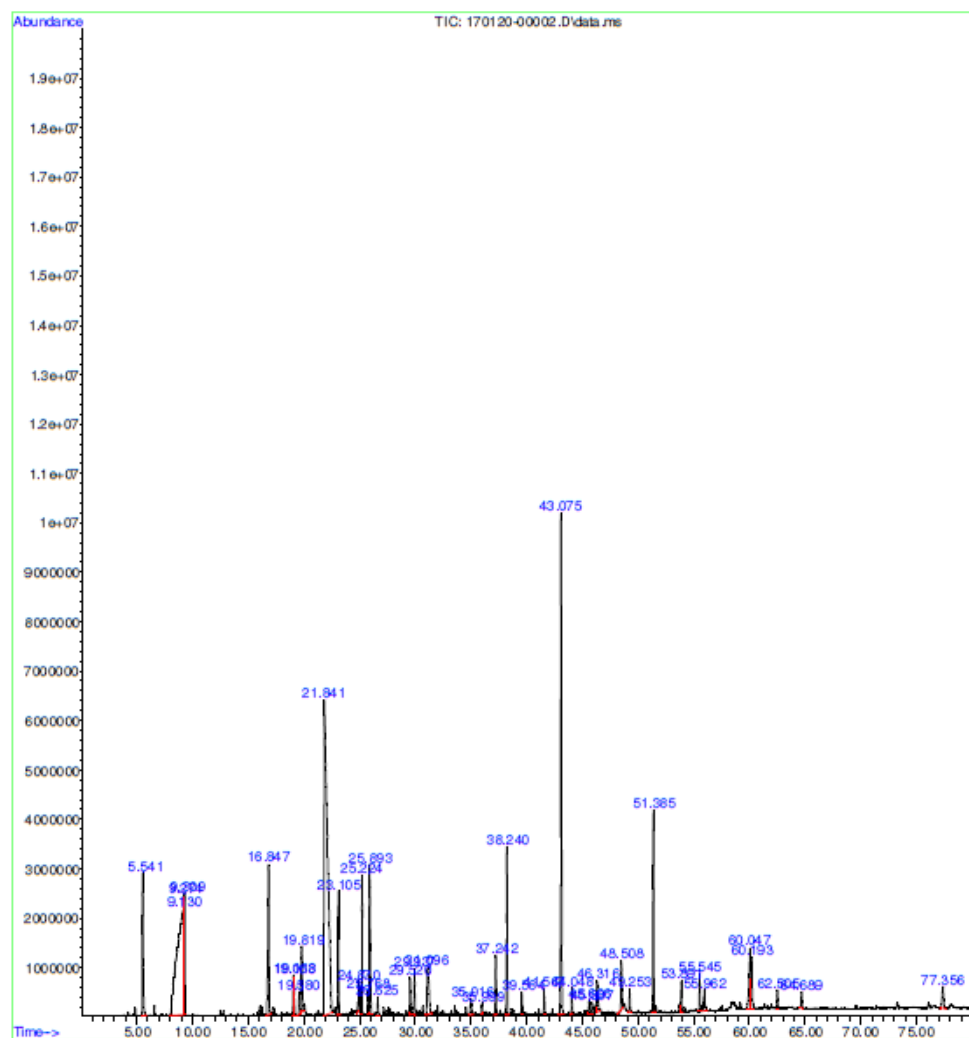


Figura 91. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 1.

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Inq Quimica\2017\
 Data File : 170120-00002.D
 Title :
 Acq On : 20 Jan 2017 9:29
 Operator : AdeM
 Sample : Extracto acuoso
 Misc : Extracto acuoso
 ALS Vial : 6 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	5.541	2.81	C:\Database\NIST05a.L			
			Methyl Alcohol	31	000067-56-1	37
			Methyl Alcohol	29	000067-56-1	25
			Methyl Alcohol	30	000067-56-1	4
2	9.130	16.02	C:\Database\NIST05a.L			
			Ammonia	6	007664-41-7	2
			Water	7	007732-18-5	1
3	9.275	4.02	C:\Database\NIST05a.L			
			Ammonia	6	007664-41-7	2
			Water	7	007732-18-5	1
4	9.307	1.52	C:\Database\NIST05a.L			
			Ammonia	6	007664-41-7	2
			Water	7	007732-18-5	1
5	16.849	4.04	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Propanone, 1-hydroxy-	801	000116-09-6	91
			2-Propanone, 1-hydroxy-	799	000116-09-6	90
			2-Propanone, 1-hydroxy-	800	000116-09-6	72
6	19.069	0.56	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one	1152	000930-30-3	94
			2-Cyclopenten-1-one	1151	000930-30-3	91
			1H-Pyrazole, 3-methyl-	1123	001453-58-3	49
7	19.114	0.62	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one	1151	000930-30-3	93
			2-Cyclopenten-1-one	1152	000930-30-3	93
			1H-Pyrazole, 3-methyl-	1123	001453-58-3	46
8	19.578	0.41	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2758	001120-73-6	91
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2760	001120-73-6	64
			Furan, 2,4-dimethyl-	2741	003710-43-8	64
9	19.819	2.31	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Hydroxy-2-butanone	1999	005077-67-8	59
			Methyl propionate	1988	000554-12-1	47
			Methyl propionate	1984	000554-12-1	47
10	21.843	26.24	C:\Database\NIST05a.L			
			Acetic acid	258	000064-19-7	94
			Acetic acid	254	000064-19-7	91
			Acetic acid	256	000064-19-7	91
11	23.103	1.99	C:\Database\NIST05a.L			
			Furfural	2677	000098-01-1	64
			Furfural	2676	000098-01-1	52
			3-Furaldehyde	2678	000498-60-2	50
12	24.868	0.44	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5617	001192-62-7	91
			Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5616	001192-62-7	91
			Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5614	001192-62-7	91

Figura 92. Continuación de figura comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa - corrida 1
(Continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Inq Quimica\2017\
 Data File : 170120-00002.D
 Title :
 Acq On : 20 Jan 2017 9:29
 Operator : AdeM
 Sample : Extracto acuoso
 Misc : Extracto acuoso
 ALS Vial : 6 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
13	25.223	2.26	C:\Database\NIST05a.L Furan, tetrahydro-2-(methoxymethyl)- Propanoic acid, 2-methyl-, anhydride Butanoic acid, anhydride	7975 28761 28726	019354-27-9 000097-72-3 000106-31-0	64 64 64
14	25.769	0.54	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl- 2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl- 2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2762 2759 2760	002758-18-1 002758-18-1 001120-73-6	95 94 80
15	25.892	3.18	C:\Database\NIST05a.L Propanoic acid Propanoic acid Propanoic acid	793 794 795	000079-09-4 000079-09-4 000079-09-4	95 80 72
16	26.624	0.28	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl- Cyclopentene, 1-methyl- Cyclopentene, 1-methyl-	5707 1208 1218	001121-05-7 000693-89-0 000693-89-0	94 50 46
17	29.521	0.75	C:\Database\NIST05a.L Butanoic acid Butanoic acid Pentanoic acid	1983 1980 4153	000107-92-6 000107-92-6 000109-52-4	91 91 56
18	29.935	0.88	C:\Database\NIST05a.L Butyrolactone Butyrolactone Butyrolactone	1625 1626 1624	000096-48-0 000096-48-0 000096-48-0	94 94 90
19	31.095	2.36	C:\Database\NIST05a.L 2-Furanmethanol 2-Furanmethanol 3-Furanmethanol	3020 3015 3016	000098-00-0 000098-00-0 004412-91-3	91 91 91
20	35.016	0.46	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Cyclopentanedione 2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy- 3H-Pyrazol-3-one, 1,2-dihydro-5-methyl-	3030 3049 2983	003008-40-0 010493-98-8 004344-87-0	80 80 64
21	35.999	0.13	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3,4-dimethyl- 2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy- Benzene, 1-fluoro-2-methoxy-	10862 10847 10945	021835-00-7 021835-01-8 000321-28-8	87 72 53
22	37.240	0.95	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl- 2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl- 1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl-	6245 6246 6231	000080-71-7 000080-71-7 000765-70-8	94 91 91

Figura 93. Continuación de figura comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 1
(Continuación)

```

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Inq Quimica\2017\
Data File : 170120-00002.D
Title      :
Acq On    : 20 Jan 2017  9:29
Operator   : AdeM
Sample    : Extracto acuoso
Misc      : Extracto acuoso
ALS Vial  : 6   Sample Multiplier: 1

Search Libraries:  C:\Database\NIST05a.L           Minimum Quality:  0

Unknown Spectrum:  Apex
Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

```

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
23	38.241	2.69	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2-methoxy- Phenol, 2-methoxy- Phenol, 2-methoxy-	10080 10081 10079	000090-05-1 000090-05-1 000090-05-1	97 94 91
24	39.583	0.36	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hyd roxy- 2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hyd roxy- Hydrazine, (3-fluorophenyl)-	10847 10848 10800	021835-01-8 021835-01-8 002924-16-5	95 90 72
25	41.566	0.39	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2-methoxy-4-methyl- 2-Methoxy-5-methylphenol Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	16763 16728 16758	000093-51-6 001195-09-1 000093-51-6	95 95 94
26	43.076	10.12	C:\Database\NIST05a.L Phenol Phenol Phenol	2533 2532 2529	000108-95-2 000108-95-2 000108-95-2	95 95 94
27	44.045	0.38	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 4-ethyl-2-methoxy- Phenol, 4-ethyl-2-methoxy- Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	24917 24916 24911	002785-89-9 002785-89-9 002785-89-9	91 91 90
28	45.605	0.27	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 4-methyl- Phenol, 3-methyl- Phenol, 3-methyl-	5230 5234 5227	000106-44-5 000108-39-4 000108-39-4	92 64 60
29	45.865	0.21	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 4-methyl- Phenol, 3-methyl- Phenol, 4-methyl-	5235 5227 5230	000106-44-5 000108-39-4 000106-44-5	95 95 95
30	46.315	1.03	C:\Database\NIST05a.L 1,3-Propanediamine, N-methyl- Diazene, [1-(2,2-dimethylhydrazino)ethyl]ethyl- 2-Propanamine	1949 19823 244	006291-84-5 051576-31-9 000075-31-0	64 59 53
31	48.507	1.12	C:\Database\NIST05a.L Butanoic acid, anhydride Butanoic acid, anhydride Propanoic acid, 2-methyl-, anhydri de	28728 28729 28761	000106-31-0 000106-31-0 000097-72-3	78 78 78
32	49.253	0.39	C:\Database\NIST05a.L Ethanone, 1-(2-hydroxy-5-methylphe nyl)- Thymol 1-Pentanone, 1-(p-anisyl)-3-methyl	23537 22702 61304	001450-72-2 000089-83-8 066333-82-2	72 64 64
33	51.387	3.37	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2,6-dimethoxy-	26272	000091-10-1	97

solventes SCAN.M Fri Jan 20 11:37:13 2017

Figura 94. Continuación de figura comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 1
(Continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Inq Quimica\2017\
 Data File : 170120-00002.D
 Title :
 Acq On : 20 Jan 2017 9:29
 Operator : AdeM
 Sample : Extracto acuoso
 Misc : Extracto acuoso
 ALS Vial : 6 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			3-Amino-2,6-dimethoxypyridine	26163	028020-37-3	80
			Benzene, 1-methoxy-2-(methylthio)-	26352	002388-73-0	64
34	53.893	0.51	C:\Database\NIST05a.L 3-Hydroxy-4-methoxybenzoic acid	35418	000645-08-9	80
			Benzoic acid, 4-hydroxy-3-methoxy-	35424	000121-34-6	64
			Benzenamine, 4-methoxy-2-nitro-	35291	000096-96-8	64
35	55.544	0.59	C:\Database\NIST05a.L Ethanone, 1-(2,6-dihydroxy-4-methoxyphenyl)-	45095	007507-89-3	64
			2,4,6-(1H,3H,5H)-Pyrimidinetrione,	44961	027406-43-5	56
			5-(2-methylpropylidene)- Phenol, 3-[(trimethylsilyl)oxy]-	45160	017882-01-8	50
36	55.963	0.71	C:\Database\NIST05a.L Benzenecarboxylic acid	9580	000065-85-0	95
			Benzenecarboxylic acid	9581	000065-85-0	95
			Benzoic acid, 2-benzoylhydrazide	85069	000787-84-8	42
37	60.047	2.25	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Benzenedicarboxylic acid, diisooctyl ester	168521	027554-26-3	68
			1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	110586	004376-20-9	64
			1,2-Benzenedicarboxylic acid, dicyclohexyl ester	142441	000084-61-7	50
38	60.193	1.37	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	110586	004376-20-9	91
			Di-n-octyl phthalate	168495	000117-84-0	72
			1,2-Benzenedicarboxylic acid, diisooctyl ester	168521	027554-26-3	64
39	62.504	0.32	C:\Database\NIST05a.L 4-Amino-2,3-xyleneol	16147	003096-69-3	64
			Benzoic acid, 4-hydroxy-3-methoxy-	45079	000306-08-1	59
			6-Amino-2,4-dimethylphenol	16182	041458-65-5	53
40	64.687	0.36	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	52459	006627-88-9	93
			Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	52464	006627-88-9	86
			2-Propenoic acid, 3-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-	52319	001135-24-6	68
41	77.355	0.78	C:\Database\NIST05a.L 2-Pentanone, 1-(2,4,6-trihydroxyphenyl)	63972	1000116-22-3	72
			1-Butanone, 1-(2,4,6-trihydroxy-3-methylphenyl)-	63979	001509-06-4	72
			Desaspidinol	63949	000437-72-9	64

solventes SCAN.M Fri Jan 20 11:37:13 2017

Figura 95. Cromatograma de gases para fase orgánica – corrida 1

File : C:\msdchem\1\DATA\Ing Quimica\2017\170120-00001.D
Operator : AdeM
Acquired : 20 Jan 2017 8:00 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Instrument : GC-MSD
Sample Name: Extracto organico
Misc Info : Extracto organico
Vial Number: 5

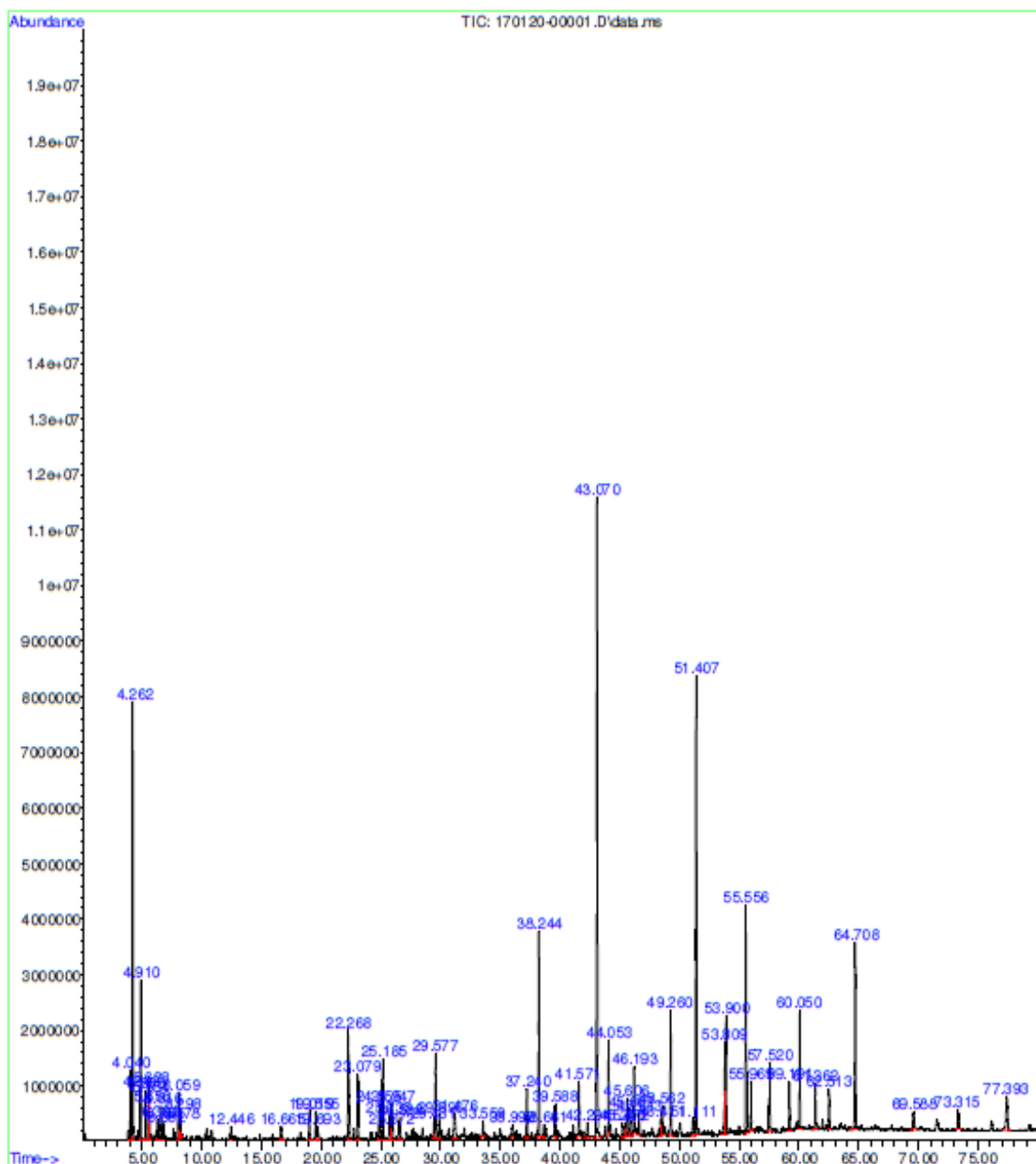


Figura 96. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 1

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Inq Quimica\2017\
 Data File : 170120-00001.D
 Title :
 Acq On : 20 Jan 2017 8:00
 Operator : AdeM
 Sample : Extracto organico
 Misc : Extracto organico
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0
 Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	4.040	0.48	C:\Database\NIST05a.L			
			Hexane	1791	000110-54-3	95
			Hexane	1790	000110-54-3	91
			Hexane	1792	000110-54-3	91
2	4.263	3.20	C:\Database\NIST05a.L			
			Heptane	3885	000142-82-5	95
			Heptane	3886	000142-82-5	95
			Heptane	3887	000142-82-5	64
3	4.841	0.49	C:\Database\NIST05a.L			
			Acetone	208	000067-64-1	86
			Acetone	210	000067-64-1	86
			Acetone	211	000067-64-1	78
4	4.909	1.46	C:\Database\NIST05a.L			
			Acetic acid, methyl ester	806	000079-20-9	91
			Acetic acid, methyl ester	805	000079-20-9	72
			2-Propanone, 1-hydroxy-	800	000116-09-6	9
5	5.268	0.50	C:\Database\NIST05a.L			
			Furan, 2-methyl-	1144	000534-22-5	94
			Furan, 3-methyl-	1145	000930-27-8	91
			Furan, 2-methyl-	1147	000534-22-5	91
6	5.532	0.79	C:\Database\NIST05a.L			
			Methyl Alcohol	29	000067-56-1	25
			Methyl Alcohol	30	000067-56-1	9
			Formic acid, ethyl ester	802	000109-94-4	9
7	5.627	0.62	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Butanone	635	000078-93-3	80
			2-Butanone	637	000078-93-3	80
			2-Butanone	636	000078-93-3	72
8	5.655	0.30	C:\Database\NIST05a.L			
			Methyl propionate	1990	000554-12-1	93
			Methyl propionate	1991	000554-12-1	87
			Oxalic acid, ethyl isobutyl ester	39331	1000309-36-7	12
9	6.301	0.24	C:\Database\NIST05a.L			
			Furan, 2,5-dimethyl-	2739	000625-86-5	91
			Furan, 2,5-dimethyl-	2742	000625-86-5	91
			Furan, 2,5-dimethyl-	2743	000625-86-5	91
10	6.615	0.40	C:\Database\NIST05a.L			
			2,3-Butanedione	1632	000431-03-8	90
			2,3-Butanedione	1636	000431-03-8	86
			2-Pentanone	1684	000107-87-9	9
11	6.765	0.21	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Pentanone	1684	000107-87-9	90
			2-Pentanone	1683	000107-87-9	72
			2-Pentanone	1679	000107-87-9	59
12	6.851	0.18	C:\Database\NIST05a.L			
			Butanoic acid, methyl ester	4200	000623-42-7	93

solventes SCAN.M Fri Jan 20 11:34:24 2017

Figura 97. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 1 (Continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Inq Quimica\2017\
 Data File : 170120-00001.D
 Title :
 Acq On : 20 Jan 2017 8:00
 Operator : AdeM
 Sample : Extracto organico
 Misc : Extracto organico
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			Butanoic acid, methyl ester	4205	000623-42-7	90
			Butanoic acid, methyl ester	4206	000623-42-7	90
13	8.061	0.62	C:\Database\NIST05a.L			
			Toluene	2395	000108-88-3	95
			Toluene	2400	000108-88-3	91
			Toluene	2396	000108-88-3	91
14	8.179	0.57	C:\Database\NIST05a.L			
			Ammonia	6	007664-41-7	2
			Water	7	007732-18-5	1
15	8.298	0.38	C:\Database\NIST05a.L			
			2,3-Pentanedione	3583	000600-14-6	59
			2,3-Pentanedione	3584	000600-14-6	52
			2-Pentene, 2-methoxy-	3760	061142-47-0	46
16	12.446	0.22	C:\Database\NIST05a.L			
			Cyclopentanone	1369	000120-92-3	91
			Cyclopentanone	1376	000120-92-3	91
			2-Amino-oxazole	1308	004570-45-0	59
17	16.667	0.47	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Propanone, 1-hydroxy-	799	000116-09-6	72
			2-Propanone, 1-hydroxy-	801	000116-09-6	72
			2-Propanone, 1-hydroxy-	800	000116-09-6	72
18	19.019	0.65	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one	1152	000930-30-3	94
			2-Cyclopenten-1-one	1151	000930-30-3	91
			1H-Pyrazole, 3-methyl-	1123	001453-58-3	52
19	19.555	0.53	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2758	001120-73-6	91
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2761	001120-73-6	90
			Furan, 2,4-dimethyl-	2741	003710-43-8	59
20	19.692	0.51	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Hydroxy-2-butanone	1999	005077-67-8	86
			1-Hydroxy-2-butanone	1996	005077-67-8	72
			Methyl propionate	1987	000554-12-1	40
21	22.266	4.26	C:\Database\NIST05a.L			
			Acetic acid	258	000064-19-7	94
			Acetic acid	256	000064-19-7	91
			Acetic acid	254	000064-19-7	91
22	23.081	1.41	C:\Database\NIST05a.L			
			Furfural	2677	000098-01-1	90
			Furfural	2676	000098-01-1	90
			Furfural	2674	000098-01-1	90
23	24.855	0.82	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5616	001192-62-7	87
			Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5615	001192-62-7	87
			Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5617	001192-62-7	83

solventes SCAN.M Fri Jan 20 11:34:24 2017

Figura 98. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 1 (Continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Inq Quimica\2017\
 Data File : 170120-00001.D
 Title :
 Acq On : 20 Jan 2017 8:00
 Operator : AdeM
 Sample : Extracto organico
 Misc : Extracto organico
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0
 Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
24	25.187	1.58	C:\Database\NIST05a.L Butanoic acid, (tetrahydro-2-furan yl)methyl ester	38339	002217-33-6	64
			Furan, tetrahydro-2-(methoxymethyl)-	7975	019354-27-9	64
			Propanoic acid, 2-methyl-, anhydri de	28761	000097-72-3	64
25	25.737	0.65	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-	2759	002758-18-1	94
			2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-	2762	002758-18-1	87
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2760	001120-73-6	80
26	25.873	0.25	C:\Database\NIST05a.L 2-Butanone, 1-(acetyloxy)-	12830	001575-57-1	87
			2-Butanone, 1-(acetyloxy)-	12826	001575-57-1	83
			Sulfurous acid, 2-propyl heptyl es ter	72266	1000309-11-8	59
27	25.946	0.93	C:\Database\NIST05a.L Propanoic acid	793	000079-09-4	95
			Propanoic acid	795	000079-09-4	91
			N,N-Dimethylformamide diisopropyl acetal	39942	018503-89-4	45
28	26.588	0.52	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl-	5707	001121-05-7	94
			2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl-	5710	001121-05-7	87
			Pentalene, octahydro-, cis-	5827	001755-05-1	64
29	29.430	0.33	C:\Database\NIST05a.L Acetic acid, phenyl ester	15761	000122-79-2	87
			Benzene, propoxy-	15827	000622-85-5	72
			Benzene, propoxy-	15831	000622-85-5	64
30	29.576	1.98	C:\Database\NIST05a.L Benzoic acid, methyl ester	15767	000093-58-3	94
			Benzoic acid, methyl ester	15768	000093-58-3	94
			Benzoic acid, methyl ester	15769	000093-58-3	91
31	29.894	0.67	C:\Database\NIST05a.L Butyrolactone	1626	000096-48-0	94
			Butyrolactone	1625	000096-48-0	94
			Butyrolactone	1620	000096-48-0	94
32	31.177	1.27	C:\Database\NIST05a.L 2-Furanmethanol	3020	000098-00-0	91
			2-Furanmethanol	3015	000098-00-0	91
			3-Furanmethanol	3019	004412-91-3	90
33	33.561	0.30	C:\Database\NIST05a.L 3,5-Dimethyl-3-heptene	11189	059643-68-4	72
			4-Octen-3-one	10974	014129-48-7	64
			Thiophene, 2-propyl-	10869	001551-27-5	64
34	35.999	0.20	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3,4	10862	021835-00-7	81

solventes SCAN.M Fri Jan 20 11:34:24 2017

Figura 99. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 1 (Continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Inq Quimica\2017\
 Data File : 170120-00001.D
 Title :
 Acq On : 20 Jan 2017 8:00
 Operator : AdeM
 Sample : Extracto organico
 Misc : Extracto organico
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			-dimethyl-			
			Benzene, 1-fluoro-2-methoxy-	10949	000321-28-8	68
			Benzene, 1-fluoro-2-methoxy-	10945	000321-28-8	64
35	37.240	1.06	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl-	6247	000080-71-7	91
			1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl-	6231	000765-70-8	90
			2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl-	6245	000080-71-7	90
36	38.246	4.30	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-methoxy-	10080	000090-05-1	97
			Phenol, 2-methoxy-	10081	000090-05-1	94
			Phenol, 2-methoxy-	10079	000090-05-1	91
37	38.660	0.26	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 4-methoxy-3-methyl-	16755	014786-82-4	93
			2-Methoxy-6-methylphenol	16727	002896-67-5	90
			Phenol, 2-methoxy-3-methyl-	16756	018102-31-3	86
38	39.588	0.64	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy-	10847	021835-01-8	95
			2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy-	10848	021835-01-8	91
			Hydrazine, (3-fluorophenyl)-	10801	002924-16-5	64
39	41.571	1.16	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	16763	000093-51-6	95
			Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	16758	000093-51-6	95
			2-Methoxy-5-methylphenol	16728	001195-09-1	94
40	42.294	0.49	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Hydroxy-3-propyl-2-cyclopenten-1-one	17852	025684-04-2	87
			Phenol, 4-(methylthio)-para-Methoxybenzenethiol	17749	001073-72-9	41
				17755	000696-63-9	38
41	43.072	17.27	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol	2533	000108-95-2	95
			Phenol	2532	000108-95-2	95
			Phenol	2529	000108-95-2	94
42	44.054	1.81	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	24917	002785-89-9	91
			Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	24911	002785-89-9	90
			Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	24916	002785-89-9	87
43	45.242	0.28	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-ethyl-	9606	000090-00-6	95
			Phenol, 2-ethyl-	9598	000090-00-6	93
			Phenol, 2-ethyl-	9607	000090-00-6	91
44	45.474	0.34	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2,5-dimethyl-	9623	000095-87-4	96
			Phenol, 2,5-dimethyl-	9630	000095-87-4	93

solventes SCAN.M Fri Jan 20 11:34:24 2017

Figura 100. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 1 (Continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Inq Quimica\2017\
 Data File : 170120-00001.D
 Title :
 Acq On : 20 Jan 2017 8:00
 Operator : AdeM
 Sample : Extracto organico
 Misc : Extracto organico
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			Phenol, 2,4-dimethyl-	9620	000105-67-9	93
45	45.605	0.98	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2-ethyl- Phenol, 2-ethyl- Phenol, 4-methyl-	9606 9607 5235	000090-00-6 000090-00-6 000106-44-5	64 58 55
46	45.869	0.60	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 4-methyl- Phenol, 3-methyl- Phenol, 3-methyl-	5235 5227 5236	000106-44-5 000108-39-4 000108-39-4	95 95 94
47	46.192	1.42	C:\Database\NIST05a.L Benzoic acid, 4-methoxy-, methyl ester Benzoic acid, 4-methoxy-, methyl ester 4-Methoxybenzhydrazide	34027 34032 33824	000121-98-2 000121-98-2 003290-99-1	94 91 90
48	46.611	0.50	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2-methoxy-4-propyl- 6-Amino-2,4-dimethylphenol 4-Amino-2,3-xyleneol	33184 16182 16147	002785-87-7 041458-65-5 003096-69-3	90 59 59
49	48.412	0.35	C:\Database\NIST05a.L Eugenol Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)- Eugenol	31714 31883 31716	000097-53-0 005932-68-3 000097-53-0	96 96 96
50	48.562	1.03	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 3-ethyl- Phenol, 3-ethyl- Phenol, 2-ethyl-	9604 9597 9598	000620-17-7 000620-17-7 000090-00-6	87 80 72
51	49.258	2.71	C:\Database\NIST05a.L 2-Methoxy-4-vinylphenol Ethanone, 1-(2-hydroxy-5-methylphenyl)- Benzene, [2-(methylthio)ethenyl]-(Z)-	23425 23537 23566	007786-61-0 001450-72-2 035822-50-5	90 72 64
52	51.109	0.48	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)- Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)- Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (Z)-	31885 31883 31881	005932-68-3 005932-68-3 005912-86-7	98 97 97
53	51.410	10.57	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2,6-dimethoxy- 3-Amino-2,6-dimethoxypyridine Phenol, 3,4-dimethoxy-	26272 26163 26273	000091-10-1 028020-37-3 002033-89-8	97 72 64
54	53.807	2.19	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-,	31885	005932-68-3	98

solventes SCAN.M Fri Jan 20 11:34:24 2017

Figura 101. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 1 (Continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Inq Quimica\2017\
 Data File : 170120-00001.D
 Title :
 Acq On : 20 Jan 2017 8:00
 Operator : AdeM
 Sample : Extracto organico
 Misc : Extracto organico
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0
 Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			(E)- Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-,	31883	005932-68-3	98
			(E)- Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-	31833	000097-54-1	96
55	53.898	2.49	C:\Database\NIST05a.L Benzoic acid, 4-hydroxy-3-methoxy- 3-Hydroxy-4-methoxybenzoic acid Benzoic acid, 4-hydroxy-3-methoxy-	35424 35418 35429	000121-34-6 000645-08-9 000121-34-6	87 80 64
56	55.558	4.78	C:\Database\NIST05a.L Ethanone, 1-(2,6-dihydroxy-4-methoxyphenyl)- Hydroquinone mono-trimethylsilyl ether 2,4,6-(1H,3H,5H)-Pyrimidinetrione, 5-(2-methylpropylidene)-	45095 45161 44961	007507-89-3 017881-87-7 027406-43-5	64 56 56
57	55.967	1.24	C:\Database\NIST05a.L Benzenecarboxylic acid Benzenecarboxylic acid Cyclobutane-1,1-dicarboxamide, N,N'-di-benzoyloxy-	9580 9581 165696	000065-85-0 000065-85-0 1000253-25-3	96 95 83
58	57.518	1.50	C:\Database\NIST05a.L 2,4-Hexadienedioic acid, 3,4-diethyl-, dimethyl ester, (E,Z)- 1-Isopropoxy-2-dimethyl-(isopropyl)-silyloxybenzene 4-Pyridinecarboxaldehyde, 3-hydroxy-5-(hydroxymethyl)-2-methyl-	75559 93214 34430	031545-75-2 1000292-67-4 000066-72-8	38 33 9
59	59.192	1.01	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)- Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)- 2-Hydroxy-4-isopropyl-7-methoxytropone	52459 52464 52474	006627-88-9 006627-88-9 089647-85-8	98 98 59
60	60.047	2.43	C:\Database\NIST05a.L 2,3,5,6-Tetrafluoroanisole (E)-Stilbene 2,4,7(1H,3H,8H)-Pteridinetrione	43464 43222 43409	002324-98-3 000103-30-0 002577-38-0	64 53 50
61	61.362	1.03	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)- Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)- 2-Propenoic acid, 3-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-	52464 52459 52319	006627-88-9 006627-88-9 001135-24-6	94 94 68
62	62.513	0.93	C:\Database\NIST05a.L Benzeneacetic acid, 4-hydroxy-3-methoxy- 4-Amino-2,3-xyleneol	45081 16147	000306-08-1 003096-69-3	59 59

solventes SCAN.M Fri Jan 20 11:34:24 2017

Figura 102. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 1 (Continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Inq Quimica\2017\
 Data File : 170120-00001.D
 Title :
 Acq On : 20 Jan 2017 8:00
 Operator : AdeM
 Sample : Extracto organico
 Misc : Extracto organico
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			Benzeneacetic acid, 4-hydroxy-3-methoxy-	45079	000306-08-1	59
63	64.710	5.01	C:\Database\NIST05a.L N-(4-Methoxyphenyl)-2-hydroxyimino- -acetamide	53297	1000143-61-3	96
			Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propeny l)-	52464	006627-88-9	94
			Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propeny l)-	52459	006627-88-9	94
64	69.586	0.72	C:\Database\NIST05a.L Benzoic acid, 4-methoxy-	24763	000100-09-4	96
			Benzoic acid, 4-methoxy-	24767	000100-09-4	96
			Benzoic acid, 4-methoxy-	24769	000100-09-4	87
65	73.316	0.88	C:\Database\NIST05a.L Methylparaben	24749	000099-76-3	81
			Methylparaben	24747	000099-76-3	81
			Methylparaben	24748	000099-76-3	81
66	77.391	1.56	C:\Database\NIST05a.L 2-Pentanone, 1-(2,4,6-trihydroxyph enyl)	63972	1000116-22-3	72
			Desaspidinol	63949	000437-72-9	72
			1-Butanone, 1-(2,4,6-trihydroxy-3- methylphenyl)-	63979	001509-06-4	72

Figura 103. Cromatograma de gases para fase acuosa – corrida 2

File :C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\170215-000003.D
Operator : AdeM
Acquired : 15 Feb 2017 12:49 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX B SCAN 2.M
Instrument : GC-MSD
Sample Name: A1
Misc Info : Pirrolisis
Vial Number: 4

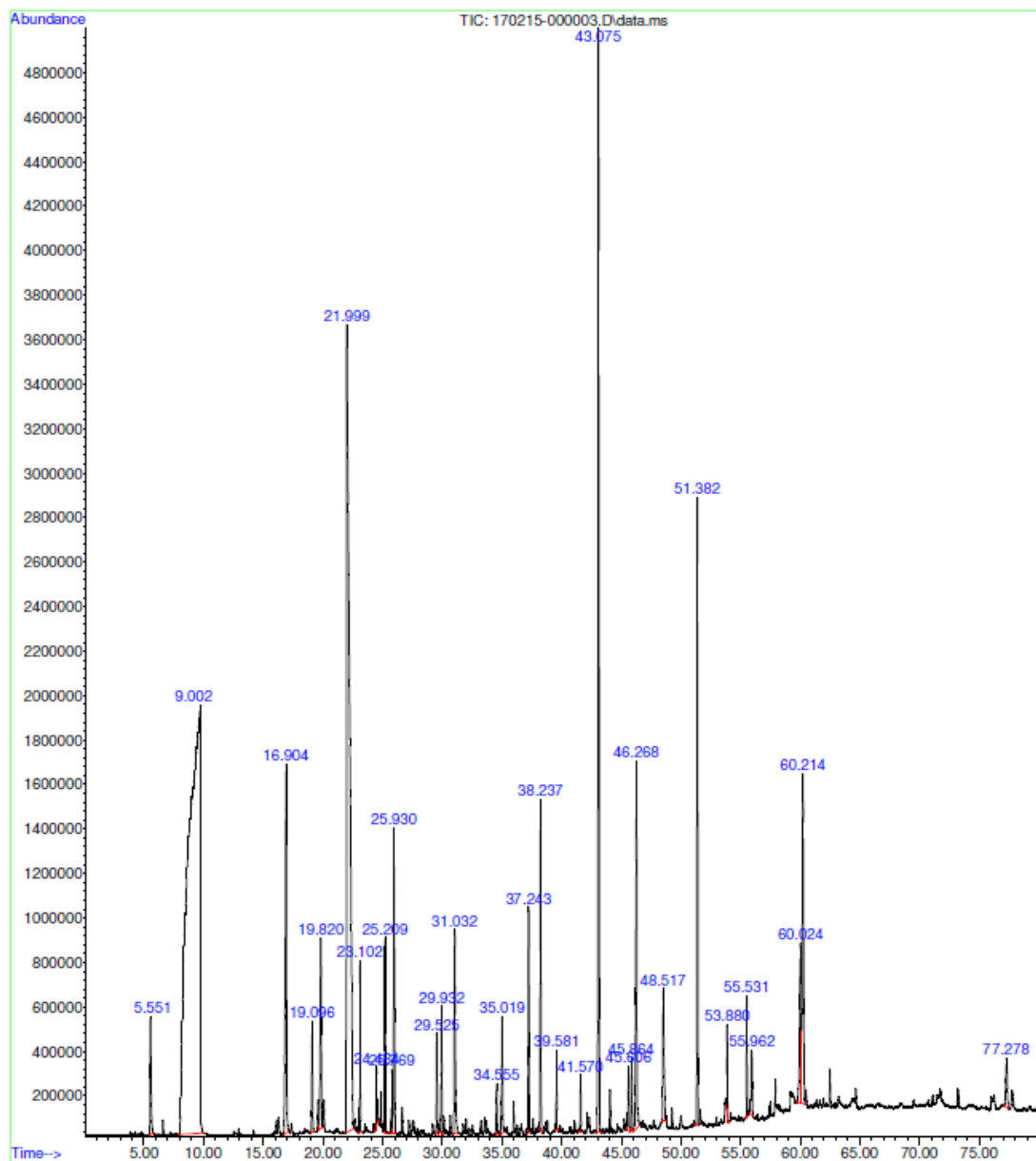


Figura 104. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 2

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\
 Data File : 170215-000003.D
 Title :
 Acq On : 15 Feb 2017 12:49
 Operator : AdeM
 Sample : A1
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 4 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	5.550	0.86	C:\Database\NIST05a.L			
			Methyl Alcohol	29	000067-56-1	40
			Methyl Alcohol	31	000067-56-1	4
			Methyl Alcohol	30	000067-56-1	4
2	9.003	39.85	C:\Database\NIST05a.L			
			Ammonia	6	007664-41-7	2
			Water	7	007732-18-5	1
3	16.904	3.24	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Propanone, 1-hydroxy-	801	000116-09-6	91
			2-Propanone, 1-hydroxy-	799	000116-09-6	90
			2-Propanone, 1-hydroxy-	800	000116-09-6	53
4	19.096	0.62	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one	1152	000930-30-3	94
			2-Cyclopenten-1-one	1151	000930-30-3	91
			1H-Imidazole, 1-methyl-	1128	000616-47-7	49
5	19.819	1.51	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Hydroxy-2-butanone	1999	005077-67-8	86
			1-Hydroxy-2-butanone	1996	005077-67-8	86
			Methyl propionate	1988	000554-12-1	50
6	21.998	17.67	C:\Database\NIST05a.L			
			Acetic acid	258	000064-19-7	94
			Acetic acid	256	000064-19-7	91
			Acetic acid	255	000064-19-7	91
7	23.103	0.88	C:\Database\NIST05a.L			
			Furfural	2677	000098-01-1	70
			Furfural	2676	000098-01-1	70
			3-Furaldehyde	2678	000498-60-2	64
8	24.486	0.39	C:\Database\NIST05a.L			
			Formic acid	99	000064-18-6	90
			Formic acid	100	000064-18-6	74
			Hydrazine, methyl-	101	000060-34-4	40
9	25.209	1.05	C:\Database\NIST05a.L			
			Butanoic acid, (tetrahydro-2-furan yl)methyl ester	38339	002217-33-6	72
			Propanoic acid, 2-methyl-, anhydri de	28761	000097-72-3	64
			2-Furanmethanol, tetrahydro-, acet ate	19928	000637-64-9	50
10	25.769	0.40	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-	2762	002758-18-1	95
			2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-	2759	002758-18-1	94
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2761	001120-73-6	80
11	25.928	1.87	C:\Database\NIST05a.L			
			Propanoic acid	793	000079-09-4	95
			Propanoic acid	794	000079-09-4	95
			Propanoic acid	795	000079-09-4	91

Figura 105. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 2 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\
 Data File : 170215-000003.D
 Title :
 Acq On : 15 Feb 2017 12:49
 Operator : AdeM
 Sample : A1
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 4 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
12	29.526	0.50	C:\Database\NIST05a.L Butanoic acid Butanoic acid Pentanoic acid	1980 1983 4151	000107-92-6 000107-92-6 000109-52-4	91 87 72
13	29.931	0.73	C:\Database\NIST05a.L Butyrolactone Butyrolactone Butyrolactone	1625 1626 1624	000096-48-0 000096-48-0 000096-48-0	94 94 90
14	31.032	1.65	C:\Database\NIST05a.L 3-Furanmethanol 2-Furanmethanol 2-Furanmethanol	3019 3015 3020	004412-91-3 000098-00-0 000098-00-0	91 91 91
15	34.557	0.27	C:\Database\NIST05a.L 2(5H)-Furanone Borane, diethylmethyl- 2H-Pyran, 3,4-dihydro-	1316 1349 1394	000497-23-4 001115-07-7 000110-87-2	94 78 78
16	35.021	0.87	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Cyclopentanedione 1,3-Cyclopentanedione 2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-	3030 3031 3049	003008-40-0 003859-41-4 010493-98-8	86 78 78
17	37.241	1.14	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl- 2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl- 2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl-	6231 6245 6247	000765-70-8 000080-71-7 000080-71-7	94 93 91
18	38.237	1.62	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2-methoxy- Phenol, 2-methoxy- Phenol, 2-methoxy-	10080 10081 10079	000090-05-1 000090-05-1 000090-05-1	97 94 91
19	39.583	0.39	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy- 2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy- Hydrazine, (3-fluorophenyl)-	10847 10848 10801	021835-01-8 021835-01-8 002924-16-5	95 95 72
20	41.571	0.28	C:\Database\NIST05a.L 2-Methoxy-5-methylphenol Phenol, 2-methoxy-4-methyl- Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	16728 16763 16758	001195-09-1 000093-51-6 000093-51-6	95 94 94
21	43.076	9.05	C:\Database\NIST05a.L Phenol Phenol Phenol	2533 2532 2531	000108-95-2 000108-95-2 000108-95-2	95 95 91
22	45.605	0.39	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 4-methyl- Phenol, 4-methyl-	5235 5230	000106-44-5 000106-44-5	94 93

solventes SCAN.M Mon Feb 20 11:01:01 2017

Figura 106. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 2 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\
 Data File : 170215-000003.D
 Title :
 Acq On : 15 Feb 2017 12:49
 Operator : AdeM
 Sample : A1
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 4 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			Phenol, 3-methyl-	5236	000108-39-4	64
23	45.865	0.36	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 4-methyl- Phenol, 3-methyl- Phenol, 3-methyl-	5235 5227 5236	000106-44-5 000108-39-4 000108-39-4	95 95 94
24	46.270	2.94	C:\Database\NIST05a.L 2-Propanamine 2-Propanamine Diazene, [1-(2,2-dimethylhydrazino) ethyl]ethyl-	244 245 19823	000075-31-0 000075-31-0 051576-31-9	59 59 59
25	48.517	1.15	C:\Database\NIST05a.L 2-Furanmethanol, tetrahydro-, acet ate Butanoic acid, anhydride Furan, 2-butyltetrahydro-	19928 28729 12204	000637-64-9 000106-31-0 001004-29-1	72 72 64
26	51.382	3.25	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2,6-dimethoxy- 3-Amino-2,6-dimethoxypyridine Phenol, 3,4-dimethoxy-	26272 26163 26273	000091-10-1 028020-37-3 002033-89-8	96 72 64
27	53.879	0.43	C:\Database\NIST05a.L Benzoic acid, 4-hydroxy-3-methoxy- 4-Methoxy-2-methyl-1-(methylthio)b enzene 4-Methoxy-2,2,5-trimethylcyclopent -4-ene-1,3-dione	35424 35577 35544	000121-34-6 022583-04-6 1000185-67-3	87 64 64
28	55.531	0.60	C:\Database\NIST05a.L 5-tert-Butylpyrogallol Phenol, 3-[(trimethylsilyl)oxy]- 4-Ethylbiphenyl	44207 45160 44656	020481-17-8 017882-01-8 005707-44-8	83 80 56
29	55.963	0.46	C:\Database\NIST05a.L Benzenecarboxylic acid Benzenecarboxylic acid Heptanediamide, N,N'-di-benzoyloxy	9580 9581 170662	000065-85-0 000065-85-0 1000253-26-4	96 95 64
30	60.025	2.06	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono (2-ethylhexyl) ester Phthalic acid, bis(2-pentyl) ester Phthalic acid, 2-ethylhexyl hexyl ester	110586 128448 158094	004376-20-9 1000315-48-5 1000309-02-5	80 50 50
31	60.216	2.95	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono (2-ethylhexyl) ester 1,2-Benzenedicarboxylic acid, diis ooctyl ester Di-n-octyl phthalate	110586 168521 168498	004376-20-9 027554-26-3 000117-84-0	91 68 64
32	77.278	0.56	C:\Database\NIST05a.L 1-Butanone, 1-(2,4,6-trihydroxy-3-	63979	001509-06-4	59

solventes SCAN.M Mon Feb 20 11:01:01 2017

Figura 107. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 2 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\
Data File : 170215-000003.D
Title :
Acq On : 15 Feb 2017 12:49
Operator : AdeM
Sample : A1
Misc : Pirrolisis
ALS Vial : 4 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			methylphenyl)- 3,5-Dimethoxy-4-hydroxyphenylaceti c acid	65356	004385-56-2	58
			Benzene, 1,1',1'',1'''-(1,6-hexane diylidene)tetrakis-	168595	002819-41-2	47

Figura 108. Cromatograma de gases para fase orgánica – corrida 2

File : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\170215-000005.D
Operator : AdeM
Acquired : 15 Feb 2017 15:44 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Instrument : GC-MSD
Sample Name : O2
Misc Info : Pirrolisis
Vial Number : 3

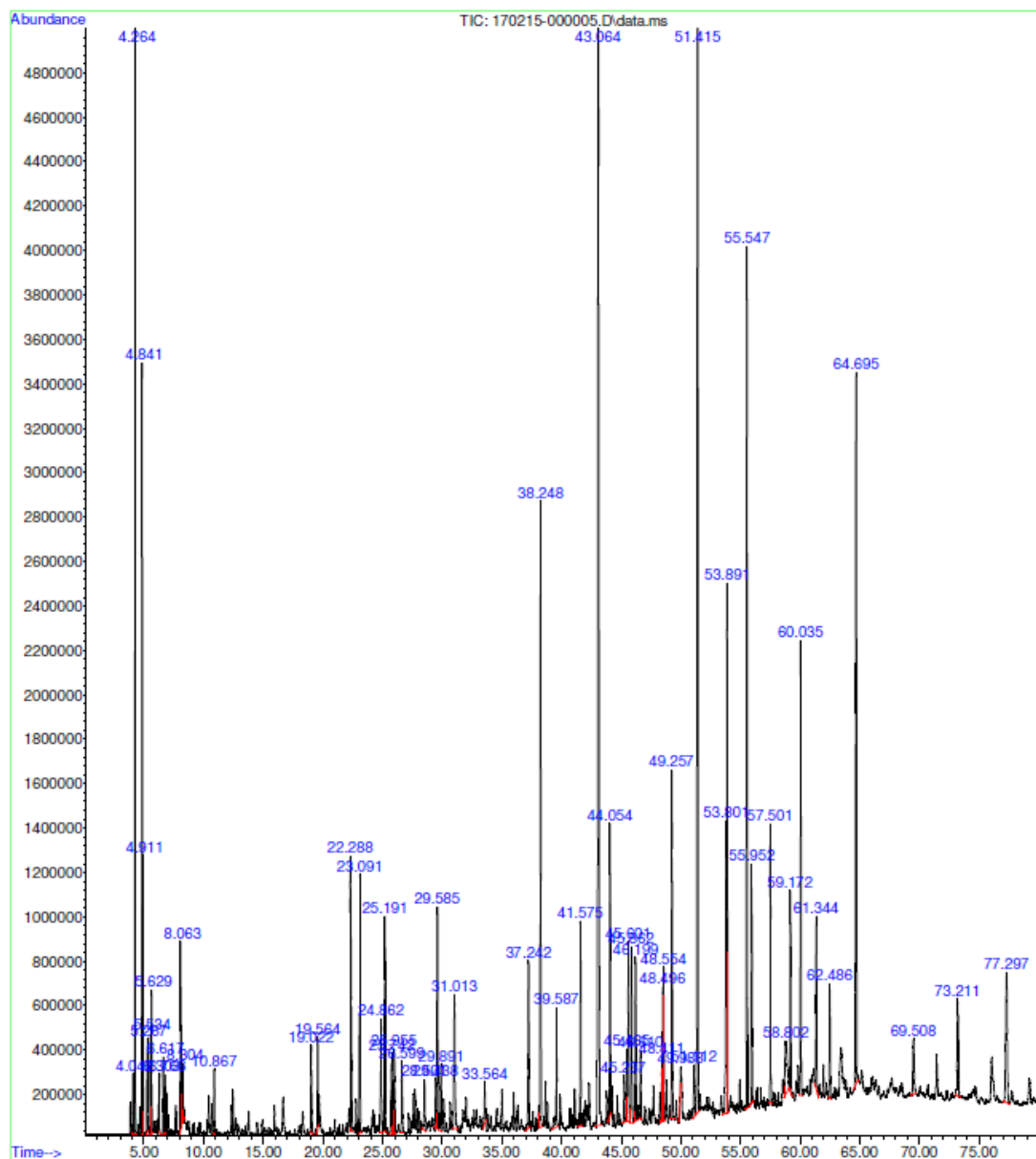


Figura 109. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 2

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\
 Data File : 170215-000005.D
 Title :
 Acq On : 15 Feb 2017 15:44
 Operator : AdeM
 Sample : O2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0
 Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	4.040	0.14	C:\Database\NIST05a.L			
			Hexane	1791	000110-54-3	94
			Hexane	1790	000110-54-3	90
			Hexane	1792	000110-54-3	90
2	4.263	3.36	C:\Database\NIST05a.L			
			Heptane	3885	000142-82-5	95
			Heptane	3886	000142-82-5	95
3	4.841	2.45	C:\Database\NIST05a.L			
			Acetone	208	000067-64-1	86
			Manganese(II) acetate	38574	006156-78-1	83
4	4.909	0.81	C:\Database\NIST05a.L			
			Acetic acid, methyl ester	806	000079-20-9	91
			Acetic acid, methyl ester	805	000079-20-9	78
5	5.268	0.33	C:\Database\NIST05a.L			
			Furan, 2-methyl-	1147	000534-22-5	91
			Furan, 2-methyl-	1144	000534-22-5	91
6	5.532	0.55	C:\Database\NIST05a.L			
			Methyl Alcohol	29	000067-56-1	40
			Methyl Alcohol	30	000067-56-1	9
7	5.628	0.70	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Butanone	637	000078-93-3	83
			2-Butanone	635	000078-93-3	74
8	6.301	0.20	C:\Database\NIST05a.L			
			Furan, 2,5-dimethyl-	2739	000625-86-5	94
			Furan, 2,5-dimethyl-	2743	000625-86-5	94
9	6.615	0.28	C:\Database\NIST05a.L			
			2,3-Butanedione	1632	000431-03-8	90
			2,3-Butanedione	1636	000431-03-8	72
10	6.765	0.20	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Pentanone	1682	000107-87-9	90
			2-Pentanone	1684	000107-87-9	87
11	8.061	0.78	C:\Database\NIST05a.L			
			Toluene	2396	000108-88-3	87
			Toluene	2395	000108-88-3	87
12	8.302	0.29	C:\Database\NIST05a.L			
			1,3,5-Cycloheptatriene	2414	000544-25-2	87
			2,3-Pentanedione	3583	000600-14-6	59

solventes SCAN.M Mon Feb 20 11:04:25 2017

Figura 110. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 2 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\
 Data File : 170215-000005.D
 Title :
 Acq On : 15 Feb 2017 15:44
 Operator : AdeM
 Sample : 02
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			2,3-Pentanedione	3584	000600-14-6	52
			2-Pentene, 2-methoxy-	3760	061142-47-0	49
13	10.868	0.30	C:\Database\NIST05a.L			
			p-Xylene	4946	000106-42-3	97
			p-Xylene	4944	000106-42-3	97
			o-Xylene	4945	000095-47-6	95
14	19.023	0.61	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one	1151	000930-30-3	94
			2-Cyclopenten-1-one	1152	000930-30-3	94
			1H-Pyrazole, 3-methyl-	1123	001453-58-3	52
15	19.565	0.49	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2758	001120-73-6	90
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2761	001120-73-6	90
			2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-	2759	002758-18-1	52
16	22.289	3.05	C:\Database\NIST05a.L			
			Acetic acid	258	000064-19-7	94
			Acetic acid	254	000064-19-7	91
			Acetic acid	256	000064-19-7	91
17	23.090	1.72	C:\Database\NIST05a.L			
			Furfural	2677	000098-01-1	94
			Furfural	2674	000098-01-1	91
			Furfural	2676	000098-01-1	91
18	24.864	0.82	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5616	001192-62-7	76
			Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5617	001192-62-7	76
			Furan, 2-ethyl-5-methyl-	5662	001703-52-2	72
19	25.191	1.24	C:\Database\NIST05a.L			
			Furan, tetrahydro-2-(methoxymethyl)-	7975	019354-27-9	64
			Propanoic acid, 2-methyl-, anhydride	28761	000097-72-3	64
			2-Furanmethanol, tetrahydro-, acetate	19928	000637-64-9	50
20	25.742	0.68	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-	2762	002758-18-1	95
			2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-	2759	002758-18-1	93
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2760	001120-73-6	78
21	25.956	0.68	C:\Database\NIST05a.L			
			Propanoic acid	793	000079-09-4	95
			Propanoic acid	794	000079-09-4	95
			Propanoic acid	795	000079-09-4	91
22	26.601	0.54	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl-	5707	001121-05-7	94
			2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl-	5710	001121-05-7	86
			1,4-Pentadiene, 3-methyl-	1230	001115-08-8	43
23	28.503	0.41	C:\Database\NIST05a.L			

solventes SCAN.M Mon Feb 20 11:04:25 2017

Figura 111. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 2 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\
 Data File : 170215-000005.D
 Title :
 Acq On : 15 Feb 2017 15:44
 Operator : AdeM
 Sample : O2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			Benzofuran, 2-methyl-	14063	004265-25-2	94
			Benzofuran, 2-methyl-	14068	004265-25-2	93
			Benzofuran, 2-methyl-	14067	004265-25-2	81
24	29.440	0.25	C:\Database\NIST05a.L			
			Acetic acid, phenyl ester	15761	000122-79-2	87
			Benzene, propoxy-	15831	000622-85-5	72
			Acetic acid, phenyl ester	15763	000122-79-2	64
25	29.585	1.56	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzoic acid, methyl ester	15767	000093-58-3	94
			Benzoic acid, methyl ester	15768	000093-58-3	94
			Benzoic acid, methyl ester	15769	000093-58-3	91
26	29.890	0.58	C:\Database\NIST05a.L			
			Butyrolactone	1626	000096-48-0	90
			Butyrolactone	1625	000096-48-0	90
			Butyrolactone	1624	000096-48-0	90
27	31.014	1.44	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Furanmethanol	3019	004412-91-3	93
			2-Furanmethanol	3015	000098-00-0	91
			2-Furanmethanol	3020	000098-00-0	91
28	33.565	0.27	C:\Database\NIST05a.L			
			4-Ethyl-2-hydroxycyclopent-2-en-1-one	10846	028017-62-1	64
			Thiophene, 2-propyl-	10869	001551-27-5	59
			4-Octen-3-one	10974	014129-48-7	59
29	37.241	1.15	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl-	6245	000080-71-7	94
			1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl-	6231	000765-70-8	94
			2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl-	6247	000080-71-7	91
30	38.246	3.84	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-methoxy-	10080	000090-05-1	97
			Phenol, 2-methoxy-	10081	000090-05-1	94
			Phenol, 2-methoxy-	10079	000090-05-1	91
31	39.588	0.91	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy-	10847	021835-01-8	94
			2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy-	10848	021835-01-8	91
			Hydrazine, (3-fluorophenyl)-	10801	002924-16-5	72
32	41.576	1.30	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	16763	000093-51-6	95
			2-Methoxy-5-methylphenol	16728	001195-09-1	95
			Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	16758	000093-51-6	94
33	43.063	15.62	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol	2533	000108-95-2	95
			Phenol	2532	000108-95-2	95

solventes SCAN.M Mon Feb 20 11:04:25 2017

Figura 112. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 2 (continuación)

```

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\
Data File : 170215-000005.D
Title :
Acq On : 15 Feb 2017 15:44
Operator : AdeM
Sample : O2
Misc : Pirrolisis
ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

```

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			Phenol	2531	000108-95-2	91
34	44.055	1.66	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	24917	002785-89-9	91
			Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	24916	002785-89-9	91
			Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	24911	002785-89-9	90
35	45.237	0.28	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-ethyl-	9598	000090-00-6	97
			Phenol, 2-ethyl-	9606	000090-00-6	95
			Phenol, 2-ethyl-	9605	000090-00-6	94
36	45.465	0.45	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2,5-dimethyl-	9623	000095-87-4	96
			Phenol, 2,3-dimethyl-	9633	000526-75-0	95
			Phenol, 2,4-dimethyl-	9620	000105-67-9	95
37	45.601	1.41	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 4-methyl-	5230	000106-44-5	90
			Phenol, 3-methyl-	5233	000108-39-4	60
			Phenol, 3-ethyl-	9604	000620-17-7	58
38	45.860	1.09	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 3-methyl-	5227	000108-39-4	96
			Phenol, 4-methyl-	5230	000106-44-5	94
			Phenol, 4-methyl-	5225	000106-44-5	93
39	46.197	1.10	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzoic acid, 4-methoxy-, methyl ester	34031	000121-98-2	91
			Benzoic acid, 4-methoxy-, methyl ester	34027	000121-98-2	91
			4-Methoxybenzhydrazide	33824	003290-99-1	87
40	46.611	0.42	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-methoxy-4-propyl-2',4'-Dihydroxypropiofenone	33184	002785-87-7	90
			4-Amino-2,3-xilenol	33972	005792-36-9	72
				16147	003096-69-3	59
41	48.412	0.38	C:\Database\NIST05a.L			
			Eugenol	31714	000097-53-0	98
			3-Allyl-6-methoxyphenol	31757	000501-19-9	97
			Eugenol	31716	000097-53-0	97
42	48.494	0.86	C:\Database\NIST05a.L			
			Furan, tetrahydro-2-(methoxymethyl)-	7978	019354-27-9	72
			Butanoic acid, anhydride	28729	000106-31-0	64
			Propanoic acid, 2-methyl-, anhydride	28761	000097-72-3	64
43	48.553	1.02	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 3-ethyl-	9604	000620-17-7	90
			Phenol, 3-ethyl-	9597	000620-17-7	87
			Phenol, 2-ethyl-	9606	000090-00-6	83
44	49.258	2.21	C:\Database\NIST05a.L			

solventes SCAN.M Mon Feb 20 11:04:25 2017

Figura 113. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 2 (continuación)

```

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\
Data File : 170215-000005.D
Title :
Acq On : 15 Feb 2017 15:44
Operator : AdeM
Sample : 02
Misc : Pirrolisis
ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

```

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			2-Methoxy-4-vinylphenol	23425	007786-61-0	90
			Benzene, [2-(methylthio)ethenyl]-(Z)-	23566	035822-50-5	64
			Phenol, 2,3,4,6-tetramethyl-	22766	003238-38-8	64
45	49.986	0.04	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 3,4-dimethyl-	9626	000095-65-8	93
			Phenol, 2,4-dimethyl-	9627	000105-67-9	89
			Phenol, 2,4-dimethyl-	9620	000105-67-9	76
46	51.110	0.50	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)-	31883	005932-68-3	97
			Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (Z)-	31881	005912-86-7	97
			Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)-	31885	005932-68-3	96
47	51.414	10.90	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2,6-dimethoxy-	26272	000091-10-1	97
			3-Pyridinamine, 2,6-dimethoxy-	26164	080789-72-6	72
			3-Amino-2,6-dimethoxypyridine	26163	028020-37-3	72
48	53.802	2.02	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)-	31885	005932-68-3	98
			Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)-	31883	005932-68-3	98
			Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (Z)-	31881	005912-86-7	97
49	53.889	3.25	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzoic acid, 4-hydroxy-3-methoxy-	35424	000121-34-6	87
			3-Hydroxy-4-methoxybenzoic acid	35418	000645-08-9	80
			Benzenamine, 4-methoxy-2-nitro-	35291	000096-96-8	64
50	55.549	5.28	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethanone, 1-(2,6-dihydroxy-4-methoxyphenyl)-	45095	007507-89-3	64
			5-tert-Butylpyrogallol	44207	020481-17-8	64
			2,4,6(1H,3H,5H)-Pyrimidinetrione, 5-(2-methylpropylidene)-	44961	027406-43-5	56
51	55.954	1.58	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzenecarboxylic acid	9580	000065-85-0	96
			Benzenecarboxylic acid	9581	000065-85-0	95
			Heptanediamide, N,N'-di-benzoyloxy	170662	1000253-26-4	90
52	57.500	1.67	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Oxa-2-sila-5-boracyclopent-3-ene, 2,4,5-triethyl-2,3-dimethyl-	54090	132125-74-7	45
			2,4-Hexadienedioic acid, 3,4-diethyl-, dimethyl ester, (E,Z)-	75559	031545-75-2	36
			Heptane, 1,1-diphenyl-	93569	001530-05-8	33
53	58.801	1.13	C:\Database\NIST05a.L			
			1,2-Benzenediol, 3-methoxy-	17712	000934-00-9	95

solventes SCAN.M Mon Feb 20 11:04:25 2017

Figura 114. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 2 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\
 Data File : 170215-000005.D
 Title :
 Acq On : 15 Feb 2017 15:44
 Operator : AdeM
 Sample : 02
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			1,2-Benzenediol, 3-methoxy-	17713	000934-00-9	95
			1,2-Benzenediol, 3-methoxy-	17709	000934-00-9	93
54	59.170	1.21	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propeny 1)-	52459	006627-88-9	98
			Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propeny 1)-	52464	006627-88-9	95
			N-(4-Methoxyphenyl)-2-hydroxyimino -acetamide	53297	1000143-61-3	90
55	60.034	2.79	C:\Database\NIST05a.L 2,3,5,6-Tetrafluoroanisole (E)-Stilbene	43464	002324-98-3	50
			(E)-Stilbene	43222	000103-30-0	50
			(E)-Stilbene	43226	000103-30-0	50
56	61.344	1.13	C:\Database\NIST05a.L N-(4-Methoxyphenyl)-2-hydroxyimino -acetamide	53297	1000143-61-3	97
			Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propeny 1)-	52464	006627-88-9	93
			Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propeny 1)-	52459	006627-88-9	80
57	62.486	0.79	C:\Database\NIST05a.L 6-Amino-2,4-dimethylphenol 4-Amino-2,3-xyleneol Ethyl homovanillate	16182	041458-65-5	59
				16147	003096-69-3	59
				63951	060563-13-5	59
58	64.696	5.60	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propeny 1)-	52464	006627-88-9	94
			Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propeny 1)-	52459	006627-88-9	94
			Acetamide, N-(3,4,5-trimethoxyphen ethyl)-	93896	004593-89-9	64
59	69.509	0.63	C:\Database\NIST05a.L Benzoic acid, 4-methoxy- Benzoic acid, 4-methoxy- Benzoic acid, 4-methoxy-	24767	000100-09-4	96
				24763	000100-09-4	96
				24769	000100-09-4	93
60	73.211	1.23	C:\Database\NIST05a.L Methylparaben Methylparaben Methylparaben	24748	000099-76-3	87
				24747	000099-76-3	87
				24749	000099-76-3	87
61	77.296	1.83	C:\Database\NIST05a.L 2-Pentanone, 1-(2,4,6-trihydroxyph enyl) Desaspidinol 1-Butanone, 1-(2,4,6-trihydroxy-3- methylphenyl)-	63972	1000116-22-3	80
				63949	000437-72-9	78
				63979	001509-06-4	72

Figura 115. Cromatograma de gases para fase acuosa – corrida 3

File : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\170215-000004.D
Operator : AdeM
Acquired : 15 Feb 2017 14:16 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX B SCAN 2.M
Instrument : GC-MSD
Sample Name: A2
Misc Info : Pirrolisis
Vial Number: 5

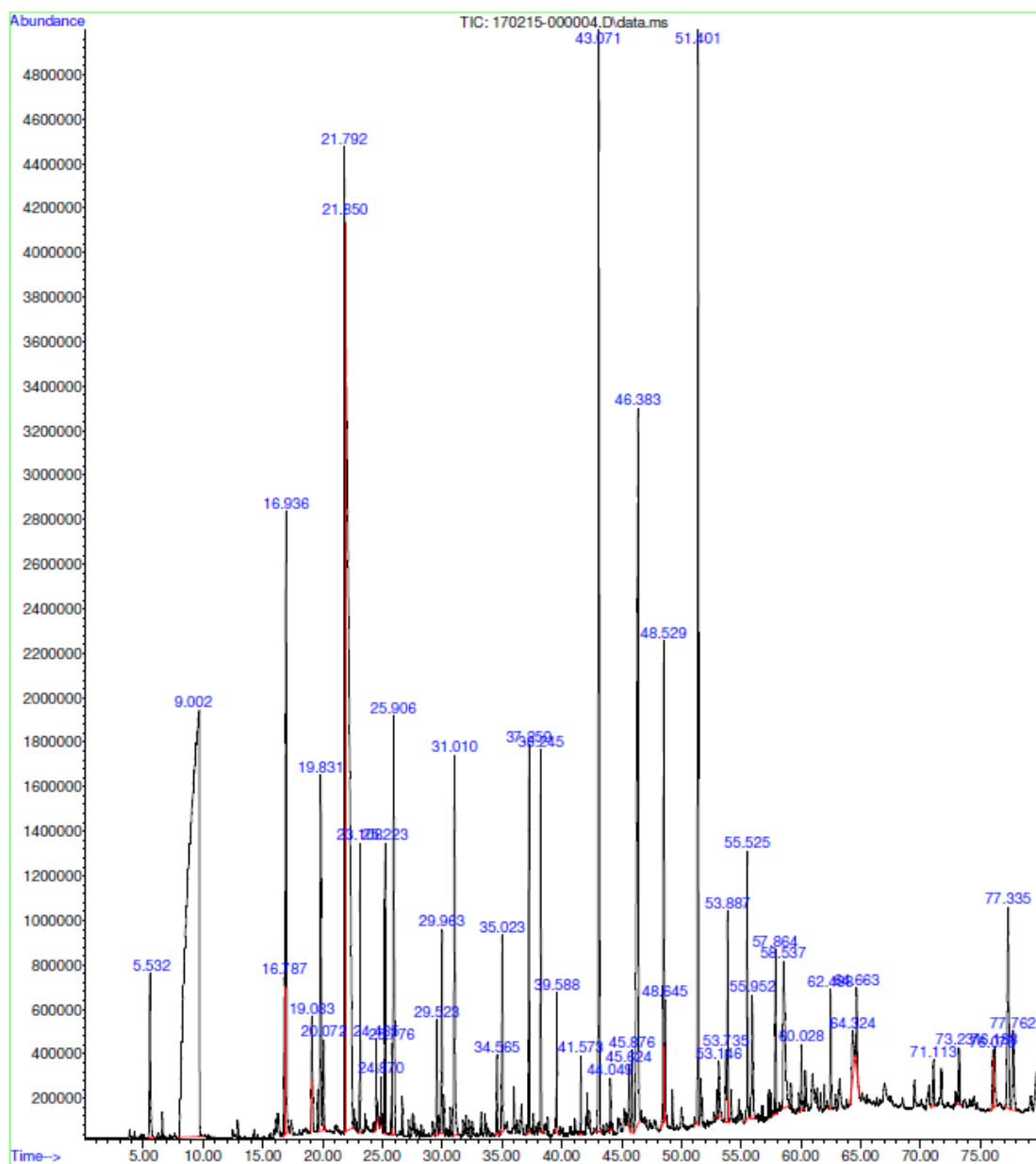


Figura 116. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 3

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\
 Data File : 170215-000004.D
 Title :
 Acq On : 15 Feb 2017 14:16
 Operator : AdeM
 Sample : A2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	5.532	0.88	C:\Database\NIST05a.L Methyl Alcohol	29	000067-56-1	40
			Methyl Alcohol	31	000067-56-1	4
			Methyl Alcohol	30	000067-56-1	4
2	9.003	24.64	C:\Database\NIST05a.L Ammonia	6	007664-41-7	2
			Water	7	007732-18-5	1
3	16.785	0.60	C:\Database\NIST05a.L 2-Propanone, 1-hydroxy-	801	000116-09-6	90
			2-Propanone, 1-hydroxy-	799	000116-09-6	72
			2-Propanone, 1-hydroxy-	800	000116-09-6	72
4	16.936	3.52	C:\Database\NIST05a.L 2-Propanone, 1-hydroxy-	801	000116-09-6	91
			2-Propanone, 1-hydroxy-	799	000116-09-6	90
			2-Propanone, 1-hydroxy-	800	000116-09-6	53
5	19.083	0.23	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one	1152	000930-30-3	94
			2-Cyclopenten-1-one	1151	000930-30-3	94
			1H-Imidazole, 1-methyl-	1128	000616-47-7	49
6	19.833	1.85	C:\Database\NIST05a.L 1-Hydroxy-2-butanone	1996	005077-67-8	90
			1-Hydroxy-2-butanone	1999	005077-67-8	86
			Methyl propionate	1987	000554-12-1	52
7	20.074	0.38	C:\Database\NIST05a.L Acetic acid, hydroxy-, methyl este	2227	000096-35-5	91
			Acetic acid, hydroxy-, methyl este	2226	000096-35-5	70
			Acetaldehyde, hydroxy-	262	000141-46-8	14
8	21.794	3.75	C:\Database\NIST05a.L Acetic acid	258	000064-19-7	94
			Acetic acid	256	000064-19-7	91
			Acetic acid	254	000064-19-7	91
9	21.848	17.71	C:\Database\NIST05a.L Acetic acid	258	000064-19-7	94
			Acetic acid	254	000064-19-7	91
			Acetic acid	256	000064-19-7	91
10	23.108	1.13	C:\Database\NIST05a.L Furfural	2676	000098-01-1	64
			Furfural	2677	000098-01-1	58
			1H-Pyrazole, 3,5-dimethyl-	2702	000067-51-6	40
11	24.464	0.42	C:\Database\NIST05a.L Formic acid	99	000064-18-6	90
			Formic acid	98	000064-18-6	83
			Formic acid	100	000064-18-6	74
12	24.868	0.15	C:\Database\NIST05a.L Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5617	001192-62-7	90
			Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5614	001192-62-7	90

solventes SCAN.M Mon Feb 20 11:02:52 2017

Figura 117. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 3 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\
 Data File : 170215-000004.D
 Title :
 Acq On : 15 Feb 2017 14:16
 Operator : AdeM
 Sample : A2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5615	001192-62-7	87
13	25.223	1.18	C:\Database\NIST05a.L Butanoic acid, (tetrahydro-2-furan yl)methyl ester	38339	002217-33-6	64
			Furan, 2-butyltetrahydro-	12204	001004-29-1	50
			2-Furanmethanol, tetrahydro-, acet ate	19928	000637-64-9	50
14	25.778	0.42	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-	2762	002758-18-1	95
			2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-	2759	002758-18-1	93
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2760	001120-73-6	86
15	25.905	1.94	C:\Database\NIST05a.L Propanoic acid	793	000079-09-4	95
			Propanoic acid	795	000079-09-4	91
			Propanoic acid	794	000079-09-4	87
16	29.522	0.43	C:\Database\NIST05a.L Butanoic acid	1980	000107-92-6	91
			Butanoic acid	1983	000107-92-6	87
			Pentanoic acid	4151	000109-52-4	72
17	29.963	0.95	C:\Database\NIST05a.L Butyrolactone	1625	000096-48-0	94
			Butyrolactone	1626	000096-48-0	94
			Butyrolactone	1624	000096-48-0	91
18	31.009	2.10	C:\Database\NIST05a.L 2-Furanmethanol	3015	000098-00-0	91
			2-Furanmethanol	3020	000098-00-0	91
			3-Furanmethanol	3019	004412-91-3	91
19	34.566	0.30	C:\Database\NIST05a.L 2(5H)-Furanone	1316	000497-23-4	94
			Borane, diethylmethyl-	1349	001115-07-7	78
			2H-Pyran, 3,4-dihydro-	1394	000110-87-2	78
20	35.021	1.01	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Cyclopentanedione	3030	003008-40-0	90
			1,3-Cyclopentanedione	3031	003859-41-4	78
			2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-	3049	010493-98-8	78
21	37.259	1.45	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl-	6231	000765-70-8	94
			2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-m ethyl-	6245	000080-71-7	93
			2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-m ethyl-	6247	000080-71-7	93
22	38.246	1.36	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2-methoxy-	10080	000090-05-1	97
			Phenol, 2-methoxy-	10081	000090-05-1	94
			Phenol, 2-methoxy-	10077	000090-05-1	94
23	39.588	0.51	C:\Database\NIST05a.L			

solventes SCAN.M Mon Feb 20 11:02:52 2017

Figura 118. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 3 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\
 Data File : 170215-000004.D
 Title :
 Acq On : 15 Feb 2017 14:16
 Operator : AdeM
 Sample : A2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy-	10847	021835-01-8	95
			Hydrazine, (3-fluorophenyl)-	10801	002924-16-5	72
			Hydrazine, (3-fluorophenyl)-	10800	002924-16-5	56
24	41.571	0.27	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	16763	000093-51-6	95
			2-Methoxy-5-methylphenol	16728	001195-09-1	94
			Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	16758	000093-51-6	94
25	43.072	7.57	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol	2533	000108-95-2	95
			Phenol	2532	000108-95-2	95
			Phenol	2529	000108-95-2	94
26	44.050	0.16	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	24917	002785-89-9	91
			Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	24916	002785-89-9	91
			Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	24911	002785-89-9	90
27	45.624	0.25	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 4-methyl-	5230	000106-44-5	96
			Phenol, 4-methyl-	5225	000106-44-5	95
			Phenol, 4-methyl-	5235	000106-44-5	94
28	45.874	0.32	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 3-methyl-	5227	000108-39-4	95
			Phenol, 4-methyl-	5235	000106-44-5	94
			Phenol, 4-methyl-	5225	000106-44-5	93
29	46.383	6.18	C:\Database\NIST05a.L			
			1,3-Propanediamine, N-methyl-	1949	006291-84-5	64
			2-Propanamine	244	000075-31-0	53
			Cyclobutanol	639	002919-23-5	53
30	48.530	2.38	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Furanmethanol, tetrahydro-, acetate	19928	000637-64-9	78
			Furan, tetrahydro-2-(methoxymethyl)-	7975	019354-27-9	78
			2,2'-Bifuran, octahydro-	18948	001592-33-2	78
31	48.644	0.41	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Hydroxy-gamma-butyrolactone	4137	019444-84-9	45
			Cyclopentanol	1698	000096-41-3	43
			Cyclohexanol, 4-methyl-	7341	000589-91-3	38
32	51.401	4.30	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2,6-dimethoxy-	26272	000091-10-1	96
			3-Amino-2,6-dimethoxypyridine	26163	028020-37-3	72
			Phenol, 3,4-dimethoxy-	26273	002033-89-8	64
33	53.147	0.35	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Butanol, 3-(2,2-dimethylpropoxy)	30037	074793-66-1	50
			Butanoic acid, 2-butoxy-1-methyl-2-oxoethyl ester	68234	007492-70-8	50
			2-Propenamide	580	000079-06-1	49

solventes SCAN.M Mon Feb 20 11:02:52 2017

Figura 119. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 3 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\
 Data File : 170215-000004.D
 Title :
 Acq On : 15 Feb 2017 14:16
 Operator : AdeM
 Sample : A2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
34	53.734	0.33	C:\Database\NIST05a.L N-Acetylpyrrolidone	11399	000932-17-2	37
			Formamide, N-(5-amino-2H-1,2,3-triazol-4-yl)-	11299	328977-78-2	32
			2-Butanone, 3,4-epoxy-3-ethyl-	7051	017257-82-8	32
35	53.889	0.75	C:\Database\NIST05a.L 3-Hydroxy-4-methoxybenzoic acid	35418	000645-08-9	80
			Benzoic acid, 4-hydroxy-3-methoxy-	35424	000121-34-6	64
			4-Methoxy-2-methyl-1-(methylthio)benzene	35576	022583-04-6	64
36	55.526	1.10	C:\Database\NIST05a.L Hydroquinone mono-trimethylsilyl ether	45161	017881-87-7	72
			Ethanone, 1-(2,6-dihydroxy-4-methoxyphenyl)-	45095	007507-89-3	64
			4,4-Dimethyl-5-methylene-2-allylamino-2-thiazoline	45156	037120-29-9	64
37	55.954	0.77	C:\Database\NIST05a.L Benzenecarboxylic acid	9580	000065-85-0	96
			Benzenecarboxylic acid	9581	000065-85-0	95
			Heptanediamide, N,N'-di-benzoyloxy	170662	1000253-26-4	86
38	57.864	0.76	C:\Database\NIST05a.L (S)-(+)-2',3'-Dideoxyribonolactone	7821	032780-06-6	91
			5-Hydroxymethyldihydrofuran-2-one	7820	1000194-17-0	91
			Tetrahydrofuran-5-on-2-methanol, .alpha.-[.alpha.-methoxy-(tetrahydrofuran-5-on-2-ylmethoxy)]-	98273	1000192-28-3	78
39	58.537	1.66	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Benzenediol, 3-methoxy-	17712	000934-00-9	95
			1,2-Benzenediol, 3-methoxy-	17713	000934-00-9	95
			1,2-Benzenediol, 3-methoxy-	17709	000934-00-9	94
40	60.029	0.29	C:\Database\NIST05a.L 2,3,5,6-Tetrafluoroanisole	43464	002324-98-3	53
			Aminophylline	43496	000317-34-0	46
			4,5-Dihydrobenzo[1,2-c:3,4-c']-bis-[1,2,5]-oxadiazol-1-oxide	43415	142328-20-9	43
41	62.490	0.47	C:\Database\NIST05a.L 4-Amino-2,3-xyleneol	16147	003096-69-3	59
			6-Amino-2,4-dimethylphenol	16182	041458-65-5	53
			2-Propanone, 1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-	42739	002503-46-0	50
42	64.323	0.37	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Benzenediol	5611	000120-80-9	95
			1,2-Benzenediol	5609	000120-80-9	93
			1,2-Benzenediol	5610	000120-80-9	83
43	64.664	0.39	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Benzenediol	5611	000120-80-9	89

solventes SCAN.M Mon Feb 20 11:02:52 2017

Figura 120. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 3 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\
 Data File : 170215-000004.D
 Title :
 Acq On : 15 Feb 2017 14:16
 Operator : AdeM
 Sample : A2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0
 Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propeny 1)-	52459	006627-88-9	70
			Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propeny 1)-	52464	006627-88-9	70
44	71.114	0.32	C:\Database\NIST05a.L Acetic acid, pentyl ester	13028	000628-63-7	35
			Pentanoic acid, 3-methyl-4-oxo-	12838	006628-79-1	32
			Pentanoic acid, 2-methyl-4-oxo-	12837	006641-83-4	32
45	73.230	0.43	C:\Database\NIST05a.L Methylparaben	24748	000099-76-3	90
			Methylparaben	24747	000099-76-3	78
			Benzoic acid, 2-hydroxy-, hydrazid	24679	000936-02-7	60
46	76.072	0.40	C:\Database\NIST05a.L Ethanone, 1-(4-hydroxy-3,5-dimetho xyphenyl)-	53989	002478-38-8	81
			Ethanone, 1-(4-hydroxy-3,5-dimetho xyphenyl)-	53987	002478-38-8	76
			Ethanone, 1-(4-hydroxy-3,5-dimetho xyphenyl)-	53990	002478-38-8	72
47	76.186	0.46	C:\Database\NIST05a.L 1,4-Benzenediol, 2-methyl-	10095	000095-71-6	91
			1,4-Benzenediol, 2-methyl-	10102	000095-71-6	87
			1,3-Benzenediol, 2-methyl-	10096	000608-25-3	87
48	77.337	1.68	C:\Database\NIST05a.L 1-Butanone, 1-(2,4,6-trihydroxy-3- methylphenyl)-	63979	001509-06-4	72
			Desaspidinol	63949	000437-72-9	72
			2-Pentanone, 1-(2,4,6-trihydroxyph enyl)	63972	1000116-22-3	56
49	77.760	0.71	C:\Database\NIST05a.L Hydroquinone	5606	000123-31-9	87
			Phenol, 4-(heptyloxy)-	62792	013037-86-0	78
			1,2-Benzenediol	5610	000120-80-9	72

Figura 121. Cromatograma de gases para fase orgánica – corrida 3

File : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\170215-000002.D
Operator : AdeM
Acquired : 15 Feb 2017 11:20 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX SCAN 2.M
Instrument : GC-MSD
Sample Name : O2
Misc Info : Pirrolisis
Vial Number : 3

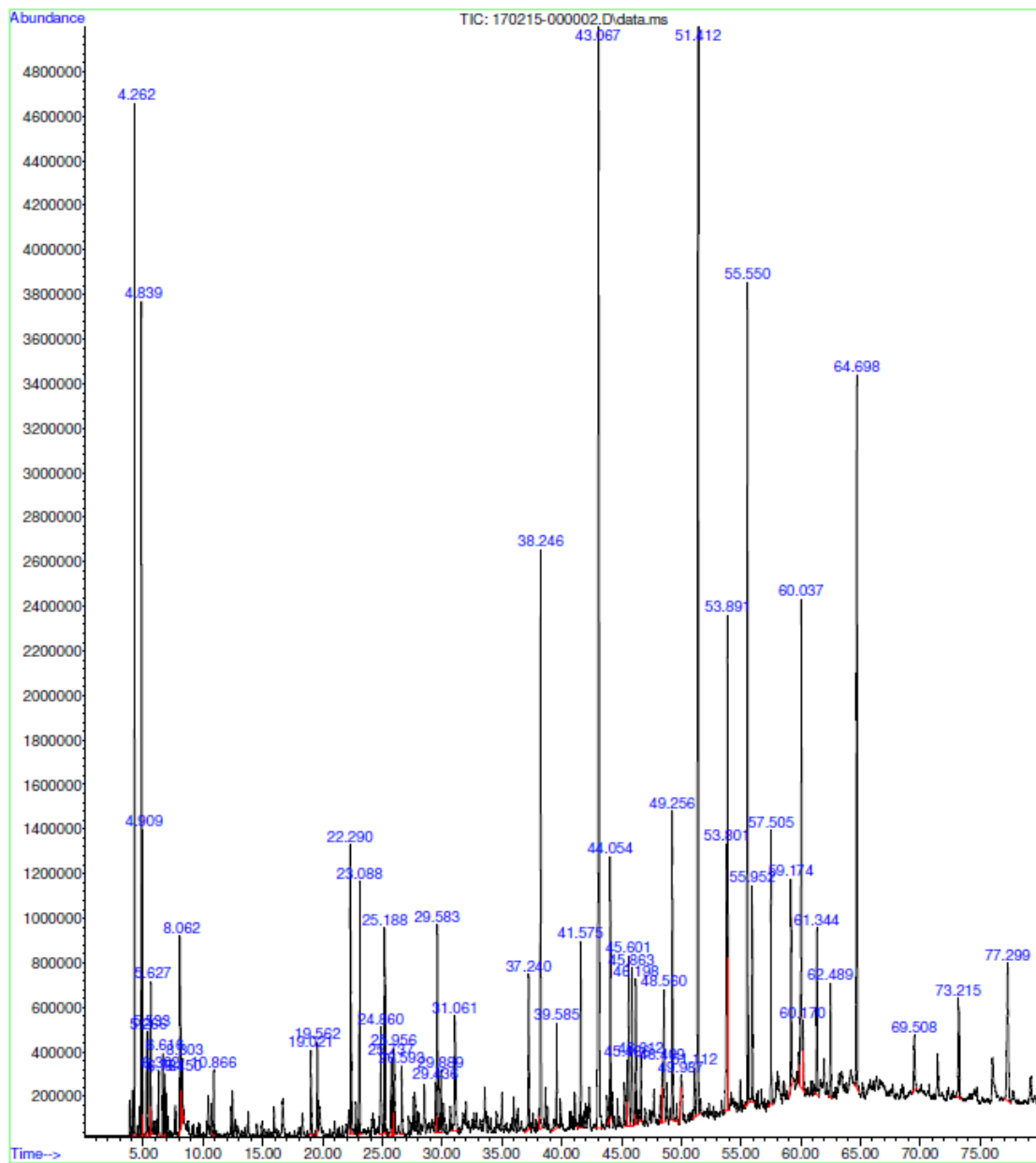


Figura 122. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 3

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\
 Data File : 170215-000002.D
 Title :
 Acq On : 15 Feb 2017 11:20
 Operator : Adem
 Sample : O2
 Misc : Pirrolysis
 ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0
 Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	4.263	2.67	C:\Database\NIST05a.L Heptane Heptane Heptane	3885 3884 3886	000142-82-5 000142-82-5 000142-82-5	95 95 95
2	4.840	2.76	C:\Database\NIST05a.L Acetone Manganese(II) acetate Acetone	208 38574 210	000067-64-1 006156-78-1 000067-64-1	86 83 80
3	4.909	0.92	C:\Database\NIST05a.L Acetic acid, methyl ester Acetic acid, methyl ester Hydrogen azide	806 805 69	000079-20-9 000079-20-9 007782-79-8	91 78 5
4	5.264	0.37	C:\Database\NIST05a.L Furan, 2-methyl- Furan, 2-methyl- Furan, 3-methyl-	1144 1147 1145	000534-22-5 000534-22-5 000930-27-8	91 91 91
5	5.532	0.62	C:\Database\NIST05a.L Methyl Alcohol Methyl Alcohol Methyl Alcohol	29 31 30	000067-56-1 000067-56-1 000067-56-1	40 9 9
6	5.627	0.76	C:\Database\NIST05a.L 2-Butanone 2-Butanone 2-Butanone	637 635 634	000078-93-3 000078-93-3 000078-93-3	80 74 72
7	6.301	0.22	C:\Database\NIST05a.L Furan, 2,5-dimethyl- Furan, 2,5-dimethyl- Furan, 2,5-dimethyl-	2739 2743 2740	000625-86-5 000625-86-5 000625-86-5	95 91 91
8	6.614	0.30	C:\Database\NIST05a.L 2,3-Butanedione 2-Pentanone Acetic acid ethenyl ester	1632 1684 1651	000431-03-8 000107-87-9 000108-05-4	90 56 38
9	6.765	0.22	C:\Database\NIST05a.L 2-Pentanone 2-Pentanone 2-Pentanone	1683 1684 1679	000107-87-9 000107-87-9 000107-87-9	72 64 64
10	8.061	0.84	C:\Database\NIST05a.L Toluene Toluene Toluene	2395 2400 2398	000108-88-3 000108-88-3 000108-88-3	95 94 87
11	8.152	0.55	C:\Database\NIST05a.L Ammonia Water	6 7	007664-41-7 007732-18-5	2 1
12	8.302	0.32	C:\Database\NIST05a.L 2,3-Pentanedione 2,3-Pentanedione	3583 3584	000600-14-6 000600-14-6	64 58

solventes SCAN.M Mon Feb 20 10:57:41 2017

Figura 123. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 3 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\
 Data File : 170215-000002.D
 Title :
 Acq On : 15 Feb 2017 11:20
 Operator : AdeM
 Sample : 02
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			3-Pentanone, 2-methyl-	3787	000565-69-5	50
13	10.867	0.31	C:\Database\NIST05a.L			
			p-Xylene	4946	000106-42-3	97
			o-Xylene	4945	000095-47-6	95
			p-Xylene	4944	000106-42-3	95
14	19.019	0.61	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one	1152	000930-30-3	94
			2-Cyclopenten-1-one	1151	000930-30-3	91
			1H-Pyrazole, 3-methyl-	1123	001453-58-3	52
15	19.560	0.52	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2761	001120-73-6	90
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2758	001120-73-6	90
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2760	001120-73-6	72
16	22.289	3.31	C:\Database\NIST05a.L			
			Acetic acid	258	000064-19-7	94
			Acetic acid	254	000064-19-7	91
			Acetic acid	256	000064-19-7	91
17	23.090	1.74	C:\Database\NIST05a.L			
			Furfural	2677	000098-01-1	95
			Furfural	2676	000098-01-1	95
			Furfural	2674	000098-01-1	91
18	24.859	0.82	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5616	001192-62-7	76
			Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5617	001192-62-7	76
			Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5615	001192-62-7	68
19	25.187	1.24	C:\Database\NIST05a.L			
			Butanoic acid, (tetrahydro-2-furan yl)methyl ester	38339	002217-33-6	72
			Propanoic acid, 2-methyl-, anhydri de	28761	000097-72-3	64
			Furan, tetrahydro-2-(methoxymethyl)-	7975	019354-27-9	64
20	25.737	0.67	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-	2762	002758-18-1	95
			2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-	2759	002758-18-1	93
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2760	001120-73-6	86
21	25.955	0.71	C:\Database\NIST05a.L			
			Propanoic acid	793	000079-09-4	95
			Propanoic acid	794	000079-09-4	95
			Propanoic acid	795	000079-09-4	91
22	26.592	0.53	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl-	5710	001121-05-7	94
			2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl-	5707	001121-05-7	94
			1,4-Pentadiene, 3-methyl-	1226	001115-08-8	45
23	29.435	0.30	C:\Database\NIST05a.L			
			Acetic acid, phenyl ester	15761	000122-79-2	87

solventes SCAN.M Mon Feb 20 10:57:41 2017

Figura 124. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 3 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\
 Data File : 170215-000002.D
 Title :
 Acq On : 15 Feb 2017 11:20
 Operator : AdeM
 Sample : 02
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			Acetic acid, phenyl ester	15763	000122-79-2	80
			Benzene, propoxy-	15831	000622-85-5	72
24	29.585	1.58	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzoic acid, methyl ester	15768	000093-58-3	94
			Benzoic acid, methyl ester	15767	000093-58-3	94
			Benzoic acid, hydrazide	15611	000613-94-5	91
25	29.890	0.59	C:\Database\NIST05a.L			
			Butyrolactone	1626	000096-48-0	93
			Butyrolactone	1625	000096-48-0	93
			Butyrolactone	1620	000096-48-0	90
26	31.059	1.45	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Furanmethanol	3015	000098-00-0	94
			3-Furanmethanol	3019	004412-91-3	93
			2-Furanmethanol	3020	000098-00-0	91
27	37.240	1.11	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl-	6245	000080-71-7	93
			1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl-	6231	000765-70-8	93
			1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl-	6229	000765-70-8	91
28	38.246	3.73	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-methoxy-	10080	000090-05-1	97
			Phenol, 2-methoxy-	10081	000090-05-1	94
			Phenol, 2-methoxy-	10079	000090-05-1	91
29	39.588	0.85	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy-	10847	021835-01-8	95
			2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy-	10848	021835-01-8	91
			Hydrazine, (3-fluorophenyl)-	10801	002924-16-5	72
30	41.575	1.25	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	16763	000093-51-6	95
			2-Methoxy-5-methylphenol	16728	001195-09-1	94
			Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	16758	000093-51-6	94
31	43.067	15.51	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol	2533	000108-95-2	95
			Phenol	2532	000108-95-2	95
			Phenol	2531	000108-95-2	91
32	44.054	1.57	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	24917	002785-89-9	91
			Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	24916	002785-89-9	90
			Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	24911	002785-89-9	90
33	45.464	0.45	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2,5-dimethyl-	9623	000095-87-4	96
			Phenol, 2,3-dimethyl-	9615	000526-75-0	96
			Phenol, 2,4-dimethyl-	9620	000105-67-9	96
34	45.601	1.38	C:\Database\NIST05a.L			

solventes SCAN.M Mon Feb 20 10:57:41 2017

Figura 125. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 3 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\
 Data File : 170215-000002.D
 Title :
 Acq On : 15 Feb 2017 11:20
 Operator : AdeM
 Sample : 02
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			Phenol, 4-methyl-	5230	000106-44-5	90
			Phenol, 3-methyl-	5233	000108-39-4	60
			Phenol, 3-ethyl-	9604	000620-17-7	58
35	45.865	1.15	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 3-methyl-	5227	000108-39-4	96
			Phenol, 4-methyl-	5230	000106-44-5	94
			Phenol, 4-methyl-	5225	000106-44-5	93
36	46.197	1.04	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzoic acid, 4-methoxy-, methyl ester	34027	000121-98-2	94
			Benzoic acid, 4-methoxy-, methyl ester	34032	000121-98-2	91
			m-Anisic hydrazide	33816	005785-06-8	91
37	46.611	0.40	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-methoxy-4-propyl-	33184	002785-87-7	90
			2',4'-Dihydroxypropiophenone	33972	005792-36-9	72
			4-Amino-2,3-xyleneol	16147	003096-69-3	59
38	48.407	0.42	C:\Database\NIST05a.L			
			Eugenol	31714	000097-53-0	98
			Eugenol	31716	000097-53-0	96
			Eugenol	31715	000097-53-0	96
39	48.557	1.31	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 3-ethyl-	9604	000620-17-7	90
			Phenol, 3-ethyl-	9603	000620-17-7	83
			Phenol, 4-ethyl-	9609	000123-07-9	83
40	49.258	2.13	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Methoxy-4-vinylphenol	23425	007786-61-0	90
			Phenol, 2,3,4,6-tetramethyl-	22766	003238-38-8	72
			Ethanone, 1-(2-hydroxy-5-methylphenyl)-	23537	001450-72-2	72
41	49.986	-0.01	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 3,4-dimethyl-	9626	000095-65-8	93
			Phenol, 2,4-dimethyl-	9627	000105-67-9	90
			Phenol, 3,4-dimethyl-	9634	000095-65-8	81
42	51.114	0.48	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)-	31885	005932-68-3	96
			Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)-	31883	005932-68-3	96
			Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (Z)-	31881	005912-86-7	96
43	51.414	10.71	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2,6-dimethoxy-	26272	000091-10-1	97
			3-Amino-2,6-dimethoxypyridine	26163	028020-37-3	72
			Phenol, 3,4-dimethoxy-	26273	002033-89-8	64
44	53.802	1.89	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-,	31883	005932-68-3	98

solventes SCAN.M Mon Feb 20 10:57:41 2017

Figura 126. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 3 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\
 Data File : 170215-000002.D
 Title :
 Acq On : 15 Feb 2017 11:20
 Operator : AdeM
 Sample : O2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			(E)- Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-,	31885	005932-68-3	96
			(E)- Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-	31833	000097-54-1	96
45	53.893	3.18	C:\Database\NIST05a.L Benzoic acid, 4-hydroxy-3-methoxy- 4-Methoxy-2-methyl-1-(methylthio)b enzene Benzenamine, 4-methoxy-2-nitro-	35429 35577 35291	000121-34-6 022583-04-6 000096-96-8	64 64 64
46	55.549	5.30	C:\Database\NIST05a.L 2,4,6(1H,3H,5H)-Pyrimidinetrione, 5-(2-methylpropylidene)- Phenol, 3-[(trimethylsilyl)oxy]- Hydroquinone mono-trimethylsilyl e ther	44961 45160 45161	027406-43-5 017882-01-8 017881-87-7	56 50 50
47	55.954	1.52	C:\Database\NIST05a.L Benzenecarboxylic acid Benzenecarboxylic acid Heptanediamide, N,N'-di-benzoyloxy	9580 9581 170662	000065-85-0 000065-85-0 1000253-26-4	96 95 91
48	57.505	1.75	C:\Database\NIST05a.L 4-Propyl-1,1'-diphenyl 2,4-Hexadienedioic acid, 3,4-dieth yl-, dimethyl ester, (E,Z)- Heptane, 1,1-diphenyl-	54565 75559 93569	010289-45-9 031545-75-2 001530-05-8	72 36 33
49	59.174	1.45	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propeny l)- Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propeny l)- 2-Chloro-4,6-dimethyl-5-nitropyrid ine-3-carbonitrile	52459 52464 65241	006627-88-9 006627-88-9 006220-77-5	98 98 52
50	60.038	4.11	C:\Database\NIST05a.L 2,3,5,6-Tetrafluoroanisole 2,4,7(1H,3H,8H)-Pteridinetrione Benzaldehyde, 4-nitro-, O-methylox ime	43464 43409 43575	002324-98-3 002577-38-0 033499-32-0	58 50 43
51	60.170	0.65	C:\Database\NIST05a.L 4-Methoxyanthranilic acid 1,2-Benzenedicarboxylic acid, dicy clohexyl ester Phthalic acid, 5-methoxy-3-methylp ent-2-yl octyl ester	34368 142441 169056	004294-95-5 000084-61-7 1000315-38-0	64 59 59
52	61.344	1.15	C:\Database\NIST05a.L N-(4-Methoxyphenyl)-2-hydroxyimino -acetamide Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propeny l)- Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propeny l)-	53297 52464 52459	1000143-61-3 006627-88-9 006627-88-9	97 93 83

solventes SCAN.M Mon Feb 20 10:57:41 2017

Figura 127. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 3 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Tesis\Alejandro\
 Data File : 170215-000002.D
 Title :
 Acq On : 15 Feb 2017 11:20
 Operator : AdeM
 Sample : O2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - events.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
53	62.490	0.81	C:\Database\NIST05a.L 6-Amino-2,4-dimethylphenol	16182	041458-65-5	59
			Ethyl homovanillate	63951	060563-13-5	59
			2-Propanone, 1-hydroxy-3-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-	54003	004899-74-5	53
54	64.701	5.88	C:\Database\NIST05a.L N-(4-Methoxyphenyl)-2-hydroxyimino-acetamide	53297	1000143-61-3	96
			Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	52464	006627-88-9	94
			Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)-	52459	006627-88-9	94
55	69.508	0.63	C:\Database\NIST05a.L Benzoic acid, 4-methoxy-	24767	000100-09-4	96
			Benzoic acid, 4-methoxy-	24763	000100-09-4	94
			Benzoic acid, 4-methoxy-	24769	000100-09-4	93
56	73.216	1.29	C:\Database\NIST05a.L Methylparaben	24748	000099-76-3	87
			Methylparaben	24747	000099-76-3	87
			Methylparaben	24749	000099-76-3	87
57	77.300	1.98	C:\Database\NIST05a.L Desaspidinol	63949	000437-72-9	80
			2-Pentanone, 1-(2,4,6-trihydroxyphenyl)	63972	1000116-22-3	72
			1-Butanone, 1-(2,4,6-trihydroxy-3-methylphenyl)-	63979	001509-06-4	72

Figura 128. Cromatograma de gases para fase acuosa – corrida 4

File :C:\msdchem\1\DATA\Varios\161114\161114-0002.D
Operator : AdeM
Acquired : 14 Nov 2016 15:59 using AcqMethod RESIDUO CARBONIZACION SCAN 2.M
Instrument : GC-MSD
Sample Name: pirolisis
Misc Info : Fraccion acuosa
Vial Number: 2

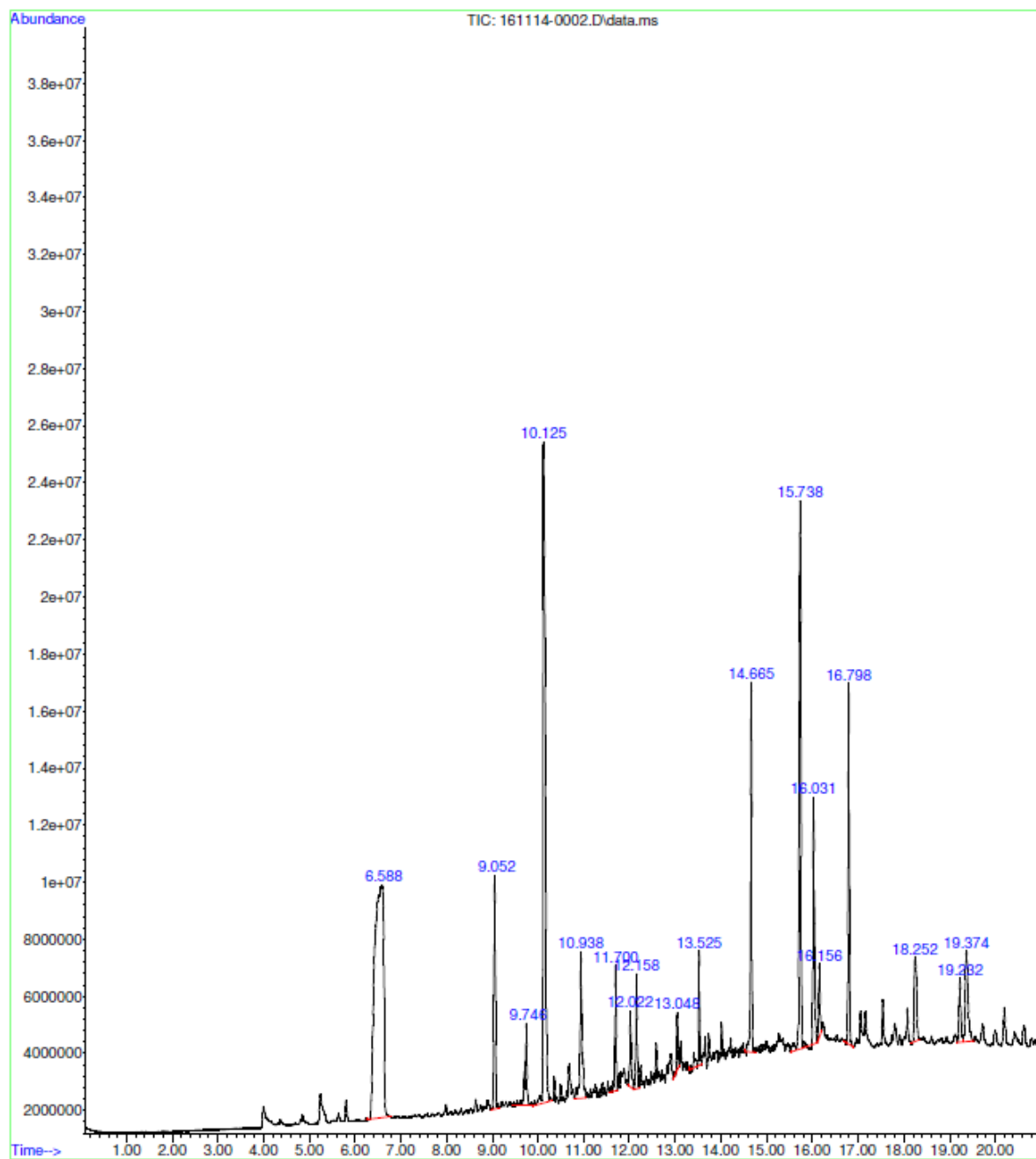


Figura 129. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 4

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Varios\161114\
 Data File : 161114-0002.D
 Title :
 Acq On : 14 Nov 2016 15:59
 Operator : AdeM
 Sample : pirolisis
 Misc : Fraccion acuosa
 ALS Vial : 2 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	6.588	25.96	C:\Database\NIST05a.L			
			Ammonia	6	007664-41-7	2
			Water	7	007732-18-5	1
2	9.053	3.86	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Propanone, 1-hydroxy-	801	000116-09-6	87
			2-Propanone, 1-hydroxy-	799	000116-09-6	86
			2-Propanone, 1-hydroxy-	800	000116-09-6	78
3	9.744	2.23	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Hydroxy-2-butanone	1996	005077-67-8	62
			1-Hydroxy-2-butanone	1999	005077-67-8	59
			Oxirane, (butoxymethyl)-	13011	002426-08-6	40
4	10.126	19.41	C:\Database\NIST05a.L			
			Acetic acid	258	000064-19-7	91
			Acetic acid	256	000064-19-7	91
			Acetic acid	255	000064-19-7	91
5	10.936	3.45	C:\Database\NIST05a.L			
			Propanoic acid	793	000079-09-4	96
			Propanoic acid	794	000079-09-4	93
			Propanoic acid	795	000079-09-4	90
6	11.700	2.02	C:\Database\NIST05a.L			
			Butanoic acid	1983	000107-92-6	90
			Butanoic acid	1980	000107-92-6	83
			Hydrazine, 1,1-dimethyl-	274	000057-14-7	50
7	12.023	1.35	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Furanmethanol	3020	000098-00-0	93
			2-Furanmethanol	3015	000098-00-0	93
			2-Furanmethanol	3018	000098-00-0	81
8	12.160	1.94	C:\Database\NIST05a.L			
			Butyrolactone	1624	000096-48-0	93
			Butyrolactone	1622	000096-48-0	81
			Butyrolactone	1626	000096-48-0	81
9	13.047	0.88	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-	3049	010493-98-8	49
			3H-Pyrazol-3-one, 1,2-dihydro-5-methyl-	2985	004344-87-0	47
			1,2-Cyclopentanedione	3030	003008-40-0	43
10	13.524	1.89	C:\Database\NIST05a.L			
			1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl-	6225	000765-70-8	92
			2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl-	6245	000080-71-7	89
			2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl-	6247	000080-71-7	87
11	14.666	6.07	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol	2529	000108-95-2	95
			Phenol	2532	000108-95-2	95
			Phenol	2533	000108-95-2	94

Figura 130. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 4 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Varios\161114\
 Data File : 161114-0002.D
 Title :
 Acq On : 14 Nov 2016 15:59
 Operator : AdeM
 Sample : pirolisis
 Misc : Fraccion acuosa
 ALS Vial : 2 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
12	15.739	11.83	C:\Database\NIST05a.L Cyclobutanol	639	002919-23-5	64
			1,3-Propanediamine, N-methyl-	1947	006291-84-5	59
			Butanal, 3-methyl-	1714	000590-86-3	59
13	16.031	4.80	C:\Database\NIST05a.L 2-Furanmethanol, tetrahydro-	4211	000097-99-4	72
			Oxirane, 3-hydroxypropyl-	4191	021915-56-0	64
			2-Tetrahydrofurfuryl isothiocyanat	19492	036810-87-4	64
14	16.158	1.23	C:\Database\NIST05a.L 3-Methyloxirane-2-carboxylic acid	4138	002443-40-5	59
			1-Butanol, 4-methoxy-	4648	000111-32-0	47
			1,4,7,10,13,16-Hexaoxacyclooctadecane	100938	017455-13-9	47
15	16.799	5.77	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2,6-dimethoxy-	26272	000091-10-1	96
			Phenol, 2,6-dimethoxy-	26275	000091-10-1	93
			3-Amino-2,6-dimethoxypyridine	26163	028020-37-3	72
16	18.250	2.65	C:\Database\NIST05a.L 3-Pyridinol	2603	000109-00-2	35
			2(1H)-Pyridinone	2609	000142-08-5	35
			4(1H)-Pyridone	2607	000108-96-3	35
17	19.233	1.52	C:\Database\NIST05a.L 5-Hydroxymethyl-dihydrofuran-2-one	7820	1000194-17-0	43
			Thiazole	1505	000288-47-1	43
			Thiophene, 2,3-dihydro-	1674	001120-59-8	40
18	19.374	3.14	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Benzenediol, 3-methoxy-	17713	000934-00-9	96
			1,2-Benzenediol, 3-methoxy-	17712	000934-00-9	96
			1,2-Benzenediol, 3-methoxy-	17709	000934-00-9	95

Figura 131. Cromatograma de gases para fase orgánica – corrida 4

File :C:\msdchem\1\DATA\Varios\161114\161114-0003.D
Operator : AdeM
Acquired : 14 Nov 2016 16:28 using AcqMethod RESIDUO CARBONIZACION SCAN 2.M
Instrument : GC-MSD
Sample Name: pirolisis
Misc Info : Fraccion organica superior
Vial Number: 3

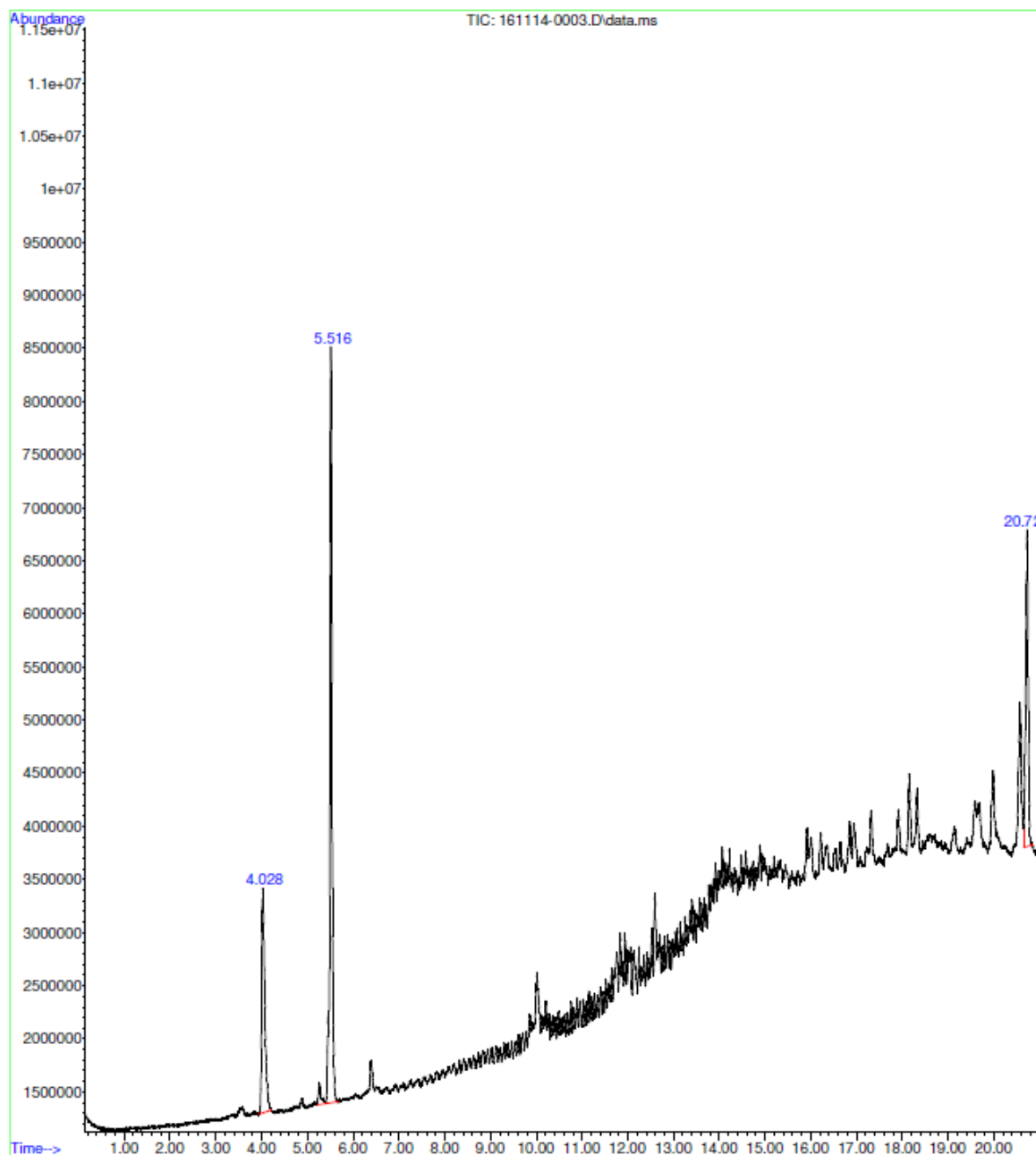


Figura 132. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 4

```

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Varios\161114\
Data File : 161114-0003.D
Title      :
Acq On    : 14 Nov 2016 16:28
Operator  : AdeM
Sample    : pirolisis
Misc      : Fraccion organica superior
ALS Vial  : 3   Sample Multiplier: 1

Search Libraries:  C:\Database\NIST05a.L           Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum:  Apex
Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

```

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	4.027	22.18	C:\Database\NIST05a.L			
			Ammonia	6	007664-41-7	2
			Water	7	007732-18-5	1
2	5.514	53.07	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethyl alcohol	95	000064-17-5	91
			Ethyl alcohol	94	000064-17-5	90
			Ethyl alcohol	93	000064-17-5	53
3	20.725	24.75	C:\Database\NIST05a.L			
			Desaspidinol	63949	000437-72-9	50
			2-Pentanone, 1-(2,4,6-trihydroxyph enyl)	63972	1000116-22-3	50
			Benzene, 1,1'-tetradecylidenebis-	152798	055268-63-8	43

Figura 133. Cromatograma de gases para fase acuosa – corrida 5

File :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\170504-000003.D
Operator : AdeM
Acquired : 4 May 2017 15:07 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX B SCAN 2.M
Instrument : GC-MSD
Sample Name: Acuosa 1
Misc Info : Pirrolisis
Vial Number: 3

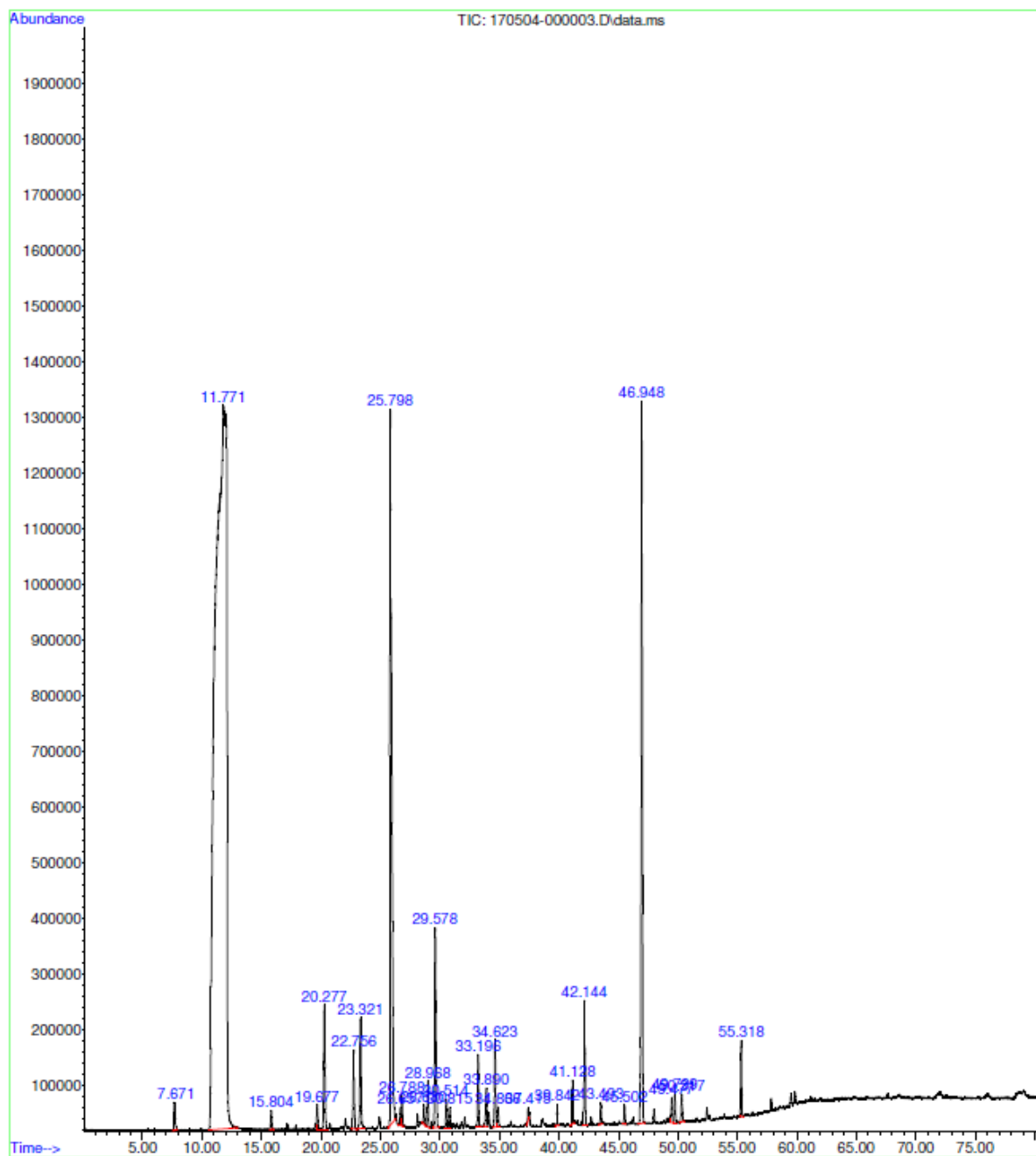


Figura 134. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 5

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000003.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 15:07
 Operator : AdeM
 Sample : Acuosa 1
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	7.670	0.31	C:\Database\NIST05a.L Methyl Alcohol	31	000067-56-1	9
			Methyl Alcohol	29	000067-56-1	9
			Methyl Alcohol	30	000067-56-1	4
2	11.773	69.58	C:\Database\NIST05a.L Ammonia	6	007664-41-7	2
			Water	7	007732-18-5	1
3	15.803	0.18	C:\Database\NIST05a.L Pyridine	1015	000110-86-1	94
			Pyridine	1016	000110-86-1	91
			Cyclobutane, 1,2-bis(methylene)-	1082	014296-80-1	78
4	19.678	0.24	C:\Database\NIST05a.L 2-Butanone, 3-hydroxy-	2002	000513-86-0	72
			2-Butanone, 3-hydroxy-	2006	000513-86-0	64
			Paraldehyde	13805	000123-63-7	38
5	20.279	1.29	C:\Database\NIST05a.L 2-Propanone, 1-hydroxy-	801	000116-09-6	80
			2-Propanone, 1-hydroxy-	799	000116-09-6	72
			2-Propanone, 1-hydroxy-	800	000116-09-6	64
6	22.758	0.75	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one	1151	000930-30-3	96
			2-Cyclopenten-1-one	1152	000930-30-3	95
			2-Cyclohexen-1-one, 3-methyl-	5695	001193-18-6	72
7	23.322	1.22	C:\Database\NIST05a.L 1-Hydroxy-2-butanone	1999	005077-67-8	87
			1-Hydroxy-2-butanone	1996	005077-67-8	87
			Methyl propionate	1991	000554-12-1	50
8	25.796	11.00	C:\Database\NIST05a.L Acetic acid	256	000064-19-7	91
			Acetic acid	254	000064-19-7	91
			Acetic acid	258	000064-19-7	91
9	26.656	0.15	C:\Database\NIST05a.L 2-Propanone, 1-(acetyloxy)-	7816	000592-20-1	72
			1,2-Ethanediol, diacetate	20992	000111-55-7	64
			2-Propanone, 1-(acetyloxy)-	7815	000592-20-1	59
10	26.788	0.24	C:\Database\NIST05a.L Furfural	2674	000098-01-1	94
			3-Furaldehyde	2678	000498-60-2	91
			Furfural	2677	000098-01-1	91
11	28.630	0.16	C:\Database\NIST05a.L Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5617	001192-62-7	87
			Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5614	001192-62-7	83
			Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5615	001192-62-7	83
12	28.967	0.34	C:\Database\NIST05a.L Furan, tetrahydro-2-(methoxymethyl)-	7978	019354-27-9	64

ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Mon May 08 12:37:39 2017

Figura 135. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 5 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000003.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 15:07
 Operator : AdeM
 Sample : Acuosa 1
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			Furan, tetrahydro-2-(methoxymethyl)-	7975	019354-27-9	64
			Propanoic acid, 2-methyl-, anhydride	28761	000097-72-3	56
13	29.576	2.14	C:\Database\NIST05a.L Propanoic acid	793	000079-09-4	96
			Propanoic acid	794	000079-09-4	96
			Propanoic acid	795	000079-09-4	94
14	30.513	0.26	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl-	5707	001121-05-7	94
			2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl-	5710	001121-05-7	90
			2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl-	5709	001121-05-7	90
15	30.813	0.16	C:\Database\NIST05a.L Propanoic acid, 2-methyl-	2026	000079-31-2	91
			Propanoic acid, 2-methyl-	2027	000079-31-2	91
			Propanoic acid, 2-methyl-	2025	000079-31-2	90
16	33.197	0.60	C:\Database\NIST05a.L Butanoic acid	1983	000107-92-6	91
			Butanoic acid	1980	000107-92-6	91
			4-Bromobutyric acid	33618	002623-87-2	50
17	33.888	0.38	C:\Database\NIST05a.L Butyrolactone	1626	000096-48-0	94
			Butyrolactone	1625	000096-48-0	91
			Butyrolactone	1622	000096-48-0	90
18	34.625	0.82	C:\Database\NIST05a.L 2-Furanmethanol	3017	000098-00-0	96
			2-Furanmethanol	3020	000098-00-0	95
			2-Furanmethanol	3015	000098-00-0	94
19	34.866	0.22	C:\Database\NIST05a.L Pentanoic acid, 3-methyl-	7898	000105-43-1	38
			Formic acid hydrazide	294	000624-84-0	38
			D-Serine	4776	000312-84-5	33
20	37.414	0.06	C:\Database\NIST05a.L Pentanoic acid	4153	000109-52-4	90
			Pentanoic acid	4152	000109-52-4	83
			Butanoic acid	1983	000107-92-6	78
21	39.843	0.16	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3,4-dimethyl-	10862	021835-00-7	90
			2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy-	10847	021835-01-8	58
			Benzene, 1-fluoro-2-methoxy-	10949	000321-28-8	53
22	41.130	0.35	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl-	6245	000080-71-7	95
			1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl-	6225	000765-70-8	95
			1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl-	6229	000765-70-8	91

ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Mon May 08 12:37:39 2017

Figura 136. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 5 (continuación)

```

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
Data File : 170504-000003.D
Title :
Acq On : 4 May 2017 15:07
Operator : AdeM
Sample : Acuosa 1
Misc : Pirrolisis
ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

```

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
23	42.144	1.00	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-methoxy-	10080	000090-05-1	97
			Phenol, 2-methoxy-	10081	000090-05-1	94
			Phenol, 2-methoxy-	10077	000090-05-1	91
24	43.495	0.18	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hyd	10848	021835-01-8	96
			roxy-			
			2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hyd	10847	021835-01-8	95
			roxy-			
			Cyclohexanone, 2,3-dimethyl-	11061	013395-76-1	53
25	45.501	0.14	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	16763	000093-51-6	97
			Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	16758	000093-51-6	96
			2-Methoxy-5-methylphenol	16728	001195-09-1	93
26	46.947	6.71	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol	2529	000108-95-2	95
			Phenol	2533	000108-95-2	94
			Phenol	2532	000108-95-2	94
27	49.477	0.25	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 4-methyl-	5230	000106-44-5	95
			Phenol, 4-methyl-	5225	000106-44-5	93
			Phenol, 4-methyl-	5235	000106-44-5	90
28	49.740	0.26	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 3-methyl-	5227	000108-39-4	96
			Phenol, 4-methyl-	5230	000106-44-5	94
			Phenol, 4-methyl-	5225	000106-44-5	93
29	50.318	0.27	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Propanamine	244	000075-31-0	64
			2(3H)-Furanone, dihydro-4-hydroxy-	4139	005469-16-9	56
			Acetic acid, [(aminocarbonyl)amino	13684	000585-05-7	56
]oxo-			
30	55.317	0.60	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2,6-dimethoxy-	26272	000091-10-1	97
			Phenol, 2,6-dimethoxy-	26275	000091-10-1	95
			3-Pyridinamine, 2,6-dimethoxy-	26164	080789-72-6	59

Figura 137. Cromatograma de gases para fase orgánica – corrida 5

File :C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\170504-000005.D
Operator : AdeM
Acquired : 4 May 2017 18:01 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX B SCAN 2.M
Instrument : GC-MSD
Sample Name: Organica 1
Misc Info : Pirrolisis
Vial Number: 5

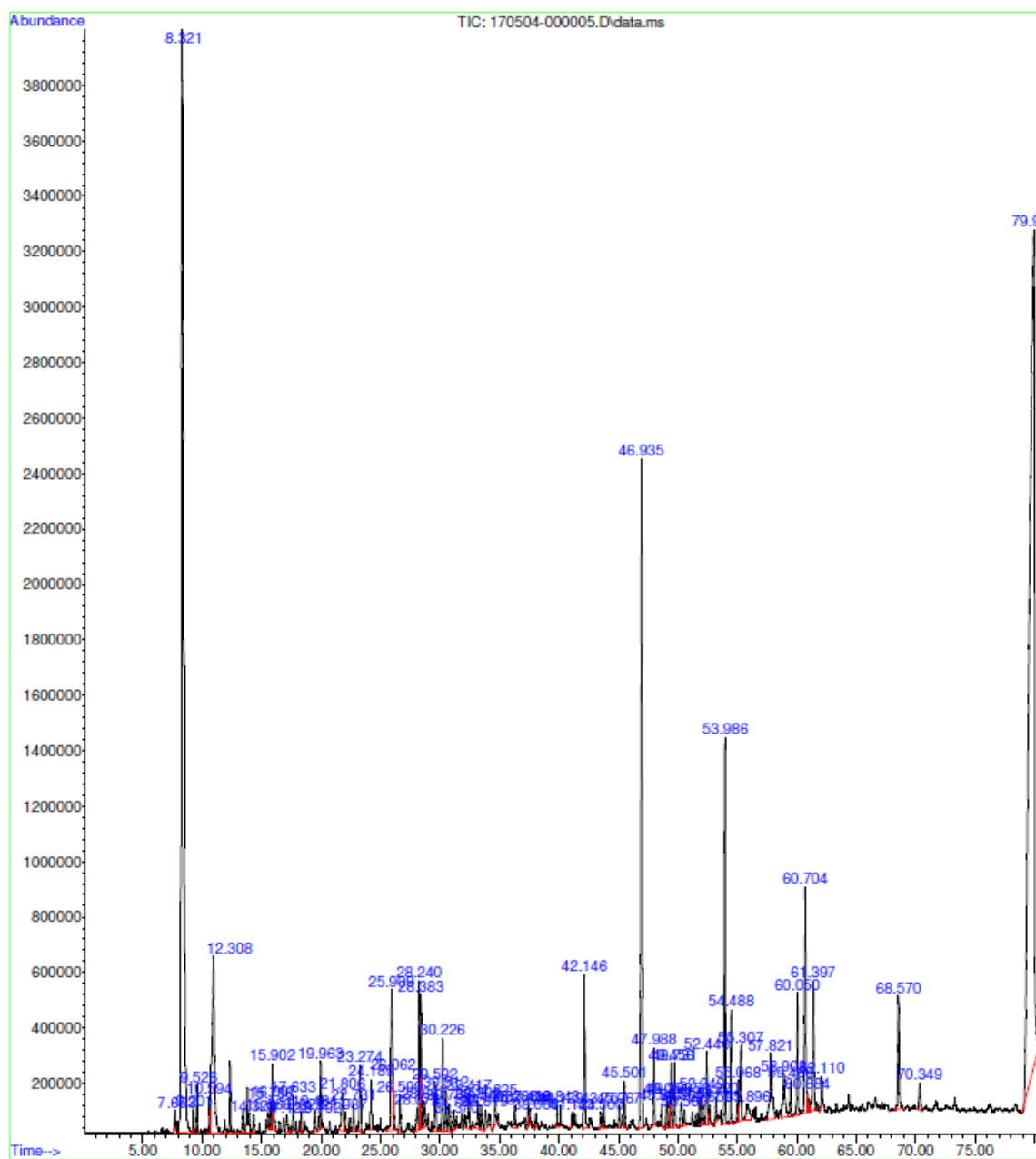


Figura 138. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 5

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000005.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 18:01
 Operator : AdeM
 Sample : Organica 1
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	7.693	0.08	C:\Database\NIST05a.L			
			Nonane	12267	000111-84-2	96
			Nonane	12268	000111-84-2	94
			Nonane	12269	000111-84-2	91
2	8.320	21.04	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethyl alcohol	93	000064-17-5	91
			Ethyl alcohol	95	000064-17-5	90
			Ethyl alcohol	94	000064-17-5	59
3	9.203	0.10	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Pentanone	1679	000107-87-9	80
			2-Pentanone	1684	000107-87-9	72
			Ethanone, 1-oxiranyl-	1644	004401-11-0	72
4	9.526	0.21	C:\Database\NIST05a.L			
			Decane	18488	000124-18-5	96
			Decane	18485	000124-18-5	95
			Decane	18487	000124-18-5	93
5	10.595	0.15	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Decene	17320	000872-05-9	97
			1-Decene	17319	000872-05-9	96
			1-Decene	17321	000872-05-9	91
6	12.309	4.93	C:\Database\NIST05a.L			
			Undecane	27239	001120-21-4	97
			Undecane	27236	001120-21-4	96
			Undecane	27238	001120-21-4	95
7	14.325	0.13	C:\Database\NIST05a.L			
			5-Undecene	25903	004941-53-1	97
			2-Undecene, (E)-	25910	000693-61-8	94
			2-Undecene, (Z)-	25919	000821-96-5	94
8	15.566	0.09	C:\Database\NIST05a.L			
			p-Xylene	4950	000106-42-3	97
			Benzene, 1,3-dimethyl-	4970	000108-38-3	97
			o-Xylene	4953	000095-47-6	97
9	15.735	0.19	C:\Database\NIST05a.L			
			Cyclopentanone	1369	000120-92-3	91
			Cyclopentanone	1376	000120-92-3	90
			Cyclopentanone	1375	000120-92-3	72
10	15.903	0.45	C:\Database\NIST05a.L			
			Dodecane	36431	000112-40-3	96
			Dodecane	36430	000112-40-3	95
			Dodecane	36428	000112-40-3	93
11	16.008	0.24	C:\Database\NIST05a.L			
			Cyclopentanone, 2-methyl-	3164	001120-72-5	94
			Cyclopentanone, 2-methyl-	3154	001120-72-5	94
			Cyclohexanone	3099	000108-94-1	83
12	17.122	0.20	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	9132	000611-14-3	95

ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Mon May 08 12:41:51 2017

Figura 139. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 5 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000005.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 18:01
 Operator : AdeM
 Sample : Organica 1
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			Benzene, 1-ethyl-3-methyl-	9130	000620-14-4	95
			Benzene, 1-ethyl-3-methyl-	9133	000620-14-4	95
13	17.631	0.23	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Dodecene	34946	000112-41-4	98
			1-Dodecene	34944	000112-41-4	96
			1-Dodecene	34945	000112-41-4	95
14	18.323	0.13	C:\Database\NIST05a.L			
			Styrene	4752	000100-42-5	97
			Styrene	4749	000100-42-5	97
			Styrene	4751	000100-42-5	96
15	19.464	0.21	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzene, 1,3,5-trimethyl-	9123	000108-67-8	94
			Benzene, 1,2,3-trimethyl-	9125	000526-73-8	93
			Benzene, 1,2,3-trimethyl-	9115	000526-73-8	93
16	19.792	0.09	C:\Database\NIST05a.L			
			Cyclopentanone, 2-ethyl-	6346	004971-18-0	96
			Cyclopentanone, 2-ethyl-	6363	004971-18-0	90
			Cyclohexane	1433	000110-82-7	60
17	19.965	0.50	C:\Database\NIST05a.L			
			Tridecane	46086	000629-50-5	96
			Tridecane	46084	000629-50-5	94
			Tridecane	46083	000629-50-5	93
18	21.807	0.51	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Tridecene	44614	002437-56-1	99
			1-Tridecene	44618	002437-56-1	98
			Cyclopropane, nonyl-	34976	074663-85-7	91
19	21.984	0.13	C:\Database\NIST05a.L			
			1,3-Hexadiene, c&t	1178	000592-48-3	86
			1,3-Pentadiene, 3-methyl-, (Z)-	1238	002787-45-3	86
			2-Cyclopenten-1-one, 3,4-dimethyl-	5708	030434-64-1	58
20	22.730	0.21	C:\Database\NIST05a.L			
			3-Hexyne	1162	000928-49-4	89
			2-Cyclopenten-1-one	1152	000930-30-3	78
			2-Hexyne	1164	000764-35-2	70
21	23.276	0.50	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2758	001120-73-6	95
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2761	001120-73-6	95
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2760	001120-73-6	86
22	24.191	0.39	C:\Database\NIST05a.L			
			Tetradecane	55973	000629-59-4	97
			Tetradecane	55975	000629-59-4	96
			Tetradecane	55974	000629-59-4	95
23	25.910	1.43	C:\Database\NIST05a.L			
			Acetic acid	258	000064-19-7	93
			Acetic acid	254	000064-19-7	90
			Acetic acid	256	000064-19-7	90

Figura 140. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 5 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000005.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 18:01
 Operator : AdeM
 Sample : Organica 1
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
24	26.060	0.43	C:\Database\NIST05a.L 2-Tetradecene, (E)- Cyclododecane 1-Tetradecene	54521 34947 54508	035953-53-8 000294-62-2 001120-36-1	95 89 87
25	26.601	0.29	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl- 2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl- Bicyclo[2.2.2]octane	5707 5710 5771	001121-05-7 001121-05-7 000280-33-1	95 87 80
26	28.080	0.22	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 3,4-dimethyl- 4,4-Dimethyl-2-cyclopenten-1-one Cyclopentene, 1-(1-methylethyl)-	5708 5705 5863	030434-64-1 022748-16-9 001462-07-3	92 64 58
27	28.239	1.02	C:\Database\NIST05a.L 2-Decanone 2-Decanone 2-Decanone	27036 27035 27029	000693-54-9 000693-54-9 000693-54-9	97 95 93
28	28.384	1.05	C:\Database\NIST05a.L Pentadecane Pentadecane Tetradecane	66066 66064 55975	000629-62-9 000629-62-9 000629-59-4	97 92 91
29	28.666	0.35	C:\Database\NIST05a.L Furan, 2-ethyl-5-methyl- Ethanone, 1-(1H-pyrazol-4-yl)- Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5662 5563 5614	001703-52-2 025016-16-4 001192-62-7	49 49 49
30	29.594	0.62	C:\Database\NIST05a.L Propanoic acid Propanoic acid Propanoic acid	793 794 795	000079-09-4 000079-09-4 000079-09-4	97 93 76
31	30.227	0.78	C:\Database\NIST05a.L 1-Pentadecene 1-Tridecene 1-Hexadecanol	64457 44618 86858	013360-61-7 002437-56-1 036653-82-4	99 93 91
32	30.513	0.37	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl- 2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl- 2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl-	5707 5709 5710	001121-05-7 001121-05-7 001121-05-7	94 87 81
33	30.763	0.25	C:\Database\NIST05a.L 1-Pentadecene 1-Tridecanol 1-Pentadecene	64455 57259 64457	013360-61-7 000112-70-9 013360-61-7	91 91 90
34	31.127	0.15	C:\Database\NIST05a.L 3-Undecanone 2-Cyclopenten-1-one, 2,3,4-trimeth yl- Ethanone, 1-(1-cyclohexen-1-yl)-	36359 10236 10210	002216-87-7 028790-86-5 000932-66-1	52 50 46

ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Mon May 08 12:41:51 2017

Figura 141. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 5 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000005.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 18:01
 Operator : AdeM
 Sample : Organica 1
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0
 Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
35	31.368	0.08	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Pentadecene	64456	013360-61-7	95
			1-Pentadecene	64454	013360-61-7	93
			2-Tetradecene, (E)-	54521	035953-53-8	90
36	32.419	0.41	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzofuran, 2-methyl-	14063	004265-25-2	96
			Benzofuran, 2-methyl-	14068	004265-25-2	94
			Benzofuran, 2-methyl-	14067	004265-25-2	89
37	33.201	0.31	C:\Database\NIST05a.L			
			Butanoic acid	1983	000107-92-6	87
			Butanoic acid	1980	000107-92-6	87
			Butanoic acid, 3-methyl-	4187	000503-74-2	50
38	33.488	0.24	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzoic acid, methyl ester	15767	000093-58-3	95
			Benzoic acid, methyl ester	15768	000093-58-3	94
			Benzoic acid, methyl ester	15765	000093-58-3	93
39	33.820	0.17	C:\Database\NIST05a.L			
			4-Octyne, 2-methyl-	10295	010306-94-2	49
			Pyrazine, 2-methoxy-3-methyl-	10020	002847-30-5	46
			9-Methylbicyclo[3.3.1]nonane	16338	025107-01-1	45
40	34.625	0.27	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Furanmethanol	3017	000098-00-0	96
			2-Furanmethanol	3020	000098-00-0	93
			2-Furanmethanol	3015	000098-00-0	93
41	36.290	0.23	C:\Database\NIST05a.L			
			Heptadecane	85525	000629-78-7	96
			Heptadecane	85524	000629-78-7	93
			Heptadecane	85523	000629-78-7	93
42	37.418	0.13	C:\Database\NIST05a.L			
			Pentanoic acid	4152	000109-52-4	49
			Pentanoic acid	4153	000109-52-4	49
			Pentanoic acid	4151	000109-52-4	47
43	37.532	0.11	C:\Database\NIST05a.L			
			4-Ethyl-2-hydroxycyclopent-2-en-1-one	10846	028017-62-1	47
			Cyclopentene, 3,5-dimethoxy-	11847	089897-05-2	45
			Cyclohexane, 1-ethyl-2-methyl-, trans-	11267	004923-78-8	43
44	38.068	0.09	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Nonadecene	102860	018435-45-5	94
			1-Heptadecene	84041	006765-39-5	91
			Trifluoroacetic acid, n-heptadecyl ester	138900	1000216-79-2	91
45	39.842	0.17	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzene, 1-fluoro-2-methoxy-	10949	000321-28-8	43
			Benzene, 1-fluoro-2-methoxy-	10945	000321-28-8	43
			2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hyd	10848	021835-01-8	42

ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Mon May 08 12:41:51 2017

Figura 142. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 5 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000005.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 18:01
 Operator : AdeM
 Sample : Organica 1
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0
 Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			roxy-			
46	40.129	0.15	C:\Database\NIST05a.L Dodecanoic acid, methyl ester	67169	000111-82-0	95
			Dodecanoic acid, methyl ester	67167	000111-82-0	90
			Dodecanoic acid, methyl ester	67168	000111-82-0	76
47	41.125	0.11	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl-	6225	000765-70-8	96
			2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl-	6245	000080-71-7	94
			1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl-	6231	000765-70-8	87
48	42.149	1.17	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2-methoxy-	10080	000090-05-1	97
			Phenol, 2-methoxy-	10081	000090-05-1	94
			Phenol, 2-methoxy-	10079	000090-05-1	91
49	43.499	0.18	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy-	10847	021835-01-8	95
			2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy-	10848	021835-01-8	87
			2,3-Dimethyl-3-heptene	11185	1000113-49-3	70
50	43.759	0.18	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2,6-dimethyl-	9622	000576-26-1	97
			Phenol, 2,5-dimethyl-	9618	000095-87-4	97
			Phenol, 2,3-dimethyl-	9615	000526-75-0	96
51	45.069	0.19	C:\Database\NIST05a.L Heptanoic acid	12999	000111-14-8	46
			Hexanoic acid	7850	000142-62-1	45
			Heptanoic acid	12997	000111-14-8	43
52	45.501	0.37	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	16763	000093-51-6	97
			Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	16758	000093-51-6	96
			2-Methoxy-5-methylphenol	16728	001195-09-1	93
53	46.934	6.44	C:\Database\NIST05a.L Phenol	2529	000108-95-2	94
			Phenol	2533	000108-95-2	94
			Phenol	2532	000108-95-2	94
54	47.989	0.53	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	24917	002785-89-9	90
			Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	24916	002785-89-9	90
			Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	24911	002785-89-9	90
55	48.649	0.15	C:\Database\NIST05a.L Octanoic Acid	20066	000124-07-2	91
			Octanoic Acid	20063	000124-07-2	80
			Octanoic Acid	20065	000124-07-2	74
56	49.053	0.23	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2-ethyl-	9607	000090-00-6	95

ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Mon May 08 12:41:51 2017

Figura 143. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 5 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000005.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 18:01
 Operator : AdeM
 Sample : Organica 1
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			Phenol, 2-ethyl-	9606	000090-00-6	95
			Phenol, 2-ethyl-	9598	000090-00-6	93
57	49.308	0.21	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2,4-dimethyl-	9620	000105-67-9	97
			Phenol, 2,5-dimethyl-	9623	000095-87-4	96
			Phenol, 2,4-dimethyl-	9627	000105-67-9	96
58	49.458	0.70	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 4-methyl-	5230	000106-44-5	95
			Phenol, 4-methyl-	5225	000106-44-5	93
			Phenol, 4-methyl-	5229	000106-44-5	70
59	49.731	0.50	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 3-methyl-	5227	000108-39-4	96
			Phenol, 4-methyl-	5235	000106-44-5	96
			Phenol, 4-methyl-	5230	000106-44-5	95
60	50.304	0.31	C:\Database\NIST05a.L			
			Butanal, 3-methyl-	1714	000590-86-3	50
			2-Heptanamine, 5-methyl-	12641	053907-81-6	50
			1,3-Propanediamine, N-methyl-	1949	006291-84-5	50
61	50.559	0.12	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2-methoxy-4-propyl-	33184	002785-87-7	90
			Phenol, 2-methoxy-4-propyl-	33187	002785-87-7	78
			4-Amino-2,3-xyleneol	16147	003096-69-3	59
62	51.819	0.16	C:\Database\NIST05a.L			
			9-Heptadecanone	94899	000540-08-9	98
			9-Heptadecanone	94902	000540-08-9	92
			9-Heptadecanone	94904	000540-08-9	60
63	52.046	0.27	C:\Database\NIST05a.L			
			Nonanoic acid	28885	000112-05-0	92
			Phenol, 2-(1-methylethyl)-	15905	000088-69-7	42
			2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,Z)-	15294	007216-56-0	42
64	52.447	0.69	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 3-ethyl-	9604	000620-17-7	87
			Phenol, 3-ethyl-	9597	000620-17-7	81
			Phenol, 4-ethyl-	9609	000123-07-9	81
65	52.660	0.17	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 3-ethyl-	9597	000620-17-7	94
			Phenol, 3-ethyl-	9604	000620-17-7	87
			Phenol, 3-ethyl-	9603	000620-17-7	87
66	53.220	0.17	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Methoxy-4-vinylphenol	23425	007786-61-0	91
			o-Isopropylanisole	22724	002944-47-0	59
			Thymol	22700	000089-83-8	53
67	53.984	2.73	C:\Database\NIST05a.L			
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105639	000112-39-0	97
			Pentadecanoic acid, 14-methyl-, me	105662	005129-60-2	97

Figura 144. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 5 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000005.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 18:01
 Operator : AdeM
 Sample : Organica 1
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			thyl ester			
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105644	000112-39-0	97
68	54.489	0.74	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Heptadecanone	94903	002922-51-2	97
			2-Heptadecanone	94901	002922-51-2	95
			2-Heptadecanone	94898	002922-51-2	93
69	55.067	0.40	C:\Database\NIST05a.L			
			Hexadecanoic acid, ethyl ester	114844	000628-97-7	99
			Hexadecanoic acid, ethyl ester	114848	000628-97-7	91
			Hexadecanoic acid, ethyl ester	114847	000628-97-7	89
70	55.308	0.78	C:\Database\NIST05a.L			
			Phenol, 2,6-dimethoxy-	26272	000091-10-1	95
			Phenol, 3,4-dimethoxy-, acetate	53942	007203-46-5	91
			Phenol, 2,6-dimethoxy-	26275	000091-10-1	81
71	55.895	0.39	C:\Database\NIST05a.L			
			1,4-Benzenediol, 2-methyl-	10095	000095-71-6	95
			1,4-Benzenediol, 2-methyl-	10102	000095-71-6	70
			3,5-Dihydroxytoluene	10086	000504-15-4	62
72	57.823	1.23	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Pentanone, 1-(2,4,6-trihydroxyph enyl)	63972	1000116-22-3	47
			5-Fluoro-2-methyl-benzothiazole	34350	000399-75-7	37
			5H-Indeno[1,2-b]pyridine	34225	000244-99-5	37
73	58.901	0.78	C:\Database\NIST05a.L			
			Hydroquinone	5606	000123-31-9	70
			2-tert-Butyl-pyrroline	10558	1000145-53-1	68
			Hydroquinone	5607	000123-31-9	64
74	59.470	0.31	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzene, 1,2,3-trimethoxy-5-methyl	44227	006443-69-2	72
			5-tert-Butylpyroqallol	44207	020481-17-8	72
			4-Ethylbiphenyl	44656	005707-44-8	72
75	60.052	0.90	C:\Database\NIST05a.L			
			Octadecanoic acid, methyl ester	123709	000112-61-8	99
			Octadecanoic acid, methyl ester	123708	000112-61-8	98
			Octadecanoic acid, methyl ester	123700	000112-61-8	98
76	60.702	2.08	C:\Database\NIST05a.L			
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl e ster	122323	000112-62-9	99
			9-Octadecenoic acid, methyl ester	122299	002462-84-2	99
			8-Octadecenoic acid, methyl ester	122297	002345-29-1	99
77	60.884	0.16	C:\Database\NIST05a.L			
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl e ster	122323	000112-62-9	94
			9-Octadecenoic acid, methyl ester,	122326	001937-62-8	90
			(E)-			
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl e ster	122321	000112-62-9	68

Figura 145. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 5 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000005.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 18:01
 Operator : AdeM
 Sample : Organica 1
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
78	61.398	1.23	C:\Database\NIST05a.L Dodecanoic acid	57057	000143-07-7	99
			Dodecanoic acid	57059	000143-07-7	94
			Dodecanoic acid	57058	000143-07-7	94
79	62.108	0.22	C:\Database\NIST05a.L 9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester	121093	002462-85-3	98
			8,11-Octadecadienoic acid, methyl ester	121092	056599-58-7	97
			9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	121106	000112-63-0	97
80	68.572	1.14	C:\Database\NIST05a.L Tetradecanoic acid	77276	000544-63-8	99
			Tetradecanoic acid	77275	000544-63-8	98
			Tetradecanoic acid	77273	000544-63-8	97
81	70.350	0.28	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propeny-1)-	52464	006627-88-9	94
			Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propeny-1)-	52459	006627-88-9	94
			2-Propenoic acid, 3-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-, (E)-	52322	000537-98-4	70
82	79.966	33.73	C:\Database\NIST05a.L n-Hexadecanoic acid	96235	000057-10-3	98
			n-Hexadecanoic acid	96234	000057-10-3	98
			n-Hexadecanoic acid	96233	000057-10-3	96

Figura 147. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 6

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000004.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 16:34
 Operator : AdeM
 Sample : Acuosa 2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 4 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	7.829	4.03	C:\Database\NIST05a.L Methyl Alcohol	29	000067-56-1	4
			Methyl Alcohol	31	000067-56-1	2
			Hydrazine	33	000302-01-2	2
2	12.310	43.97	C:\Database\NIST05a.L Ammonia	6	007664-41-7	2
			Water	7	007732-18-5	1
3	16.790	0.04	C:\Database\NIST05a.L Pyridine	1015	000110-86-1	94
			Pyridine	1017	000110-86-1	94
			Pyridine	1016	000110-86-1	91
4	18.077	0.06	C:\Database\NIST05a.L Pyridine, 2-methyl-	2448	000109-06-8	95
			Pyridine, 2-methyl-	2440	000109-06-8	95
			Pyridine, 4-methyl-	2441	000108-89-4	94
5	19.715	0.21	C:\Database\NIST05a.L Pyrimidine, 2-methyl-	2521	005053-43-0	55
			Pyrazine, methyl-	2515	000109-08-0	46
			Pyrazine, methyl-	2511	000109-08-0	43
6	20.160	0.28	C:\Database\NIST05a.L 2-Butanone, 3-hydroxy-	2002	000513-86-0	91
			2-Butanone, 3-hydroxy-	2006	000513-86-0	90
			Propane, 1-methoxy-2-methyl-	2095	000625-44-5	72
7	20.811	2.57	C:\Database\NIST05a.L 2-Propanone, 1-hydroxy-	801	000116-09-6	91
			2-Propanone, 1-hydroxy-	799	000116-09-6	90
			2-Propanone, 1-hydroxy-	800	000116-09-6	59
8	21.079	0.18	C:\Database\NIST05a.L Propanoic acid, 2-hydroxy-, methyl ester, (+/-)-	4597	002155-30-8	83
			Propanoic acid, 2-hydroxy-, methyl ester, (+/-)-	4596	002155-30-8	83
			Isopropyl Alcohol	288	000067-63-0	72
9	22.953	1.10	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one	1151	000930-30-3	96
			2-Cyclopenten-1-one	1152	000930-30-3	95
			1H-Pyrazole, 3-methyl-	1123	001453-58-3	52
10	23.381	0.37	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2758	001120-73-6	95
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2761	001120-73-6	95
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2760	001120-73-6	87
11	23.581	1.06	C:\Database\NIST05a.L 1-Hydroxy-2-butanone	1999	005077-67-8	90
			1-Hydroxy-2-butanone	1996	005077-67-8	86
			Methyl propionate	1988	000554-12-1	45
12	23.686	1.01	C:\Database\NIST05a.L			

ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Mon May 08 12:40:29 2017

Figura 148. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 6 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000004.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 16:34
 Operator : AdeM
 Sample : Acuosa 2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 4 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			1-Hydroxy-2-butanone	1999	005077-67-8	91
			1-Hydroxy-2-butanone	1996	005077-67-8	91
			Butanal, 2-methyl-	1711	000096-17-3	36
13	25.018	0.10	C:\Database\NIST05a.L			
			4-Hydroxy-3-hexanone	7867	004984-85-4	81
			1-Butanol, 3-methoxy-	4652	002517-43-3	53
			2-Propanol, 2-methyl-	843	000075-65-0	53
14	25.632	11.67	C:\Database\NIST05a.L			
			Acetic acid	256	000064-19-7	91
			Acetic acid	255	000064-19-7	91
			Acetic acid	254	000064-19-7	91
15	26.474	0.09	C:\Database\NIST05a.L			
			Oxalic acid, pentyl propyl ester	58055	1000309-25-7	59
			1-Hydroxy-2-pentanone	4157	064502-89-2	56
			Propanoic acid, 2-methyl-, anhydride	28759	000097-72-3	53
16	26.829	0.74	C:\Database\NIST05a.L			
			Furfural	2674	000098-01-1	93
			Furfural	2676	000098-01-1	93
			Furfural	2677	000098-01-1	90
17	28.253	0.14	C:\Database\NIST05a.L			
			Formic acid	98	000064-18-6	72
			Formic acid	99	000064-18-6	72
			Formic acid	100	000064-18-6	56
18	28.666	0.25	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5617	001192-62-7	90
			Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5614	001192-62-7	90
			Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5615	001192-62-7	87
19	29.039	1.03	C:\Database\NIST05a.L			
			Butanoic acid, anhydride	28729	000106-31-0	72
			Butanoic acid, (tetrahydro-2-furanyl)methyl ester	38339	002217-33-6	72
			Furan, tetrahydro-2-(methoxymethyl)-	7975	019354-27-9	56
20	29.581	2.60	C:\Database\NIST05a.L			
			Propanoic acid	794	000079-09-4	95
			Propanoic acid	793	000079-09-4	95
			Propanoic acid	795	000079-09-4	95
21	29.813	0.37	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-	2762	002758-18-1	95
			2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-	2759	002758-18-1	95
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2760	001120-73-6	87
22	30.581	0.22	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl-	5707	001121-05-7	93
			2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl-	5710	001121-05-7	81
			Hydroquinone	5607	000123-31-9	46

Figura 149. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 6 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000004.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 16:34
 Operator : AdeM
 Sample : Acuosa 2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 4 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
23	30.845	0.10	C:\Database\NIST05a.L Propanoic acid, 2-methyl- Propanoic acid, 2-methyl- Propanoic acid, 2-methyl-	2024 2027 2026	000079-31-2 000079-31-2 000079-31-2	93 93 90
24	33.220	0.80	C:\Database\NIST05a.L Butanoic acid Butanoic acid Pentanoic acid	1983 1980 4152	000107-92-6 000107-92-6 000109-52-4	95 91 56
25	34.029	1.01	C:\Database\NIST05a.L Butyrolactone Butyrolactone Butyrolactone	1625 1626 1620	000096-48-0 000096-48-0 000096-48-0	94 94 91
26	34.179	0.13	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl- 2,4-Heptadienal, (E,E)- 2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-	5692 5660 5619	005682-69-9 004313-03-5 000620-02-0	83 68 53
27	34.657	1.57	C:\Database\NIST05a.L 2-Furanmethanol 2-Furanmethanol 3-Furanmethanol	3020 3015 3016	000098-00-0 000098-00-0 004412-91-3	95 94 83
28	34.880	0.09	C:\Database\NIST05a.L Formic acid hydrazide 2-Propanone, 1-hydroxy- 1,2-Ethanediol, monoformate	294 800 2219	000624-84-0 000116-09-6 000628-35-3	43 43 40
29	35.967	0.06	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hyd roxy- 2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hyd roxy- 1,3-Cyclopentanedione, 2,4-dimethy l-	10847 10848 10844	021835-01-8 021835-01-8 034598-80-6	60 58 50
30	37.200	0.69	C:\Database\NIST05a.L 1-Methyl-2-piperidinemethanol 2,4-Dimethyl-2-oxazoline-4-methano 1H-1,2,4-Triazol-3-amine, 5-methyl	12565 12469 2966	020845-34-5 039986-37-3 004923-01-7	64 56 50
31	37.418	0.11	C:\Database\NIST05a.L Pentanoic acid Butanoic acid Pentanoic acid	4153 1983 4151	000109-52-4 000107-92-6 000109-52-4	86 74 72
32	37.545	0.14	C:\Database\NIST05a.L 4-Ethyl-2-hydroxycyclopent-2-en-1- one 4-Octen-3-one 1-Ethyl-3-methylcyclohexane (c,t)	10846 10974 11255	028017-62-1 014129-48-7 003728-55-0	59 50 47
33	38.714	0.48	C:\Database\NIST05a.L Crotonic acid Acetamide	1621 236	003724-65-0 000060-35-5	72 53

Figura 150. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 6 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000004.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 16:34
 Operator : AdeM
 Sample : Acuosa 2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 4 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			Acetamide	235	000060-35-5	47
34	38.905	0.16	C:\Database\NIST05a.L Nanofin	6794	000504-03-0	49
			Triethylenediamine	6114	000280-57-9	49
			Cyclopentanone, 2-methyl-	3154	001120-72-5	49
35	39.861	0.34	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hyd roxy-	10847	021835-01-8	86
			2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3,4 -dimethyl-	10862	021835-00-7	83
			Benzene, 1-fluoro-2-methoxy-	10945	000321-28-8	53
36	41.157	1.11	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-m ethyl-	6245	000080-71-7	95
			2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-m ethyl-	6247	000080-71-7	95
			1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl-	6225	000765-70-8	93
37	41.389	0.08	C:\Database\NIST05a.L 1-Penten-3-ol, 2-methyl-	3816	002088-07-5	64
			Acetaldehyde, propylhydrazone	3559	007422-88-0	53
			1-Penten-3-ol, 2-methyl-	3815	002088-07-5	53
38	41.539	0.16	C:\Database\NIST05a.L Furan, 2,3-dihydro-4-methyl-	1419	034314-83-5	55
			Pyrrolidine, N-(4-methyl-4-penten 1)-	25124	1000161-51-7	50
			Acetate, 4-hydroxy-3-methyl-2-bute nyl-	19931	1000197-40-6	50
39	42.144	1.18	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2-methoxy-	10080	000090-05-1	97
			Phenol, 2-methoxy-	10081	000090-05-1	94
			Mequinol	10072	000150-76-5	91
40	42.699	0.05	C:\Database\NIST05a.L Benzene, ethoxy-	9600	000103-73-1	32
			2H-Pyran-2-one, 4-methoxy-6-methyl	17734	000672-89-9	27
			2H-Pyran-2-one, 4-methoxy-6-methyl	17728	000672-89-9	27
41	43.500	0.40	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hyd roxy-	10847	021835-01-8	97
			2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hyd roxy-	10848	021835-01-8	95
			2-Fluorophenylhydrazine	10794	002368-80-1	52
42	45.496	0.13	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	16763	000093-51-6	97
			Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	16758	000093-51-6	96
			2-Methoxy-5-methylphenol	16728	001195-09-1	93
43	46.051	0.07	C:\Database\NIST05a.L Maltol	10748	000118-71-8	95

Figura 151. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 6 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000004.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 16:34
 Operator : AdeM
 Sample : Acuosa 2
 Misc : Pirrolysis
 ALS Vial : 4 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0
 Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			Maltol	10746	000118-71-8	70
			Maltol	10745	000118-71-8	58
44	46.233	0.08	C:\Database\NIST05a.L 2-Hydroxy-3-propyl-2-cyclopenten-1-one	17852	025684-04-2	89
			2,3-Thiophenedicarboxaldehyde	17586	000932-41-2	49
			1,3-Dimethyl-5-ethoxypyrazole	17650	1000306-48-4	49
45	46.902	7.75	C:\Database\NIST05a.L Phenol	2532	000108-95-2	95
			Phenol	2533	000108-95-2	94
			Phenol	2529	000108-95-2	94
46	47.980	0.13	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	24916	002785-89-9	91
			Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	24917	002785-89-9	90
			Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	24911	002785-89-9	87
47	49.472	0.24	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 4-methyl-	5230	000106-44-5	96
			Phenol, 4-methyl-	5225	000106-44-5	95
			Phenol, 4-methyl-	5235	000106-44-5	94
48	49.736	0.27	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 4-methyl-	5230	000106-44-5	97
			Phenol, 3-methyl-	5227	000108-39-4	96
			Phenol, 4-methyl-	5235	000106-44-5	95
49	50.040	0.13	C:\Database\NIST05a.L Cyclopentanemethanol, 1-amino-2-Butenoic acid, 3-amino-, methyl ester	7645	010316-79-7	59
			Pyrrrolidine, N-(4-pentenyl)-	7567	014205-39-1	59
				17281	057858-14-7	58
50	50.368	1.27	C:\Database\NIST05a.L 1,3-Propanediamine, N-methyl-Cyclobutanol	1949	006291-84-5	72
			2-Propanamine	639	002919-23-5	59
				244	000075-31-0	53
51	52.460	1.47	C:\Database\NIST05a.L Butanoic acid, anhydride	28729	000106-31-0	72
			2-Furanmethanol, tetrahydro-, acetate	19928	000637-64-9	72
			Propanoic acid, 2-methyl-, anhydride	28761	000097-72-3	64
52	53.707	0.26	C:\Database\NIST05a.L Muramic acid	92815	001114-41-6	72
			Isopropyl Alcohol	289	000067-63-0	72
			2-Hexanol, (R)-	4321	026549-24-6	64
53	53.880	0.13	C:\Database\NIST05a.L 2-Hexanol, (R)-	4321	026549-24-6	53
			Isopropyl Alcohol	289	000067-63-0	53
			2-Butanol, (R)-	827	014898-79-4	53

Figura 152. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 6 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000004.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 16:34
 Operator : AdeM
 Sample : Acuosa 2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 4 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
54	55.335	2.67	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2,6-dimethoxy- Phenol, 2,6-dimethoxy- 3-Amino-2,6-dimethoxypyridine	26272 26275 26163	000091-10-1 000091-10-1 028020-37-3	96 95 72
55	55.776	0.12	C:\Database\NIST05a.L Acetic acid, 1-methyl-3-oxo-but-1- enyl ester 2,4-Pentanedione 1-O-Acetyl-exo-2,3-O-ethylidene-.b eta.-d-erythrofuranoose	18818 3587 48927	1000190-85-2 000123-54-6 014679-50-6	32 27 17
56	56.641	0.11	C:\Database\NIST05a.L 1-Hydroxy-3-methyl-2-butanone Trifluoroacetic acid, 2-tetrahydro furylmethyl ester 3-Buten-2-ol, 2-methyl-	4216 56181 1763	036960-22-2 071239-15-1 000115-18-4	47 43 43
57	57.832	0.34	C:\Database\NIST05a.L Benzoic acid, 4-hydroxy-3-methoxy- 4-Methoxy-2-methyl-1-(methylthio)b enzene 1,2,4-Trimethoxybenzene	35424 35577 35480	000121-34-6 022583-04-6 000135-77-3	81 74 64
58	59.483	0.47	C:\Database\NIST05a.L Hydroquinone mono-trimethylsilyl e ther 5-tert-Butylpyrogallol Phenol, 3-[(trimethylsilyl)oxy]-	45161 44207 45160	017881-87-7 020481-17-8 017882-01-8	83 72 64
59	59.816	0.14	C:\Database\NIST05a.L 3-Pyridinol 4-Pyridinol 3-Pyridinol	2605 2606 2603	000109-00-2 000626-64-2 000109-00-2	93 87 81
60	59.934	0.25	C:\Database\NIST05a.L Benzenecarboxylic acid Benzenecarboxylic acid Heptanediamide, N,N'-di-benzoyloxy	9580 9581 170662	000065-85-0 000065-85-0 1000253-26-4	96 96 72
61	60.994	0.11	C:\Database\NIST05a.L Hydrazine, ethyl- Methyl 3-methoxyamino-propanoate 2H-Pyran-3,4,5-triol, tetrahydro-2 -methoxy-6-methyl-	269 14158 41940	000624-80-6 078191-05-6 014009-07-5	38 38 38
62	61.922	0.27	C:\Database\NIST05a.L 5-Hydroxymethyldihydrofuran-2-one Tetrahydrofuran-5-on-2-methanol, . alpha.-[.alpha.-methoxy-(tetrahydr ofuran-5-on-2-ylmethoxy)]- 2(3H)-Furanone, 5-ethyldihydro-	7820 98273 7069	1000194-17-0 1000192-28-3 000695-06-7	87 72 59
63	62.627	0.87	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Benzenediol, 3-methoxy- 1,2-Benzenediol, 3-methoxy- 1,2-Benzenediol, 3-methoxy-	17713 17709 17712	000934-00-9 000934-00-9 000934-00-9	96 96 96

ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Mon May 08 12:40:29 2017

Figura 153. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase acuosa – corrida 6 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000004.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 16:34
 Operator : AdeM
 Sample : Acuosa 2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 4 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0
 Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
64	64.401	0.20	C:\Database\NIST05a.L Hydrazine, ethyl- 1,4,7,10,13,16-Hexaoxacyclooctadec ane Thiophene, tetrahydro-	269 100938 2046	000624-80-6 017455-13-9 000110-01-0	46 27 27
65	64.669	0.13	C:\Database\NIST05a.L Ethanol, 2-[2-(2-butoxyethoxy)etho xy]- Ethanol, 2-(2-butoxyethoxy)- Ethanol, 1-[2-[2-(1-methylethoxy)e thoxy]ethoxy]-	60953 31189 51683	000143-22-6 000112-34-5 029681-21-8	47 47 47
66	67.626	0.16	C:\Database\NIST05a.L 1-(4-Acetoxy-3-methoxyphenyl)-2-pr opane Homovanillyl alcohol Benzeneacetic acid, 4-hydroxy-3-me thoxy-	72438 35473 45081	1000308-75-0 002380-78-1 000306-08-1	59 58 53
67	69.527	1.08	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Benzenediol 1,2-Benzenediol 1,2-Benzenediol	5611 5610 5609	000120-80-9 000120-80-9 000120-80-9	96 91 90
68	72.779	0.39	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Benzenediol, 4-methyl- 1,2-Benzenediol, 4-methyl- 1,2-Benzenediol, 4-methyl-	10094 10100 10098	000452-86-8 000452-86-8 000452-86-8	95 86 70

Figura 154. Cromatograma de gases para fase orgánica – corrida 6

File : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\170504-000006.D
 Operator : AdeM
 Acquired : 4 May 2017 19:28 using AcqMethod ACEITES ESENCIALES MCS DB-WAX B SCAN 2.M
 Instrument : GC-MSD
 Sample Name: Organica 2
 Misc Info : Pirrolisis
 Vial Number: 6

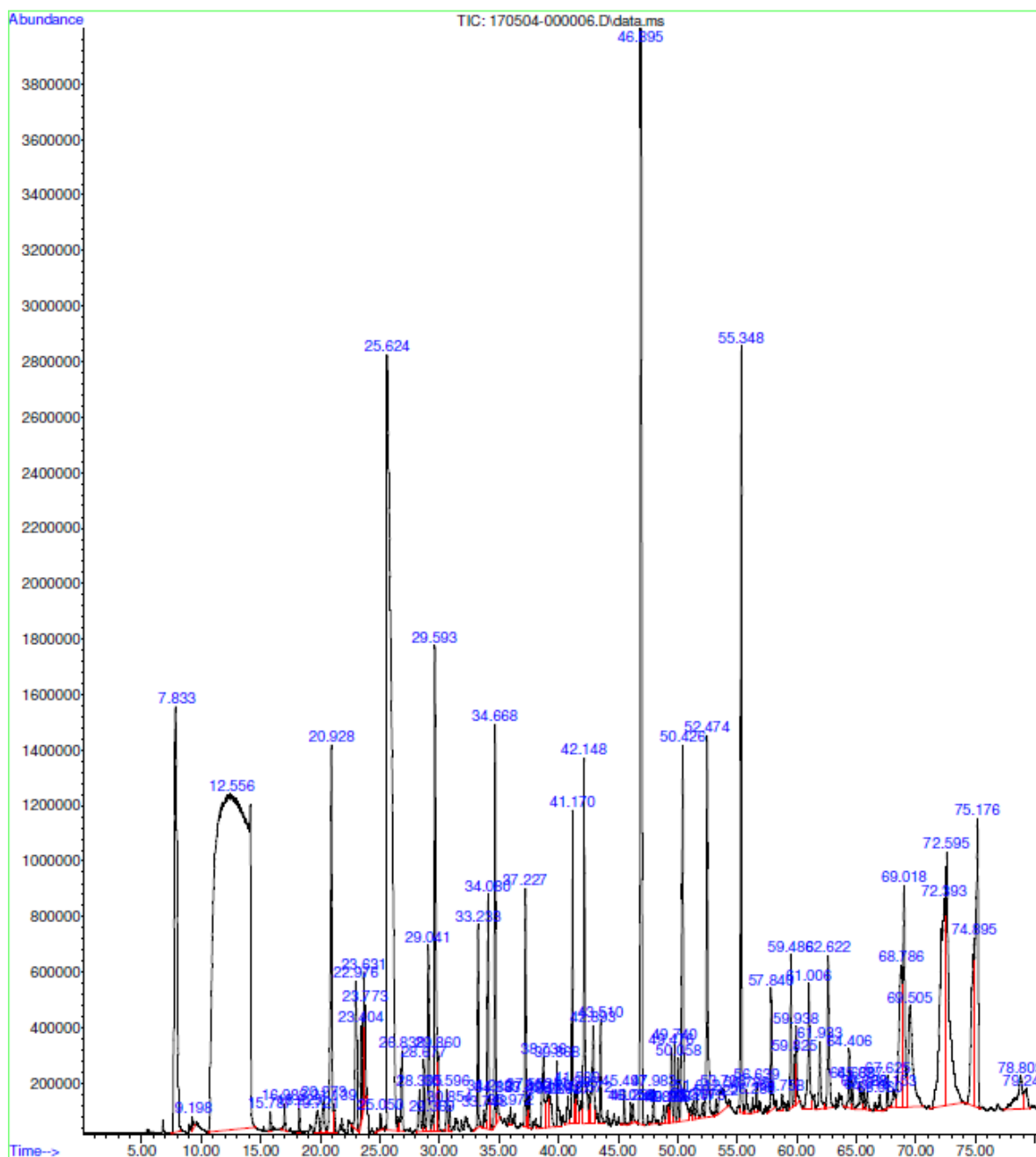


Figura 155. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 6

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000006.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 19:28
 Operator : AdeM
 Sample : Organica 2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 6 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	7.834	3.65	C:\Database\NIST05a.L Methyl Alcohol	29	000067-56-1	4
			Methyl Alcohol	31	000067-56-1	2
			Hydrazine	33	000302-01-2	2
2	9.198	0.06	C:\Database\NIST05a.L Trimethylamine	247	000075-50-3	91
			Trimethylamine	248	000075-50-3	91
			Trimethylamine	246	000075-50-3	50
3	12.555	33.68	C:\Database\NIST05a.L Ammonia	6	007664-41-7	2
			Water	7	007732-18-5	1
4	15.789	0.07	C:\Database\NIST05a.L Cyclopentanone	1369	000120-92-3	87
			Cyclopentanone	1376	000120-92-3	81
			2H-Pyran, 3,4-dihydro-	1393	000110-87-2	64
5	16.981	0.08	C:\Database\NIST05a.L Pyridine	1017	000110-86-1	95
			Pyridine	1016	000110-86-1	91
			Pyridine	1015	000110-86-1	91
6	18.223	0.06	C:\Database\NIST05a.L Pyridine, 2-methyl-	2448	000109-06-8	97
			Pyridine, 2-methyl-	2440	000109-06-8	95
			Pyridine, 2-methyl-	2447	000109-06-8	94
7	19.719	0.19	C:\Database\NIST05a.L Pyrimidine, 2-methyl-	2521	005053-43-0	50
			Pyrazine, methyl-	2513	000109-08-0	38
			Pyrazine, methyl-	2514	000109-08-0	35
8	20.274	0.22	C:\Database\NIST05a.L 2-Butanone, 3-hydroxy-	2002	000513-86-0	91
			2-Butanone, 3-hydroxy-	2006	000513-86-0	78
			Isopropyl Alcohol	289	000067-63-0	50
9	20.929	1.83	C:\Database\NIST05a.L 2-Propanone, 1-hydroxy-	801	000116-09-6	91
			2-Propanone, 1-hydroxy-	799	000116-09-6	90
			2-Propanone, 1-hydroxy-	800	000116-09-6	59
10	21.138	0.15	C:\Database\NIST05a.L Propanoic acid, 2-hydroxy-, methyl ester, (+/-)-	4598	002155-30-8	50
			Propanoic acid, 2-hydroxy-, methyl ester, (+/-)-	4596	002155-30-8	50
			Propylene Glycol	915	000057-55-6	47
11	22.976	0.78	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one	1151	000930-30-3	96
			2-Cyclopenten-1-one	1152	000930-30-3	95
			1H-Pyrazole, 3-methyl-	1123	001453-58-3	49
12	23.404	0.29	C:\Database\NIST05a.L			

ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Mon May 08 12:43:34 2017

Figura 156. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 6 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000006.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 19:28
 Operator : AdeM
 Sample : Organica 2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 6 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2758	001120-73-6	91
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2761	001120-73-6	91
			2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	2760	001120-73-6	87
13	23.631	0.69	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Hydroxy-2-butanone	1999	005077-67-8	90
			1-Hydroxy-2-butanone	1996	005077-67-8	90
			Propanoyl chloride	2349	000079-03-8	33
14	23.772	0.30	C:\Database\NIST05a.L			
			1-Hydroxy-2-butanone	1999	005077-67-8	91
			1-Hydroxy-2-butanone	1996	005077-67-8	83
			Methyl propionate	1991	000554-12-1	59
15	25.050	0.08	C:\Database\NIST05a.L			
			4-Hydroxy-3-hexanone	7867	004984-85-4	74
			2-Propanol, 1,1'-[(1-methyl-1,2-ethanediy)bis(oxy)]bis-3-Pentanol	51684	001638-16-0	64
				2053	000584-02-1	64
16	25.623	9.57	C:\Database\NIST05a.L			
			Acetic acid	255	000064-19-7	91
			Acetic acid	254	000064-19-7	91
			Acetic acid	258	000064-19-7	91
17	26.838	0.38	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Propanone, 1-(acetyloxy)-	7816	000592-20-1	14
			1,2-Ethanediol, diacetate	20991	000111-55-7	14
			2-Propanone, 1-(acetyloxy)-	7815	000592-20-1	14
18	28.307	0.24	C:\Database\NIST05a.L			
			Formic acid	99	000064-18-6	87
			Formic acid	98	000064-18-6	78
			Formic acid	100	000064-18-6	64
19	28.675	0.24	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5616	001192-62-7	91
			Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5617	001192-62-7	91
			Ethanone, 1-(2-furanyl)-	5614	001192-62-7	91
20	29.039	0.95	C:\Database\NIST05a.L			
			Furan, tetrahydro-2-(methoxymethyl)-	7978	019354-27-9	72
			Furan, tetrahydro-2-(methoxymethyl)-	7975	019354-27-9	72
			Butanoic acid, (tetrahydro-2-furanyl)methyl ester	38339	002217-33-6	72
21	29.367	0.07	C:\Database\NIST05a.L			
			2-Butanone, 3,3-dimethyl-	3825	000075-97-8	53
			3-Pentanone, 2-methyl-	3787	000565-69-5	47
			Propanoic acid, 2,2-dimethyl-, ethyl ester	13132	003938-95-2	43
22	29.594	2.19	C:\Database\NIST05a.L			
			Propanoic acid	794	000079-09-4	95
			Propanoic acid	793	000079-09-4	95

Figura 157. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 6 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000006.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 19:28
 Operator : AdeM
 Sample : Organica 2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 6 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			Propanoic acid	795	000079-09-4	94
23	29.858	0.30	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl- 2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl- Furan, 2,4-dimethyl-	2762 2759 2741	002758-18-1 002758-18-1 003710-43-8	95 95 87
24	30.595	0.17	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl- 2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl- 2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl-	5707 5710 5709	001121-05-7 001121-05-7 001121-05-7	93 90 87
25	30.854	0.09	C:\Database\NIST05a.L Propanoic acid, 2-methyl- Propanoic acid, 2-methyl- Propanoic acid, 2-methyl-	2027 2021 2026	000079-31-2 000079-31-2 000079-31-2	94 91 90
26	33.233	0.66	C:\Database\NIST05a.L Butanoic acid Butanoic acid 5-Hexenoic acid	1983 1980 6980	000107-92-6 000107-92-6 001577-22-6	95 91 64
27	33.747	0.08	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Ethanediol, monoacetate Acetic acid, methyl ester 1,2-Ethanediol, monoacetate	4583 805 4582	000542-59-6 000079-20-9 000542-59-6	64 37 32
28	34.079	0.96	C:\Database\NIST05a.L Butyrolactone Butyrolactone Butanoic acid, 4-hydroxy-	1626 1625 4577	000096-48-0 000096-48-0 000591-81-1	94 94 90
29	34.211	0.10	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl- 2,4-Heptadienal, (E,E)- 2-Methyl-2,3-divinyloxirane	5692 5660 5678	005682-69-9 004313-03-5 070597-50-1	76 58 50
30	34.670	1.37	C:\Database\NIST05a.L 2-Furanmethanol 2-Furanmethanol 3-Furanmethanol	3020 3015 3016	000098-00-0 000098-00-0 004412-91-3	95 94 83
31	34.884	0.11	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Hydrazinedicarboxaldehyde Acetic acid, ethoxy- Pentanoic acid, 3-methyl-	1913 4569 7898	000628-36-4 000627-03-2 000105-43-1	47 37 36
32	35.971	0.05	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy- 2-Acetylcyclopentanone cis-2-Nonene	10847 10804 11150	021835-01-8 001670-46-8 006434-77-1	58 58 55
33	37.227	0.80	C:\Database\NIST05a.L 1,3-Cyclopentanedione 1-Methyl-2-piperidinemethanol 1H-1,2,4-Triazol-3-amine, 5-methyl	3031 12565 2966	003859-41-4 020845-34-5 004923-01-7	72 64 50

Figura 158. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 6 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000006.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 19:28
 Operator : AdeM
 Sample : Organica 2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 6 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
34	37.427	0.09	C:\Database\NIST05a.L Pentanoic acid	4152	000109-52-4	90
			Pentanoic acid	4153	000109-52-4	86
			Butanoic acid	1983	000107-92-6	78
35	37.554	0.12	C:\Database\NIST05a.L 4-Ethyl-2-hydroxycyclopent-2-en-1-one	10846	028017-62-1	72
			Thiophene, 2-propyl-	10869	001551-27-5	47
			Thiophene, 2-propyl-	10871	001551-27-5	43
36	38.737	0.48	C:\Database\NIST05a.L Acetamide	235	000060-35-5	62
			Acetamide	236	000060-35-5	62
			Acetamide	234	000060-35-5	58
37	39.119	0.32	C:\Database\NIST05a.L 6-Azacytosine	6027	000931-85-1	80
			1-Propyl-4-piperidone	18381	023133-37-1	64
			Uracil	6043	000066-22-8	50
38	39.287	0.22	C:\Database\NIST05a.L Triethylenediamine	6116	000280-57-9	53
			4H-1,2,4-Triazol-3-amine, 4-ethyl-	6072	042786-06-1	52
			Piperidine, 1,4-dimethyl-	6816	000695-15-8	50
39	39.870	0.29	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy-	10847	021835-01-8	86
			2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3,4-dimethyl-	10862	021835-00-7	83
			Benzene, 1-fluoro-2-methoxy-	10945	000321-28-8	59
40	40.788	0.13	C:\Database\NIST05a.L 2H-Pyran-2-one, tetrahydro-	3614	000542-28-9	90
			2H-Pyran-2-one, tetrahydro-	3616	000542-28-9	90
			2H-Pyran-2-one, tetrahydro-	3612	000542-28-9	87
41	41.170	1.09	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl-ethyl-	6245	000080-71-7	94
			1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl-	6225	000765-70-8	93
			2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl-ethyl-	6247	000080-71-7	91
42	41.393	0.14	C:\Database\NIST05a.L Octadecanoic acid, 10-oxo-, methyl ester	132211	000870-10-0	38
			Pyrrolidine, 1-(1-oxobutyl)-	18393	033527-93-4	15
			Allyl nonanoate	55615	007493-72-3	14
43	41.539	0.21	C:\Database\NIST05a.L 2-Acetylcyclopentanone	10805	001670-46-8	58
			2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy-	10847	021835-01-8	53
			Benzene, 1-fluoro-4-methoxy-	10950	000459-60-9	46

ACEITES ESE...WAX SCAN 2.M Mon May 08 12:43:34 2017

Figura 159. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 6 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000006.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 19:28
 Operator : AdeM
 Sample : Organica 2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 6 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
44	42.148	1.44	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2-methoxy- Mequinol Phenol, 2-methoxy-	10080 10073 10077	000090-05-1 000150-76-5 000090-05-1	97 94 94
45	42.571	0.11	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2-methoxy-4-methyl- 6-Hydroxy-9-oxa-bicyclo[3.3.1]nona n-3-one Benzyl alcohol, 4-fluoro-3-methoxy	16763 27616 27728	000093-51-6 1000194-46-8 128495-45-4	60 38 30
46	42.894	0.62	C:\Database\NIST05a.L Octadecanoic acid, 10-oxo-, methyl ester Octadecanoic acid, 10-oxo-, methyl ester dl-3-Acetamido-perhydro-3-methyl-2 -oxofuran	132211 132208 28121	000870-10-0 000870-10-0 089910-27-0	74 64 18
47	43.508	0.33	C:\Database\NIST05a.L 2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hyd roxy- 2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hyd roxy- 3H-Pyrazol-3-one, 2,4-dihydro-2,4, 5-trimethyl-	10847 10848 10741	021835-01-8 021835-01-8 017826-82-3	97 97 50
48	45.496	0.11	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2-methoxy-4-methyl- Phenol, 2-methoxy-4-methyl- Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	16763 16758 16764	000093-51-6 000093-51-6 000093-51-6	97 96 93
49	46.060	0.07	C:\Database\NIST05a.L Maltol Maltol Maltol	10748 10745 10746	000118-71-8 000118-71-8 000118-71-8	70 52 52
50	46.251	0.06	C:\Database\NIST05a.L 2-Hydroxy-3-propyl-2-cyclopenten-1 -one 1,3-Dimethyl-5-ethoxypyrazole Cyclohexanone, 4-acetyl-	17852 17650 17788	025684-04-2 1000306-48-4 005034-21-9	81 50 43
51	46.897	6.01	C:\Database\NIST05a.L Phenol Phenol Phenol	2532 2533 2530	000108-95-2 000108-95-2 000108-95-2	95 94 91
52	47.984	0.14	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 4-ethyl-2-methoxy- Phenol, 4-ethyl-2-methoxy- Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	24916 24917 24911	002785-89-9 002785-89-9 002785-89-9	91 90 87
53	48.835	0.08	C:\Database\NIST05a.L 2-Pyrrolidinone 2-Pyrrolidinone	1515 1516	000616-45-5 000616-45-5	87 74

Figura 160. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 6 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000006.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 19:28
 Operator : AdEM
 Sample : Organica 2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 6 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			2-Pyrrolidinone	1517	000616-45-5	72
54	49.190	0.14	C:\Database\NIST05a.L Undecane, 4,4-dimethyl- 4-(3-Methoxycarbonylpropyl)-4-buta nolide Oxalic acid, hexyl isohexyl ester	46130 47887 97263	017312-68-4 100145-24-2 1000309-33-0	43 43 78
55	49.299	0.05	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2,5-dimethyl- Phenol, 2,3-dimethyl- Phenol, 2,4-dimethyl-	9623 9621 9627	000095-87-4 000526-75-0 000105-67-9	96 95 94
56	49.476	0.30	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 4-methyl- Phenol, 4-methyl- Phenol, 4-methyl-	5225 5230 5229	000106-44-5 000106-44-5 000106-44-5	97 96 95
57	49.740	0.24	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 3-methyl- Phenol, 4-methyl- Phenol, 4-methyl-	5227 5230 5225	000108-39-4 000106-44-5 000106-44-5	96 95 93
58	50.059	0.21	C:\Database\NIST05a.L Cyclopentanemethanol, 1-amino- Pyrrolidin-1-propionic acid s-Triazole, 3-acetamido-	7645 19507 10640	010316-79-7 076234-38-3 005295-23-8	59 59 53
59	50.427	2.02	C:\Database\NIST05a.L 1,3-Propanediamine, N-methyl- Cyclobutanol 2-Propanamine	1949 639 244	006291-84-5 002919-23-5 000075-31-0	72 59 53
60	51.309	0.08	C:\Database\NIST05a.L 2-Propenamide 4-Dodecanone 2-Propenamide	577 45977 580	000079-06-1 006137-26-4 000079-06-1	53 50 47
61	51.614	0.11	C:\Database\NIST05a.L Acetonitrile, isothiocyanato- 1H-1,2,4-Triazol-5-amine, 1-methyl Piperidine, 1,1'-methylenebis-	2957 2965 44462	032772-75-1 015795-39-8 000880-09-1	50 38 38
62	52.074	0.08	C:\Database\NIST05a.L 1-Eicosene 3,6-Dimethylpiperazine-2,5-dione N-Methoxy-2-carbaminoaziridine	112103 18695 7756	003452-07-1 005625-46-7 063859-00-7	43 38 35
63	52.474	1.59	C:\Database\NIST05a.L Butanoic acid, anhydride 2-Furanmethanol, tetrahydro-, acet ate Butanoic acid, 2-propenyl ester	28729 19928 11876	000106-31-0 000637-64-9 002051-78-7	72 72 72
64	53.220	0.05	C:\Database\NIST05a.L 2-Methoxy-4-vinylphenol Ethanone, 1-(2-hydroxy-5-methylphe	23425 23537	007786-61-0 001450-72-2	81 68

Figura 161. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 6 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000006.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 19:28
 Operator : AdeM
 Sample : Organica 2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 6 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			nyl)- Ethanone, 1-(3-methoxyphenyl)-	23489	000586-37-8	64
65	53.798	0.38	C:\Database\NIST05a.L 2-Propanol, 1-bromo- 2-Chloroethyl methyl ether Isopropyl Alcohol	16479 2493 289	019686-73-8 000627-42-9 000067-63-0	64 59 58
66	55.349	2.49	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 2,6-dimethoxy- 3-Amino-2,6-dimethoxypyridine Phenol, 3,4-dimethoxy-	26272 26163 26276	000091-10-1 028020-37-3 002033-89-8	96 80 64
67	55.790	0.11	C:\Database\NIST05a.L 3(2H)-Furanone, dihydro-2-methyl- 3,7-Decadiene-5,6-diol, 4,7-dimeth yl- Ethanediamide, N,N'-dimethyl-N,N'- bis(1-methylethyl)-	3649 55704 56875	003188-00-9 022427-95-8 054965-80-9	47 32 27
68	56.286	0.05	C:\Database\NIST05a.L 3-Pyridinol, 2-methyl- Phenol, 3-amino- 2(1H)-Pyridinone, 3-methyl-	5422 5409 5434	001121-25-1 000591-27-5 001003-56-1	78 60 60
69	56.640	0.11	C:\Database\NIST05a.L Oxirane, 3-hydroxypropyl- Butanoic acid, 3-methylbutyl ester 2(3H)-Furanone, dihydro-3-hydroxy- 4,4-dimethyl-	4191 28957 12882	021915-56-0 000106-27-4 052126-90-6	47 47 47
70	57.841	0.50	C:\Database\NIST05a.L Benzoic acid, 4-hydroxy-3-methoxy- 2H-Pyran-2-one, 3-acetyl-4-hydroxy -6-methyl- 1,2,3-Trimethoxybenzene	35424 35459 35474	000121-34-6 000771-03-9 000634-36-6	68 59 59
71	58.756	0.08	C:\Database\NIST05a.L Propanedioic acid 2-Butene-1,4-diol, (Z)- Oxaziridine, 2-methyl-3-propyl-	4528 2009 4026	000141-82-2 006117-80-2 058751-77-2	38 35 35
72	59.488	0.48	C:\Database\NIST05a.L 1-(6-Hydroxyimidazo[2,1-b]thiazol- 5-yl)ethanone Benzene, 1,2,3-trimethoxy-5-methyl Phenol, 3-[(trimethylsilyl)oxy]-	44906 44227 45160	067073-26-1 006443-69-2 017882-01-8	72 72 64
73	59.824	0.17	C:\Database\NIST05a.L 3-Pyridinol 4-Pyridinol 3-Pyridinol	2605 2606 2603	000109-00-2 000626-64-2 000109-00-2	93 87 83
74	59.938	0.31	C:\Database\NIST05a.L Benzenecarboxylic acid Benzenecarboxylic acid Benzenecarboxylic acid	9580 9581 9579	000065-85-0 000065-85-0 000065-85-0	96 95 72

Figura 162. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 6 (continuación)

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000006.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 19:28
 Operator : AdeM
 Sample : Organica 2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 6 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
75	61.007	0.75	C:\Database\NIST05a.L Nonanoic acid, methyl ester [1,1'-Biphenyl]-3-amine Benzothiazole, 2-chloro-	37540 35739 35854	001731-84-6 002243-47-2 000615-20-3	35 27 18
76	61.930	0.36	C:\Database\NIST05a.L 5-Hydroxymethyltetrahydrofuran-2-one 5-Methyltetrahydrofuran-2-methanol , cis & trans 5-Oxotetrahydrofuran-2-carboxylic acid, ethyl ester	7820 7993 28629	1000194-17-0 006126-49-4 001126-51-8	87 64 64
77	62.622	0.83	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Benzenediol, 3-methoxy- 1,2-Benzenediol, 3-methoxy- 1,2-Benzenediol, 3-methoxy-	17709 17712 17713	000934-00-9 000934-00-9 000934-00-9	97 96 96
78	64.405	0.26	C:\Database\NIST05a.L Thiophene, tetrahydro- Thiophene, tetrahydro- Serine, methyl ester	2044 2045 8763	000110-01-0 000110-01-0 002104-89-4	47 47 43
79	64.669	0.12	C:\Database\NIST05a.L Ethanol, 2-(2-butoxyethoxy)- Butane, 1-(2-methoxyethoxy)- Oxiraneethanol, .beta.-(1-ethoxyet hoxy)-, [2R-[2R*[R*(R*)]]]-	31189 13983 40685	000112-34-5 013343-98-1 109613-58-3	35 35 27
80	65.328	0.19	C:\Database\NIST05a.L Phenol, 3,4-dimethoxy-, acetate Phenol, 3,4-dimethoxy-, acetate 3-Amino-2,6-dimethoxypyridine	53949 53942 26163	007203-46-5 007203-46-5 028020-37-3	91 50 49
81	65.629	0.09	C:\Database\NIST05a.L Isosorbide Isosorbide 1,4,7,10,13,16-Hexaoxacyclooctadec ane	20976 20977 100938	000652-67-5 000652-67-5 017455-13-9	60 60 35
82	65.911	0.09	C:\Database\NIST05a.L 1,4,7,10,13,16-Hexaoxacyclooctadec ane 1,4,7,10,13,16-Hexaoxacyclooctadec ane 12-Crown-4	100939 100942 40672	017455-13-9 017455-13-9 000294-93-9	27 27 22
83	66.961	0.10	C:\Database\NIST05a.L Ethanone, 1-[4-(methylthio)phenyl] Ethanone, 1-[4-(methylthio)phenyl] Ethanone, 1-(4-hydroxy-3-methoxyph enyl)-	34094 34093 34048	001778-09-2 001778-09-2 000498-02-2	76 76 64
84	67.625	0.12	C:\Database\NIST05a.L Homovanillyl alcohol Benzeneacetic acid, 4-hydroxy-3-me thoxy-, methyl ester	35473 54007	002380-78-1 015964-80-4	64 59

Figura 163. Comparación con biblioteca de cromatografía para fase orgánica – corrida 6 (continuación)

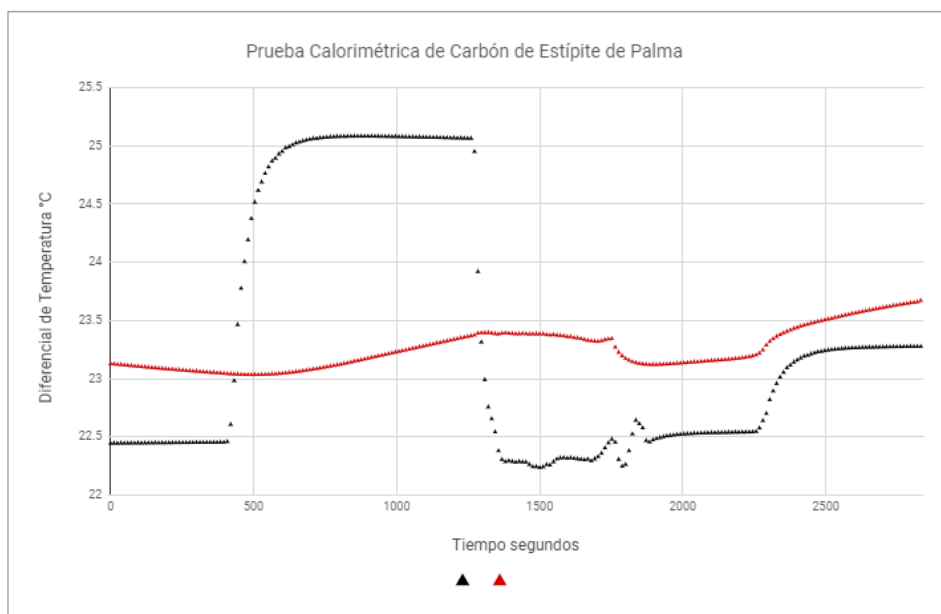
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\SERVICIO\URL\
 Data File : 170504-000006.D
 Title :
 Acq On : 4 May 2017 19:28
 Operator : AdeM
 Sample : Organica 2
 Misc : Pirrolisis
 ALS Vial : 6 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex
 Integration Events: ChemStation Integrator - autointA.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
			Benzeneacetic acid, 4-hydroxy-3-methoxy-, methyl ester	54006	015964-80-4	59
85	68.153	0.14	C:\Database\NIST05a.L Thieno[2,3-b]thiophene, 2-ethyl- Ethanone, 1-(2,3,4-trihydroxyphenyl)- 5-Acetyl-2-methyl-3-thiophenecarbaldehyde	35466 35433 35397	005912-01-6 000528-21-2 090345-55-4	72 70 68
86	68.785	1.32	C:\Database\NIST05a.L Octadecanoic acid Octadecanoic acid Octadecanoic acid	114822 114820 114818	000057-11-4 000057-11-4 000057-11-4	99 98 95
87	69.017	1.45	C:\Database\NIST05a.L Octadecanoic acid Octadecanoic acid Octadecanoic acid	114822 114818 114821	000057-11-4 000057-11-4 000057-11-4	99 96 89
88	69.504	1.45	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Benzenediol 1,2-Benzenediol 1,2-Benzenediol	5611 5609 5610	000120-80-9 000120-80-9 000120-80-9	95 93 93
89	72.392	2.93	C:\Database\NIST05a.L Octadec-9-enoic acid 6-Octadecenoic acid, (Z)- 9-Octadecenoic acid, (E)-	113356 113359 113363	1000190-13-7 000593-39-5 000112-79-8	99 99 99
90	72.597	3.19	C:\Database\NIST05a.L 9-Octadecenoic acid, (E)- 6-Octadecenoic acid, (Z)- Oleic Acid	113360 113359 113353	000112-79-8 000593-39-5 000112-80-1	98 97 95
91	74.894	1.68	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester Bis(2-ethylhexyl) phthalate Di-n-octyl phthalate	110586 168502 168497	004376-20-9 000117-81-7 000117-84-0	91 68 68
92	75.176	2.09	C:\Database\NIST05a.L 1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester Di-n-octyl phthalate Phthalic acid, 2-ethylhexyl hexyl ester	110586 168497 158094	004376-20-9 000117-84-0 1000309-02-5	91 68 64
93	78.801	0.55	C:\Database\NIST05a.L 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)- 1,9-Tetradecadiene 4-Tetradecyne	111992 52915 52906	000060-33-3 112929-06-3 060212-33-1	98 83 64
94	79.247	0.22	C:\Database\NIST05a.L Tetradecanamide Benzeneethanamine, 2-fluoro-.beta., 3,4-trihydroxy-N-isopropyl-	76597 77768	000638-58-4 061338-98-5	60 53

Figura 164. Termograma en determinación de poder calorífico del carbón de pirólisis de estípite de palma



*El termograma muestra el diferencial de temperatura tras una reacción exotérmica – la incineración de la tableta de carbón de palma. El equipo adicional daba datos proporcionales de calor por unidad másica.

Figura 165. Cromatografía de gases detector FID para análisis de gas metano – corrida 1

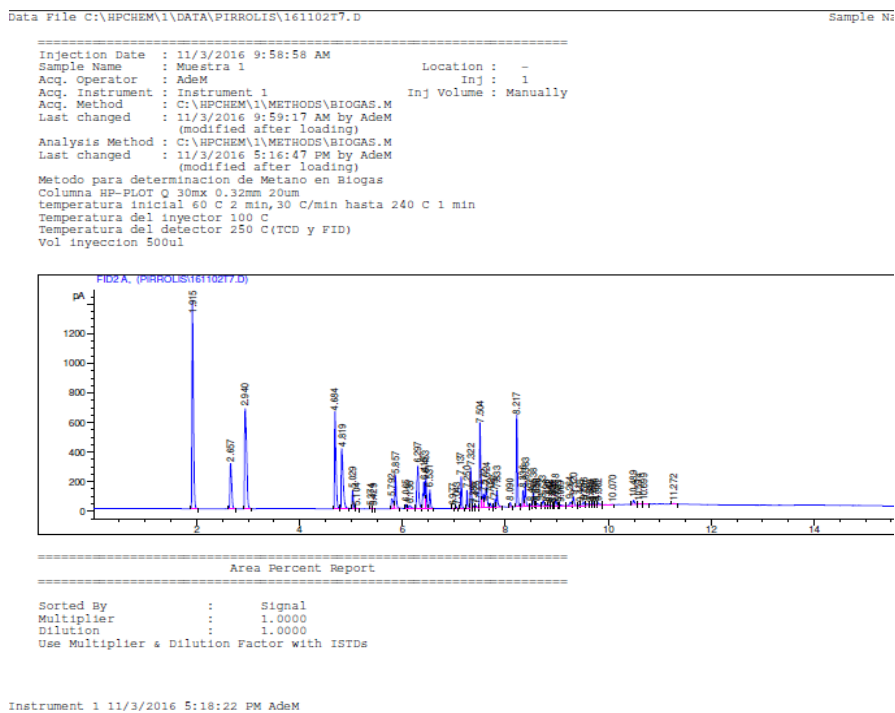


Figura 166. Cromatografía de gases detector FID para análisis de gas metano – corrida 2.1

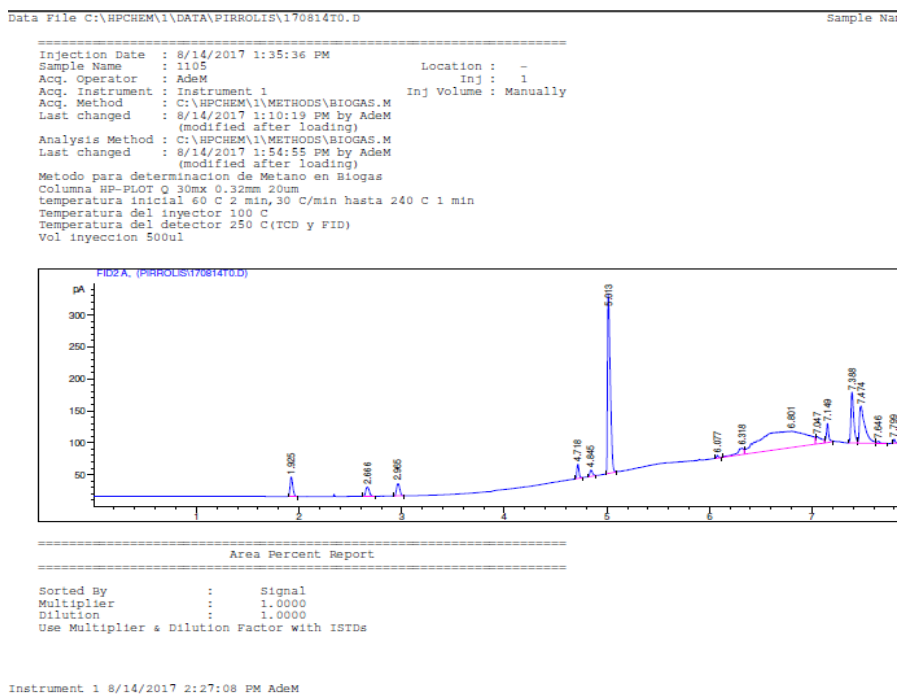


Figura 167. Cromatografía de gases detector TCD para análisis de gas metano – corrida 2.1

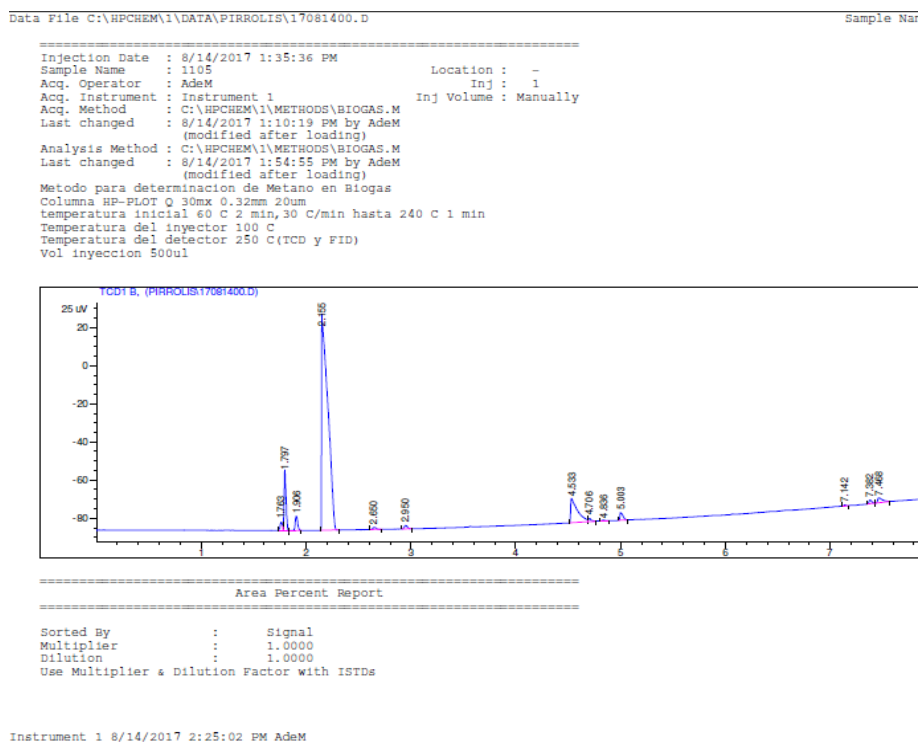


Figura 168. Cromatografía de gases detector FID para análisis de gas metano – corrida 2.2

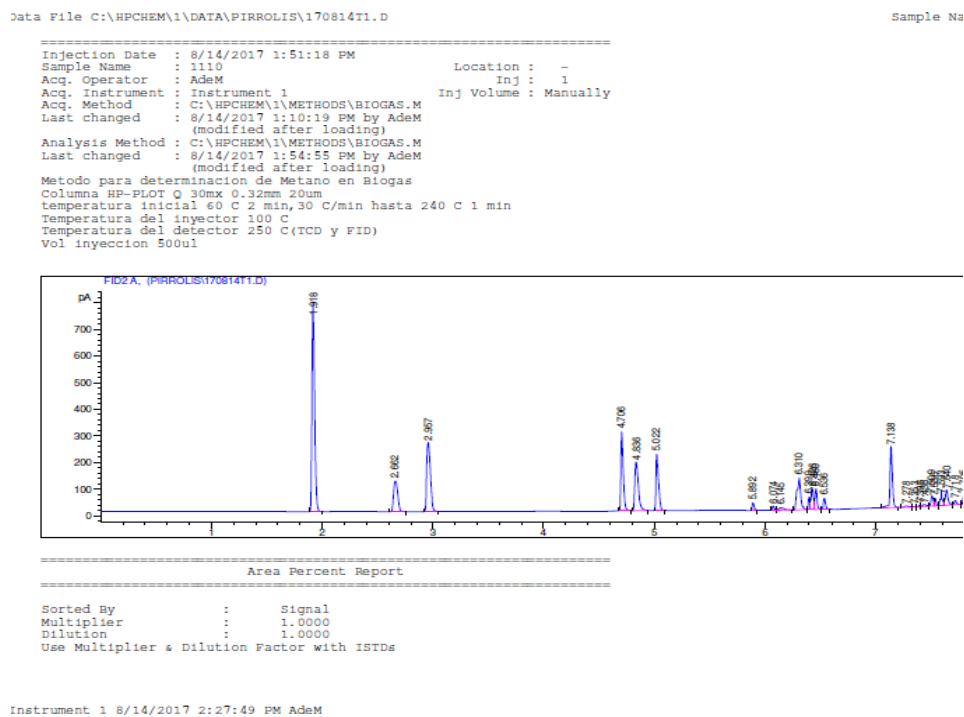


Figura 169. Cromatografía de gases detector TCD para análisis de gas metano – corrida 2.2

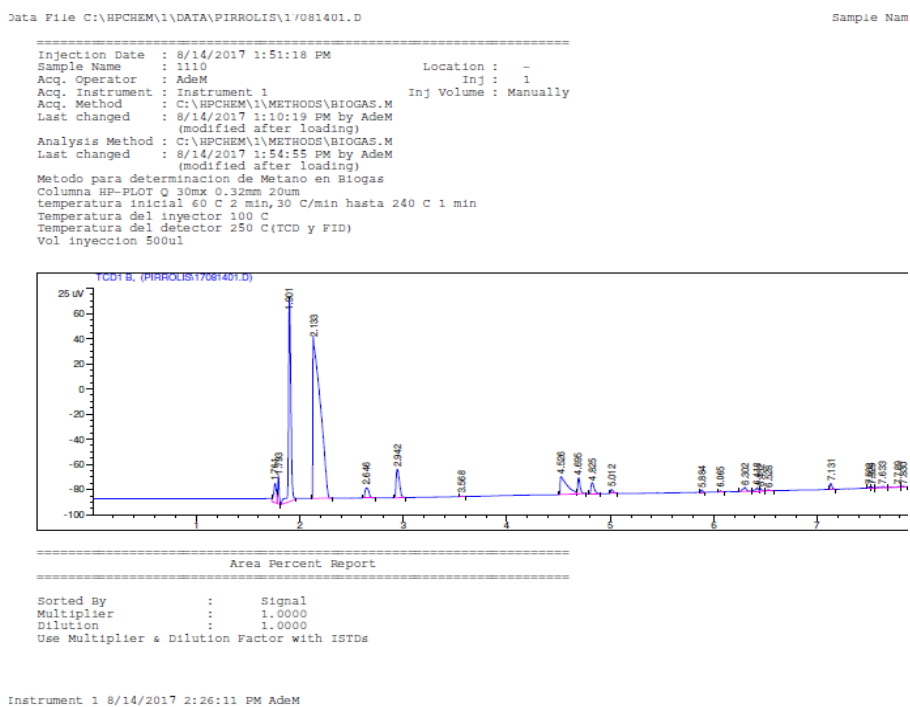


Figura 170. Cromatografía de gases detector FID para análisis de gas metano – corrida 2.3

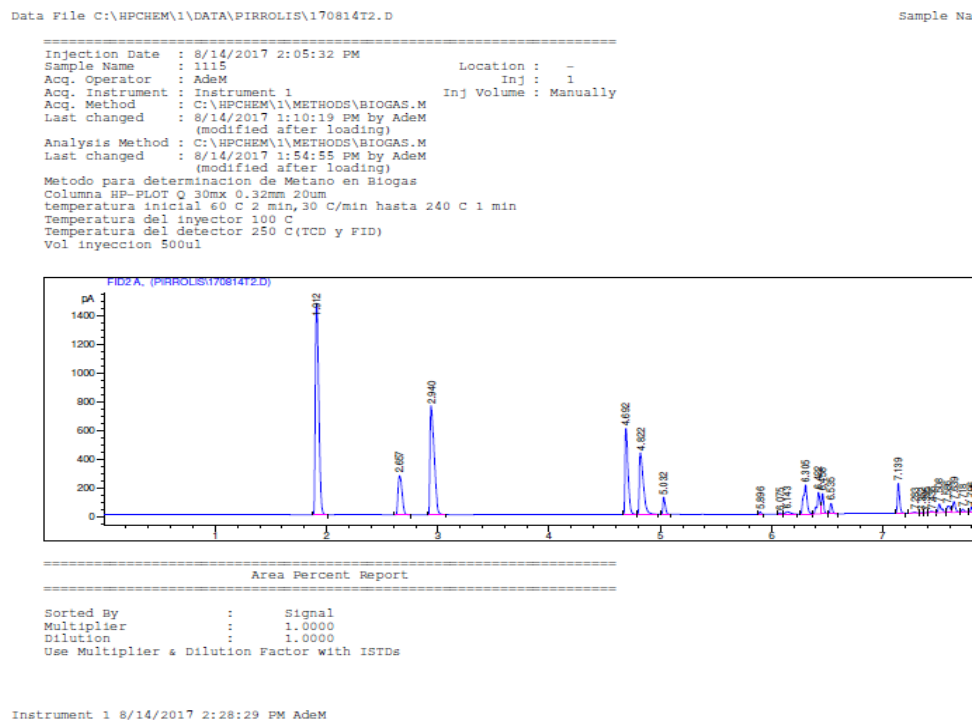
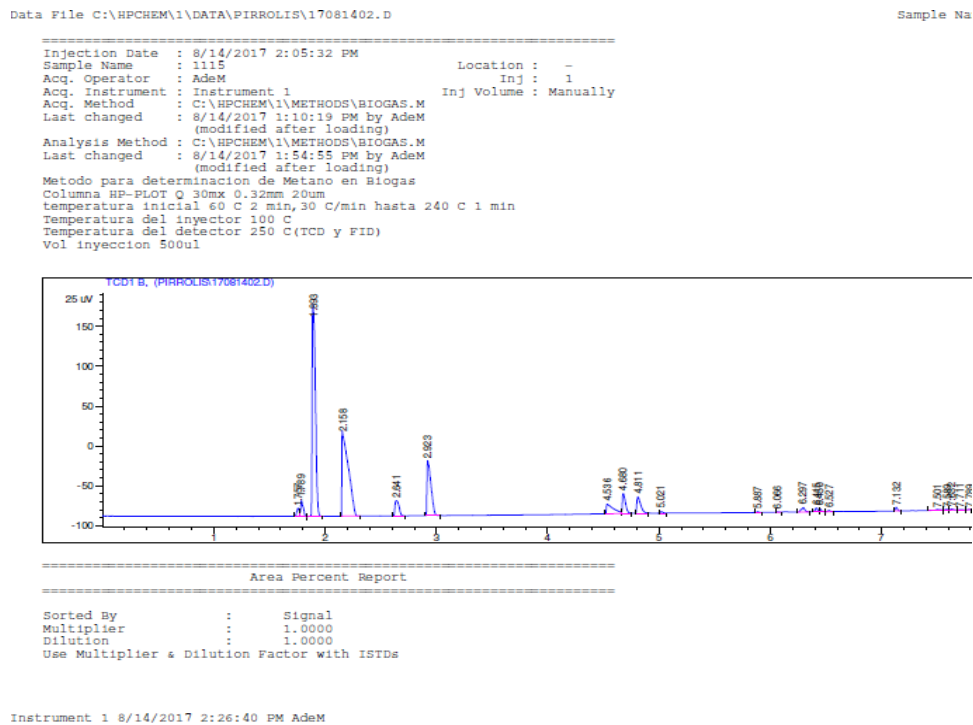


Figura 171. Cromatografía de gases detector TCD para análisis de gas metano – corrida 2.3



2. Informes de análisis por cromatografía de gases y espectrofotometría de masas con plasma acoplado inductivamente

Figura 172. Informe de análisis por ICP-MS para abonos orgánicos realizado por Analab.

Orden: 24 - 2014
 Cliente: GURICA,S.A.
 Finca: GURICA, S.A. en Jurisdicción de: La Gomera ESCUINTLA



Analab
ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS Y AGUAS

Análisis de Abono Orgánico **O-1**

Identificación de la muestra	%										ppm					%	
	pH	*C/N	N	P2O5	K2O	CaO	MgO	Anfib	Bar	Cobre	Hierro	Manganeso	Zinc	*C.O.	*M.O.	Canosa	
No. 8779 LOTE CARBONALFA	10.36	54.13	0.78	2.79	16.06	1.41	1.93	3.26	21.96	19.73	2816.00	82.45	302.20	42.23	76.00	14.00	

● = Bajo
● = Adecuado
● = Alto

*N = Nitrogeno
 *P₂O₅ = Fósforo
 *K₂O = Potasio
 *CaO = Calcio
 *MgO = Magnesio
 *C.O. = Carbono Orgánico
 *M.O. = Materia Orgánica
 *C/N = Relación Carbono-Nitrogeno

Observaciones: Dichos niveles son por lo tanto, extremadamente generales, y en consecuencia, a la hora de usarlos para interpretar hay que considerarlos como tales.

Fecha de ingreso: 03/04/2017
 Fecha de ejecución:
 Fecha de impresión: 11/04/2017






Fig. Doris Vega
Coordinador de Analab


Los resultados de este informe son válidos únicamente para las muestras recibidas en el laboratorio y en su impresión original.
 El laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le de a este informe.
 La reproducción parcial o total de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.
 Sa. calle 05-50, zona 14 Guatemala, Guatemala, C.A. e-mail: analab@analab.org www.laboratorioanalab.com teléfono y fax: (502) 23374173, gbc: (502) 24213700 ext. 1132 y 1133

Pág. 1 / 1

B. INFORMACIÓN Y RESULTADOS DE SIMULACIÓN EN SUPERPRO DESIGNER®

1. Guía rápida de inicio de uso de SuperPro Designer®. A continuación, se presenta una guía sencilla sobre el proceso de desarrollo de un modelo de simulación de procesos en el software SuperPro Designer® versión 9 compilación 9.

- **Selección de modo de operación:** En esta sección se escoge si el modelo simulará un proceso por lotes (batch) o continuo, así como el tiempo de operación estándar anual en su equivalente en horas.
- **Registro de componentes a emplear:** Se deben seleccionar los componentes que se emplearán dentro de la simulación. Para esto, el software cuenta con una base de datos donde se pueden encontrar algunos de los componentes de uso común en la industria. Esto se realiza dando clic en el menú “Tasks”, colocando el cursor sobre “Pure Components”, luego “Register, Edit/View Properties...”; proceso similar para las mezclas – “Stock Mixtures”. Cabe resaltar que se pueden agregar más componentes si fuese necesario, editando sus propiedades; incluso. Para lo cual se da clic en el ícono  , que despliega una ventana secundaria dedicada a la definición compuestos que no se presentan en la base de datos. Ahora bien, para la edición de las propiedades se selecciona el compuesto o mezcla en la ventana correspondiente a estos y se da clic en  .
- **Esquematar el diagrama de flujo:** Se seleccionan los módulos de las operaciones unitarias involucradas de la base de datos con que cuenta el programa, para acceder a estos se selecciona el menú “Unit Procedures”. Es importante resaltar que la base de datos es extensa tanto para las operaciones continuas como por lotes, sin embargo; se debe profundizar sobre si el módulo y sus capacidades se adecúan al proceso a simular. Para esto se selecciona el módulo con un clic izquierdo y se libera el ícono correspondiente donde se desee, dentro del campo de trabajo, con un clic izquierdo.
- **Realizar conexiones con líneas de flujo:** Al dar clic izquierdo en el ícono  , en la barra de tareas de la pantalla principal, se pueden trazar las corrientes de flujo de proceso entre las entradas y salidas del ícono correspondiente a cada módulo insertado. En este sentido, las flechas rellenas corresponden a flujos secundarios; mientras que las blancas, a flujos primarios del módulo y que no se pueden ignorar. Para las corrientes de alimentación del proceso se da un clic en el espacio de trabajo y se realizan tantos clics como cambios de dirección se requieran hasta alcanzar la entrada al módulo correspondiente. Caso similar se presenta para los efluentes, iniciando en la flecha de salida del módulo y dando doble clic izquierdo en el punto a definir como destino del efluente dado.

- **Asignar componentes y flujos a corrientes:** Al dar doble clic sobre una línea de flujo de alimentación o clic derecho y seleccionando “Data Contents”, se puede asignar el componente o mezcla requerido por la corriente de alimentación seleccionada, junto con sus propiedades como temperatura y presión. En el caso de flujos intermedios, con esta opción se pueden verificar los flujos y propiedades asociadas, luego de ejecutada la simulación.
- **Seleccionar modelo termodinámico:** Al configurar cada módulo de operaciones unitarias, si corresponde; se puede seleccionar el modelo termodinámico al escoger el modo “Calculado empleando herramientas rigurosas”, pestaña del mismo nombre en donde se puede definir el modelo a emplear desde el sencillo y por defecto – Ley de Raoult – hasta los complejos como NRTL, Wilson, Peng-Robinson, entre otros. En el caso de las líneas de flujo, al dar un clic derecho sobre las mismas se puede acceder a la pestaña “State Properties” donde se pueden escoger los modelos de fase a emplear.
- **Ejecutar la simulación:** Luego de ejecutados los pasos anteriores, se está preparado para ejecutar los balances de masa y energía asociados al proceso que se desea simular. Para esto, se da clic en el ícono ; el cual dará inicio a la ejecución de los cálculos correspondientes y advertirá en la parte inferior de la ventana principal si existe algún conflicto, advertencia o error; de lo contrario indicará que los cálculos han finalizado con éxito.

2. Parámetros básicos empleados en módulos del modelo generado. En la presente sección se describen los parámetros empleados para cada uno de los módulos empleados en el modelo de simulación de pirólisis rápida de biomasa lignocelulósica, especialmente el estípote de palma africana.

Tabla 108. Parámetros básicos de entrada para cada módulo empleado en el modelo generado para el proceso de pirólisis rápida de biomasa lignocelulósica.

Operación(es)	Parámetro	Valor	Unidad
P-1/SR-101	Consumo de potencia	0.05	kW/(kg*h)
	Pérdida de potencia en forma de calor	5	%
P-2/HX-101	Tipo de flujo	Contracorriente	-
P-5/HX-102	Coficiente de transferencia de calor	1500	W/(m ² *K)
P-11/HX-103	Factor de corrección	1.0	-
	Caída de presión en ambos lados	0.0	bar
P-3/DDR-101	Consumo de potencia	0.0600	kW/m ²
	Tasa de evaporación	40.0	kg/(m ² *h)
	Temperatura final de sólidos	120.0	°C
	Presión de operación	1.013	bar
P-4/SC-101	Consumo de potencia	0.12	kW/(kg*h)
	Densidad de bulto	800.0	kg/m ³
P-6/CSP-101	Velocidad angular de eje	50.0	RPM
	Consumo de potencia	0	kW/m ³
R-101, 102 y 103	Modo de operación	Adiabático	-
	Consumo de potencia	0	kW/m ³
P-7/PFR-101	Modo de operación	Adiabático	-
P-8/PFR-102	Consumo de potencia	0	kW/m ³
P-9/PFR-103	Presión de operación	1.013	bar
P-10/MX-101	Consumo de potencia	0	kW/m ³
P-12/CY-101	Velocidad de entrada de flujo	20.0	m/s
	Remoción de partículas sólidas	90.0	%
	Velocidad lineal de gas	0.0125	m/s
P-13/BHF-101	Remoción de partículas sólidas	100	%
	Eficiencia de ventilador	80.0	%
	Modo de operación	Isotérmico	-
	Agente de enfriamiento	Agua enfriada	-
	Temperatura de operación	40	°C
P-14/HX-104	Presión de operación	1.013250	bar
	Coficiente de transferencia de calor	860.44	W/(m ² *K)
	Eficiencia de transferencia de calor	90.0	%
	Método de no idealidad	Ley de Raoult	-
	Modelo para fase de vapor	Gas ideal	-
	Modelo para fase líquida	Mezcla ideal	-
	Temperatura máxima de salida	50.0	°C
P-15/M-101	Cambio de presión	0.020	bar
P-16/M-102	Eficiencia	70	%
	Eficiencia de transferencia de calor	100	%
	Ajuste automático de aire de entrada	Sí	
	Exceso de oxígeno	30.0	
	Temperatura de salida de gases de chimenea	1500.0	°
P-17/INC-101	Corriente de combustible	Gas pirolítico	
	Composición de combustible - Carbono	39.0	% m/
	Composición de combustible - Hidrógeno	3.0	% m/
	Composición de combustible - Oxígeno	58.0	% m/

3. **Resultados de validación de modelo.** Como parte de la validación del modelo de pirólisis rápida de biomasa lignocelulósica, se compararon los resultados publicados en la literatura respecto a los obtenidos de acuerdo al modelo según las condiciones reportadas para dichas experimentaciones. Según las diferentes fuentes empleadas, las composiciones de la paja de trigo ingresada en el simulador corresponden a las detalladas en la Tabla 18.

A continuación, se presentan los resultados para la validación del modelo por comparación de los resultados obtenidos por simulación en el software SuperPro Designer® y los resultados reportados en las publicaciones de pirólisis rápida de paja de trigo de los autores: (Zanzi, Sjöström, & Björnbom, 2002), (Scott, Majerski, Piskorz, & Radlein, 1999) e Ibrahim, reportado dentro del informe de (Thomsen, Hauggaard, Bruun, & Ahrenfeldt, 2011). Es importante destacar que bajo la clasificación de «Bioaceite» se considera la fracción acuosa y orgánica de los productos condensables del proceso de pirólisis rápida de las fuentes de biomasa empleadas para esta comparación.

Tabla 109. Resultados experimentales de pirólisis rápida de paja de trigo reportados en publicaciones.

Fracción de producto (% m/m)	Autores		
	Scott, <i>et. al.</i>	Zanzi, <i>et. al.</i>	Ibrahim, <i>et. al.</i>
Bioaceite	52.8	11.0	56.2
Biocarbón	24.5	13.2	25.9
Gas pirolítico	17.8	75.8	19.4

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos por simulación en el modelo desarrollado en SuperPro Designer® aplicando el esquema propuesto por Thomsen y colaboradores.

Tabla 110. Resultados experimentales de pirólisis rápida de paja de trigo obtenidos empleando modelo en SuperPro Designer®.

Fracción de producto (% m/m)	Autores		
	Scott, <i>et. al.</i>	Zanzi, <i>et. al.</i>	Ibrahim, <i>et. al.</i>
Bioaceite	51.6	15.3	52.9
Biocarbón	24.0	15.4	25.7
Gas pirolítico	24.4	69.3	21.3

Finalmente, para la comparación de resultados de pirólisis rápida de paja de trigo; se presentan los resultados del análisis de error realizado. Dicho análisis se realizó para cada una de las fases de producto y cada uno de los experimentos reportados en la literatura, respectivamente; empleando Microsoft Excel® 2016. Con lo que se estableció que el error relativo global del modelo para este análisis fue del 9.3 ± 4.3 %.

(m/m)

Tabla 111. Análisis de error de resultados experimentales publicados y simulados de pirólisis rápida de paja de trigo.

Error relativo	Autores			Media aritmética
	Scott, <i>et. al.</i>	Zanzi, <i>et. al.</i>	Ibrahim, <i>et. al.</i>	
Bioaceite	-2.2%	39.2%	-5.8%	10.4%
Biocarbón	-2.1%	16.9%	-0.6%	4.7%
Gas pirolítico	36.9%	-8.6%	10.0%	12.8%
Media aritmética	10.9%	15.8%	1.2%	9.3%
Error de media	13.0%	13.8%	4.7%	4.3%

4. Resultado de estimación de costos, reportes generados por SuperPro Designer®

Figura 173. Resumen de maquinaria del reporte

Equipment Report for Simulación pirólisis rápida biomasa v. 1.0

October 13, 2017

1. EQUIPMENT SUMMARY (2017 prices)

Name	Type	Units	Standby/ Staggered	Size (Capacity)	Material of Construction	Purchase Cost (\$/Unit)
CSP-101	Component Splitter	1	0/0	35.71 kg/h	CS	0
R-101	Stirred Reactor	1	0/0	0.01 L	SS316	0
R-102	Stirred Reactor	1	0/0	0.02 L	SS316	0
R-103	Stirred Reactor	1	0/0	0.01 L	SS316	0
PFR-101	Plug Flow Reactor	1	0/0	0.33 L	SS316	77,000
PFR-102	Plug Flow Reactor	1	0/0	0.13 L	SS316	0
PFR-103	Plug Flow Reactor	1	0/0	0.92 L	SS316	0
MX-101	Mixer	1	0/0	35.71 kg/h	CS	0
SR-101	Shredder	1	0/0	100.00 kg/h	CS	83,000
HX-101	Heat Exchanger	1	0/0	0.01 m2	CS	9,000
DDR-101	Drum Dryer	1	0/0	1.61 m2	SS316	0
SC-101	Screw Conveyor	1	0/0	15.00 m	CS	0
HX-102	Heat Exchanger	1	0/0	0.01 m2	CS	9,000
HX-103	Heat Exchanger	1	0/0	0.00 m2	CS	0
CY-101	Cyclone	1	0/0	44,095.22 L/h	CS	3,000
BHF-101	Baghouse Filter	1	0/0	0.98 m2	CS	27,000
HX-104	Condenser	1	0/0	0.06 m2	CS	38,000
M-101	Centrifugal Fan	1	0/0	7,810.32 L/h	CS	5,000
M-102	Centrifugal Fan	1	0/0	27,300.95 L/h	CS	5,000
INC-101	Incinerator	1	0/0	1.00 kg/h	CS	1,173,000

Figura 174. Detalle de maquinaria del reporte

2. ITEMIZED EQUIPMENT LIST

CSP-101 (Component Splitter)

Equipment size was calculated		
Number of Units	1.00	
Number of Standby Units	0.00	
Number of Staggered Units	0.00	
Installation Factor	0.50	
Maintenance Factor	0.10	
Cost Allocation Factor	1.00	
Usage Rate	100.00	\$/equipment-h
Availability Rate	100.00	\$/h
Material of Construction		CS
Purchase Cost (system model for Component Splitter)	0.00	\$/unit
Rated Throughput	35.71	kg/h

R-101 (Stirred Reactor)

Equipment size was calculated		
Number of Units	1.00	
Number of Standby Units	0.00	
Number of Staggered Units	0.00	
Installation Factor	0.30	
Maintenance Factor	0.10	
Cost Allocation Factor	1.00	
Usage Rate	100.00	\$/equipment-h
Availability Rate	100.00	\$/h
Material of Construction		SS316
Purchase Cost (set by user)	0.00	\$/unit
Volume	0.01	L
Diameter	0.02	m
Height	0.05	m
Design Pressure	1.52	bar
Vessel is constructed according to ASME standards		

R-102 (Stirred Reactor)

Equipment size was calculated		
Number of Units	1.00	
Number of Standby Units	0.00	
Number of Staggered Units	0.00	
Installation Factor	0.30	
Maintenance Factor	0.10	
Cost Allocation Factor	1.00	
Usage Rate	100.00	\$/equipment-h
Availability Rate	100.00	\$/h
Material of Construction		SS316
Purchase Cost (set by user)	0.00	\$/unit
Volume	0.02	L
Diameter	0.02	m
Height	0.05	m
Design Pressure	1.52	bar
Vessel is constructed according to ASME standards		

R-103 (Stirred Reactor)

Equipment size was calculated		
Number of Units	1.00	
Number of Standby Units	0.00	
Number of Staggered Units	0.00	
Installation Factor	0.30	
Maintenance Factor	0.10	
Cost Allocation Factor	1.00	
Usage Rate	100.00	\$/equipment-h
Availability Rate	100.00	\$/h
Material of Construction		SS316
Purchase Cost (set by user)	0.00	\$/unit
Volume	0.01	L
Diameter	0.02	m
Height	0.05	m
Design Pressure	1.52	bar
Vessel is constructed according to ASME standards		

PFR-101 (Plug Flow Reactor)

Equipment size was calculated		
Number of Units	1.00	
Number of Standby Units	0.00	
Number of Staggered Units	0.00	
Installation Factor	0.50	
Maintenance Factor	0.10	
Cost Allocation Factor	1.00	
Usage Rate	100.00	\$/equipment-h
Availability Rate	100.00	\$/h
Material of Construction		SS316
Purchase Cost (system model for Plug Flow Reactor)	77,000.00	\$/unit
Volume	0.33	L
Diameter	0.03	m
Length	0.35	m
Design Pressure	1.52	bar
Vessel is constructed according to ASME standards		

PFR-102 (Plug Flow Reactor)

Equipment size was calculated		
Number of Units	1.00	
Number of Standby Units	0.00	
Number of Staggered Units	0.00	
Installation Factor	0.50	
Maintenance Factor	0.10	
Cost Allocation Factor	1.00	
Usage Rate	100.00	\$/equipment-h
Availability Rate	100.00	\$/h
Material of Construction		SS316
Purchase Cost (set by user)	0.00	\$/unit
Volume	0.13	L
Diameter	0.03	m
Length	0.26	m
Design Pressure	1.52	bar
Vessel is constructed according to ASME standards		

PFR-103 (Plug Flow Reactor)

Equipment size was calculated		
Number of Units	1.00	
Number of Standby Units	0.00	
Number of Staggered Units	0.00	
Installation Factor	0.50	
Maintenance Factor	0.10	
Cost Allocation Factor	1.00	
Usage Rate	100.00	\$/equipment-h
Availability Rate	100.00	\$/h
Material of Construction		SS316
Purchase Cost (set by user)	0.00	\$/unit
Volume	0.92	L
Diameter	0.05	m
Length	0.49	m
Design Pressure	1.52	bar
Vessel is constructed according to ASME standards		

MX-101 (Mixer)

Equipment size was calculated		
Number of Units	1.00	
Number of Standby Units	0.00	
Number of Staggered Units	0.00	
Installation Factor	0.50	
Maintenance Factor	0.10	
Cost Allocation Factor	1.00	
Usage Rate	100.00	\$/equipment-h
Availability Rate	100.00	\$/h
Material of Construction		CS
Purchase Cost (system model for Mixer)	0.00	\$/unit
Rated Throughput	35.71	kg/h

SR-101 (Shredder)

Equipment size was calculated		
Number of Units	1.00	
Number of Standby Units	0.00	
Number of Staggered Units	0.00	
Installation Factor	0.50	
Maintenance Factor	0.10	
Cost Allocation Factor	1.00	
Usage Rate	100.00	\$/equipment-h
Availability Rate	100.00	\$/h
Material of Construction		CS
Purchase Cost (system model for Shredder)	83,000.00	\$/unit
Rated Throughput	100.00	kg/h

SR-101 (Shredder)

Equipment size was calculated		
Number of Units	1.00	
Number of Standby Units	0.00	
Number of Staggered Units	0.00	
Installation Factor	0.50	
Maintenance Factor	0.10	
Cost Allocation Factor	1.00	
Usage Rate	100.00	\$/equipment-h
Availability Rate	100.00	\$/h
Material of Construction		CS
Purchase Cost (system model for Shredder)	83,000.00	\$/unit
Rated Throughput	100.00	kg/h

HX-101 (Heat Exchanger)

Equipment size was calculated		
Number of Units	1.00	
Number of Standby Units	0.00	
Number of Staggered Units	0.00	
Installation Factor	0.50	
Maintenance Factor	0.10	
Cost Allocation Factor	1.00	
Usage Rate	100.00	\$/equipment-h
Availability Rate	100.00	\$/h
Material of Construction		CS
Purchase Cost (system model for Heat Exchanger)	8,500.00	\$/unit
Heat exchanger type is Plate and Frame		
Heat Transfer Area	0.01	m2

DDR-101 (Drum Dryer)

Equipment size was calculated		
Number of Units	1.00	
Number of Standby Units	0.00	
Number of Staggered Units	0.00	
Installation Factor	0.50	
Maintenance Factor	0.10	
Cost Allocation Factor	1.00	
Usage Rate	100.00	\$/equipment-h
Availability Rate	100.00	\$/h
Material of Construction		SS316
Purchase Cost (set by user)	0.00	\$/unit
Atmospheric Dryer		
Drum Area	1.61	m2
Drying Capacity	64.29	kg/h

SC-101 (Screw Conveyor)

Equipment size was calculated		
Number of Units	1.00	
Number of Standby Units	0.00	
Number of Staggered Units	0.00	
Installation Factor	0.00	
Maintenance Factor	0.10	
Cost Allocation Factor	1.00	
Usage Rate	100.00	\$/equipment-h
Availability Rate	100.00	\$/h
Material of Construction		CS
Purchase Cost (system model for Screw Conveyor)	0.00	\$/unit
Pipe Diameter	1.69	cm
Pipe Length	15.00	m
Rated Throughput	44.64	L/h

HX-102 (Heat Exchanger)

Equipment size was calculated		
Number of Units	1.00	
Number of Standby Units	0.00	
Number of Staggered Units	0.00	
Installation Factor	0.50	
Maintenance Factor	0.10	
Cost Allocation Factor	1.00	
Usage Rate	100.00	\$/equipment-h
Availability Rate	100.00	\$/h
Material of Construction		CS
Purchase Cost (system model for Heat Exchanger)	8,500.00	\$/unit
Heat exchanger type is Plate and Frame		
Heat Transfer Area	0.01	m ²

HX-103 (Heat Exchanger)

Equipment size was calculated		
Number of Units	1.00	
Number of Standby Units	0.00	
Number of Staggered Units	0.00	
Installation Factor	0.50	
Maintenance Factor	0.10	
Cost Allocation Factor	1.00	
Usage Rate	100.00	\$/equipment-h
Availability Rate	100.00	\$/h
Material of Construction		CS
Purchase Cost (set by user)	0.00	\$/unit
Heat exchanger type is Plate and Frame		
Heat Transfer Area	0.00	m ²

CY-101 (Cyclone)

Equipment size was calculated		
Number of Units	1.00	
Number of Standby Units	0.00	
Number of Staggered Units	0.00	
Installation Factor	0.50	
Maintenance Factor	0.15	
Cost Allocation Factor	1.00	
Usage Rate	100.00	\$/equipment-h
Availability Rate	100.00	\$/h
Material of Construction		CS
Purchase Cost (system model for Cyclone)	2,500.00	\$/unit
Body Diameter	0.07	m
Inlet Height	0.03	m
Inlet Width	0.02	m
Gas Outlet Diameter	0.03	m
Outlet Duct Diameter for Dust	0.02	m
Outer Length	0.04	m
Height of Upper Cylindrical Body	0.14	m
Overall Height	0.28	m

BHF-101 (Baghouse Filter)

Equipment size was calculated		
Number of Units	1.00	
Number of Standby Units	0.00	
Number of Staggered Units	0.00	
Installation Factor	1.50	
Maintenance Factor	0.10	
Cost Allocation Factor	1.00	
Usage Rate	100.00	\$/equipment-h
Availability Rate	100.00	\$/h
Material of Construction		CS
Purchase Cost (system model for Baghouse Filter)	27,000.00	\$/unit
Unit Cost of Consumable: Orlon Bag	10.20	\$/item
Disposal Cost of Consumable: Orlon Bag	0.00	\$/item
Filter cost includes insulation estimate		
Fan location is before (Pressure-Type)		
Cleaning in the filter is by shaking		
Clean Air Ratio	0.01	
Clean Air Pressure	10.00	bar
Compression Efficiency	80.00	%
No of Compartments	2.00	
No of Bags per Compartment	1.00	
Total Cloth Area	0.98	m2

HX-104 (Condenser)

Equipment size was calculated		
Number of Units	1.00	
Number of Standby Units	0.00	
Number of Staggered Units	0.00	
Installation Factor	0.50	
Maintenance Factor	0.10	
Cost Allocation Factor	1.00	
Usage Rate	100.00	\$/equipment-h
Availability Rate	100.00	\$/h
Material of Construction		CS
Purchase Cost (system model for Condenser)	38,000.00	\$/unit
Heat Transfer Area	0.06	m2

M-101 (Centrifugal Fan)

Equipment size was calculated		
Number of Units	1.00	
Number of Standby Units	0.00	
Number of Staggered Units	0.00	
Installation Factor	0.50	
Maintenance Factor	0.10	
Cost Allocation Factor	1.00	
Usage Rate	100.00	\$/equipment-h
Availability Rate	100.00	\$/h
Material of Construction		CS
Purchase Cost (system model for Centrifugal Fan)	4,500.00	\$/unit
Rated Throughput	7,810.32	L/h

M-102 (Centrifugal Fan)

Equipment size was calculated		
Number of Units	1.00	
Number of Standby Units	0.00	
Number of Staggered Units	0.00	
Installation Factor	0.50	
Maintenance Factor	0.10	
Cost Allocation Factor	1.00	
Usage Rate	100.00	\$/equipment-h
Availability Rate	100.00	\$/h
Material of Construction		CS
Purchase Cost (system model for Centrifugal Fan)	4,500.00	\$/unit
Rated Throughput	27,300.95	L/h

INC-101 (Incinerator)

Equipment size was calculated		
Number of Units	1.00	
Number of Standby Units	0.00	
Number of Staggered Units	0.00	
Installation Factor	0.10	
Maintenance Factor	0.10	
Cost Allocation Factor	1.00	
Usage Rate	100.00	\$/equipment-h
Availability Rate	100.00	\$/h
Material of Construction		CS
Purchase Cost (system model for Incinerator)	1,173,000.00	\$/unit
Rated Throughput	1.00	kg/h

5. Resultados para caso de estudio de pirólisis rápida de estípites de palma africana

a. Cuadros de resultados para caso de estudio de pirólisis rápida. A continuación, se presentan los cuadros con los resultados proporcionados por el modelo de simulación en SuperPro Designer®, bajo las restricciones en cuanto a la fuente de energía para el calentamiento del reactor. Las celdas donde no se cuenta con un valor, con fondo gris, corresponden a condiciones de operación donde no se garantiza una operación continua y con calentamiento en el reactor por recirculación de los gases de chimenea de la combustión de los gases producidos por pirólisis.

1) Biomasa con contenido de humedad del 16 % (m/m).

Tabla 112. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípites con humedad del 16% (m/m) durante 10 segundos.

		Productos (% m/m)						
T [°C]	450	475	500	525	550	575	600	650
Bioaceite		32.0646	28.8265	24.9039	20.8210	16.7243	12.7827	6.4884
Biocarbón		26.4329	22.6757	20.0908	18.2966	17.0133	16.0604	14.7465
Gas pirolítico		22.7283	29.5279	35.8888	41.6461	46.9222	51.7234	59.1684
Agua		18.7742	18.9700	19.1165	19.2363	19.3403	19.4335	19.5967
Suma	0	100.0000	100.0001	100.0000	100.0000	100.0001	100.0000	100.0000

Tabla 113. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípites con humedad del 16% (m/m) durante 5 segundos.

		Productos (% m/m)						
T [°C]	450	475	500	525	550	575	600	650
Bioaceite			33.6266	30.0079	25.4965	20.6805	15.9437	8.2153
Biocarbón			25.2524	21.7589	19.3331	17.6479	16.4498	14.8986
Gas pirolítico			22.2354	29.1620	35.9588	42.3452	48.1810	57.2923
Agua			18.8857	19.0712	19.2116	19.3264	19.4255	19.5938
Suma	0	0	100.0001	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000

Tabla 114. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípites con humedad del 16% (m/m) durante 3 segundos.

		Productos (% m/m)						
T [°C]	450	475	500	525	550	575	600	650
Bioaceite				33.9958	29.8211	24.7693	19.4770	10.3448
Biocarbón				23.6487	20.5832	18.4443	16.9502	15.0987
Gas pirolítico				23.3427	30.4165	37.4784	44.1580	54.9666
Agua				19.0128	19.1792	19.3081	19.4149	19.5900
Suma	0	0	0	100.0000	100.0000	100.0001	100.0001	100.0001

Tabla 115. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 16%(m/m) durante 1 segundo.

Productos (% m/m)								
T [°C]	450	475	500	525	550	575	600	650
Bioaceite						35.2423	30.3109	18.7082
Biocarbón						21.7546	19.1756	16.0532
Gas pirolítico						23.7836	31.1506	45.6675
Agua						19.2195	19.3629	19.5711
Suma	0	0	0	0	0	100.0000	100.0000	100.0000

2) Biomasa con contenido de humedad del 30% (m/m)

Tabla 116. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 30%(m/m) durante 10 segundos.

Productos (% m/m)								
T [°C]	450	475	500	525	550	575	600	650
Bioaceite		26.7205	24.0220	20.7532	17.3508	13.9369	10.6523	5.4070
Biocarbón		22.0274	18.8964	16.7423	15.2472	14.1777	13.3837	12.2887
Gas pirolítico		18.9403	24.6066	29.9074	34.7051	39.1019	43.1028	49.3070
Agua		32.3118	32.4750	32.5971	32.6970	32.7835	32.8612	32.9972
Suma	0	100.0000	100.0000	100.0000	100.0001	100.0000	100.0000	99.9999

Tabla 117. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 30%(m/m) durante 5 segundos.

Productos (% m/m)								
T [°C]	450	475	500	525	550	575	600	650
Bioaceite			28.0222	25.0066	21.2471	17.2338	13.2864	6.8461
Biocarbón			21.0436	18.1324	16.1109	14.7066	13.7081	12.4155
Gas pirolítico			18.5295	24.3017	29.9657	35.2877	40.1509	47.7435
Agua			32.4047	32.5594	32.6763	32.7720	32.8546	32.9948
Suma	0	0	100.0000	100.0001	100.0000	100.0001	100.0000	99.9999

Tabla 118. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 30%(m/m) durante 3 segundos.

Productos (% m/m)								
T [°C]	450	475	500	525	550	575	600	650
Bioaceite				28.3298	24.8509	20.6411	16.2308	8.6206
Biocarbón				19.7072	17.1527	15.3702	14.1251	12.5822
Gas pirolítico				19.4522	25.3471	31.2320	36.7983	45.8055
Agua				32.5107	32.6493	32.7567	32.8457	32.9917
Suma	0	0	0	99.9999	100.0000	100.0000	99.9999	100.0000

Tabla 119. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípites con humedad del 30%(m/m) durante 1 segundo.

		Productos (% m/m)							
T [°C]	450	475	500	525	550	575	600	650	
Bioaceite							25.2591	15.5902	
Biocarbón							15.9797	13.3777	
Gas pirolítico							25.9588	38.0563	
Agua							32.8025	32.9759	
Suma	0	0	0	0	0	0	100.0001	100.0001	

3) Biomasa con contenido de humedad del 35 % (m/m)

Tabla 120. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípites con humedad del 35%(m/m) durante 10 segundos.

		Productos (% m/m)							
T [°C]	450	475	500	525	550	575	600	650	
Bioaceite		24.8119	22.3062	19.2709	16.1115	12.9414	9.8914	5.0208	
Biocarbón		20.4540	17.5466	15.5464	14.1581	13.1650	12.4277	11.4110	
Gas pirolítico		17.5874	22.8490	27.7711	32.2261	36.3089	40.0241	45.7851	
Agua		37.1467	37.2982	37.4116	37.5043	37.5847	37.6568	37.7831	
Suma	0	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	

Tabla 121. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípites con humedad del 35%(m/m) durante 5 segundos.

		Productos (% m/m)							
T [°C]	450	475	500	525	550	575	600	650	
Bioaceite			26.0206	23.2204	19.7294	16.0028	12.3374	6.3571	
Biocarbón			19.5405	16.8372	14.9601	13.6561	12.7290	11.5287	
Gas pirolítico			17.2059	22.5658	27.8253	32.7671	37.2829	44.3333	
Agua			37.2329	37.3765	37.4852	37.5740	37.6507	37.7809	
Suma	0	0	99.9999	99.9999	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	

Tabla 122. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípites con humedad del 35%(m/m) durante 3 segundos.

		Productos (% m/m)							
T [°C]	450	475	500	525	550	575	600	650	
Bioaceite				26.3063	23.0758	19.1667	15.0715	8.0049	
Biocarbón				18.2996	15.9275	14.2724	13.1162	11.6835	
Gas pirolítico				18.0628	23.5366	29.0011	34.1698	42.5337	
Agua				37.3314	37.4601	37.5598	37.6425	37.7780	
Suma	0	0	0	100.0001	100.0000	100.0000	100.0000	100.0001	

Tabla 123. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 35%(m/m) durante 1 segundo.

		Productos (% m/m)							
T [°C]	450	475	500	525	550	575	600	650	
Bioaceite							23.4548	14.4766	
Biocarbón							14.8383	12.4221	
Gas pirolítico							24.1046	35.3380	
Agua							37.6023	37.7633	
Suma	0	0	0	0	0	0	100.0000	100.0000	

4) Biomasa con contenido de humedad del 45% (m/m)

Tabla 124. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 45%(m/m) durante 10 segundos.

		Productos (% m/m)							
T [°C]	450	475	500	525	550	575	600	650	
Bioaceite		20.9947	18.8745	16.3061	13.6328	10.9504	8.3696	4.2484	
Biocarbón		17.3073	14.8472	13.1547	11.9799	11.1396	10.5158	9.6554	
Gas pirolítico		14.8816	19.3338	23.4986	27.2683	30.7229	33.8665	38.7412	
Agua		46.8164	46.9446	47.0406	47.1190	47.1871	47.2481	47.3550	
Suma	0	100.0000	100.0001	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000

Tabla 125. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 45%(m/m) durante 5 segundos.

		Productos (% m/m)							
T [°C]	450	475	500	525	550	575	600	650	
Bioaceite				19.6480	16.6941	13.5408	10.4393	5.3791	
Biocarbón				14.2469	12.6586	11.5552	10.7707	9.7550	
Gas pirolítico				19.0942	23.5445	27.7260	31.5471	37.5128	
Agua				47.0109	47.1028	47.1780	47.2429	47.3531	
Suma	0	0	0	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000

Tabla 126. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 45%(m/m) durante 3 segundos.

		Productos (% m/m)							
T [°C]	450	475	500	525	550	575	600	650	
Bioaceite					19.5257	16.2180	12.7528	6.7734	
Biocarbón					13.4771	12.0766	11.0989	9.8860	
Gas pirolítico					19.9153	24.5394	28.9129	35.9900	
Agua					47.0816	47.1660	47.2359	47.3506	
Suma	0	0	0	0	99.9997	100.0000	100.0005	100.0000	

Tabla 127. Proporciones másicas de productos a obtener por pirólisis rápida de estípite con humedad del 45%(m/m) durante 1 segundo.

T [°C]	Productos (% m/m)							
	450	475	500	525	550	575	600	650
Bioaceite							19.8464	12.2494
Biocarbón							12.5555	10.5110
Gas pirolítico							20.3962	29.9013
Agua							47.2019	47.3382
Suma	0	0	0	0	0	0	100.0000	99.9999

b. Gráficas de resultados para caso de estudio de pirólisis rápida A continuación, se presentan las gráficas generadas según los resultados tabulados en la sección anterior.

1) Distribuciones másicas porcentuales para bioaceite.

Figura 175. Distribución de bioaceite para diferentes humedades de estípite de palma africana a procesar en reactor en 10 segundos.

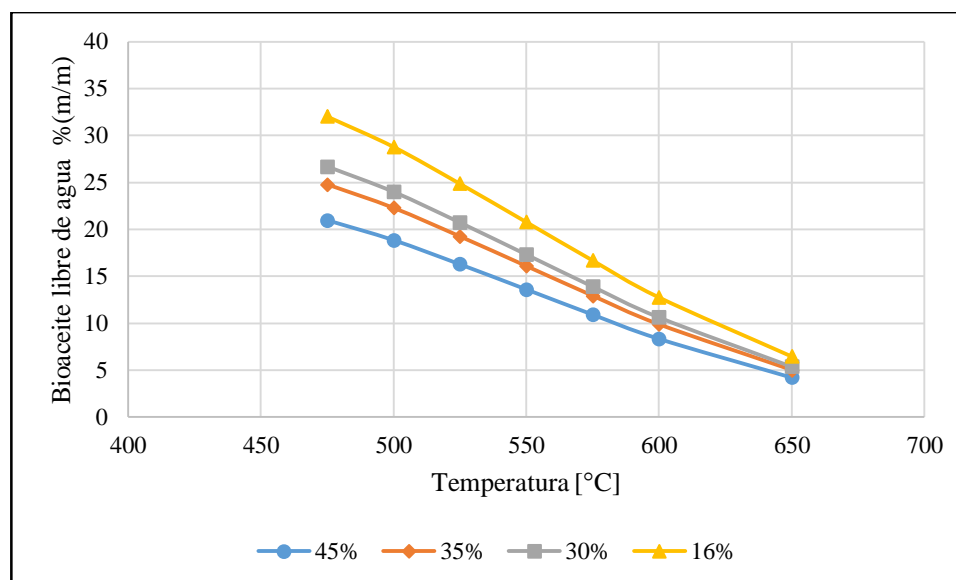


Figura 176. Distribución de bioaceite para diferentes humedades de estípites de palma africana a procesar en reactor en 5 segundos.

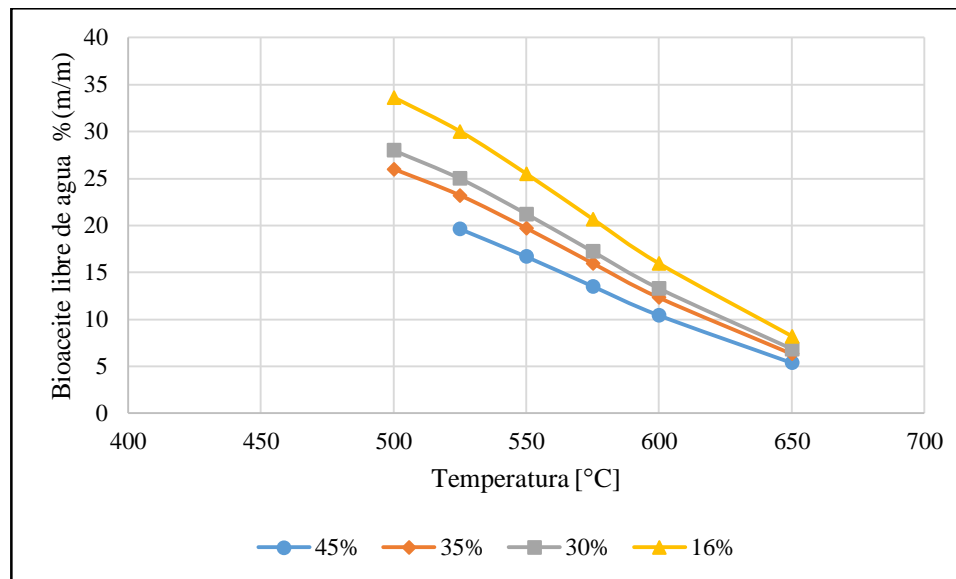


Figura 177. Distribución de bioaceite para diferentes humedades de estípites de palma africana a procesar en reactor en 3 segundos.

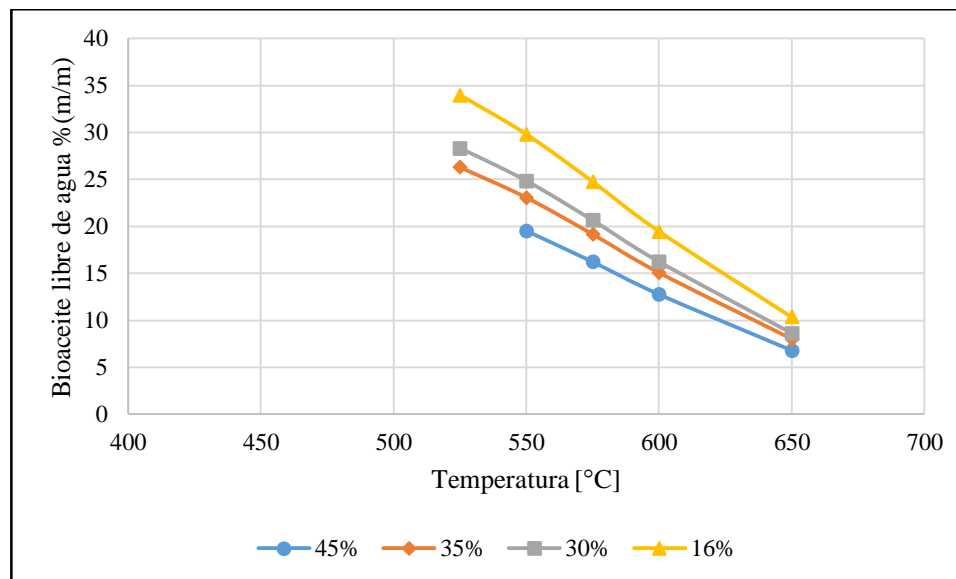
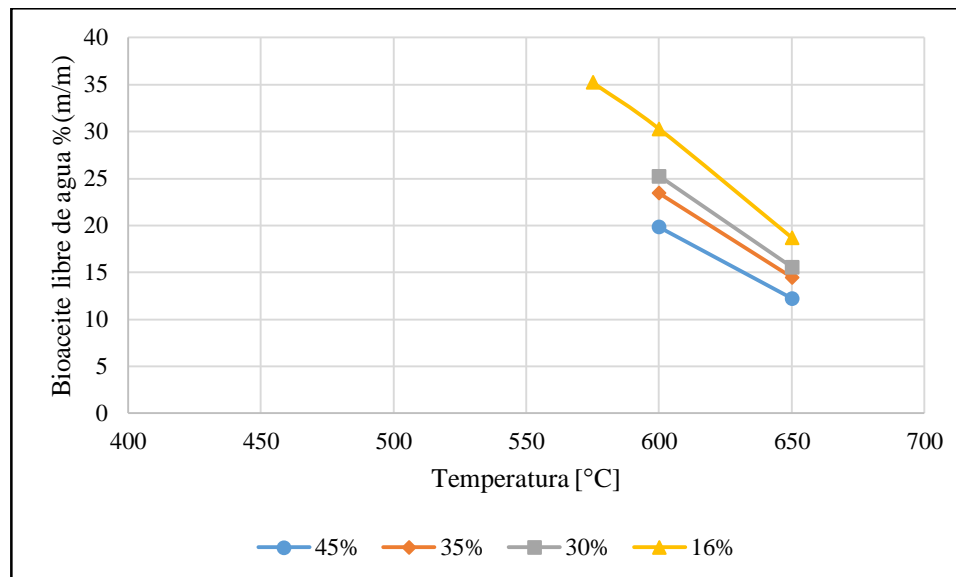


Figura 178. Distribución de bioaceite para diferentes humedades de estípide de palma africana a procesar en reactor en 1 segundo.



2) Distribuciones másicas porcentuales para biocarbón.

Figura 179. Distribución de biocarbón para estípide de palma africana a procesar con distintas humedades, en reactor, en 10 segundos.

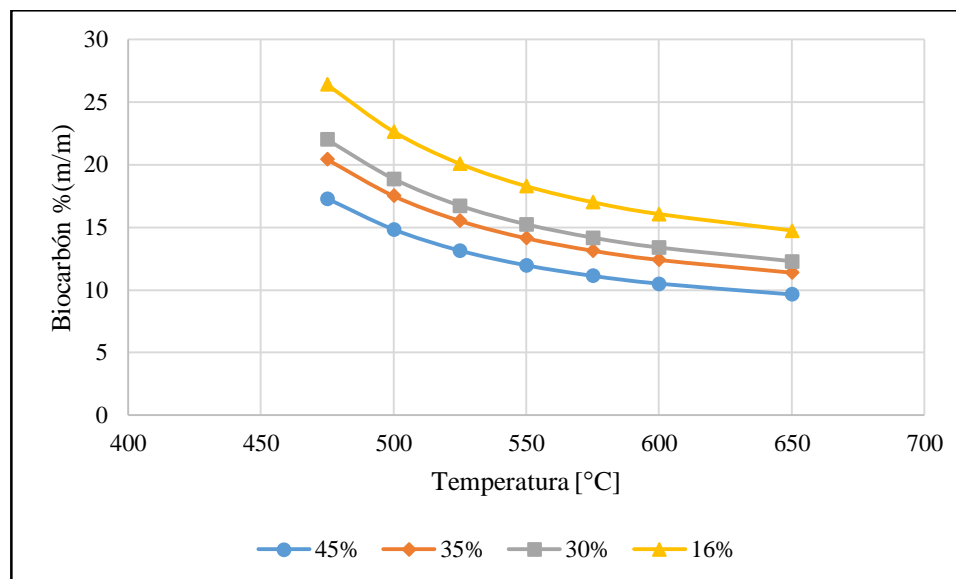


Figura 180. Distribución de biocarbón para estípites de palma africana a procesar con distintas humedades, en reactor, en 5 segundos.

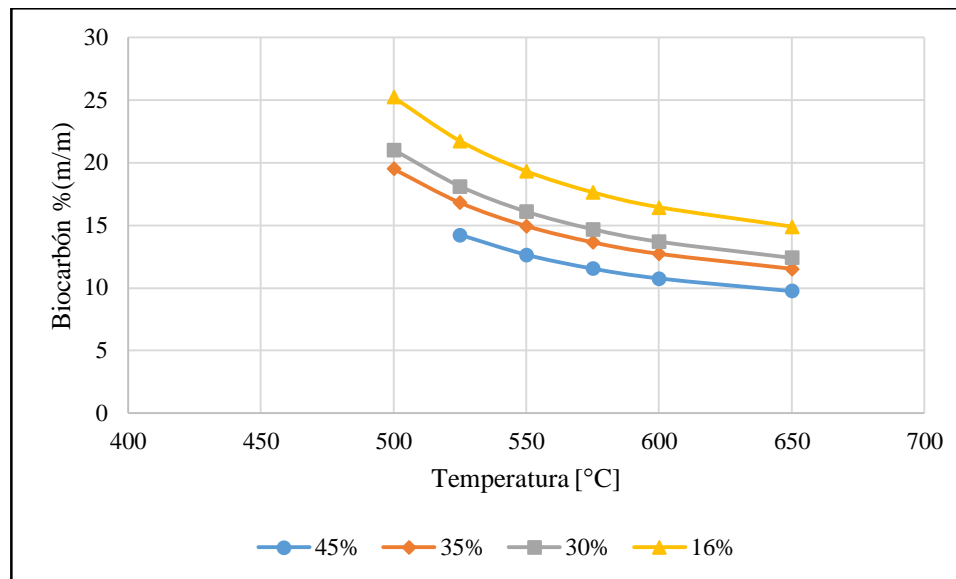


Figura 181. Distribución de biocarbón para estípites de palma africana a procesar con distintas humedades, en reactor, en 3 segundos.

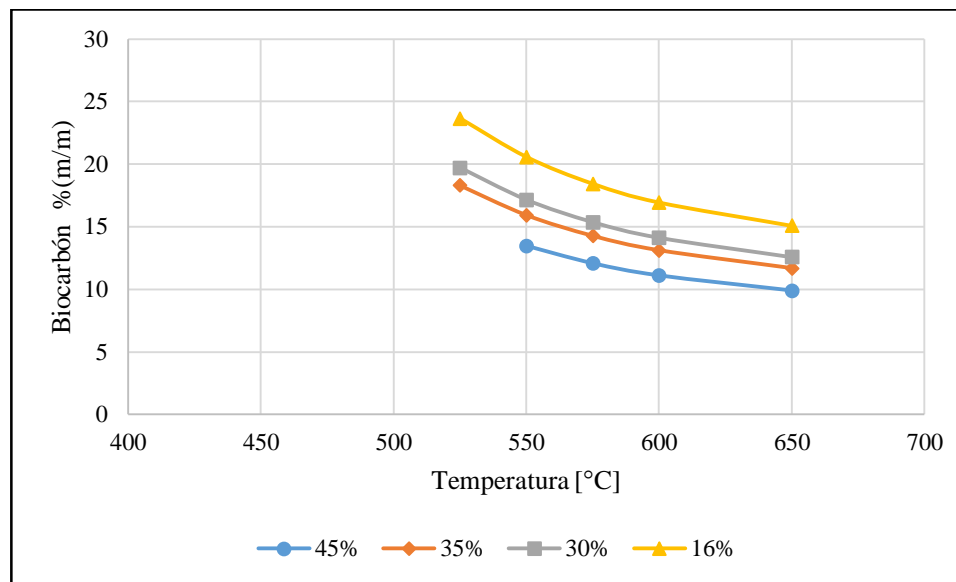
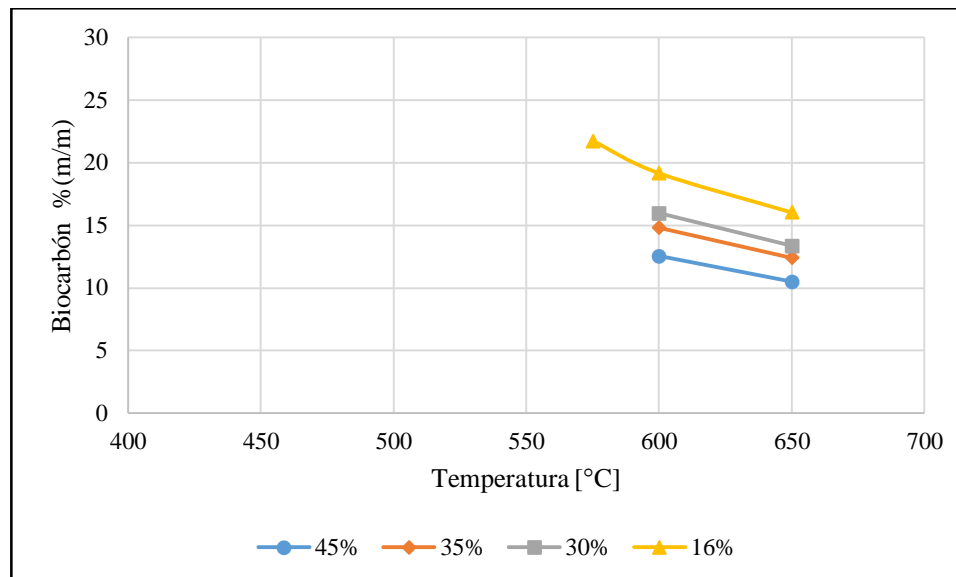


Figura 182. Distribución de biocarbón para estípites de palma africana a procesar con distintas humedades, en reactor, en 1 segundo.



3) Distribuciones másicas porcentuales para gas pirolítico.

Figura 183. Distribución de gas pirolítico para diferentes humedades de estípites de palma africana a procesar, en reactor, en 10 segundos.

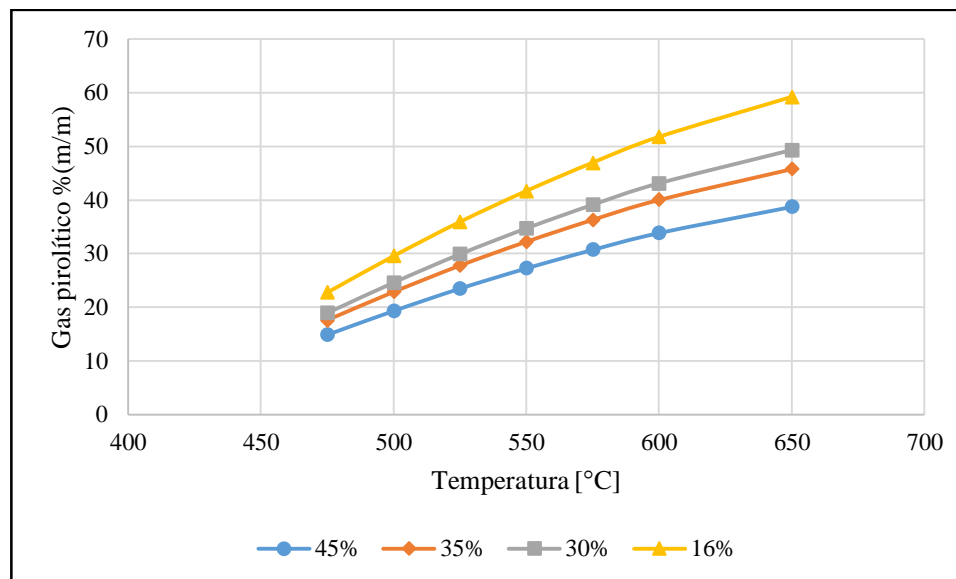


Figura 184. Distribución de gas pirolítico para diferentes humedades de estípites de palma africana a procesar, en reactor, en 5 segundos.

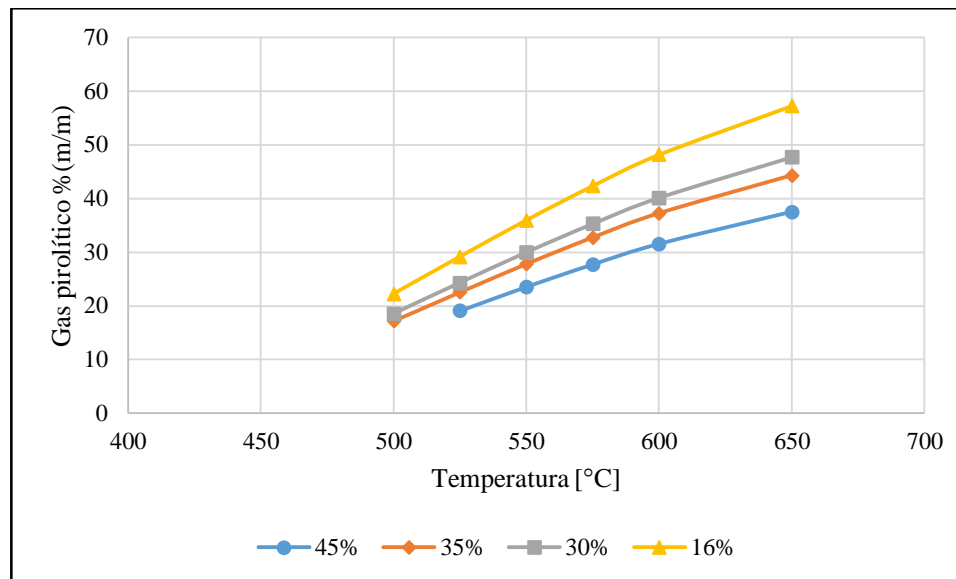


Figura 185. Distribución de gas pirolítico para diferentes humedades de estípites de palma africana a procesar, en reactor, en 3 segundos.

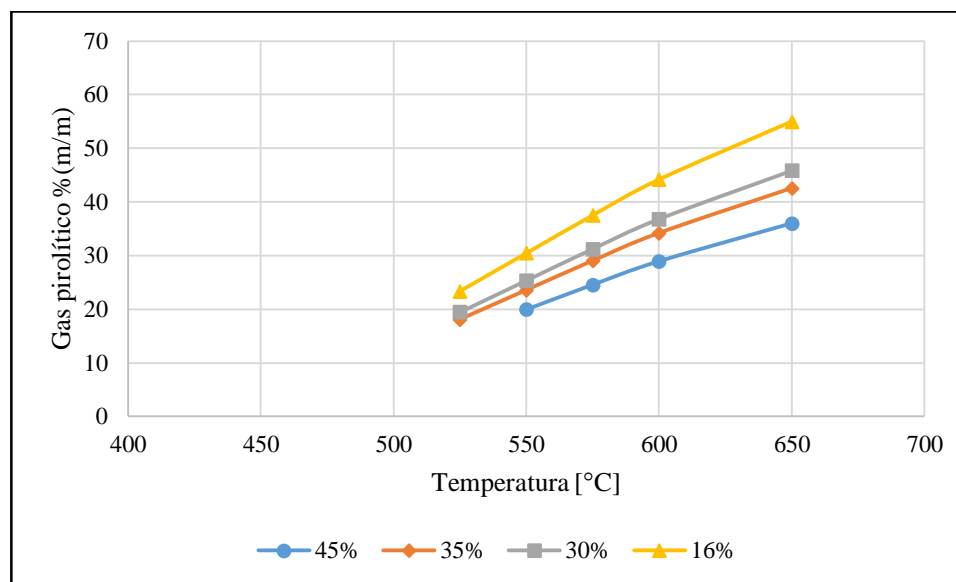
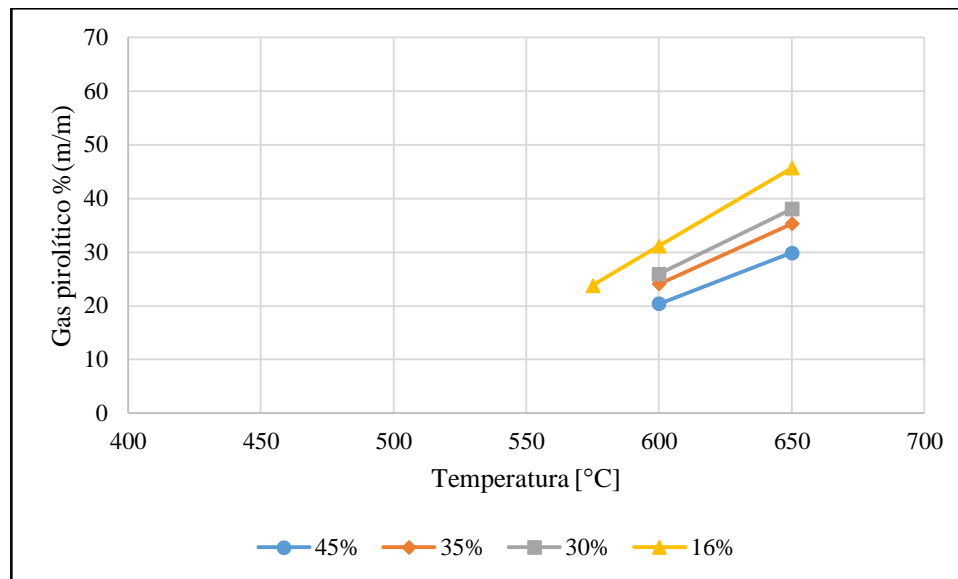
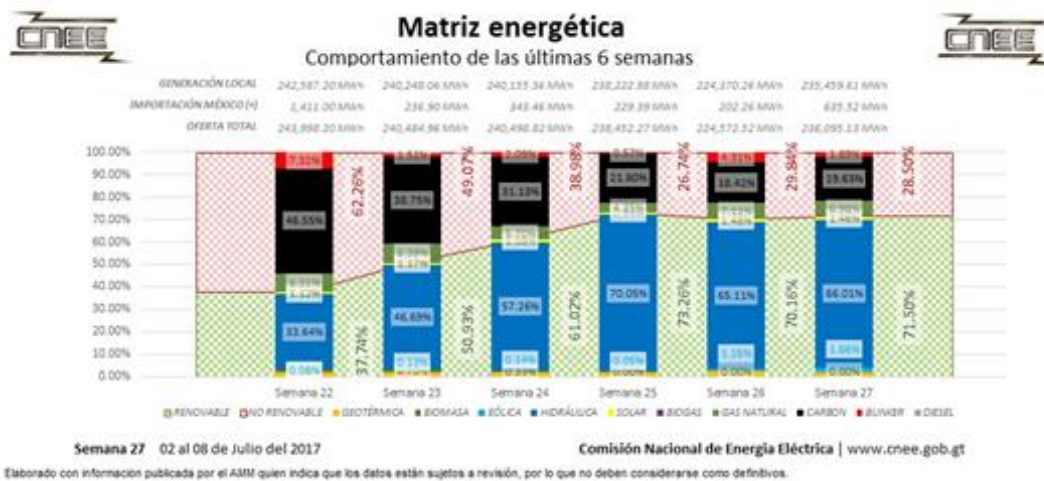


Figura 186. Distribución de gas pirolítico para diferentes humedades de estípite de palma africana a procesar, en reactor, en 1 segundo.



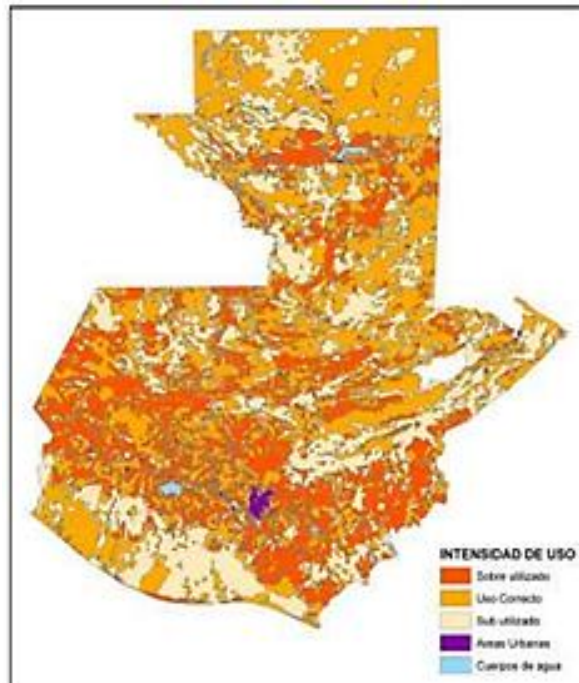
C. ESTADÍSTICAS E INFORMES DEL CONTEXTO NACIONAL

Figura 187. Matriz energética de Guatemala del 28 de mayo (semana 22) al 8 de julio (semana 27) de 2017.



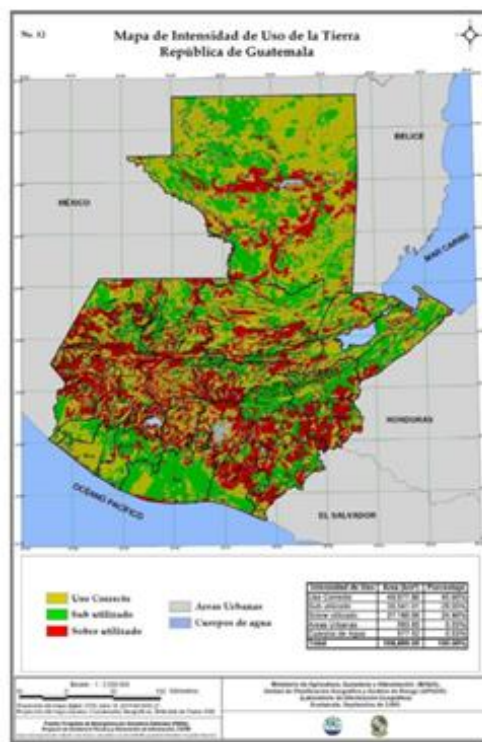
Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE, Matriz Energética, 2017) (CNEE, Matriz Energética, 2017; Miskolczy N., 2009)

Figura 188. Intensidad de uso de la tierra en Guatemala.



Fuente: (Urquijo, 2005)

Figura 189. Intensidad de uso de la tierra en Guatemala.



Fuente: (MAGA, 2017)

Tabla 128. Cobertura forestal y uso del suelo en el país.

Grupo	Categoría	Superficie		Porcentaje por grupo
		km ²	%	
Bosques	Bosque latifoliado	31,554.36	28.98	37.26
	Bosque conífero	2,496.10	2.29	
	Bosque mixto	6,316.30	5.80	
	Manglar	206.13	0.19	
Pastos naturales y arbustos	Pasto natural y/o yerbazal	9,372.84	8.61	30.58
	Arbusto – matorrall	23,925.00	21.97	
	Agricultura anual	13,579.73	12.47	
Agricultura	Agricultura perenne	8,735.94	8.02	27.53
	Agricultura semiperenne	2,718.92	2.50	
	Pasto cultivado	4,381.72	4.02	
	Huerto, vivero y hortaliza	563.30	0.52	
Humedales	Humedal con bosque	1,006.80	0.93	1.84
	Humedal con otra vegetación	373.66	0.34	
	Zona inundable	623.96	0.57	
Cuerpos de agua	Lagos, lagunas, ríos, reservorios, drenaje	1,725.97	1.59	1.59
	Centros poblados	1,082.95	0.99	1.08
Infraestructura	Otros	95.66	0.09	
Zonas áridas y mineras	Arena, playa, roca expuesta, minas descubiertas y otros	129.66	0.12	0.12
Total		108,889.00	100.00	100.00

(MAGA, 2017)


Tabla 129. Segmento de informe publicado por la Gremial de Palmicultores de Guatemala

“En los últimos años el sector palmicultor de Guatemala ha realizado fuertes inversiones para suprimir poblaciones altas de *Durrantia arcanella* en Alta Verapaz y Petén y *Opsiphanes cassina* en: Escuintla, Alta Verapaz, Izabal y Petén, realizando aplicaciones en más de 50,000 hectáreas para el control de estas plagas. En cuanto a enfermedades, el Anillo Rojo es una prioridad en Guatemala ya que está presente en las tres regiones palmeras del país (sur, nororiente y norte), ocasionando pérdidas de más de 1,600 palmas en cuatro años en 1,500 hectáreas en el norte de Guatemala (Calvache 2016), región en donde está concentrada la mayor cantidad de plantaciones del país.”

(Gremial de Palmicultores de Guatemala, 2016)

Figura 191. Cotización de cristalería PROINCA

PROVEEDORA INDUSTRIAL DE CENTROAMERICA, S.A.



"PROINCA, S.A."
 3a. AVENIDA 13-61, ZONA 1
 TELEFAX: 2251-5318, 2251-7251, 2251-7270, 2232-4719
 www.proinca.com.gt - ventas@proinca.com.gt
 GUATEMALA, GUATEMALA, C.A.

COTIZACION
3,017

Atencion <u>MARIA PAOLA LOPEZ</u>	Vendedor <u>3-CESAR AGUILAR / 5411-8463 / cesarac68@yahoo.com</u>
Nit <u>1751758-3</u>	Fecha <u>09/10/2017</u>
Nombre <u>UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA.</u>	Forma de pago <u>Credito: 15 Dias</u>
Direccion <u>11 CALLE 15-79 ZONA 15 VISTA HERMOSA III.</u>	Vigencia <u>15 DIAS</u>
	Entrega <u>INMEDIATA</u>

Cantidad	Descripcion	Precio	Unidad	Total Q.
2	BEAKER VIDRIO KIMAX 1000 ML	80.00	UNIDAD	160.00
2	BALON F/PLANO BOCA ANGOSTA 500 ML BOECO	49.50	UNIDAD	99.00
2	CONDENSADOR LIEBIG C/ESMERIL 40 CM 24/40	590.00	UNIDAD	1,180.00
1	TUBO CONECTOR VIDRIO 3 CUELLOS 24/40	850.00	UNIDAD	850.00
1	TAPON HULE # 04	5.15	UNIDAD	5.15
1	SOPORTE P/BURETA HIERRO BASE NEGRA 28X15	200.00	UNIDAD	200.00
4	PINZA UNIVERSAL 3 DEDOS SIN SOSTENEDOR	75.00	UNIDAD	300.00
4	SOSTENEDOR DE HIERRO DE 7 CMS.	50.00	UNIDAD	200.00

DOS MIL NOVECIENTOS NOVENTA Y CUATRO QUETZALES CON 15/100	Q2,994.15
---	------------------

IVA INCLUIDO
 SUJETO A PAGOS TRIMESTRALES
 CHEQUES A NOMBRE DE PROINCA, S.A.
 NIT: PROINCA 402400-1

Figura 192. Cotización de lámina de grafito extendido; proveedor PROINDESA

PROINDESA

Av. Ferrocarril 19-97 zona 12, Empresarial El Cortijo 1 Bodega 209
Teléfonos: 2311-3636 / NIT: 3743570-1

www.proindesa.com

COTIZACION

No.11226.0
FECHA: 23/01/2017

TIEMPO DE ENTREGA		LUGAR DE ENVIO	CONDICIONES DE PAGO																	
10 DIAS HABILES, SALVO PREVIA VENTA		EN NUESTRAS INSTALACIONES	50% AL CONFIRMAR COMPRA 50% CONTRA ENTREGA																	
ITEM No.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO POR UNIDAD	CANTIDAD																
30008	1.0	LAMINA GRAFITO EXPANDIDO GHL SIN INSERCIÓN DE LAMINA DE 1/8 X 48 X 48	Q2.670.00	Q2.670.00																
30044	1.0	LAMINA GRAFITO EXPANDIDO GHR CON INSERCIÓN DE LAMINA DE 1/8 X 48 X 48	Q3.350.00	Q3.350.00																
<p>LAMINAS DE GRAFITO EXPANDIDO</p> <p>Elaboradas a partir de grafito expandido grado industrial con inhibidores de corrosión y oxidación.</p> <p>GHL: Sin esfuerzo, espesores desde 1/64" hasta 1/4" GHR: Con refuerzo de laminilla de inox 316 de 0.002" y espesores de 1/32" y 1/4" GHI: Con refuerzo de laminilla perforada de inox 316 de 0.004" y espesores de 1/16" y 1/8" GHM: Con refuerzo de malla de inox 316, espesores de 1/16" y 1/8".</p> <p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> No se adhieren al flange. No contienen aditivos No necesitan reapriete. No pierden volumen Para todas las aplicaciones que no incluyan oxidantes fuertes. Evitan distorsiones térmicas Excelentes conductoras térmicas Absorben desalineamientos Reutilizables...No contienen asbesto y aglomerantes. <p>REF. Atmósfera Inerte / Atmósfera Oxidante / Presión Máxima</p> <table border="1"> <tr> <td>GHL</td> <td>-200°C + 300°C</td> <td>-200°C + 500°C</td> <td>150 Bares</td> </tr> <tr> <td>GHR</td> <td>-200°C + 700°C</td> <td>-200°C + 500°C</td> <td>150 Bares</td> </tr> <tr> <td>GHT</td> <td>-200°C + 800°C</td> <td>-200°C + 500°C</td> <td>250 Bares</td> </tr> <tr> <td>GHM</td> <td>-200°C + 800°C</td> <td>-200°C + 500°C</td> <td>250 Bares</td> </tr> </table> <p>Presentación</p> <ul style="list-style-type: none"> Láminas de 40" X 40" estándar y 60" X 60" a solicitud 					GHL	-200°C + 300°C	-200°C + 500°C	150 Bares	GHR	-200°C + 700°C	-200°C + 500°C	150 Bares	GHT	-200°C + 800°C	-200°C + 500°C	250 Bares	GHM	-200°C + 800°C	-200°C + 500°C	250 Bares
GHL	-200°C + 300°C	-200°C + 500°C	150 Bares																	
GHR	-200°C + 700°C	-200°C + 500°C	150 Bares																	
GHT	-200°C + 800°C	-200°C + 500°C	250 Bares																	
GHM	-200°C + 800°C	-200°C + 500°C	250 Bares																	
TOTAL EN LETRAS		SEIS MIL VEINTE QUETZALES CON 00/100.																		
PRECIOS DADOS EN QUETZALES E INCLUYEN IVA			TOTAL	Q6,020.00																




Figura 193. Cotización de rollo de fibra de vidrio con folio; proveedor ORION



59 AÑOS DE SERVICIO A LA INDUSTRIA

EMPRESA: Departamento de Compras UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
 ATT: Dpto. de Compras
 FECHA: 10 de Octubre de 2017

COTIZACIÓN No. E-17105438

Estimados Señores,

Por este medio se adjunta cotización de los productos solicitados. Todos nuestros productos son de la más alta calidad, importados de Europa y Estados Unidos. Cualquier consulta ó requerimiento adicional, no dude en comunicarse con nosotros ó visite nuestra página web WWW.ORIONGUATEMALA.COM

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	7	Pies de manguera de neopreno sin refuerzo de 3/8"Ø interior (2.14mts)	Q12.21	Q85.47
2	1	Rollo de Fibra de Vidrio con folio de 3" de ancho x 1" de grueso x 25 pies de largo.	Q84.80	Q84.80
				Q170.27

NOTA:

TIEMPO DE ENTREGA: Inmediato / LUGAR DE ENTREGA: 5A. CALLE 3-21 ZONA 9 / FORMA DE PAGO: Efectivo; Tarjeta de Crédito; Cheque de Caja; Transferencia; Crédito 30 días con Orden de Compra -si aplica.

CHEQUES A NOMBRE DE : ORION REPRESENTACIONES INTERNACIONALES, S.A.

COTIZACIÓN VÁLIDA POR 2 DÍAS.

Retención ISR del 5% / Sujeto a retención definitiva

Figura 194. Cotización de grasa niquelada; proveedor DIFRATTI, S.A.



*Calzada Aguilar Batres 30-53 zona 12
 Guatemala, Guatemala
 Tel. 24123200 PBX-2477-0952, 2476-2834, 2476-8363
 Fax (502) 2477-0951*

23/10/2017

Nombre	UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA	NIT:	
Dirección	CIUDAD	Código Cliente	
Población:	CIUDAD	Telefono:	Condicion
Transporte		Vendedor/Sector	cr

CANTIDAD	CODIGO	DESCRIPCION	PRECIO UNIDAD	TOTAL
1	77164	ANTI SEIZE 1 LIBRA	300.00000	Q 300.00

Figura 195. Cotización de tubo de acero inoxidable; proveedor Soluciones en Acero S.A (medida 1 metro)



Acero inoxidable

Soluciones en Acero, S.A.
Ofibodegas Fraijanes
Ofibodega 5
Kilometro 17 Calle a Monte Vista Club
Guatemala

Dirección de facturación y de envío:

Universidad del Valle de Guatemala, Paola Castellanos
11 Calle 15-79 zona 15,
Vista Hermosa III
CIF/NIF: 1751758-3

Universidad del Valle de Guatemala, Paola
Castellanos
11 Calle 15-79 zona 15,
Vista Hermosa III

Presupuesto # SO4969

Fecha de presupuesto:

10/10/2017 15:59:08

Comercial:

Robin Rodríguez

Fecha de caducidad:

09/11/2017

Descripción	Cantidad	Precio		Precio total
		unitario	Impuestos	
[Tubo_redondo_sanitario_AI-304-76.2x1.5mm] Tubo redondo sanitario en acero inoxidable SS304 de diferentes grosor de pared y diámetro (3 in, 1.5 mm) Tubo redondo sanitario en acero inoxidable serie 304. Pulido interior y exterior 180 Grit. *Actualmente agotado	1.000	821.00	IVA por Pagar	821.00 Q
Total base				733.04 Q
Impuestos				87.96 Q
Total				821.00 Q

Figura 196. Cotización de cromatografía de gases con detectores FID y TCD; proveedor Universidad del Valle



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
18 Ave. 11-95, Zona 15, V.H. III
Apartado Postal No. 82, 01901
Guatemala, Guatemala, C.A.

PBX. 23690791 al 95
Tel. 23640336 al 40
Extensión 21432

Guatemala, 12 Octubre de 2017

A quien interese

Según lo platicado vía telefónica, el costo de los análisis que me solicitara para 1 muestras de gas para determinación de metano y H₂S por cromatografía de gases con detector TCD/FID seria de Q. 100.00.

Si la determinación fuera cuantificación, sin contar con el precio del estándar, solamente la inyección de curva de calibración y muestra, seria de Q 300.00.

Este costo es solamente por el uso del equipo, en horario previamente establecido, para la lectura de las muestras las cuales ya vendrán preparadas por ustedes al igual que el estándar.

Sin otro particular y esperando su respuesta.

Ana Luisa de Montenegro
Laboratorio de Instrumentación Química Avanzada
Universidad del Valle de Guatemala

Figura 197. Cotización de filtro H₂S; proveedor UNION

Mira este es el precio para un filtro de H₂S para 2000 Kg/h, este es el contacto y el nombre de la empresa.

0343 Hydrogen Sulfide Filter

As per our telephone conversation on March 18, 2016 but also based in our experience with processing gas from clear malt products fermentation, it is our strong recommendation to add a Hydrogen Sulfide (H₂S) filter as safeguard. H₂S will be removed in a dedicated H₂S filter after compression of the gas. The filter consists of one vessel filled with a compound of activated carbon for removal of various impurities.

Regeneration of the filter is not required but the carbon must be replaced once every 6 months @ H₂S content = 5 ppm (v/v).

Specifications	
Capacity	2,000 kg/hr CO ₂
Vessel diameter	600 mm
Vessel height:	1,700 mm
Purification Media	Carbonblend 6
Desiccant charge	Approx. 275 kg

Basic CO ₂ plant	Model / type / capacity	[USD \$]
ECO ₂ Brew 2000 plant – CE/PED design and stamping	2000 kg/h	825,000
Glycol System- Customer supplying 90TR with NH ₃ @ 15° F	-	70,000
Spare parts for approx. 1 year (wear & tear)	-	15,000
H ₂ S Filter already integrated in one of the two skids	1 x 2,000 kg/h	40,000

Gabriel Dominguez
Sales Manager
Gabriel Dominguez
gdl@union.dk



1 Industry Drive
Palm Coast FL 32137
United States

Direct [+1 \(386\) 225 4688](tel:+13862254688)
Mobile [+1 \(386\) 237 8304](tel:+13862378304)
Phone [+1 \(386\) 445 4200](tel:+13864454200)
Fax [+1 \(386\) 445 7042](tel:+13864457042)
Web www.union.dk

Este mensaje y cualquier archivo adjunto que sea transmitido junto con él son únicamente para el o los destinatarios y puede contener información privilegiada y confidencial. Si Usted ha recibido este mensaje por error, por favor proceda a su eliminación y contacte al remitente. El contenido de este mensaje puede ser monitoreado y auditado. Si Usted no es el destinatario no puede revelar, copiar, distribuir o tomar cualquier acción basada en su contenido. Cualquier uso o revelación no autorizado esta prohibido y puede ser ilegal. Este mensaje contiene únicamente las opiniones y puntos de vista particulares del autor quien es el responsable de cualquier daño que su contenido pueda provocar.////////// This e-mail and any file attachments transmitted with it are intended solely for the addressee(s) and may be legally privileged and/or confidential. If you have received this e-mail in error please destroy it and contact the sender. Te content of this message may be monitored and audited. If you are not the addressee you may not disclose, copy, distribute or take any action based on the contents hereof. Any unauthorized use or disclosure is prohibited and may be unlawful. The views and opinions expressed in this e-mail message are those of its author, who is solely responsible for any damages that it may cause

Figura 198. Cotización de tercerización de operaciones



ECO-REPROCESOS, SOCIEDAD ANÓNIMA
 Oficinas: Km. 29.6 Carretera al Pacífico Centro Comercial Flores del Lago,
 Plaza "D" 3er nivel Oficina No. 13
 Planta: Km. 33.5 Carretera al Pacífico Entrada San Pedro La Pipa,
 Palín, Escuintla, Guatemala, C.A
 PBX: 6632-9600 Y 6632-9700

FECHA DE COTIZACIÓN
13-10-2017

No. DE COTIZACIÓN
C-ER-1710646

EN RESPUESTA A SU SOLICITUD LE HACEMOS LLEGAR LA PRESENTE COTIZACIÓN, AGRADECÉMOS SU PREFERENCIA.
 ESPERAMOS PODER BRINDARLE UNO MÁS DE NUESTROS SERVICIOS.

DATOS GENERALES DEL CLIENTE

NOMBRE UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
CONTACTO MICHELLE IMERI
DIRECCIÓN [18 avenida 11-95 zona 15, Vista Hermosa III](#)
TELÉFONO 5137 -7587
E-MAIL LIGIA MICHELLE IMERI CABRERA ime14140@uvg.edu.gt

COTIZACIÓN DE SERVICIOS

PRODUCTO/DESECHO	PROCESO DE DESTRUCCIÓN	CANTIDAD DE KILOS	PRECIO POR KILO (INCLUYE IVA)	TRANSPORTE
DESECHOS DE ACEITE VEGETAL	PIRÓLISIS	POR DEFINIR	Q.4.00	POR SU CUENTA

OBSERVACIONES

NOTA: El valor final será calculado por el peso en kilos que arroje nuestra báscula o la báscula de su empresa.

CONDICIONES DE COTIZACIÓN

El precio incluye:

- ◆ La absoluta garantía de la destrucción y la disposición final de los mismos.
- ◆ El traslado del producto en unidades debidamente identificadas, hacia nuestra planta km. 32.6 carretera a Palín, Escuintla, los días y en el horario que el cliente lo estime pertinente. Será necesario que se nos notifique con anticipación, para programar el proceso de recolección.
- ◆ Acceso a nuestras instalaciones para verificar el proceso de destrucción, previa cita confirmada.
- ◆ Al terminar el proceso **se extenderá un certificado** que hace constar la destrucción del producto.

Condiciones:

- ◆ **Esta cotización es exclusiva para el cliente indicado en la casilla de Datos Generales del Cliente.**
- ◆ Esta cotización tiene vigencia de 10 días.
- ◆ Nos reservamos el derecho de cambio de precio si la cantidad de kilos cotizados para destruir disminuye drásticamente.
- ◆ De optar por la utilización de nuestros servicios de destrucción, solicitamos que el producto a destruir se encuentre **debidamente embalado**, evitando así inconvenientes en el traslado, así como **todo producto debe estar identificado** ya que nuestro personal no tiene autorización de recibir productos sin identificación.
- ◆ Al momento que nuestro personal reciba su producto deberá entregar el formulario "Hoja de Identificación de Desechos Industriales" con la información solicitada.

Garantía:

- ◆ Eco-Reprocesos, S.A. ofrece un servicio altamente Ético, Técnico, Óptimo y Responsable, garantizando con ello la satisfacción de nuestros clientes.
- ◆ El Personal de Eco-Reprocesos, S.A., se encuentra debidamente identificado, uniformado y altamente capacitado para la recolección y destrucción de desechos industriales.
- ◆ Nuestra política es garantizar la destrucción total de los productos recibidos.
- ◆ **GARANTÍA DE CONFIDENCIALIDAD:** Eco-Reprocesos, S. A., garantiza a sus clientes la confidencialidad en la recepción, traslado y disposición final de los productos entregados para su tratamiento final.

Formas de Pago:

- ◆ Emitir cheque a nombre de ECO-REPROCESOS, S. A.
- ◆ Depositar cuenta monetaria: **Banco Industrial número de cuenta: 053-003157-5** a nombre de ECO-REPROCESOS, S.A.


FORMAS DE PAGO

Esperando que el contenido de la presente sea de su utilidad, me pongo a sus órdenes para cualquier duda o aclaración al respecto.

Atentamente,

Ing. Sebastian López Montoya
 Gerente de Mercadeo y Ventas
sebastianlopez@eco-reprocesos.com
 Cel.: 5647-2582

Figura 199. Cotización para comparación de precios de productos agroquímicos

Guatemala, 17 de octubre de 2017

Señorita,
Liguia Imeri

Mucho agradecemos y valoramos la oportunidad que se nos extiende para presentarles la cotización de los siguientes productos:

NOMBRE COMERCIAL	INGREDIENTE ACTIVO	PRESENTACIÓN	PRECIO
Paraquat Alemán 20 SL	Paraquat	L	42.44
		18 L	Q552.27
Eskobiyol 60 WP	Metsulfuron Metil	10 gr	Q9.27
Glifosato Alemán 36.5 SL	Glifosato	L	Q42.44
		20 L	Q614.84
Kaput 72 SL	MSMA	20 L	Q1,133.25
Zafrero 50 SC	Ametrina	L	Q60.28
		20 L	Q1,052.74
Kung Fu 2.5 EC	Lambdacialotrina	L	Q83.61
		20 L	Q1,518.43
AC pH-Ok 30.5 SL	Ácido Fosfórico	L	Q28.62
		20 L	Q481.00
Blandomax	Ácido Carboxílico	200 gr	Q20.25
		2.5Kg	Q207.59
Silkawet	Dodecibenceno Sulfonato + Nonil Fenol Etoxilado	L	Q30.00
Wetagro	(Dodecibenceno Sulfonato + Nonil Fenol Etoxilado)	20L	Q500.00
		L	Q17.67
		3.5 L	Q53.48
Corrector Total 5 SL	Ácido Fosfórico + Ácido Cítrico	20L	Q263.90
		L	Q35.77
		20 L	Q600.00

CONDICIONES DE NEGOCIACIÓN:

Figura 200. Precios de contenedores de químicos IBC


Código	Artículo	Precio	Cantidad	Total
IBC1000US	 Contenedores IBC 1000 Litros Usados Capacidad: 1000 litros Medidas: 100 x 120 cm	49.70 € Te ahorras 20.30 € 29%	4	240.55 €

Figura 201. Cotización de transporte principal marítimo para maquinaria de planta piloto.

COTIZADOR

Peso en: Kilogramos (kg)	Longitud en: Metros (m)	Tipo de servicio: Marítimo		
Peso Físico 31751.5 Kgs.	Alto 3 m.	Peso Volumétrico 2.89	Peso Mayor 70000.08	CFT 0.28
Ancho 10 m.	Largo 12 m.	Costo Aéreo U.S.D. \$ 77000.08	Costo Marítimo U.S.D. \$ 21000.02	
<input type="button" value="CONTACTANOS"/> <input type="button" value="CALCULAR"/>				

*Tarifas estándar para obtener una cotización más detallada, contáctanos.
 *Tarifas en Dólares y no incluyen Almacenaje, IVA y seguro.
 *Para embarques mayores a \$ 2,500.00 por factura se genera un cobro adicional de \$25.00 por embarque (SED), si no ha sido proporcionado por el proveedor.

Figura 202. Precio de equipo de pirólisis de 10ton/día

The 10 tons waste tire/plastic pyrolysis machine price is **USD58600** per set for the standard configuration. More details will be provided after get your reply, thank you.

Best regards

Leo



Xinxiang Huayin Renewable Energy Equipment Co., Ltd
Leo-Manager

Figura 203. Salario mínimo mensual en Guatemala por sector

ACTIVIDADES ECONÓMICAS	HORA DIURNA ORDINARIA	HORA ORDINARIA JORNADA MIXTA	HORA ORDINARIA NOCTURNA	SALARIO DIARIO	SALARIO MENSUAL	BONIFICACIÓN INCENTIVO	SALARIO TOTAL
NO AGRÍCOLAS	Q.10.86	Q.12.41	Q.14.48	Q.86.90	Q.2,643.21	Q.250.00	Q.2,893.21
AGRÍCOLAS	Q.10.86	Q.12.41	Q.14.48	Q.86.90	Q.2,643.21	Q.250.00	Q.2,893.21
EXPORTADORA Y DE MAQUILA	Q.9.93	Q.11.35	Q.13.25	Q.79.48	Q.2,417.52	Q.250.00	Q.2,667.52

(Ministerio de Trabajo, 2017)

Figura 204. Tarifas de consumo de agua

Rango de consumo por metro cúbico 1 a 20: Precio del metro cúbico (Sin IVA) Q1.53 + 20% (alcantarillado) + Q21.00 (Cargo Fijo sin IVA).
Rango de consumo por metro cúbico 21 a 40: Precio del metro cúbico: Q2.40 + 20% (alcantarillado) + Q21.00 (Cargo fijo sin IVA).
Rango de consumo por metro cúbico 41 a 60: Precio del metro cúbico (Sin IVA) Q3.05 + 20% (alcantarillado) + Q21.00 (cargo fijo sin IVA)
Rango de consumo por metro cúbico 61 a 120: Precio del metro cúbico (Sin IVA) Q6.10 + 20% (alcantarillado) + Q21.00 (Cargo fijo sin IVA)
Rango de consumo por metro cúbico de 121 a más: Precio del metro cúbico (Sin IVA): Q7.63 + 20% (alcantarillado) + Q21.00 (Cuota fija sin IVA).

(Municipalidad de Guatemala, 2017)

Figura 205. Cotización de trituradora PT-400

EQUIPOS CAT

EQUIPOS CAT USADOS

RENTA DE EQUIPO

COTICE SU EQUIPO


PT-400

Información adicional

Número de Serie:	289
Año:	2012
Clasificación:	Bueno
SMU/Horas:	260
Precio sin IVA:	\$ 555,000 USD
Información Adicional:	Ver información adicional en el sitio de CAT

Familia: TRITURADORAS

Figura 206. Cotización de silo de 10 toneladas



10t / 20t / 30t / 50t bulk feed hopper bottom steel silos for poultry farm

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

US \$5,000-10,000 / Set | 20 Set/Sets (Min. Order)

Supply Ability: 1000 Set/Sets per Year
Port: Qingdao

[Contact Supplier](#)

[Leave Messages](#)

Payment: [VISA](#) [Master](#) [TT](#) [e-Checking](#) [More](#) ∨

[View larger image](#) ZOOM

Overview

Quick Details

Condition:	Used	Year:	2013	Capacity:	Client's Request
Material:	Steel	Place of Origin:	Shandong, China (Mainland)	Brand Name:	BODA
Model Number:	TCZK018-036	Dimension(L*W*H):	2.75*2.75*5.5	Weight:	2t-10t

assembly feed ... bolted feed silos

Packaging & Delivery

Packaging Details be put into containers in bulk and be tightened by steel
Delivery Time 45days

All silos include

Boda silo itself includes these components that come free of charge (the silo diameter should be equal to or more than 5.5m)

- 1 Roof Natural vents
- 1 Roof guardrail
- 1 Roof manhole
- 1 Roof ladders
- 1 Silo door
- 1 Silo door platform
- 1 Inside and outside ladders on silo body

Figura 207. Cotización de carretilla

CEFESA
ferreteria

Inicio Compra en línea Visita nuestra Fan Page Ayuda SUCURSALES Y CONTACTO

Gran liquidación de productos: CEL:3127-8944 | PBX:2382-4600 | ventas@cefesa.com

Categorías

- > Automotriz
- > Baños
- > Camping y Pesca
- > Cerrajería
- > Eléctricos
- > Ferrería
- > Herramientas
- > Hogar
- > Iluminación y Ventilación
- > Jardinería
- > Limpieza
- > Mascotas y Granja
- > Materiales de Construcción
- > Muebles
- > Pintura
- > Plomería
- > Productos de Temporada
- > Tornillería

CARRETILLA DE MANO CHINO



Precio: Q225.00
SKU: CR4
Peso: 25.00 LBS
Envío: Calculado en el pago

Quantity:



Figura 208. Cotización de mini cargadora

<https://ciudaddeguatemala.olx.com.gt/bobcat-motor-cumins-iiid-922174219>


OLX ¿Qué estás buscando?

[← Volver a los resultados](#) | [Todas las categorías](#) > [Vehículos](#) > [Otros Vehículos](#)


BOBCAT MOTOR CUMINS

Publicado hace 2 meses
 Ciudad de Guatemala, Guatemala

Q85 000




1 / 4




VENDO MINI CARGADOR, MOTOR CUMINS, ACEPTO NEGOCIOS, INT. LLAMAR AL 56326800

Figura 209. Cotización de sacos de polipropileno



PROSAIN
Líderes en Transmisión de **PORENCIA**

GUATEMALA 11 OCTUBRE 2017
ISABEL MORFIN



Proforma No.
0006127

ATENCION
SRITA. PERLA AJA
A través de la presente reciba un afectuoso saludo. Deseamos que el día de hoy sea de muchos éxitos. En base a lo que usted nos solicita nos es grato presentarle la siguiente opción de compra de nuestros productos esperando poder atenderle con el mejor servicio posible.

ÍTEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	P. Unitario	TOTAL	T. DE ENTREGA
1	SACOS DE POLIPROPILENO 22X38 (NUEVOS)	1000	Q 2.80	Q 2,800.00	INMEDIATA
TOTAL				Q 2,800.00	

Condiciones de Venta: CREDITO / PREVIA VENTA **Validez de Cotización:** 8 DIAS / PREVIA VENTA
Forma de Pago: CONTADO **Nota:** Los precios ya incluyen I.V.A.

Figura 210. Cotización de excavadora

Estimado(a) Señor(a) :

Reciba un cordial saludo de nuestra empresa, a continuación tenemos el agrado de presentarle la siguiente propuesta solicitada.



LA COTIZACIÓN INCLUYE

PROPIEDAD	DESCRIPCIÓN
MARCA	CATERPILLAR
FAMILIA	EXCAVATOR
MODELO	320D2GC
CANTIDAD	1
EQUIPO	Nuevo

NOTA: LA FOTOGRAFÍA PUEDE MOSTRAR ACCESORIOS NO INCLUIDOS EN LA COTIZACIÓN

Precio de Lista	\$	204,500.00
Descuento	\$	6,400.00
Precio de Venta	\$	198,100.00
* Los valores mostrados ya incluyen IVA		

Figura 211. Cotización de ensacadora



R01-VEPR-01



Cant.	Codigo	Descripción de Equipo	Precio Especial
1	100GW	Ensacadora Hamer-Fischbein Peso Bruto Center Grip Bag Clamp	Q149,500.00

PRECIO ESPECIAL CON DESCUENTO.....Q135,000.00

Precio Incluye IVA.

Figura 212. Cotización de cosedora manual

Cant.	Codigo	Descripción de Equipo	Precio Especial
1	40650	Model F, Portable 115V	Q7,500.00

Precio Especial Con Descuento.....Q6,750.00

Precio Incluye IVA.

Figura 213. Cotización de accesorio para excavadora: trituradora forestal

Perla Aja
Presente.

Estimado(a) Señor(a) :

Reciba un cordial saludo de nuestra empresa, a continuación tenemos el agrado de presentarle la siguiente propuesta solicitada.

CATERPILLAR®



NOTA:LA FOTOGRAFÍA PUEDE MOSTRAR ACCESORIOS NO INCLUIDOS EN LA COTIZACIÓN

PROPIEDAD	DESCRIPCIÓN
MARCA	FAE
FAMILIA	TRITURADORA FORESTAL
MODELO	UMM/EX150
CANTIDAD	1
EQUIPO	Nuevo

PROPUESTA ECONOMICA

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN Y MODELO	P. UNITARIO	P. TOTAL
01	TRITURADORA FORESTAL UMM/EX150	\$ 53,000.00	\$53,000.00

Figura 214. Cotización de banda transportadora



GUATEMALA 10 OCTUBRE 2017
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA



Proforma No.
0008765

ATENCIÓN**SRITA. PERLA MORSIN**

A través de la presente reciba un afectuoso saludo. Deseamos que el día de hoy sea de muchos éxitos. En base a lo que usted nos solicita nos es grato presentarle la siguiente opción de compra de nuestros productos esperando poder atenderle con el mejor servicio posible.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	P. Unitario	TOTAL	T. DE ENTREGA
1	BANDA MULTI CHEVRON 10 MT LARGO X 30" ANCHO MARCA BELTSERVICE	1 UNIDAD	Q 8,090.00	Q 8,090.00	DIAS 12
TOTAL				Q 8,090.00	

Condiciones de Venta: CONTADO/ PREVIA VENTA
Forma de Pago: CONTADO

Validez de Cotización: 8 DIAS/ PREVIA VENTA
Nota: Los precios ya incluyen I.V.A.

E. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS

Figura 215. Trituradora de residuos orgánicos Trapp TR200, y sus especificaciones técnicas



Modelo	Potencia (cv)	Tensión	Tipo
TR 200	1,25 - 50 Hz	110-127	Monofásico
	1,5 - 60 Hz	220-254	

(TRAPP, 2017)

Figura 216. Horno – Deshidratador Industrial Corbett y sus especificaciones técnicas (Trifásico)



Marca	Corbett Industries Inc.
Modelo	EC-404-6
Serie no.	12805
voltaje	220/3/60
Amperaje	120 Amp

Figura 217. Mufla ThermoScientific y sus especificaciones técnicas



Marca	ThermoScientific
Modelo	F6010
Voltaje	220-240 V
Amperaje	12
Amperaje	120 Amp

(Barnstead|Thermolyne)

Figura 218. Especificaciones técnicas de equipo de pirólisis de 10 ton/batch

Technical parameter of waste tyre pyrolysis plant		
No.	Items	
1	Equipment type	DY-1-10
2	Raw material	Waste tyre
3	Structural form	Horizontal rotation
4	Capacity	10 ton
5	Oil yield	4.5 -5.5ton
6	Operating pressure	Normal
7	Material of pyrolysis Reactor	Q245R
8	Thickness of pyrolysis Reactor	16mm
9	Rotate speed of pyrolysis Reactor	0.4tum/minute
10	Total power	19KW
11	Mode of cooling	Water cooling
12	Cooling area of condenser	100sqm
13	Kind of transmission	Internal gear drive
14	Noise dB(A)	≤85
15	Size of Reactor(D×L)	2600×6600
16	Working form	Intermittent operation
17	Delivery time	20days
18	Weight	35T

(DOING ENERGY, 2017)

Prepared by customer about waste tyre pyrolysis plant		
No.	Item	Consumption
1	Coal(for choice)	500kg/day
2	Wood(for choice)	800kg/day
3	Natural gas(for choice)	100-150kg/day
4	Oil(for choice)	300-350kg/day
5	Electricity	244kwh/day
6	Water(recycled)	60m/month
7	Total power	19kw
8	Land area	20m* 15m

Figura 219. Máquina empleada por la empresa para el corte de palma africana, PT-400

**Engine, fuel and oil**

The PT-400 D:Mine is equipped with a 12.5 lt. CAT C13 engine with 6 inline cylinders, producing 415 hp. The engine is compliant with the TIER3A/EUROMOT 3A emission regulations.

The fuel tank has a capacity of 550 lt. and fuel consumption is from 55 lt./hr, depending on conditions and terrain.

Figura 220. Propiedad aislante del material del reactor de equipo a nivel piloto.

Isolation
Perlite
Ambiance
-0.1
50
0.11
Q345R/Q245R

E. PROCEDIMIENTOS Y CÁLCULOS ADICIONALES.

Tabla 130. Dimensiones y masa de muestra de estípite brindadas por la empresa.

Muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (cm)	Volumen (cm ³)	Masa (kg)
1	22.2	14.6	22.5	7293	2.94
2	18.2	22.5	12.5	5119	2.94
3	14.8	22.8	23.5	7930	2.78
4	22.6	17.4	15.6	6135	3.52
Promedio	19.45	19.33	18.53	6619	3.05

Figura 221. Proceso de trituración seguido para el triturado de estípite a nivel laboratorio.



Tabla 131. Cálculos y coordenadas para la ubicación adecuada de equipo piloto de pirólisis.

Finca	Toneladas de estípites obtenidas por finca	Latitud (horizontal)	Longitud (vertical)	Coordenadas	
				x	y
Plantación 1	215,144	14° 2'11.45" N	91° 7'59.96" O	14.036514	-91.133322
Plantación 2	169,434	13° 59'35.93" N	91° 13'21.85" O	13.993314	-91.222736
Plantación 3	224,539	14° 1'19.55" N	91° 7'58.09" O	14.022097	-91.132803
Plantación 4	144,174	14° 4'24.63" N	91° 7'6.04" O	14.073508	-91.118344
Plantación 5	113,088	14° 5'30.58" N	91° 6'8.55" O	14.091828	-91.102375
Plantación 6	95,304	13° 57'23.25" N	91° 12'20.42" O	13.956458	-91.205672
Plantación 7	200,226	14° 2'1.25" N	91° 0'10.86" O	14.033681	-91.003017
Centroide		14° 1'49.25" N	91° 7'29.53" O	14.0303477	-91.1248694

Figura 222. Ubicación de las fincas de palma con sus coordenadas de latitud y longitud.

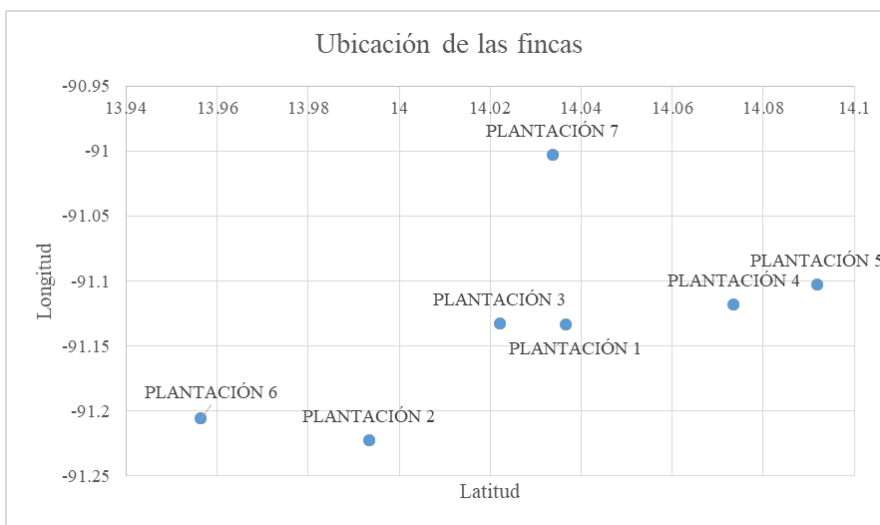
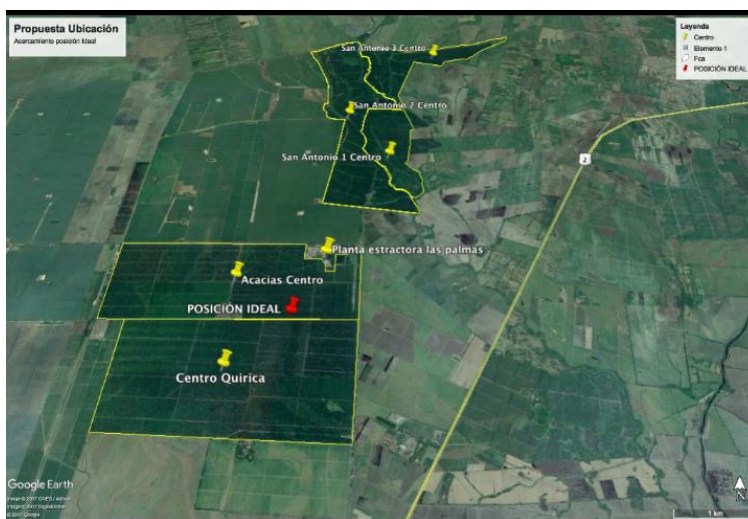


Figura 223. Visualización satelital de la ubicación sugerida.



(Imagen extraída de Google Earth)

F. IDENTIFICACIÓN DE LOS INTERESADOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE PIRÓLISIS

1. Definición de mercado potencial para jardines

Tabla 132 Tipos de césped con el pH más bajo y más alto tolerado

RANGOS DE PH EN CESPED		
NOMBRE	INFERIOR	SUPERIOR
Bahiagrass Argentine - Pensacola - Tifton-9	6.0	7.5
Bentgrass Colonial & Creeping	5.6	7.0
Bermuda Hybrids and common	5.6	7.0
Bluegrass	5.7	7.4
Buffalo	5.6	7.0
Carpetgrass	6.0	8.0
Centipede	4.3	5.8
Fescue red and creeping	5.6	6.8
Fescue Tall	5.6	7.0
Rye Annual	5.8	7.4
Perennial Rye	5.8	7.4
St. Augustine	6.3	7.8
Zoysia	5.5	7.0
* http://lawnfertilizers.com/info/lime-sulphur.html		

(Seedland, 2017)

G. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

1. Estados de resultados

CONCEPTO/PERÍODO	PROYECCIONES ESCENARIO 1														
	Años 1	Años 2	Años 3	Años 4	Años 5	Años 6	Años 7	Años 8	Años 9	Años 10	Años 11	Años 12	Años 13	Años 14	Años 15
Ingresos por Ventas:	Q 2,896,405.44	Q 3,034,129.51	Q 3,178,402.37	Q 3,329,535.40	Q 3,487,854.81	Q 3,653,702.31	Q 3,827,435.85	Q 4,009,430.43	Q 4,200,078.85	Q 4,399,792.60	Q 4,609,002.73	Q 4,828,160.81	Q 5,057,739.86	Q 5,298,235.39	Q 5,550,166.48
Costos de Producción:	Q 2,275,747.13	Q 2,345,735.64	Q 2,419,203.52	Q 2,496,324.71	Q 2,577,281.82	Q 2,662,266.63	Q 3,103,060.45	Q 3,214,293.73	Q 3,331,068.38	Q 3,453,661.44	Q 3,582,363.78	Q 3,717,480.83	Q 3,859,333.28	Q 4,008,257.87	Q 4,164,608.16
UTILIDAD BRUTA	Q 620,658.31	Q 688,393.88	Q 759,198.85	Q 833,210.70	Q 910,572.99	Q 991,435.68	Q 724,375.41	Q 795,136.70	Q 869,010.47	Q 946,131.16	Q 1,026,638.96	Q 1,110,679.99	Q 1,198,406.58	Q 1,289,977.52	Q 1,385,558.33
Gastos de Administración	Q 148,901.20	Q 155,495.49	Q 162,417.79	Q 169,684.50	Q 177,312.84	Q 185,320.88	Q 193,727.61	Q 202,552.97	Q 211,817.87	Q 221,544.29	Q 231,755.30	Q 242,475.13	Q 253,729.22	Q 265,544.28	Q 277,948.34
Gastos de Venta	Q 17,724.00	Q 17,759.43	Q 17,794.92	Q 17,830.49	Q 17,866.13	Q 17,901.84	Q 17,937.62	Q 17,973.47	Q 18,009.40	Q 18,045.39	Q 18,081.46	Q 18,117.60	Q 18,153.82	Q 18,190.10	Q 18,226.46
UTILIDAD DE OPERACIÓN	Q 454,033.11	Q 515,138.97	Q 578,986.14	Q 645,695.71	Q 715,394.02	Q 788,212.96	Q 512,710.17	Q 574,610.26	Q 639,183.20	Q 706,541.48	Q 776,802.19	Q 850,087.25	Q 926,523.54	Q 1,006,243.14	Q 1,089,383.53
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	Q 454,033.11	Q 515,138.97	Q 578,986.14	Q 645,695.71	Q 715,394.02	Q 788,212.96	Q 512,710.17	Q 574,610.26	Q 639,183.20	Q 706,541.48	Q 776,802.19	Q 850,087.25	Q 926,523.54	Q 1,006,243.14	Q 1,089,383.53

CONCEPTO/PERÍODO	PROYECCIONES ESCENARIO 2														
	Años 1	Años 2	Años 3	Años 4	Años 5	Años 6	Años 7	Años 8	Años 9	Años 10	Años 11	Años 12	Años 13	Años 14	Años 15
Ingresos por Ventas:	Q 2,896,405.44	Q 3,034,129.51	Q 3,178,402.37	Q 3,329,535.40	Q 3,487,854.81	Q 3,653,702.31	Q 3,827,435.85	Q 4,009,430.43	Q 4,200,078.85	Q 4,399,792.60	Q 4,609,002.73	Q 4,828,160.81	Q 5,057,739.86	Q 5,298,235.39	Q 5,550,166.48
Costos de Producción:	Q 2,275,747.13	Q 2,276,164.57	Q 2,276,582.84	Q 2,277,001.93	Q 2,277,421.84	Q 2,277,842.58	Q 2,278,264.15	Q 2,278,686.55	Q 2,279,109.78	Q 2,279,533.84	Q 2,279,958.74	Q 2,280,384.47	Q 2,280,811.04	Q 2,281,238.45	Q 2,281,666.71
UTILIDAD BRUTA	Q 620,658.31	Q 757,964.94	Q 901,819.53	Q 1,052,533.48	Q 1,210,432.97	Q 1,375,859.73	Q 1,549,171.71	Q 1,730,743.88	Q 1,920,969.07	Q 2,120,258.76	Q 2,329,044.00	Q 2,547,776.34	Q 2,776,928.82	Q 3,016,996.94	Q 3,268,499.78
Gastos de Administración	Q 148,901.20	Q 148,936.63	Q 148,972.12	Q 149,007.69	Q 149,043.33	Q 149,079.04	Q 149,114.82	Q 149,150.67	Q 149,186.60	Q 149,222.59	Q 149,258.66	Q 149,294.80	Q 149,331.02	Q 149,367.30	Q 149,403.66
Gastos de Venta	Q 17,724.00	Q 17,759.43	Q 17,794.92	Q 17,830.49	Q 17,866.13	Q 17,901.84	Q 17,937.62	Q 17,973.47	Q 18,009.40	Q 18,045.39	Q 18,081.46	Q 18,117.60	Q 18,153.82	Q 18,190.10	Q 18,226.46
UTILIDAD DE OPERACIÓN	Q 454,033.11	Q 591,268.89	Q 735,052.49	Q 885,695.30	Q 1,043,523.51	Q 1,208,878.85	Q 1,382,119.26	Q 1,563,619.74	Q 1,753,773.07	Q 1,952,990.77	Q 2,161,703.87	Q 2,380,363.94	Q 2,609,443.99	Q 2,849,439.53	Q 3,100,869.66
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	Q 454,033.11	Q 591,268.89	Q 735,052.49	Q 885,695.30	Q 1,043,523.51	Q 1,208,878.85	Q 1,382,119.26	Q 1,563,619.74	Q 1,753,773.07	Q 1,952,990.77	Q 2,161,703.87	Q 2,380,363.94	Q 2,609,443.99	Q 2,849,439.53	Q 3,100,869.66

CONCEPTO/PERÍODO	PROYECCIONES ESCENARIO 3														
	Años 1	Años 2	Años 3	Años 4	Años 5	Años 6	Años 7	Años 8	Años 9	Años 10	Años 11	Años 12	Años 13	Años 14	Años 15
Ingresos por Ventas:	Q 410,025.00	Q 429,521.69	Q 449,945.45	Q 471,340.35	Q 493,752.58	Q 517,230.52	Q 541,824.83	Q 567,588.60	Q 594,577.44	Q 622,849.60	Q 652,466.10	Q 683,490.86	Q 715,990.85	Q 750,036.21	Q 785,700.44
Costos de Producción:	Q 2,275,747.13	Q 2,345,735.64	Q 2,419,203.52	Q 2,496,324.71	Q 2,577,281.82	Q 2,662,266.63	Q 3,103,060.45	Q 3,214,293.73	Q 3,331,068.38	Q 3,453,661.44	Q 3,582,363.78	Q 3,717,480.83	Q 3,859,333.28	Q 4,008,257.87	Q 4,164,608.16
UTILIDAD BRUTA	-Q 1,865,722.13	-Q 1,916,213.95	-Q 1,969,258.07	-Q 2,024,984.36	-Q 2,083,529.24	-Q 2,145,036.11	-Q 2,561,235.62	-Q 2,646,705.12	-Q 2,736,490.94	-Q 2,830,811.84	-Q 2,929,897.68	-Q 3,033,989.97	-Q 3,143,342.43	-Q 3,258,221.66	-Q 3,378,907.72
Gastos de Administración	Q 148,901.20	Q 155,495.49	Q 162,417.79	Q 169,684.50	Q 177,312.84	Q 185,320.88	Q 193,727.61	Q 202,552.97	Q 211,817.87	Q 221,544.29	Q 231,755.30	Q 242,475.13	Q 253,729.22	Q 265,544.28	Q 277,948.34
Gastos de Venta	Q 17,724.00	Q 17,759.43	Q 17,794.92	Q 17,830.49	Q 17,866.13	Q 17,901.84	Q 17,937.62	Q 17,973.47	Q 18,009.40	Q 18,045.39	Q 18,081.46	Q 18,117.60	Q 18,153.82	Q 18,190.10	Q 18,226.46
UTILIDAD DE OPERACIÓN	-Q 2,032,347.33	-Q 2,089,468.86	-Q 2,149,470.78	-Q 2,212,499.34	-Q 2,278,708.20	-Q 2,348,258.83	-Q 2,772,900.85	-Q 2,867,231.56	-Q 2,966,318.20	-Q 3,070,401.52	-Q 3,179,734.44	-Q 3,294,582.70	-Q 3,415,225.47	-Q 3,541,956.03	-Q 3,675,082.52
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	-Q 2,032,347.33	-Q 2,089,468.86	-Q 2,149,470.78	-Q 2,212,499.34	-Q 2,278,708.20	-Q 2,348,258.83	-Q 2,772,900.85	-Q 2,867,231.56	-Q 2,966,318.20	-Q 3,070,401.52	-Q 3,179,734.44	-Q 3,294,582.70	-Q 3,415,225.47	-Q 3,541,956.03	-Q 3,675,082.52

CONCEPTO/PERÍODO	PROYECCIONES ESCENARIO 4														
	Años 1	Años 2	Años 3	Años 4	Años 5	Años 6	Años 7	Años 8	Años 9	Años 10	Años 11	Años 12	Años 13	Años 14	Años 15
Ingresos por Ventas:	Q 410,025.00	Q 429,521.69	Q 449,945.45	Q 471,340.35	Q 493,752.58	Q 517,230.52	Q 541,824.83	Q 567,588.60	Q 594,577.44	Q 622,849.60	Q 652,466.10	Q 683,490.86	Q 715,990.85	Q 750,036.21	Q 785,700.44
Costos de Producción:	Q 2,275,747.13	Q 2,276,164.57	Q 2,276,582.84	Q 2,277,001.93	Q 2,277,421.84	Q 2,277,842.58	Q 2,278,264.15	Q 2,278,686.55	Q 2,279,109.78	Q 2,279,533.84	Q 2,279,958.74	Q 2,280,384.47	Q 2,280,811.04	Q 2,281,238.45	Q 2,281,666.71
UTILIDAD BRUTA	-Q 1,865,722.13	-Q 1,846,642.88	-Q 1,826,637.39	-Q 1,805,661.58	-Q 1,783,669.26	-Q 1,760,612.06	-Q 1,736,439.32	-Q 1,711,097.95	-Q 1,684,532.34	-Q 1,656,684.24	-Q 1,627,492.64	-Q 1,596,893.61	-Q 1,564,820.19	-Q 1,531,202.24	-Q 1,495,966.27
Gastos de Administración	Q 148,901.20	Q 148,936.63	Q 148,972.12	Q 149,007.69	Q 149,043.33	Q 149,079.04	Q 149,114.82	Q 149,150.67	Q 149,186.60	Q 149,222.59	Q 149,258.66	Q 149,294.80	Q 149,331.02	Q 149,367.30	Q 149,403.66
Gastos de Venta	Q 17,724.00	Q 17,759.43	Q 17,794.92	Q 17,830.49	Q 17,866.13	Q 17,901.84	Q 17,937.62	Q 17,973.47	Q 18,009.40	Q 18,045.39	Q 18,081.46	Q 18,117.60	Q 18,153.82	Q 18,190.10	Q 18,226.46
UTILIDAD DE OPERACIÓN	-Q 2,032,347.33	-Q 2,013,338.93	-Q 1,993,404.44	-Q 1,972,499.76	-Q 1,950,578.71	-Q 1,927,592.94	-Q 1,903,491.76	-Q 1,878,222.09	-Q 1,851,728.33	-Q 1,823,952.23	-Q 1,794,832.77	-Q 1,764,306.02	-Q 1,732,305.03	-Q 1,698,759.64	-Q 1,663,596.39
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	-Q 2,032,347.33	-Q 2,013,338.93	-Q 1,993,404.44	-Q 1,972,499.76	-Q 1,950,578.71	-Q 1,927,592.94	-Q 1,903,491.76	-Q 1,878,222.09	-Q 1,851,728.33	-Q 1,823,952.23	-Q 1,794,832.77	-Q 1,764,306.02	-Q 1,732,305.03	-Q 1,698,759.64	-Q 1,663,596.39

CONCEPTO/PERÍODO	PROYECCIONES ESCENARIO 5														
	Años 1	Años 2	Años 3	Años 4	Años 5	Años 6	Años 7	Años 8	Años 9	Años 10	Años 11	Años 12	Años 13	Años 14	Años 15
Ingresos por Ventas:	Q 351,750.00	Q 368,475.71	Q 385,996.73	Q 404,350.88	Q 423,577.76	Q 443,718.88	Q 464,817.72	Q 486,919.80	Q 510,072.84	Q 534,326.80	Q 559,734.04	Q 586,349.39	Q 614,230.31	Q 643,436.96	Q 674,032.38
Costos de Producción:	Q 2,275,747.13	Q 2,276,164.57	Q 2,276,582.84	Q 2,277,001.93	Q 2,277,421.84	Q 2,277,842.58	Q 2,278,264.15	Q 2,278,686.55	Q 2,279,109.78	Q 2,279,533.84	Q 2,279,958.74	Q 2,280,384.47	Q 2,280,811.04	Q 2,281,238.45	Q 2,281,666.71
UTILIDAD BRUTA	-Q 1,923,997.13	-Q 1,907,688.86	-Q 1,890,586.11	-Q 1,872,651.05	-Q 1,853,844.08	-Q 1,834,123.70	-Q 1,813,446.43	-Q 1,791,766.75	-Q 1,769,036.94	-Q 1,745,207.04	-Q 1,720,224.70	-Q 1,694,035.08	-Q 1,666,580.74	-Q 1,637,801.50	-Q 1,607,634.32
Gastos de Administración	Q 148,901.20	Q 148,936.63	Q 148,972.12	Q 149,007.69	Q 149,043.33	Q 149,079.04	Q 149,114.82	Q 149,150.67	Q 149,186.60	Q 149,222.59	Q 149,258.66	Q 149,294.80	Q 149,331.02	Q 149,367.30	Q 149,403.66
Gastos de Venta	Q 17,724.00	Q 17,759.43	Q 17,794.92	Q 17,830.49	Q 17,866.13	Q 17,901.84	Q 17,937.62	Q 17,973.47	Q 18,009.40	Q 18,045.39	Q 18,081.46	Q 18,117.60	Q 18,153.82	Q 18,190.10	Q 18,226.46
UTILIDAD DE OPERACIÓN	-Q 2,090,622.33	-Q 2,074,384.91	-Q 2,057,353.15	-Q 2,039,489.23	-Q 2,020,753.54	-Q 2,001,104.58	-Q 1,980,498.87	-Q 1,958,890.89	-Q 1,936,232.94	-Q 1,912,475.03	-Q 1,887,564.82	-Q 1,861,447.48	-Q 1,834,065.57	-Q 1,805,358.90	-Q 1,775,264.44
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	-Q 2,090,622.33	-Q 2,074,384.91	-Q 2,057,353.15	-Q 2,039,489.23	-Q 2,020,753.54	-Q 2,001,104.58	-Q 1,980,498.87	-Q 1,958,890.89	-Q 1,936,232.94	-Q 1,912,475.03	-Q 1,887,564.82	-Q 1,861,447.48	-Q 1,834,065.57	-Q 1,805,358.90	-Q 1,775,264.44

H. EVALUACIÓN DE RENTABILIDAD

1. Flujos netos de efectivo

CONCEPTO/PERÍODO	PROYECCIONES ESCENARIO 1															
	Años 0	Años 1	Años 2	Años 3	Años 4	Años 5	Años 6	Años 7	Años 8	Años 9	Años 10	Años 11	Años 12	Años 13	Años 14	Años 15
INVERSIÓN INICIAL	Q 9,674,063.51															
INGRESOS		Q 2,896,405.44	Q 3,034,129.51	Q 3,178,402.37	Q 3,329,535.40	Q 3,487,854.81	Q 3,653,702.31	Q 3,827,435.85	Q 4,009,430.43	Q 4,200,078.85	Q 4,399,792.60	Q 4,609,002.73	Q 4,828,160.81	Q 5,057,739.86	Q 5,298,235.39	Q 5,550,166.48
EGRESOS		Q 2,442,372.33	Q 2,518,990.55	Q 2,599,416.23	Q 2,683,839.69	Q 2,772,460.79	Q 2,865,489.35	Q 3,314,725.68	Q 3,434,820.17	Q 3,560,895.64	Q 3,693,251.12	Q 3,832,200.54	Q 3,978,073.56	Q 4,131,216.32	Q 4,291,992.25	Q 4,460,782.96
FLUJO NETO:	Q 9,674,063.51	Q 454,033.11	Q 515,138.97	Q 578,986.14	Q 645,695.71	Q 715,394.02	Q 788,212.96	Q 512,710.17	Q 574,610.26	Q 639,183.20	Q 706,541.48	Q 776,802.19	Q 850,087.25	Q 926,523.54	Q 1,006,243.14	Q 1,089,383.53
TIR	1.234%															

CONCEPTO/PERÍODO	PROYECCIONES ESCENARIO 2															
	Años 0	Años 1	Años 2	Años 3	Años 4	Años 5	Años 6	Años 7	Años 8	Años 9	Años 10	Años 11	Años 12	Años 13	Años 14	Años 15
INVERSIÓN INICIAL	Q 9,674,063.51															
INGRESOS		Q 2,896,405.44	Q 3,034,129.51	Q 3,178,402.37	Q 3,329,535.40	Q 3,487,854.81	Q 3,653,702.31	Q 3,827,435.85	Q 4,009,430.43	Q 4,200,078.85	Q 4,399,792.60	Q 4,609,002.73	Q 4,828,160.81	Q 5,057,739.86	Q 5,298,235.39	Q 5,550,166.48
EGRESOS		Q 2,442,372.33	Q 2,442,860.62	Q 2,443,349.88	Q 2,443,840.11	Q 2,444,331.30	Q 2,444,823.46	Q 2,445,316.59	Q 2,445,810.69	Q 2,446,305.77	Q 2,446,801.83	Q 2,447,298.86	Q 2,447,796.88	Q 2,448,295.87	Q 2,448,795.86	Q 2,449,296.82
FLUJO NETO:	Q 9,674,063.51	Q 454,033.11	Q 591,268.89	Q 735,052.49	Q 885,695.30	Q 1,043,523.51	Q 1,208,878.85	Q 1,382,119.26	Q 1,563,619.74	Q 1,753,773.07	Q 1,952,990.77	Q 2,161,703.87	Q 2,380,363.94	Q 2,609,443.99	Q 2,849,439.53	Q 3,100,869.66
TIR	10.54%															
	Q 9,674,063.51	Q 9,220,030.41	Q 8,628,761.52	Q 7,893,709.03	Q 7,008,013.73	Q 5,964,490.21	Q 4,755,611.36	Q 3,373,492.10	Q 1,809,872.36	Q 56,099.29						

CONCEPTO/PERÍODO	PROYECCIONES ESCENARIO 1 con inversion inicial mas baja															
	Años 0	Años 1	Años 2	Años 3	Años 4	Años 5	Años 6	Años 7	Años 8	Años 9	Años 10	Años 11	Años 12	Años 13	Años 14	Años 15
INVERSIÓN INICIAL	Q 6,965,811.51															
INGRESOS		Q 2,896,405.44	Q 3,034,129.51	Q 3,178,402.37	Q 3,329,535.40	Q 3,487,854.81	Q 3,653,702.31	Q 3,827,435.85	Q 4,009,430.43	Q 4,200,078.85	Q 4,399,792.60	Q 4,609,002.73	Q 4,828,160.81	Q 5,057,739.86	Q 5,298,235.39	Q 5,550,166.48
EGRESOS		Q 2,442,372.33	Q 2,518,990.55	Q 2,599,416.23	Q 2,683,839.69	Q 2,772,460.79	Q 2,865,489.35	Q 3,314,725.68	Q 3,434,820.17	Q 3,560,895.64	Q 3,693,251.12	Q 3,832,200.54	Q 3,978,073.56	Q 4,131,216.32	Q 4,291,992.25	Q 4,460,782.96
FLUJO NETO:	Q 6,965,811.51	Q 454,033.11	Q 515,138.97	Q 578,986.14	Q 645,695.71	Q 715,394.02	Q 788,212.96	Q 512,710.17	Q 574,610.26	Q 639,183.20	Q 706,541.48	Q 776,802.19	Q 850,087.25	Q 926,523.54	Q 1,006,243.14	Q 1,089,383.53
TIR	5.31%															

CONCEPTO/PERÍODO	PROYECCIONES ESCENARIO 2 con inversion inicial mas baja															
	Años 0	Años 1	Años 2	Años 3	Años 4	Años 5	Años 6	Años 7	Años 8	Años 9	Años 10	Años 11	Años 12	Años 13	Años 14	Años 15
INVERSIÓN INICIAL	Q 6,965,811.51															
INGRESOS		Q 2,896,405.44	Q 3,034,129.51	Q 3,178,402.37	Q 3,329,535.40	Q 3,487,854.81	Q 3,653,702.31	Q 3,827,435.85	Q 4,009,430.43	Q 4,200,078.85	Q 4,399,792.60	Q 4,609,002.73	Q 4,828,160.81	Q 5,057,739.86	Q 5,298,235.39	Q 5,550,166.48
EGRESOS		Q 2,442,372.33	Q 2,442,860.62	Q 2,443,349.88	Q 2,443,840.11	Q 2,444,331.30	Q 2,444,823.46	Q 2,445,316.59	Q 2,445,810.69	Q 2,446,305.77	Q 2,446,801.83	Q 2,447,298.86	Q 2,447,796.88	Q 2,448,295.87	Q 2,448,795.86	Q 2,449,296.82
FLUJO NETO:	Q 6,965,811.51	Q 454,033.11	Q 591,268.89	Q 735,052.49	Q 885,695.30	Q 1,043,523.51	Q 1,208,878.85	Q 1,382,119.26	Q 1,563,619.74	Q 1,753,773.07	Q 1,952,990.77	Q 2,161,703.87	Q 2,380,363.94	Q 2,609,443.99	Q 2,849,439.53	Q 3,100,869.66
TIR	15.08%															

Tabla 133 Variación de precios promedio de diésel y barril de petróleo al consumidor final en ciudad capital

Diésel			Barril de petróleo		
Precio	Variación	Anual	Precio	Variación	Anual
18.99	0	-	49.98	-0.0085301	
18.99	0	0.0008064	50.77	0.01580632	-0.000161
Promedio	-0.0018372	-0.0019988	Promedio		-0.0002498

*Valores expresados en quetzales.

(MEM, 2017)

I. PROCESOS DE PRODUCCIÓN Y NECESIDADES DE PERSONAL

1. Visualización de simulación en SIMIO

Figura 224. Visualización de simulación SIMIO

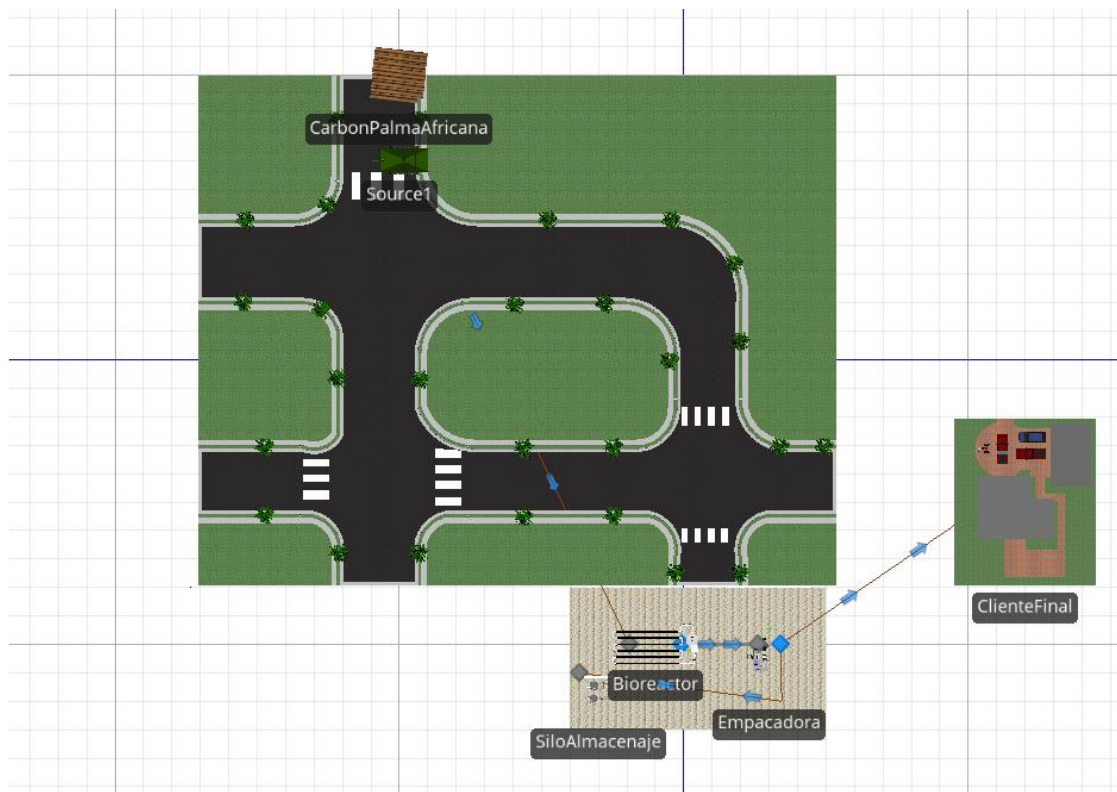


Figura 225. Visualización de simulación de triturado en SIMIO



Figura 226. Visualización de simulación de procesos de planta en SIMIO



Figura 227. Visualización de vehículos de transporte en simulación SIMIO



2. Desglose de necesidades de personal

a. Reactor

- 2 operarios por turno
- 3 turnos de 8 h.
- Total operarios: 6
- Tareas:
 - Llenar carretilla con 62.5 kg de estípote triturado
 - Llevar carretilla a un costado del reactor
 - Llenar un reactor respectivamente
 - Repetir y llenar los otros 2 reactores
 - No deben permitir que los reactores se queden sin materia prima en ningún momento

b. Empaque

- 2 operarios por turno
- 3 turnos de 8hrs
- Total operarios: 6
 - 1er operario:
 - Colocar saco en báscula
 - Llenar hasta 50kg
 - Bajar de la báscula

2do operario:

- Recibir saco
- Coserlo
- Apilarlo

c. Camión de volteo

- 2 pilotos:

- 1 para camión de materia prima
- 1 para camión de distribución

d. Mini cargadora

Un operario para cargar el camión de volteo con palma triturada

e. Trituradora

Un operario para triturar las palmas

f. Mantenimiento

- 3 técnicos de mantenimiento:

- 2 trabajan los 6 días de mantenimiento
- 1 se mantiene en planta por cualquier inconveniente

g. Asistente de Administración

Un asistente de administración

XIII. GLOSARIO

Absorción Atómica: Técnica para medir la concentración de sólidos en solución, determinar más de 70 compuestos. Se basa en la absorción de energía de los iones metálicos tras la excitación de uno de sus niveles de energía

Aceite crudo: Aceite sin procesar, sin refinar. Extraído por solvente o mecánicamente.

Acetona: Solvente, utilizado en la fabricación de plásticos, fibras y medicamentos.

Ácido Acético: Componente principal del vinagre, se utiliza para producir Nylon y celofán.

Bioaceite: Mezcla líquida de compuestos obtenidos por condensación de los vapores producidos durante el proceso de pirólisis. Se caracteriza por un color café oscuro, altamente polar, ácido y con alto contenido de agua y sólidos.

Biocarbón: Compuesto en fase sólida obtenido en el proceso de pirólisis constituido principalmente por carbono y minerales presentes en la materia pirolizada.

Biomasa lignocelulósica: Consiste en la biomasa de origen vegetal constituida principalmente por: celulosa, hemicelulosa y lignina. Por tanto, se excluyen las compuestas, en su mayoría, por: almidón, proteínas y azúcares como lo son los granos, cereales, mieles y otros.

Bomba calorimétrica: Instrumento con aislamiento interno que permite determinar el poder calorífico de un compuesto sólido o líquido si se combustiona en un ambiente controlado de oxígeno

Cinética de reacción: Estudio de la velocidad a la que se producen ciertos procesos, en este caso las reacciones químicas; bajo diferentes condiciones como temperatura y presión, así como la presencia de catalizadores.

~Parámetros de: Las constantes en un modelo matemático usadas para describir la velocidad de una reacción química o bioquímica.

Cromatografía: es una técnica de separación donde se distribuyen los compuestos que componen una mezcla para permitir el estudio de la interacción de los componentes de la mezcla. Se incorpora una fase móvil, implica una sustancia que se mueve por de la mezcla estudiada, permitiendo que los componentes se muevan a distintas velocidades atravesando el material a estudiar. Simultáneamente, se utiliza una fase estacionaria que actúa como soporte para identificar los distintos pasos de los componentes de la mezcla.

Diagrama de flujo: Diagrama esquemático o representación de un proceso empleando ilustraciones de la disposición de las operaciones y sus funciones unidos por flujos de proceso interconectados. El desarrollo de estos diagramas involucra la síntesis, análisis y optimización del proceso. Los balances de materia y calor se resuelven empleando propiedades y modelos termodinámicos. Además, se puede realizar un análisis económico y de seguridad e impacto ambiental. En el desarrollo de los diagramas de flujo, se suelen emplear paquetes de software de simulación de procesos estacionarios.

Estandarización: Ajuste que se realiza con soluciones de concentración conocida para poder determinar la concentración de una muestra.

Estípite: Tallo largo y no ramificado de las plantas arbóreas, especialmente de las palmeras.

Fase acuosa: fracción obtenida a partir de una extracción líquido-líquido que consiste mayoritariamente de agua o una disolución acuosa.

Fase orgánica: Fracción obtenida a partir de una extracción líquido-líquido que contiene un componente orgánico inmiscible con el agua, separable por embudo de decantación.

Fenol: Compuesto aromático, utilizado como desinfectante.

FID: Filtros en Cromatografía Líquida para eliminar impurezas del aire e hidrógeno

Gas pirolítico o de pirólisis: Mezcla de gases producidos por la descomposición termoquímica de la materia. Su composición incluye, pero no se limita, a dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, hidrógeno, entre otros compuestos.

Heptano: Utilizado en la industria de pinturas como solvente.

Hexano: Utilizado en la industria de pinturas como solvente, y en la industria del calzado.

Longitud de onda: Distancia que recorre una perturbación en un tiempo definido. La longitud de onda se utiliza en los análisis en nanómetros y están en función del tipo de análisis a realizar, podría ser una sola longitud o un intervalo.

Mecanismo de reacción: Descripción de los pasos involucrados durante el desarrollo de una reacción química. Incluye los reactivos y describe los pasos en los que se obtienen los productos, así como cualquier intermediario.

Modelo: Consiste en la representación matemática de un sistema o proceso específico empleando una o varias ecuaciones, que incluyen las variables que predicen su comportamiento.

Monocromador: Medidor de la composición de la luz en función de la longitud de onda.

Nebulizar: Volver partículas muy finas una solución para aumentar su área superficial.

Pirólisis o pirólisis: Proceso irreversible de descomposición o transformación de un compuesto, en ausencia de oxígeno, por acción del calor.

Poder calorífico: Se refiere a la energía liberada por un combustible debido a la combustión de una unidad de masa del material, expresada en joule por kilogramo.

TCD: Filtros en Cromatografía Líquida para eliminar impurezas de oxígeno y humedad.

Termograma: Gráfica de temperatura en función del tiempo.

Tiempo de residencia: Duración de una sustancia dentro de un proceso o equipo. Empleada como una medida de una reacción química o tamaño del equipo requerido.