

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

*Estudio de la composición química, usos y comercialización
del residuo líquido de la producción de carbón vegetal de
pino y encino; y la implementación y optimización del
proceso de recolección del residuo en la Finca Lagunilla en
Jalapa, Guatemala*

Karla Patricia Ordóñez Alarcón

Guatemala

2010

Estudio de la composición química, usos y comercialización del residuo líquido de la producción de carbón vegetal de pino y encino; y la implementación y optimización del proceso de recolección del residuo en la Finca Lagunilla en Jalapa, Guatemala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

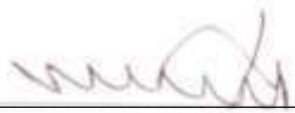
*Estudio de la composición química, usos y comercialización
del residuo líquido de la producción de carbón vegetal de
pino y encino; y la implementación y optimización del
proceso de recolección del residuo en la Finca Lagunilla en
Jalapa, Guatemala*

Trabajo de graduación presentado por Karla Patricia
Ordóñez Alarcón para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala

2010

Vo.Bo:

(f) 

Ing. Oscar Maldonado Ordóñez
Colegiado No. 90

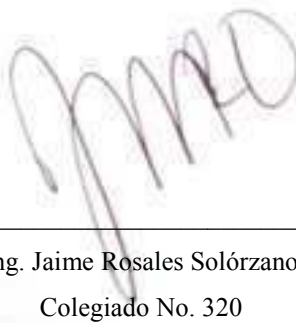
Tribunal Examinador:

(f) 

Ing. Gamaliel Zambrano Ruano
Colegiado No. 686

(f) 

Ing. Oscar Maldonado Ordóñez
Colegiado No. 90

(f) 

Ing. Jaime Rosales Solórzano
Colegiado No. 320

Fecha de aprobación: Guatemala, 7 de diciembre de 2009

ÍNDICE

	Página
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE IMÁGENES	vii
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE GRÁFICAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	2
III. JUSTIFICACIÓN	20
IV. OBJETIVOS	21
V. PROBLEMA A RESOLVER	22
VI. METODOLOGÍA	23
VII. RESULTADOS	24
VIII. DISCUSIÓN	29
IX. CONCLUSIONES	35
X. RECOMENDACIONES	36
XI. BIBLIOGRAFÍA	37
XII. APÉNDICE	39

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Corte transversal del horno del carbón	4
2. Planos del horno	5
3. Construcción de la chimenea	8
4. Recolección del residuo líquido	14
5. Cromatograma obtenido del residuo líquido de Encino	24
6. Cromatograma obtenido del residuo líquido de Pino	25
7. Diagrama del sistema de recolección propuesto para la recolección del residuo líquido	28
8. Cromatograma No. 1 de referencia	43
9. Cromatograma No. 2 de referencia	44
10. Espectro de referencia	45
11. Cromatograma 2 de Encino	46
12. Cromatograma 3 de Encino	47
13. Cromatograma 4 de Encino	48
14. Cromatograma 2 de Pino	49
15. Cromatograma 3 de Pino	50
16. Cromatograma 4 de Pino	51
17. Copia de los resultados originales enviados por ANALAB para la muestra de Encino	52
18. Copia de los resultados originales enviados por ANALAB para la muestra de Pino	53

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía	Página
1. Excavación	6
2. Zanjeado	6
3. Recubrimiento con piedras	7
4. Recubrimiento con tierra y arcilla	7
5. Pared del horno	8
6. Secado	9
7. Techo del horno	9
8. Techo de protección	10
9. Ordenamiento de la leña	10
10. Obstáculo del fuego	11
11. Carbón producido	12
12. Planta con abono de Encino al 10%, aplicado cada 2 días, en el último día de la prueba	54
13. Planta con abono de Encino al 10%, aplicado cada 2 días, en el último día de la prueba (2)	55
14. Planta con abono de Pino al 10%, aplicado cada 2 días, en el último día de la prueba	56
15. Planta con abono de Pino al 10%, aplicado cada 2 días, en el último día de la prueba (2)	57
16. Planta control en el último día de la prueba	58
17. Comparación de la planta con abono de Encino, Pino y planta control	59

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1. Costos unitarios para la producción de carbón en hornos tradicionales	13
2. Composición aproximada del residuo líquido de la carbonización por pirolisis de madera de Encino	25
3. Composición aproximada del residuo líquido de la carbonización por pirolisis de madera de Pino	26
4. Presencia de componentes mayores y menores en el residuo líquido de la carbonización por pirolisis de madera de Pino y Encino	26
5. Propiedades físicas y química del residuo líquido de la carbonización por pirolisis de madera de Pino y Encino	26
6. Costo del equipo necesario para el sistema de recolección propuesto para la recolección del residuo líquido.	26
7. Mediciones tomadas para cálculo de densidad de los residuos	40
8. Densidades calculadas para los residuos de Pino y Encino	42

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica	Página
1. Crecimiento de la planta control	27
2. Crecimiento de la planta con abono de Encino al 10%, aplicado cada 2 días	27
3. Crecimiento de la planta con abono de Pino al 10%, aplicado cada 2 días	28
4. Diagrama de procedimiento	40

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es la determinación de la composición química y los usos del residuo líquido de la producción de carbón vegetal de Pino y Encino, así como la optimización del proceso de recolección de éste en la Finca Lagunilla en Jalapa, Guatemala.

La primera parte del trabajo consistió en la determinación de la composición cualitativa y cuantitativa del residuo líquido utilizando el cromatógrafo de gases del Laboratorio de Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala. Además, como parte de la caracterización del residuo líquido, tanto de Pino como de encino, se enviaron muestras al Laboratorio ANALAB para un análisis de componentes mayores y menores. Como parte final de la caracterización, se determinaron algunas de sus propiedades físicas y químicas. Con base en los resultados proporcionados por ANALAB, se consideró que era factible que el residuo líquido se pudiera usar como abono para las plantas, ya que tiene un gran contenido de Nitrógeno, Calcio y Hierro. Se realizaron una serie de pruebas para comprobarlo.

La composición del residuo líquido de la carbonización por pirolisis de madera de Pino y Encino analizado es en su mayoría agua y ácido acético. Se determinó que el residuo puede ser utilizado como fertilizante líquido si se diluye a un 10% y se aplica cada dos días a la raíz de la planta de frijol. El uso del residuo como fertilizante crea un valor agregado al proceso de la carbonización y puede generar una ganancia económica a la finca.

Por último, se busca el total aprovechamiento y optimización de los productos y subproductos que se generan en el proceso, por lo que se dan recomendaciones a los administradores de la finca. Se recomienda el uso de un condensador térmico de acero inoxidable y un tanque plástico para la recolección del residuo líquido.

ABSTRACT

The purpose of this investigation is the determination of the chemical composition and the uses of the liquid residue of pine and oak coal production, as well as the residue recollection process optimization in Finca Lagunilla in Jalapa, Guatemala.

The first stage of this work consisted in the determination of the quantitative and qualitative composition of the liquid residue using the gas chromatograph of the Advanced Instrumentation Laboratory in the Universidad del Valle de Guatemala. Moreover, as part of the liquid residue characterization, of pine as well oak, samples were sent to ANALAB for mayor and minor components analysis. Based on the results provided by ANALAB, it was considered possible that the liquid residue could be used as plant fertilizer, given that it has considerable contents of nitrogen, calcium, and iron. A series of experiments were made to prove it.

The composition of the liquid residue of the pyrolysis carbonization of oak and pine wood analyzed is mostly water and acetic acid. It was determined that the residue can be used as liquid fertilizer if diluted to 10% and applied every two days to the bean plant's root. The use of the residue as a fertilizer creates an extra value to the carbonization process and generates an economic profit to the farm.

At last, there are given recommendations for the farm administrators to take, so that the recollection process can be optimized to obtain as much as possible of the residue. It is recommended to use a thermic condenser made of inox iron and a plastic tank for the liquid residue recollection.

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es la determinación de la composición química y los usos del residuo líquido de la producción de carbón vegetal de Pino y Encino, así como la optimización del proceso de recolección de éste en la Finca Lagunilla en Jalapa, Guatemala.

En Guatemala, el carbón vegetal se ha producido enterrando leña en la tierra y haciendo una combustión incompleta de la misma en una carbonera. Sin embargo, utilizando este método, es difícil hacer un carbón de calidad, ya que la temperatura no sube a los 300°C, por lo que no se logra quemar el gas dentro del carbón. El carbón, hecho a baja temperatura, no dura mucho tiempo como brasa y, por la presencia de gas, produce una gran cantidad de humo. Debido a esto, en la Finca Lagunilla en Jalapa, Guatemala, se construyeron hornos para producir carbón de alta calidad y contenido energético por medio de la pirolisis, que es la descomposición térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno. (Sadakichi Kishimoto, 1998)

Durante el proceso de pirolisis, se libera humo, el cual, al condensar, produce un residuo líquido que se usa en Japón para la agricultura, la medicina, etc. Este residuo líquido se conoce como alquitrán, el cual es una sustancia pegajosa, grasosa, oscura y de olor fuerte, que se obtiene de la destilación de ciertas materias orgánicas, principalmente de la hulla, turba, huesos y de algunas maderas resinosas. (Sadakichi Kishimoto, 1997)

Este líquido es un valor agregado al proceso de carbonización de leña, por lo que es importante encontrar el uso adecuado para el mismo. Ese uso dependerá, en gran medida, de la composición del líquido, por lo que se deben hacer los análisis necesarios para determinarla. Para la determinación de dicha composición, se utilizará el cromatógrafo de gases y el espectrofotómetro IR del Laboratorio de Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala. Con base en la composición del residuo líquido, se determinarán sus usos y aplicaciones, buscando la generación, no sólo de un fuerte impacto económico a la empresa sino también un impacto ambiental en su uso.

Por todo lo anteriormente expuesto, el carbón y el residuo líquido que se obtiene en la producción de éste, son de suma utilidad, y, en Guatemala, es imprescindible e impostergable aprovechar sus ventajas. Por esto, se buscará el total aprovechamiento y optimización de los productos y subproductos que se generan en el proceso, por lo que se estudiará el mismo y se implementará un sistema de recolección del residuo líquido entre todos los hornos de la finca.

II. ANTECEDENTES

A. Pirolisis

La pirolisis es el proceso en el cual la biomasa, en este caso la madera, sufre una descomposición debida al calor, en ausencia de oxígeno o de cualquier otro reactante. En el proceso de pirolisis están involucradas varias reacciones químicas, cuyo avance depende de la composición química del material y de las condiciones de operación. (Senovilla, 2006)

La pirolisis se puede definir como la descomposición térmica de una sustancia orgánica en ausencia de oxígeno. La pirolisis de los materiales leñosos inicia sobre los 250 a 300°C y transcurre con la producción de gases, líquidos y carbón vegetal. La naturaleza y composición de los productos finales dependerán del tipo de biomasa o madera, de la temperatura y presión de operación y del tiempo de residencia en el horno. La pirolisis es mejor que la combustión por el hecho de producir menos contaminación y ser más eficiente energéticamente. (Senovilla, 2006)

La pirólisis consiste en la descomposición físico-química de la materia orgánica bajo la acción del calor y en ausencia de un medio oxidante. Los productos de pirolisis son gases, líquidos y residuo carbonoso cuyas cantidades relativas dependen de las propiedades de la biomasa a tratar y de los parámetros de operación del equipo. (Lesme, 2006)

La reacción general para la pirolisis se puede expresar de la siguiente manera:



(Lesme, 2006)

De acuerdo a Aragón, no se requiere aire en el proceso de la pirolisis; en efecto, los métodos tecnológicos modernos de producción de carbón de leña, no permiten ninguna entrada de aire; la consecuencia es un mayor rendimiento, ya que no se quema con el aire un exceso de madera y se facilita el control de la calidad.

El proceso de la pirolisis, una vez iniciado, continúa por su cuenta y descarga notable cantidad de calor. Sin embargo, esta descomposición por pirolisis o termal de la celulosa y de la lignina, que constituyen la madera, no se inicia antes que la madera llegue a una temperatura de alrededor de 300°C.

En la carbonera o fosa tradicional, parte de la madera puesta en el horno se quema para secar y para aumentar la temperatura de la carga total de madera, para que la pirolisis se inicie y continúe hasta el final por su cuenta. La madera quemada de esta manera se pierde. En contraste, el éxito de las sofisticadas retortas

continuas produciendo altos rendimientos de carbón vegetal de calidad, se debe a la forma ingeniosa por la cual emplean el calor de la pirolisis, normalmente desperdiciado, para elevar la temperatura de la madera que va llegando, de manera que se completa la pirolisis sin quemar cantidades adicionales de madera, si bien se requiere una cierta cantidad de calor de impacto para compensar las pérdidas de calor a través de las paredes y otras partes del equipo.

Para proporcionar este calor y para secar la madera puede quemarse el gas combustible de la madera liberado durante la carbonización de la misma. Todos los sistemas de carbonización ofrecen mayores eficiencias cuando son alimentados con madera seca, puesto que la eliminación del agua de la madera requiere grandes insumos de energía calorífica.

El proceso de pirolisis produce carbón vegetal que consiste principalmente en carbón o, junto con una pequeña cantidad de residuos alquitranados, las cenizas contenidas originalmente en la madera, gases de combustión, alquitranes, una cierta cantidad de productos químicos, principalmente ácido acético y metanos, y una gran cantidad de agua originada del secado y de la descomposición pirolítica de la madera, que se suelta en forma de vapor.

Cuando termina la pirolisis habiendo llegado a la temperatura de aproximadamente 500°C, se deja el carbón vegetal que se enfríe sin acceso de aire; puede entonces ser descargado sin peligro, listo para su empleo.

Una abrumadora cantidad de carbón vegetal en el mundo se produce todavía por el sencillo proceso que se acaba de describir. Una parte de la carga de madera se quema con grandes desperdicios para generar el calor inicial y no se recupera nada de los subproductos o del calor soltado por el proceso pirolítico.

De acuerdo con Márquez, la pirolisis puede llevarse a cabo a distintas velocidades de calentamiento, distinguiéndose así la pirolisis lenta, rápida, la pirolisis flash y la reactiva. La primera, también conocida como la pirolisis convencional o carbonización, que es la que interesa en este trabajo, ocurre a temperaturas entre 400 y 600 °C, con tiempos de residencia de horas y días.

El proceso de pirolisis de la madera conduce al rendimiento de diferentes cantidades de gas, líquido y carbón, según las condiciones de operación, fundamentalmente velocidad de calentamiento y temperatura final. El carbón es el producto de mayor interés comercial de la pirolisis de madera. Cuando el carbón es el principal producto, la pirolisis debe efectuarse a bajas velocidades de calentamiento y temperaturas finales moderadas.

La madera sigue siendo la materia prima preferida y más ampliamente empleada, desde el punto de vista de la disponibilidad, de las propiedades del carbón vegetal final, y por sanos principios ecológicos, y parece que no hay motivos para que esta situación cambie en el futuro.

B. Hornos

Los hornos utilizados para la carbonización de la leña, de la cual se obtiene el residuo líquido son hornos de tecnología japonesa. Las características principales de dichos hornos, según Sadakichi Kishimoto son:

- Baja altura

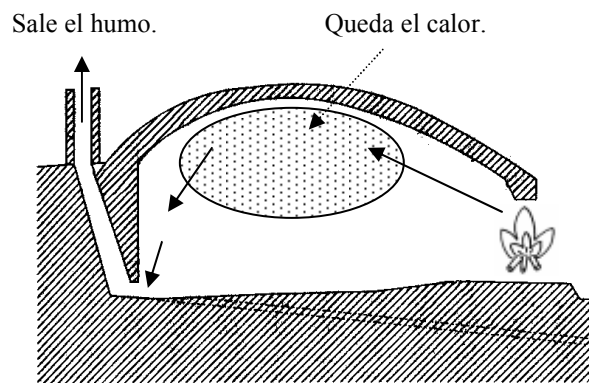
Una baja altura en el horno implica que no hay mucha diferencia de temperatura dentro de la cámara del horno. La altura debe ser intermedia, ya que una altura muy alta implica una temperatura demasiado alta y una altura muy baja implicaría que la leña se quemara.

- Chimenea ubicada al fondo y abajo

Ubicar la chimenea de esta manera hace que sea más fácil calentar el horno y hace que la carbonización empiece rápidamente. Además, al fondo y abajo del horno es la parte menos caliente de la cámara del horno, por lo que, al salir el humo por ahí, el calor dentro del horno no se pierde y permite que la leña se carbonice completamente.

Figura No. 1

Corte transversal del horno de carbón



Estos hornos tienen como ventaja que la temperatura se eleva en forma gradual, lo cual mejora la calidad del carbón producido.

C. Construcción del horno

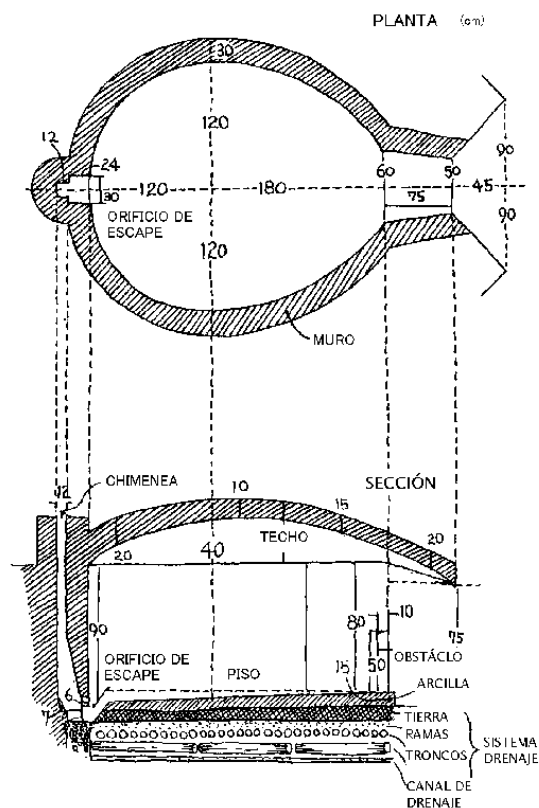
Es importante planificar la construcción del horno y considerar en detalle la aplicación de tecnología y experiencia en otros países, las condiciones ambientales y edáficas del lugar, la disponibilidad de materiales a utilizarse, etc. Es necesario aplicar con precisión las indicaciones y recomendaciones para cada etapa en el proceso de construcción. Es importante recurrir al apoyo profesional o de personal con experiencia para su

diseño y construcción. Los pasos para la construcción del horno de acuerdo con la metodología de Sadakichi Kishimoto son:

1. Se debe considerar en qué lugar se construirá el horno. Seleccionar el lugar más adecuado para construir el horno es un aspecto determinante para la calidad y cantidad de carbón que se producirá. Al seleccionar el lugar, se debe asegurar que la tierra debe estar seca y libre de fuentes de humedad; que el viento sople siempre, o casi siempre, de frente al horno; que se tenga un fácil acceso a la materia prima, la leña en este caso; que se tenga un espacio amplio para trabajar y para guardar la leña y el carbón; y que se tenga un fácil acceso a agua si se da el caso de un incendio.

2. Elaboración de los planos. Los planos mostrados en la figura de abajo muestran medidas propuestas, los hornos se pueden construir más grandes o más pequeños, calculando las medidas a partir del plano mostrado.

Figura No. 2
Planos del horno



3. Cavar la forma del horno. Se debe cavar la forma del horno considerando de 30 a 40 cm más de ancho y de 30 a 40 cm más de profundidad que en los planos de diseño.

Fotografía No. 1

Excavación



4. Hacer una zanja para evacuar el agua abajo del piso del horno. El piso del horno debe tener la estructura para evacuar el agua. Esto es indispensable, ya que durante la carbonización sale agua de la leña, si ésta se acumula, el calor dentro del horno disminuiría y, por lo tanto, la carbonización se vería impedida. La zanja debe tener un ancho de 40 cm y debe abarcar desde debajo de la chimenea hasta la entrada de horno, iniciando con una profundidad de 40 cm y terminando en la entrada con una de 70 cm. La zanja se debe llenar con bambúes rajados y se debe cubrir con tierra.

Fotografía No. 2

Zanjeado



5. Cubrir el piso del horno con piedras. Se debe cubrir todo el piso con piedras de un tamaño similar al del puño de la mano, también se puede cubrir con leña en lugar de las piedras. Se debe asegurar de compactar las piedras o la leña lo más posible.

Fotografía No. 3
Recubrimiento con piedras



6. Cubrir el piso del horno con tierra y arcilla. Primero se cubre con tierra y se compacta, luego se cubre con arcilla y también se compacta.

Fotografía No. 4
Recubrimiento con tierra y arcilla



7. Meter bambúes en la parte de abajo de la chimenea. Meter tubos cortos de bambú debajo de la chimenea y rellenar el espacio con piedras para que el agua baje fácilmente.

8. Hacer la pared del horno. Los ladrillos se deben colocar a lo largo de la forma del horno, preferiblemente acostados para una mayor estabilidad. El espacio entre el muro de tierra y los ladrillos se debe llenar con tierra y piedras y se debe compactar perfectamente.

Fotografía No. 5

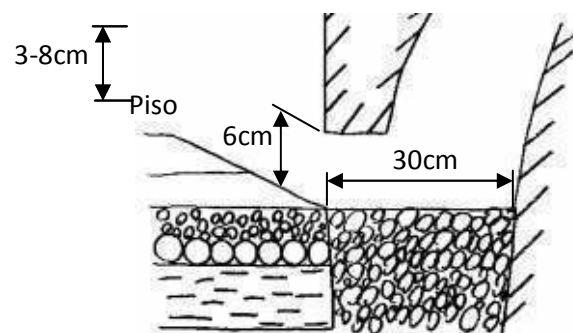
Pared del horno



9. Hacer la chimenea. La chimenea es una de las partes más importantes del horno, ya que puede lograr que se modifique la temperatura debido a la ventilación del aire a través de ella. La entrada de la chimenea debe estar a una distancia de 3 a 8 cm sobre el nivel del suelo y llevar un canal con inclinado suavemente hasta el piso. La chimenea debe ser más ancha abajo que arriba para prevenir la entrada del aire a través de la chimenea hacia adentro del horno.

Figura No. 3

Construcción de la chimenea



10. Secar la pared y la chimenea del horno. Encender fuego dentro del horno para que seque la pared y la chimenea. Este proceso es importante para asegurar la duración del horno, especialmente la chimenea que corre más riesgo de derrumbarse.

Fotografía No. 6

Secado



11. Hacer el techo del horno. Hacer el techo con ladrillos pegados con barro, formando una especie de cúpula.

Fotografía No. 7

Techo del horno



12. Construir el techo de protección para el horno. Se coloca un techo de lámina o de teja para proteger el horno de la lluvia. En el suelo, donde cae el agua que corre en el techo, se hacen canales, de manera que funciones como drenajes para evitar que el agua corra a la tierra bajo el horno y provoque humedad en el proceso.

Fotografía No. 8
Techo de protección



D. Proceso para la producción de carbón por pirolisis basado en Ongataissonippinkenkyujo

1. Meter la leña. La leña debe ser de aproximadamente 10 cm de diámetro y de 80 a 90 cm de largo, esto depende de la altura del horno. La leña se debe cortar con un mes de anticipación para guardarla en un lugar seco y que pierda humedad antes de carbonizarla. Primero, se ponen ramas secas sobre el piso del horno para que esta suba un poco la altura a la que va a ir la leña, ya que sobre el piso no se da bien la carbonización. Luego, se coloca la leña parada con la parte más gruesa para arriba. Después, se llena el espacio entre la leña parada y el techo con más leña. La mejor leña debe ir parada, la que no es tan buena debe usarse para llenar, ya que posiblemente se va a quemar y no quedará un buen carbón.

Fotografía No. 9
Ordenamiento de la leña



2. Hacer el obstáculo del fuego. Se construye una pared de ladrillos entre la cámara y la entrada del horno, como se muestra en la imagen de abajo. Se debe hacer un agujero en la parte de debajo de esta, de más o menos, 10 cm de alto y 20 cm de ancho, para que pase el calor a la cámara.

Fotografía No. 10
Obstáculo del fuego



3. Encender fuego y cerrar. Se debe utilizar leña verde y grande. Esta permite que el fuego sea grande y que dure mucho tiempo. Ya con el fuego encendido, se agrega más leña al fuego y se cierra el horno con una pared de ladrillo.

4. Secar la leña. Se debe tapar más o menos el 70 u 80 % de la chimenea para que la leña se seque antes de que empiece la carbonización. Es importante secar la leña, ya que si la carbonización empieza muy rápido, el carbón se raja y la corteza se despega.

5. Inicio de la carbonización. La carbonización inicia cuando la temperatura del humo que sale por la chimenea llega a los 80°C. Cuando el humo llega a dicha temperatura, se debe destapar un poco la chimenea y dejarla 50% cerrada.

6. Quemado del gas de la leña e incremento de la temperatura en el horno. A medida que la temperatura sube, la carbonización sigue sucediendo. El incremento de temperatura se puede apreciar en el color del humo. Al principio, el humo es blanco y amarillo, luego cambia a azul. Para que el carbón sea de buena calidad, no saque humo al quemarlo y dure más tiempo, se debe quemar todo el gas que tiene la leña y subir la temperatura del horno para que el carbón salga duro. Cuando el humo se vuelve azul, se debe destapar la chimenea poco a poco para facilitar la entrada del aire al horno. Se debe abrir completamente en unas cinco horas.

7. Extinción y enfriamiento. Cuando el color del humo se vuelve transparente, se debe tapar la chimenea para evitar la ventilación. La chimenea debe estar 100% tapada con lodo y piedras, ya que si hay un poco de ventilación, la carbonización no se detendrá. Se debe asegurar que no salga nada de humo del horno, esto dura unos 4 o 5 días.

8. Sacar el carbón. Se debe abrir un poco del horno para que entre el aire, esperar para asegurarse que el fuego no se reinicie sólo. Cuando se esté seguro, se abre el horno y se saca el carbón. Se debe tener precaución, ya que puede que quede CO dentro del horno y este es tóxico. Para evitar intoxicaciones, se debe ventilar el horno.

Fotografía No. 11
Carbón producido



E. Costos de producción de acuerdo a Aragón (Ref. No. 1)

Los costos de producción pueden ser también convenientemente analizados, empleando los siguientes "costos unitarios", que muestran más claramente los méritos de los diferentes sistemas:

- El costo de la leña puesta al costado del horno, pozo o retorta, inclusive los costos financieros.
- Costo de la mano de obra para la carbonización, inclusive carga y descarga.
- Costo del transporte del carbón vegetal a los mercados principales o a los puntos de distribución.
- Costo del capital de trabajo.
- Costos fijos de inversión de los pozos, hornos o retortas.

Todos los costos se refieren a una misma unidad, por ejemplo por ton de carbón vegetal entregado, de manera que queden claras sus relativas importancias. Un extracto de ciertos estudios hechos por FAO ofrece el siguiente cuadro general.

En los lugares donde se usan hornos tradicionales de ladrillos de arcilla y con un monte de sabana, con rendimientos de alrededor de 40m³ de madera por horneada, se aplican los siguientes costos unitarios (expresados como porcentajes del costo del carbón vegetal entregado o consignado):

Tabla No. 1 Costos unitarios para la producción de carbón en hornos tradicionales

Costo de la madera al costado del horno	60 %
Costo de la mano de obra en el horno	9 %
Costo del capital de trabajo	3.5 %
Costos fijos de las inversiones	1.5 %
Costos de transporte del carbón vegetal	26 %
Total	100 %

(Aragón, 2008)

F. Residuo líquido del proceso de pirolisis o alquitrán

La producción de alquitrán es el efecto de calentar madera en una atmósfera reducida y una compleja combinación de la destilación de un componente no polímero de la madera, una hidrólisis parcial o degradación del contenido de polímeros y la licuefacción de la resina. (Egenberg, 2000, pg. 2)

De acuerdo con Sadakichi Kishimoto, el alquitrán es una sustancia pegajosa, grasosa, oscura y de olor fuerte, que se obtiene de la destilación de ciertas materias orgánicas, principalmente de la hulla, turba, huesos y de algunas maderas resinosas.

El residuo líquido se produce cuando se condensa el humo que sale de la chimenea del horno. Este es un ácido fuerte, por lo que, para su recolección se debe utilizar acero inoxidable u otro material que no se corroa.

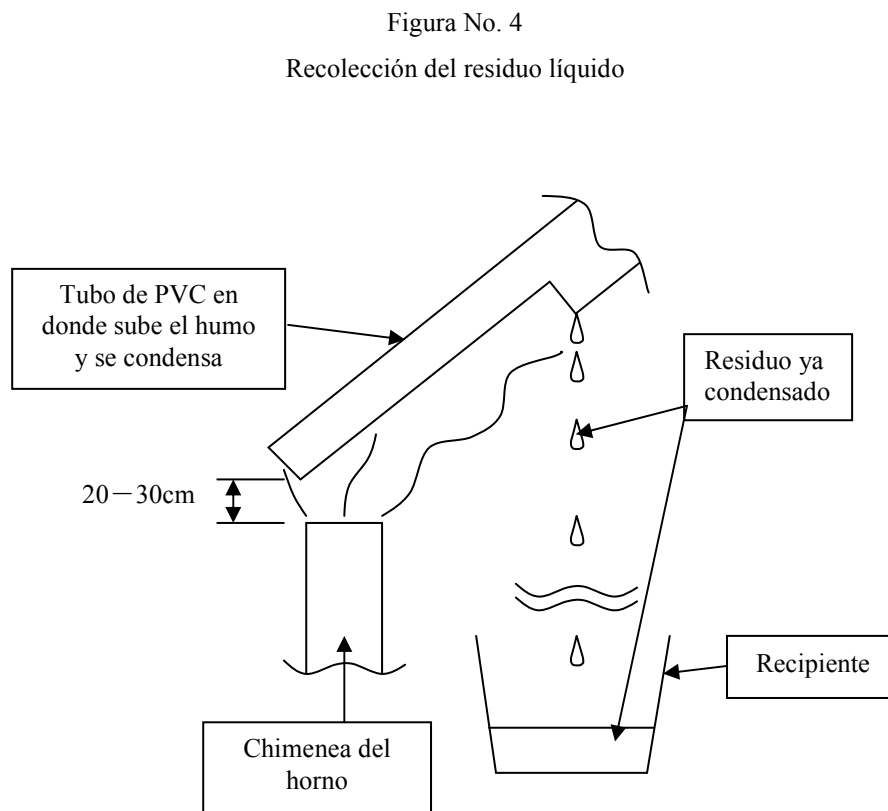
La calidad del carbón vegetal se evalúa principalmente, por su contenido de carbono, materia volátil, ceniza y humedad. El carbón producido en la pirolisis tiene un poder calorífico aproximado, en base seca, de 30 MJ/ Kg. (Lesme, 2006)

Según Karch, ácido piroleñoso es el nombre del condensado en bruto, y se compone principalmente de agua. Es un líquido sumamente contaminante nocivo, corrosivo, que debe ser, ya sea tratado correctamente para obtener los subproductos para la venta, o eliminado, por quema con la ayuda de otros combustibles, como ser con madera o con gas de madera.

Los otros componentes, fuera del agua, son alquitranes de madera, tanto los solubles en agua como los insolubles, el ácido acético, el metanol, la acetona y otros complejos químicos en menores cantidades. Si se lo deja en reposo, el ácido piroleñoso se separa en dos capas consistentes en el alquitrán insoluble en el agua y la capa acuosa que contiene los otros productos químicos. La recuperación del alquitrán insoluble en el agua es sencilla, por una simple decantación de la fase acuosa.

G. Método artesanal de recolección del residuo piroleñoso

El residuo líquido se recolecta, artesanalmente, de la siguiente manera:



Normalmente el alquitrán puede condensarse donde sea que los vapores del horno pasan por conductos metálicos. El calor se dispersa al aire, a través de las paredes metálicas del conducto, y la brea se condensa en la superficie interna. El conducto debe ser inclinado o, con preferencia, vertical para permitir que el alquitrán cuele dentro del receptáculo, porque de otra manera la acumulación del mismo sobre las paredes del conducto, actúa como aislante y cesa prácticamente la condensación. Una cierta cantidad de agua ácida puede condensarse al mismo tiempo, pero podrá ser fácilmente separada del alquitrán recogido. No es factible condensar alquitranes de los conductos de ladrillos puesto que su conductividad es demasiado baja para permitir que la brea se condense en cantidades significativas. (Karch, 1981)

H. Composición de los residuos piroleñosos basada en Lesme (Ref. No. 8)

La pirólisis de la madera genera, por tonelada de materia seca, aproximadamente:

- 350 Kg de carbón
- 450 Kg de vapores piroleñosos
- 220 Kg de gases no condensables

Los vapores piroleñosos se componen de aproximadamente 130 compuestos en proporciones variables. Hasta hoy, se han identificado estos:

- 18 ácidos orgánicos
- 7 alcoholes
- 18 cetonas
- 8 hidrocarburos alifáticos y aromáticos
- 9 aldehídos
- 15 fenoles
- 9 furanos

La condensación de estos vapores piroleñosos produce un líquido color pardo, conocido como alquitrán, que contiene básicamente:

- 12% de ácido acético y ácido fórmico
- 3% de metanol
- 20% de aceites y alquitranes
- 65% de agua

En cuanto a la composición elemental de dicho líquido, se puede encontrar lo siguiente:

- 55.3 – 63.5% de carbono
- 5.2 – 7.0% de hidrógeno
- 0.07 – 0.39% de nitrógeno
- 0 – 0.05% de azufre
- 39.43 – 28.98% de oxígeno
- 0.04 – 0.25% de cenizas

En Noruega es una tradición producir alquitrán de madera en hornos. La producción se documenta con respecto al tipo de madera, el diseño, el quemado y la recolección del alquitrán. Se ha demostrado, utilizando cromatografía de gases y espectrofotometría de masa, que el alquitrán recolectado a diferentes intervalos del quemado de madera es diferente en su composición, probablemente debido a las diferencias de calor dentro del horno con el paso del tiempo. (Egenberg, 2000, pág. 1)

En los hornos de recuperación se puede producir: ácido acético, metanol, ácido butírico, propiónico y valérico, cerosota, guayacol, alcohol alílico, acetal, metietilcetona, acetato de metilo, aceites antioxidantes, breas. En total se han identificado unos 100 productos diferentes que se pueden extraer de la madera mediante la destilación. (Kroger, 2006)

Se han hecho análisis en cromatógrafo de gases y espectrofotómetro de masa. A primera vista, estos análisis parecen de colofonia. Los componentes observados son principalmente diterpenos. Además, se pueden observar pequeñas cantidades de monoterpenos, bencenos trioxigenados y componentes como guaiol y vanillina (la lignina es la principal materia prima para su producción). Siguiendo el cromatograma, se puede observar la presencia de ácido dihidroabietico, ácido neoabiético y ácido palústrico. Más adelante del cromatograma, se encuentra reteno ($C_{18}H_{18}$) e isómeros del norabietatrenos. Referirse a los cromatogramas y espectros para comparación en el apéndice. (Egenberg, 2000)

I. Aplicaciones y usos de acuerdo con Sadakichi Kishimoto (Ref. No. 10)

A lo largo del tiempo, se ha utilizado el líquido piroleñoso para varias aplicaciones, entre las que se encuentran:

- Fertilizante

El líquido piroleñoso es bueno para la germinación y el crecimiento de los vegetales. Sin embargo, éste debe estar refinado para darle este uso, ya que si no está refinado existen sustancias que impiden el crecimiento de los vegetales. La refinación se refiere básicamente a la eliminación del alquitrán, por lo que se puede hacer por sedimentación o destilación. Se dice que el líquido debe ser ligero para que sea un buen fertilizante. Es importante mencionar que si el líquido se aplicará a las hojas de los vegetales, éste debe ser ligero, pero si se aplica al suelo, debe ser un poco fuerte. Si el fertilizante se aplica al suelo, debe hacerse de 3 a 7 días antes de la siembra para que éste no dañe las semillas. Normalmente se diluyen 50 litros del líquido 500 veces en agua. En caso de aplicarlo a las hojas, se diluyen 5 a 10 litros del líquido piroleñoso 300 veces en agua y se aplica cada 2 semanas. Otro uso similar que se puede aplicar es el de poner carbón vegetal empapada en el líquido piroleñoso al pie de los árboles, lo que mejora el suero y el crecimiento del árbol.

- Insecticida

El líquido piroleñoso se caracteriza por resistir mohos y microbios, por ejemplo el mildew polvoroso, el mildew lanuginoso, la roya, etc. Además, el líquido previene los daños de ácaros y de pulgón si este se aplica en las hojas. Algunas aplicaciones específicas son:

- Tomate (virus): aplicar el líquido diluido 200 veces en agua, cada 2 semanas.
- PePino (mildeu polvoroso o mildeu pePino): aplicar el líquido diluido 200 veces en agua en las hojas.
- Remolacha (mal del talluelo): aplicar el líquido diluido 20 veces en agua en el suelo.
- Manzana (cánceres): aplicar el líquido diluido 50 veces en agua dos veces a la semana.
- Crisantemo (roya): aplicar 150 litros del líquido por cada 200m² de terreno.
- Repollo (pudrición): aplicar líquido diluido 200 veces en agua 3 veces cada 5 días.
- Melón (pulgón): aplicar carbón empapado en vinagre.
- Planta ornamental: aplicar el líquido diluido 200 veces en agua 2 o 3 veces.
- PePino y tomate (nematodo nudo de la raíz): aplicar el líquido diluido 100 o 200 veces en agua cerca de la raíz de la planta.
- Fresa (nematoda): aplicar el líquido diluido 100 o 200 veces en agua.

El líquido piroleñoso penetra bien en los vegetales, por lo que es útil utilizarlo junto con el pesticida para mejorar su efecto y disminuir la cantidad de éste. La única condición para este uso es que el pesticida debe ser ácido para que no reaccione químicamente con el líquido.

- Producción de abono

El líquido piroleñoso, diluido más de 500 veces en agua, activa la reproducción de unos microbios que descomponen la fibrina de la madera, por lo que poner el líquido en los materiales del abono, hace que el abono se produzca rápidamente.

- Ganadería

Una aplicación interesante es la de empapar polvo de carbón vegetal con el líquido piroleñoso y mezclarlo en la comida de las gallinas. Esto hace que la cáscara del huevo sea más dura, por lo que el huevo se pone más sabroso y se mejora, también, la proporción de fecundación.

En el caso de cerdo o la vaca, el efecto es en el mejoramiento de la calidad de la carne y de la salud del animal. Además, en Japón, el líquido piroleñoso se utiliza como medicamento para la diarrea en los cerdos. Es importante mencionar que la mezcla del carbón con el alimento hace que el olor en el establo se controle y mejore.

- Desodorante

El líquido piroleñoso puede desodorizar el sanitario. La causa principal del olor en el sanitario es el gas de amoníaco, el cual es alcalino. Aplicar líquido, que es ácido, neutraliza el amoníaco y, por lo tanto, desodoriza el sanitario. Como se mencionó anteriormente, se puede utilizar para desodorizar establos.

- Industria alimenticia

Para utilizar el líquido piroleñoso en la industria alimenticia es necesario quitar el alquitrán de éste, ya que el alquitrán es dañino para la salud. Esto se puede lograr destilando el líquido. El líquido piroleñoso, ya sin alquitrán, se utiliza para hacer pescado ahumado. Primero, el líquido se diluye 3 veces en agua o agua de mar. Luego, se meten los pescados en el líquido por unas 10 ó 20 horas y después se sacan. Para completar el sabor del pescado, se añaden especias y sal.

- Conservador de la madera

El líquido piroleñoso inhibe la reproducción de los hongos que descomponen la madera.

- Medicina

Para que los líquidos piroleñosos puedan ser utilizados como medicamento, es necesario refinarlos, es decir, quitarles el alquitrán. El líquido penetra fácilmente la piel, por lo que tiene efectos en la dermatosis que es causa de los hongos del pie. Además, si se toma con CCl_4 , refuerza el antiveneno del hígado y evita el mal de hígado. También, se han obtenido buenos resultados como cura para la diabetes ya que impide el veneno del ácido úrico. Por último, el líquido piroleñoso tiene efectos curativos en heridas, quemaduras y picaduras y se puede utilizar como desinfectante.

El alquitrán de madera se produce por el calentamiento o el quemado parcial de dicho material, este es ampliamente utilizado para calafatear el casco de las embarcaciones de madera. Actualmente, se utiliza principalmente en la elaboración de diversos productos, como jabones, pinturas, cigarrillos (donde aparece como residuo de la combustión), plásticos, asfalto (para la pavimentación) y productos químicos. También se utiliza como combustible.

Para obtener un producto líquido adecuado que pueda ser utilizado como combustible, es necesario utilizar maderas de bajos contenidos en azufre, nitrógeno y metales y con un contenido en humedad por debajo del 10%.

El alquitrán de madera ha sido usado como desinfectante, laxante y para tratamiento de tos. En el pasado, los tratamientos para la lepra, pulmonía y tuberculosis también incluían comer o tomar creosota de madera. Hoy en día es raramente usada como medicamento ya que ha sido reemplazada por medicamentos más eficaces. Aun se encuentra disponible como hierba medicinal, y se usa en el Japón como expectorante y laxante. Las principales sustancias químicas en la creosota de madera son el fenol, los cresoles y guayacol. Los cresoles son un grupo de compuestos empleados para la fabricación de antisépticos, aceite de creosota, disolventes de pinturas y plásticos. (ATSDR, 2002)

El alquitrán de madera resinosa, que se distingue del alquitrán de madera no resinosa porque contiene, además, productos procedentes de la destilación de la resina (terpenos, aceites de resinas, etc.), es un producto viscoso, cuyo color varía entre el pardo y el pardo anaranjado. Se emplea sobre todo, sin más modificación que una simple deshidratación o destilación parcial, en marina para impregnar las jarcias, en la industria del caucho como plastificante, en la preparación de mástiques y en farmacia. (DOF, 2007)

El alquitrán de madera no resinosa, líquido espeso de color pardo negruzco, que se emplea principalmente para la obtención, por destilación u otros procedimientos, de una extensa gama de subproductos (creosota de madera, guayacol, etc.). (DOF, 2007)

El aceite de alquitrán de madera se produce en el curso de la destilación del alquitrán de madera. Los aceites ligeros, que contienen hidrocarburos alifáticos, terpenos y cetonas superiores, se utilizan para la preparación de baños de desinfección para el ganado lanar y de productos de pulverización para la horticultura, en tanto que los aceites pesados, formados por hidrocarburos alifáticos y aromáticos, cetonas y fenoles superiores, se utilizan para la impregnación de la madera y para la extracción de la creosota de madera. (DOF, 2007)

El alquitrán se utiliza como producto cuidado veterinario. Es un antiséptico para caballos y ovejas. Además, el alquitrán se usa para hacer jabón medicinal para personas con enfermedades en la piel. (Kaye, 1997)

En Cuba, se han utilizado los líquidos piroleñosos como agentes espumantes en la producción de hormigón poroso. Se ha logrado también el uso de este como agente tenso activo para la preparación de emulsiones acuosas de fracciones de petróleo crudas y destiladas. (Lesme, 2006)

III. JUSTIFICACIÓN

Es de suma importancia la realización de este trabajo de investigación, ya que se determinará la composición del residuo líquido de la producción de carbón vegetal por medio de pirolisis. Con base en esta composición, se determinarán los usos que se le pueden dar a este líquido para su máximo aprovechamiento. Dicho residuo es un valor agregado para la empresa. Debido a esto, como beneficios de este trabajo, se busca que su uso genere un fuerte impacto económico tanto para la empresa, en este caso Finca Lagunilla, como para la industria carbonera en general. Además, se busca que éste presente un beneficio al consumidor y a la industria en la que aplique su uso, así como que sea de gran impacto ambiental en su uso. Es importante mencionar que también es un beneficio para la empresa el optimizar el proceso de recolección del residuo, ya que de esta manera se aprovechará al máximo y se obtendrá el máximo efecto económico.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Determinación de la composición química y los usos del residuo líquido de la producción de carbón vegetal de Pino y Encino, así como la optimización del proceso de recolección de este en la Finca Lagunilla en Jalapa, Guatemala.

B. Objetivos específicos

Utilizando el cromatógrafo de gases y el espectrofotómetro IR del Laboratorio de Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala, determinar la composición cualitativa y cuantitativa del residuo líquido de la producción de carbón vegetal en la Finca Lagunilla.

Con base en la composición del residuo líquido, determinar sus usos y aplicaciones y comprobarlos a nivel laboratorio, buscando la generación, no sólo de un fuerte impacto económico a la empresa sino también de un impacto ambiental en su uso.

Se busca el total aprovechamiento y optimización de los productos y subproductos que se generan en el proceso, por lo que se estudiará el mismo y se implementará un sistema de recolección del residuo líquido entre todos los hornos de la finca. Además, se determinará la inversión aproximada que se requeriría para implementar el sistema de recolección propuesto.

V. PROBLEMA A RESOLVER

Durante el proceso de carbonización de madera en hornos de secado, se liberan aproximadamente 10 galones de residuo por cada 4 m³ de leña. En la Finca Lagunilla en Jalapa, Guatemala desconocen la composición del residuo líquido de la producción de carbón vegetal. Lo han estado vendiendo a los trabajadores de la finca para ciertos usos que los mismos trabajadores plantean, como insecticida, remedio médico y fertilizante. No se sabe si en realidad el residuo tiene esas aplicaciones y si lo están desperdiciando cuando podrían aprovecharlo y generar ganancias. Además, el sistema de recolección del residuo está improvisado con tubos de PVC y cubetas, por lo que se dan grandes pérdidas.

VI. METODOLOGÍA

Primera etapa:

Observaciones de la plantación y el proceso que se lleva a cabo en el horno de secado. Es decir, se observarán las condiciones de la plantación, el cuidado que se le da y el clima a la que se ve expuesta, así como las propiedades de la madera que se obtiene. Además, se recolectarán muestras del residuo líquido, tomando nota de la temperatura de operación del horno y el clima en el que se llevó a cabo el proceso.

Segunda etapa:

Determinación analítica de la composición del residuo líquido. Se destilará para obtener fracciones más específicas del residuo. Se prepararán las muestras adecuadamente para su análisis en el cromatógrafo de gases y el espectrofotómetro IR del Laboratorio. Los cromatogramas y espectros obtenidos se compararán con los encontrados en el apéndice al final de este trabajo.

Tercera etapa:

Determinación de los posibles usos del residuo líquido, ésta se basará principalmente en revisión bibliográfica. Además, se harán pruebas a nivel laboratorio para su comprobación.

Cuarta etapa:

Implementación del sistema de recolección del residuo líquido entre todos los hornos de la finca.

Quinta etapa:

Elaboración del trabajo escrito final.

VII. RESULTADOS

Figura No. 5 Cromatograma obtenido del residuo líquido de Encino utilizando el cromatografo de gases con detector de masas del Laboratorio de Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala

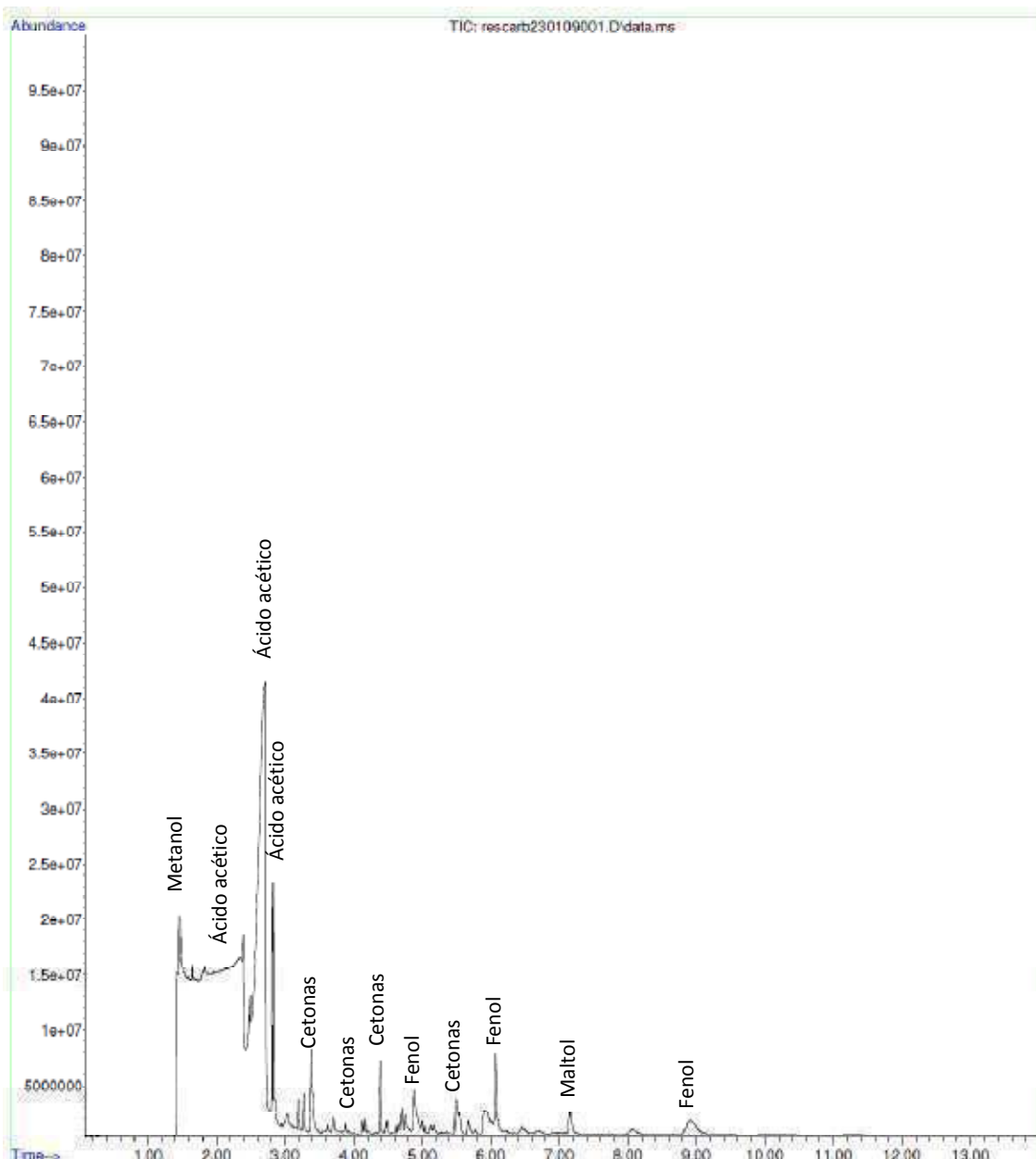


Figura No. 6 Cromatograma obtenido del residuo líquido de Pino utilizando el cromatografo de gases con detector de masas del Laboratorio de Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala

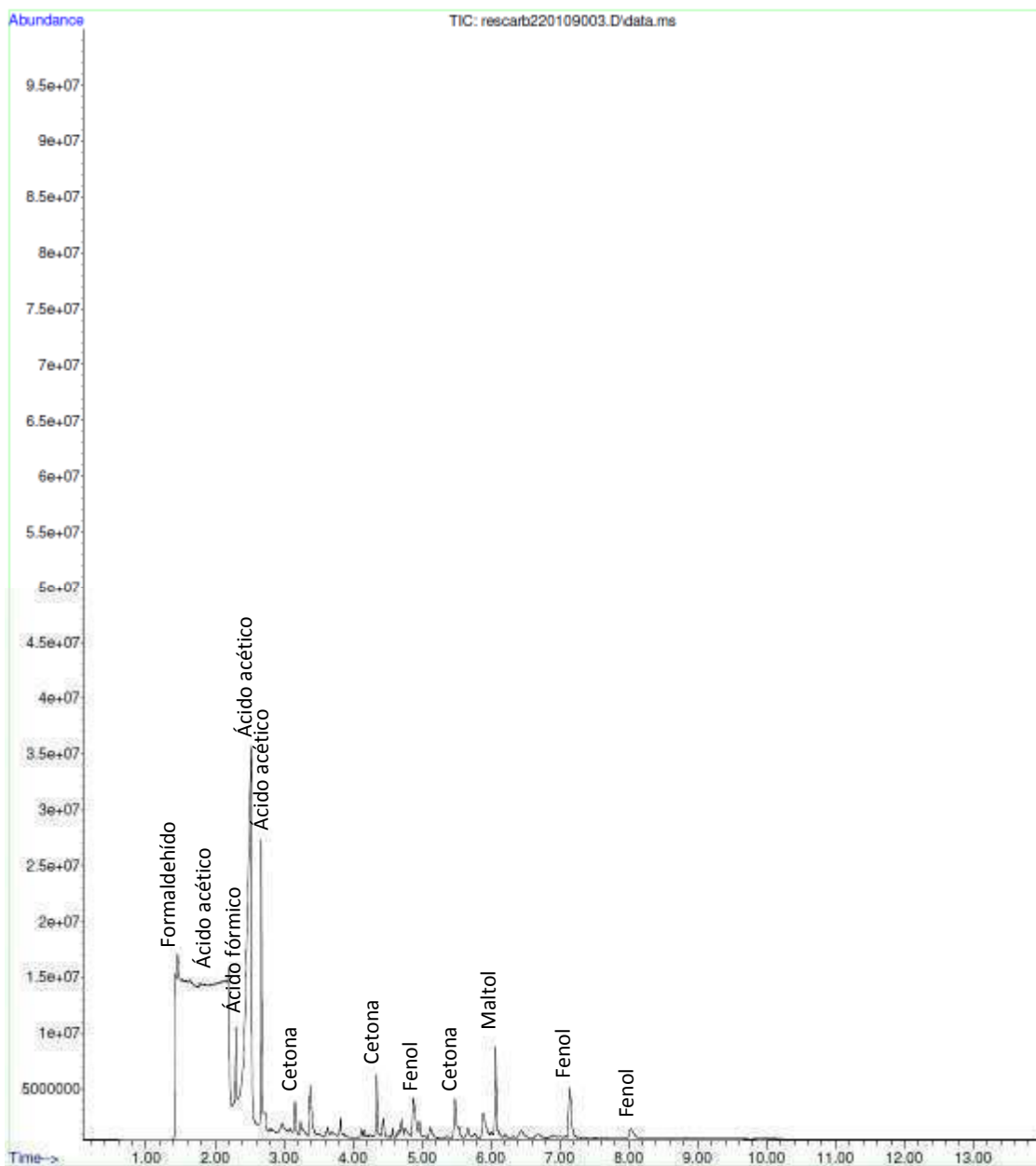


Tabla No. 2 Composición aproximada del residuo líquido de la carbonización por pirólisis de madera de Encino

Compuesto	Porcentaje aproximado
Agua	65 %
Acido acético	31.5 %
Cetonas	1.75 %
Fenol	1.05 %
Maltol	0.3 %
Metanol	0.4 %

Tabla No. 3 Composición aproximada del residuo líquido de la carbonización por pirólisis de madera de Pino

Compuesto	Porcentaje aproximado
Agua	65 %
Ácido acético	30.5 %
Ácido fórmico	1 %
Cetonas	1.75 %
Fenol	1.05 %
Maltol	0.4 %
Formaldehído	0.3 %

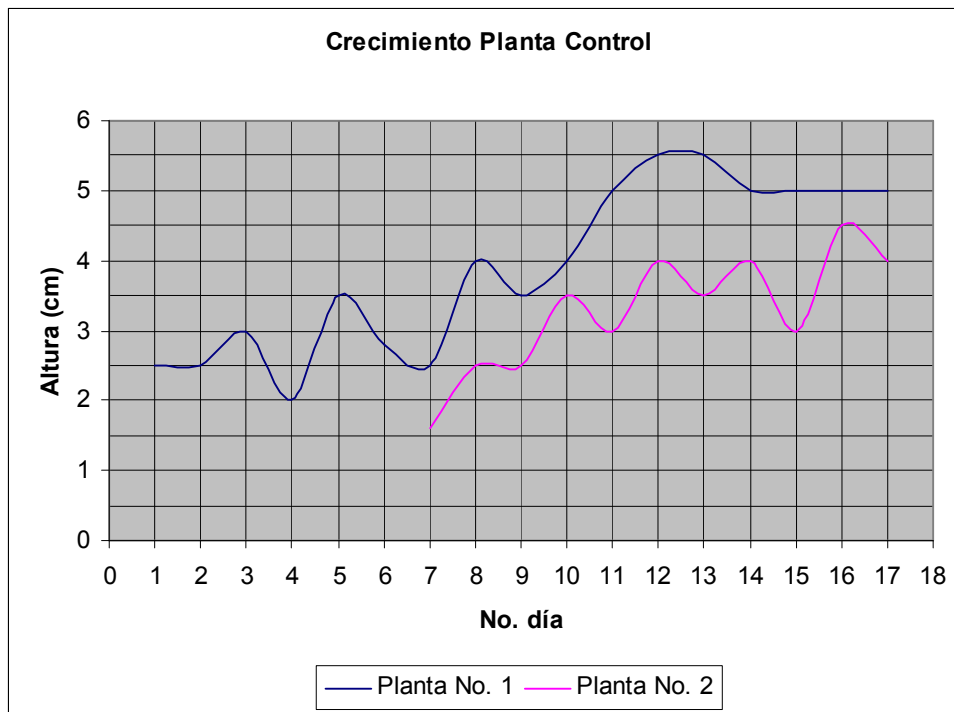
Tabla No. 4 Presencia de componentes mayores y menores en el residuo líquido de la carbonización por pirólisis de madera de Pino y Encino reportados por ANALAB.

Compuesto	Muestra de Encino	Muestra de Pino
N	759.50 ppm	185.50 ppm
P	0.01 ppm	0.01 ppm
K	11.20 ppm	2.03 ppm
Ca	4544.00 ppm	22.70 ppm
Mg	45.20 ppm	1.77 ppm
Cu	0.24 ppm	0.13 ppm
Fe	29.20 ppm	92.00 ppm
Mn	62.40 ppm	0.70 ppm
Zn	0.04 ppm	0.05 ppm
pH	3.90	2.90

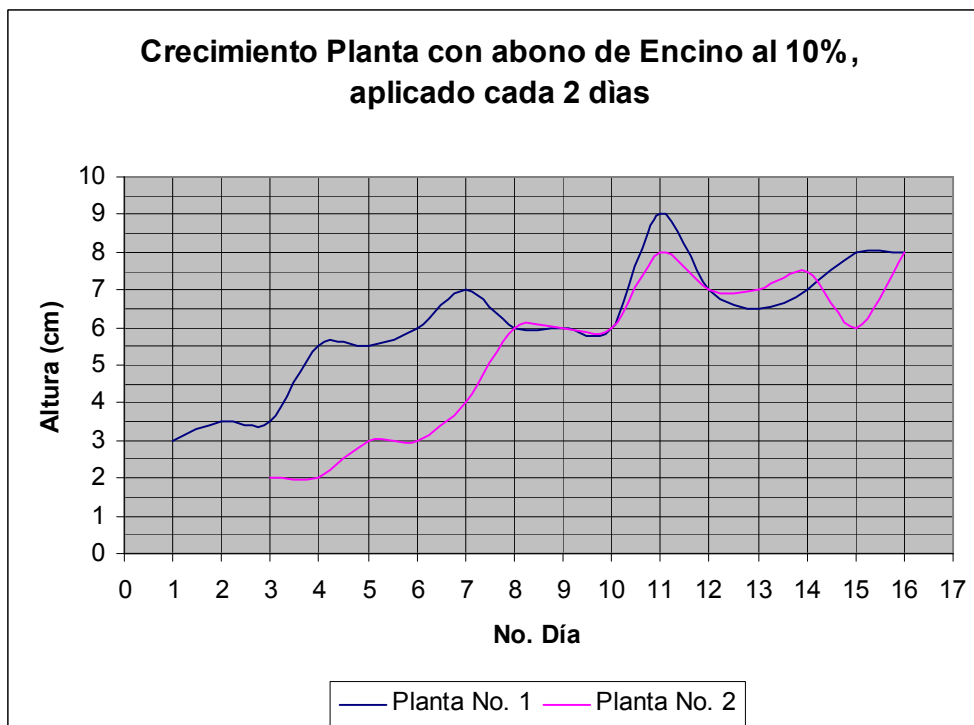
Tabla No. 5 Propiedades físicas y química del residuo líquido de la carbonización por pirólisis de madera de Pino y Encino.

Propiedades	Pino	Encino
Estado de la materia	Líquido	Líquido
Color	Café	Café
Olor	Es un olor fuerte a ahumado	Es un olor fuerte a ahumado
Punto de ebullición	100°C	100°C
Densidad	0.9950 ± 0.0100 g/mL	1.0083 ± 0.0126 g/mL
Viscosidad	3.843 ± 0.0005 cP	4.524 ± 0.0005 cP
pH	2.9	3.9
Corrosividad	Corrosivo	Corrosivo

Gráfica No. 1 Crecimiento de la planta control de frijol sembrado en algodón y regada únicamente con agua



Gráfica No. 2 Crecimiento de la planta de frijol sembrada en algodón con abono de Encino al 10%, aplicado cada 2 días



Gráfica No. 3 Crecimiento de la planta de frijol sembrada en algodón con abono de Pino al 10%, aplicado cada 2 días.

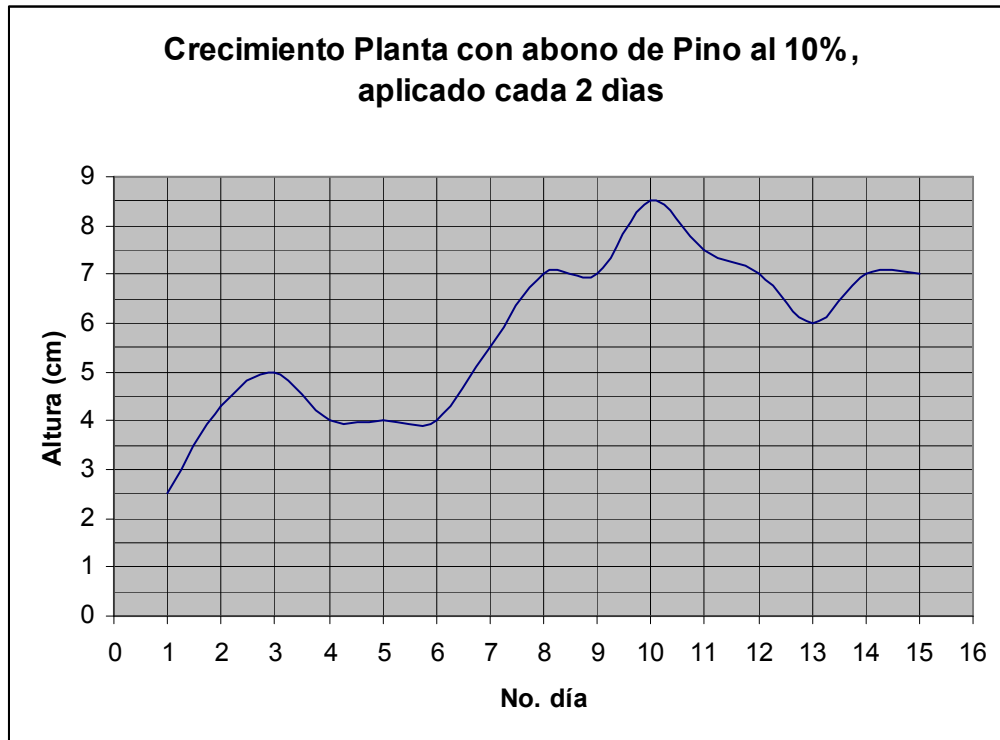


Figura No. 7 Diagrama del sistema de recolección propuesto para la recolección del residuo líquido.

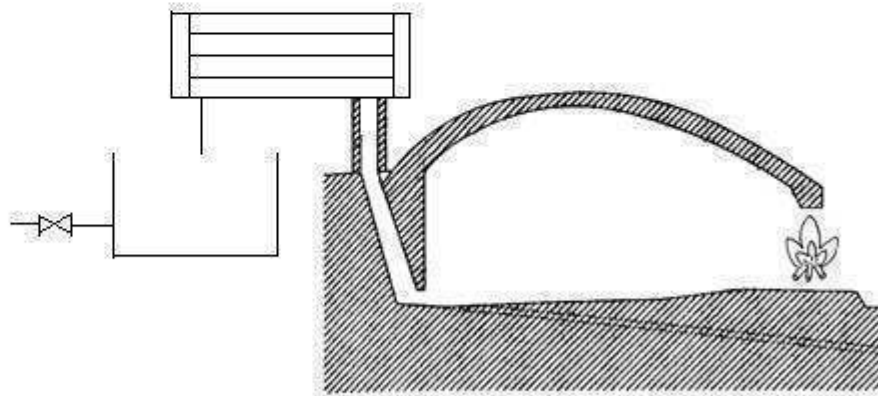


Tabla No. 6 Costo del equipo necesario para el sistema de recolección propuesto para la recolección del residuo líquido.

Equipo	Costo usando tanque de acero inoxidable	Costo usando tanque de plástico
Condensador de acero inoxidable	Q 16,000.00	Q 16,000.00
Tubería de hierro galvanizado de 2 ½ "	Q 169.00	Q 169.00
Válvula 2 ½ "	Q 450.00	Q 450.00
Tanque de 50 L	Q 1,850.00	Q 120.00

VIII. DISCUSIÓN

El objetivo de este trabajo fue la determinación de la composición química y los usos del residuo líquido de la producción de carbón vegetal de Pino y Encino, así como la optimización del proceso de recolección de este en la Finca Lagunilla en Jalapa, Guatemala.

La primera parte del trabajo consistió en la determinación de la composición cualitativa y cuantitativa del residuo líquido de la carbonización de madera por medio de la pirolisis. Para dicha parte, se inició tratando de separar los compuestos teóricos investigados por medio de la destilación fraccionada por puntos de ebullición. Se destilaron las muestras del residuo líquido con el propósito de obtener tres fracciones, cada una con ciertos componentes específicos de punto de ebullición similar. Debido a que los puntos de ebullición de los componentes eran muy cercanos el uno al otro, esto no fue posible. Cada fracción fue analizada posteriormente utilizando la cromatografía de gases y se obtuvieron resultados prácticamente iguales para cada fracción. Esto se dio de igual manera para el residuo proveniente de la carbonización de Pino y para el residuo de la carbonización de Encino.

Se analizaron muestras del residuo, tanto de la carbonización de Pino como de la de Encino en el cromatógrafo de gases con detector de masas del Laboratorio de Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala. Para dichos análisis, se sedimentó el alquitrán, que es un residuo característico de la carbonización de madera. Este se sedimentó debido a que en la columna de un cromatógrafo no se pueden introducir fluidos con puntos de ebullición muy altos, ya que el fluido podría tapan la columna y la arruinaría. En este caso, el alquitrán tiene un punto de ebullición de entre 200 y 400 °C, lo cual se considera muy alto para su utilización en la columna. Además, se agregó desecante para eliminar el agua de la muestra y así, eliminar la interferencia de esta en el análisis cromatográfico.

Los cromatogramas obtenidos se analizaron utilizando una aproximación de las áreas de los picos para obtener un porcentaje aproximado de la presencia de cada componente en el residuo líquido. Los principales cromatogramas obtenidos se muestran en los resultados como las imágenes No. 12 y No. 13. El porcentaje de agua en el residuo se determinó por diferencia de volúmenes al agregar el desecante.

De la literatura, en referencia a *Pirolisis de Biomasa. Experiencia y aplicaciones* por Lesme (Ref. No. 8), se tiene que la composición del residuo líquido de la pirolisis para la madera, en general, es de 65% agua, seguido por 20% de aceites y alquitranes, 12% de ácido acético y ácido fórmico y 3% de metanol.

Como se puede ver en la Tabla No. 1 en resultados, para el residuo proveniente de la madera de Encino, el principal componente detectado en las muestras analizadas es el agua, con un porcentaje del 65% en volumen, que coincide con lo reportado por Lesme, seguido del ácido acético con un porcentaje de 31.3%

en volumen. Los demás componentes, como las cetonas, el fenol, el maltol y el metanol se encuentran en proporciones menores al 2%.

Para el residuo del Pino, reportado en la Tabla No. 2 en resultados, el principal componente detectado fue el agua, también con un porcentaje de 65% en volumen como en el residuo de Encino. Le sigue el ácido acético, con una proporción de 30.5% en volumen y los demás componentes, el ácido fórmico, cetonas, fenol, maltol y formaldehído, se presentaron en proporciones menores al 2%. Estos porcentajes son aproximados, ya que el método de integración del área bajo los picos puede generar un cierto error en el cálculo. Ambas composiciones se asemejan a lo reportado por Lesme, como se especificó arriba.

Además, como parte de la caracterización del residuo líquido, tanto de Pino como de Encino, se enviaron muestras al Laboratorio ANALAB para un análisis de componentes mayores y menores que realizan a abonos líquidos.

En la muestra líquida proveniente de madera de Encino se determinó una alta presencia de calcio de 4544 ppm, seguida por nitrógeno con una concentración de 759.5 ppm y manganeso con 62.4 ppm. Los demás componentes como el fósforo, potasio, magnesio, cobre, hierro y zinc se presentaron en concentraciones menores a 50 ppm. Para la muestra de Pino, el principal elemento encontrado fue el nitrógeno, con una concentración de 185.5 ppm, seguido por el hierro con una concentración de 92 ppm. Los demás componentes como el fósforo, potasio, calcio, magnesio, cobre, manganeso y zinc se presentaron en concentraciones menores a 25 ppm. Además, se determinaron valores de pH bajos para ambos residuos, siendo el pH del residuo de Encino de 3.90 y el de Pino de 2.90.

En la revisión de literatura no se encontraron valores de este tipo reportados, sin embargo, según la referencia de Sadakichi Kishimoto *Diccionario de la utilización del carbón vegetal y el vinagre de la madera* (Ref. No. 11), el residuo líquido puede ser utilizado como fertilizante, por lo que se esperaban altos valores en algunos de los elementos. Es importante mencionar que el valor del pH se esperaba fuera bastante ácido, tal y como se dio en los resultados, debido a la gran cantidad porcentual de ácido acético detectado en ambas muestra. Los resultados reportados por ANALAB se consideren muy confiables, ya que provienen de un laboratorio certificado.

Como parte final de la caracterización del residuo líquido, tanto de Pino como de Encino, se determinaron algunas de sus propiedades físicas y químicas.

El estado de la materia y el color se determinaron a simple vista, siendo ambos residuos líquidos de color café. El olor de ambos residuos es un fuerte olor a ahumado. El punto de ebullición se asume como el del agua. Esto porque el mayor porcentaje de composición del residuo, tanto de Pino como de Encino, es de agua y el punto de ebullición de los otros componentes es muy cercano a los 100°C.

Para calcular la densidad se tomaron muestras de ambos residuos. Se pesó un volumen conocido del residuo y se calculó la densidad como el peso partido el volumen. Se obtuvieron valores promedio de 0.9950 ± 0.0100 g/mL para el residuo de Pino y 1.0083 ± 0.0126 g/mL para el residuo de Encino. Como se puede ver, ambas densidades son muy cercanas a la del agua, 1 g/mL. Esto por la misma razón que se explicaba arriba respecto al alto porcentaje de agua que los residuos contienen. La viscosidad se determinó utilizando el viscosímetro electrónico del Laboratorio de Fisicoquímica de la Universidad del Valle de Guatemala. Se determinaron valores de 3.843 ± 0.0005 cP para el residuo de Pino y 4.524 ± 0.0005 cP para el de Encino. Si se comparan estos valores con la viscosidad del agua que es de 1 cP, se puede observar que son ligeramente mayores, incluso a simple vista, los residuos parecen fluir muy fácilmente. La viscosidad, entonces, es lo suficientemente baja para permitir que ambos residuos fluyan con facilidad, pero es un poco mayor a la del agua debido a la presencia de alquitrán que posiblemente no se sedimentó completamente y a la presencia de otras partículas en suspensión. Es importante mencionar que el equipo de medición utilizado para la determinación de la densidad y viscosidad, es decir, la balanza, la cristalería volumétrica y el viscosímetro, proporcionan cierto error al valor calculado. Estos errores son representados en los resultados como incertidumbres a los valores obtenidos.

Por último, se determinó la corrosividad, se consideran los residuos como corrosivos, ya que su porcentaje de ácido acético es alto y el valor de pH determinado para estos es muy ácido. Esto implica que el residuo líquido puede causar serios daños en caso se introdujera en un sistema de tuberías o en algún proceso. Aunque, se recomendaría hacer una serie de pruebas previas si este fuera a ser el caso para determinar que tan serio es el efecto de corrosión por la acidez.

En la revisión de literatura no se encontraron valores reportados para estas propiedades, sin embargo, los valores obtenidos pueden ser comparados con las propiedades del agua. Esto debido al alto porcentaje de agua presente en ambos residuos, de Pino y Encino.

Con base en los resultados proporcionados por ANALAB, se consideró que era factible que el residuo líquido del Pino y el Encino se pudiera usar como abono para las plantas, ya que tiene un gran contenido de nitrógeno, calcio y hierro. Las concentraciones más altas y más apropiadas para abonos se pudieron observar en el residuo de la madera de Encino, aunque en el residuo de Pino se observaron cantidades altas también.

Para comprobar si esto era correcto, se hizo una prueba utilizando plantas de frijol negro. Se sembraron 32 plantas, cada una en un vaso desechable con algodón y sembrando dos granos de frijol por vaso. Se utilizó algodón y no tierra para evitar la interferencia de los nutrientes de la tierra con los posibles efectos del residuo líquido utilizado como abono. Es importante aclarar que la prueba se hizo con plantas de frijol ya que éstas son de rápido crecimiento, no necesitan de mucho cuidado y no requieren estar expuestas a demasiada luz. De las 32 plantas, 16 se utilizaron para residuo de Pino y las otras 16 para el residuo de Encino.

Para esta prueba, se realizaron distintas diluciones en agua del residuo, tanto de Pino como de Encino. Se utilizó el residuo puro, al 75%, al 50%, al 25% y al 10%. Este se agregaba a las plantas cada cierta cantidad de días. Se hizo pruebas para agregarlo todos los días, cada dos días y cada tres días. Además, una planta se tomó como control, por lo que no se le agregó el residuo en ninguna ocasión, de manera que servía para poder comparar el crecimiento de ésta con el crecimiento de las que recibían residuo. Es importante mencionar que el residuo se agregó a la raíz de la planta y se agregaron 10 gotas cada vez que se debía aplicar.

El experimento se mantuvo alrededor de un mes, desde la siembra hasta que el efecto fue totalmente notorio. Las observaciones a las plantas se hicieron a diario. Éstas consistían en la medición de altura de la planta, la medición del ancho y largo de la hoja y la observación del color de la hoja. El residuo se agregaba a cada planta conforme le tocara, es decir, se tenían plantas a las que se le agregaba cada día, a otras cada dos días y a otras más cada tres días. En las observaciones se pudo notar que las plantas a las que se les agregaba el residuo puro, ya sea todos los días o cada 2 ó 3, murieron rápido, al igual que las plantas que recibían el residuo al 75%. Esto era de esperar ya que, como se mostró anteriormente, el pH de ambos residuos fue muy ácido, por lo que dicha acidez mataría las plantas. Las plantas que recibieron el residuo al 50 y 25% mostraban un crecimiento lento y muy similar al de las plantas control.

Luego de 20 días de aplicación de residuo y de observaciones diarias, se notó que las plantas con un mejor crecimiento fueron a las que se les agregó el residuo al 10% cada 2 días, esto se dio de igual manera para el residuo de Pino y para el de Encino. El crecimiento se muestra en las Gráficas No. 1, 2 y 3 en resultados.

Ambas plantas mostraron un crecimiento rápido en comparación con el de las plantas control. La planta que recibía residuo de Encino mostró hojas grandes y extendidas de un color verde oscuro muy agradable. Esta planta se mostró siempre muy sana y se desarrolló en mayor medida que la de residuo de Pino y la planta control. Esta planta mostró varias ramas con varias hojas cada una. La planta que recibía residuo de Pino mostró, también, un crecimiento rápido, sus hojas fueron grandes y extendidas. Esta planta mostró las hojas más grandes, pero no desarrolló tantas hojas como la planta del residuo de Encino. El color de esta planta siempre fue un poco más claro que el de la planta que recibía residuo de Encino.

Ambas plantas crecieron de 3.5 a 4 cm más que la planta control y mostraron hojas más grandes y sanas. En las Gráficas 1, 2 y 3 se puede observar el crecimiento de la planta en función de la altura de esta medida cada día, se observa un mayor crecimiento, bastante notorio, de las plantas que recibieron abono. Las gráficas no muestran un crecimiento lineal, como sería más lógico de ver, esto se debe, en gran medida a que las hojas de la planta cambiaban de posición, a veces más paradas que otras veces. Esto, a la hora de medir, proporcionaba cierto error. Además, se midió la altura con una regla, procurando siempre medir desde el inicio del tallo, debido al algodón y la raíz, esto pudo haber dado cierto error en la medición.

En las gráficas se puede ver, también, que la planta control y la de Encino tuvieron el crecimiento de la planta de ambos frijoles sembrados, en cambio, la planta de Pino solo tuvo el crecimiento de un frijol. Varios factores pudieron haber influido en esto, como la forma del sembrado, la posición de la semilla en el algodón, etc., pero, a pesar de eso, se obtuvo un crecimiento de hoja muy notorio.

Como se puede ver, entonces, la planta más desarrollada fue la que recibió abono de Encino, esto debido a la alta concentración de nitrógeno, calcio, hierro, magnesio y manganeso que se determinó en dicho residuo. La planta se mostró más alta, con más ramas desarrolladas y con un color de hoja más intenso. La planta que recibió abono de Pino fue la siguiente en cuanto a su desarrollo, ésta no mostró tantas ramas, pero mostró hojas más anchas y extendidas, de un color verde más claro, esto se pudo haber dado por su alta concentración, únicamente, de nitrógeno, calcio y hierro. La planta control no creció tan alta y mostró hojas pequeñas de un color verde pálido.

Se debe aclarar que la prueba fue hecha únicamente en plantas de frijol, por lo que los efectos del uso del residuo se especifican únicamente para este tipo de planta. Si el residuo quisiera utilizarse en otro tipo de cosecha, es necesario hacer pruebas previas a la utilización.

Por último, se buscaba el total aprovechamiento y optimización de los productos y subproductos que se generan en el proceso, por lo que se dan recomendaciones a los administradores de la finca. No se pudo implementar ninguna mejora al sistema, ya que se tenía el riesgo de ocasionar problemas en las condiciones de operación del horno y ya se había logrado llegar a los rendimientos de carbón deseados y es éste el producto prioritario del proceso.

Este trabajo se centra en el residuo líquido de la carbonización de madera por medio de la pirolisis, por lo que se iniciará con las recomendaciones para el proceso de recolección de dicho residuo. En la actualidad, el residuo está siendo recolectado utilizando el método descrito por Karch en *Study of traditional charcoal making techniques* (Ref. No. 6). Este método es muy artesanal y provoca la pérdida de residuo tanto en gas no condensado como en residuo que gotea al suelo. Para la optimización de la recolección del residuo se recomienda la utilización de un condensador térmico. Dicho condensador debe estar diseñado de manera que enfríe el gas saliente de la chimenea hasta la temperatura de condensación y debe adaptarse a las condiciones actuales de operación de los hornos. El condensador debe estar construido de acero inoxidable para evitar la posible corrosión. Como se mencionó anteriormente, la corrosividad del residuo puede ser elevada ya que el pH de éste es bastante bajo, por lo que es importante tomar precauciones para evitar dañar el equipo. Es importante mencionar que, a pesar de esta ventaja, el acero inoxidable es costoso, por lo que, si se busca un material de menor costo, se podría utilizar bronce fosforado o hierro. Siempre realizando previas pruebas para evitar que se dañe el equipo.

El condensador deberá estar conectado a un tanque de recolección, también de acero inoxidable, por medio de una tubería. El tanque deberá tener un sistema de vaciado de fácil acceso y que se abra y cierre por

medio de una válvula. De esta manera, se evitarán las pérdidas de residuo que se ocasionan en el actual sistema de recolección. Esto, incluso, disminuirá la contaminación al aire que se provoca por el humo saliente de la chimenea de los hornos.

Según el proceso para la producción de carbón por pirolisis basado en Ongataissonippinkenkyujo en *Guía de elaborar el carbón vegetal* (Ref. No. 13), se debe construir un obstáculo del fuego, es decir una pared de ladrillos entre la cámara y la entrada del horno para poder encender el fuego. Como una recomendación para la facilidad del proceso, se propone la construcción de una puerta de metal cubierta con ladrillo refractario fijada al horno. La puerta deberá construirse siempre tomando en cuenta las medidas apropiadas del agujero que debe ir en la parte de debajo de esta. De igual manera, se recomienda la construcción de una puerta de los mismos materiales para el cerrado del horno. Esto evitaría tener que construir y destruir puertas de ladrillo. Además, el ladrillo refractario evitaría las pérdidas de calor hacia afuera que se dan actualmente en la puerta de cerrado del horno.

En cuanto al horno, inicialmente se había pensado en cubrir todo el horno con ladrillo refractario para evitar pérdidas de calor hacia el ambiente. Esta idea se rechazó, ya que, aunque el ladrillo refractario evitaría las pérdidas de calor, evitaría el enfriamiento del mismo al final de la horneada. Esto quiere decir que, si el enfriamiento del horno duraba 4 ó 5 días, el cubrir el horno con ladrillo refractario implicaría un tiempo mucho mayor de enfriado y, por lo tanto, pérdidas en la producción de carbón. Lo único que se recomienda para el horno, entonces, es la instalación de un control de temperatura del interior del horno para poder monitorear la carbonización. Este control podría ser únicamente un termómetro o bien podría utilizarse un transmisor de temperatura conectado a una alarma que se active en caso de percibir una temperatura fuera del rango normal para la carbonización.

La implementación del sistema propuesto de recolección del residuo líquido del horno, implicaría una alta inversión. El condensador, por ser de acero inoxidable, tiene un costo de Q16,000.00. Para disminuir el costo podría usarse un condensador de bronce fosforado o hierro, aunque estos no tienen tan buena resistencia a la corrosión y el residuo es bastante ácido. El tanque, de acero inoxidable también, tiene un costo de Q1,850.00 y una capacidad para 50 L. Para disminuir el gasto en lo que se refiere al tanque, sería una buena opción utilizar un tanque plástico. El precio disminuye notablemente siendo el costo del tanque plástico de Q120.00, para una capacidad de 50 L. La tubería y la válvula no implican un gasto excesivo, se estaría hablando de aproximadamente 2 metros de tubería de hierro galvanizado de 2 ½ " con un costo de Q169.00 y una válvula del mismo diámetro con un costo de Q450.00. El total de la inversión sería de Q18,469.00 usando un tanque de acero inoxidable y de Q16,739.00 si se utiliza un tanque plástico. Esto es la inversión para el sistema de recolección en un solo horno.

IX. CONCLUSIONES

1. La composición del residuo líquido de la carbonización por pirolisis de madera de Encino analizado consiste en un 65% de agua, 31.5% de ácido acético y pequeñas cantidades de cetonas, fenol, maltol y metanol. Para el residuo líquido de madera de Pino analizado la composición es de 65% de agua, 30.5% de ácido acético y pequeñas cantidades de ácido fórmico, cetonas, fenol, maltol y formaldehído.
2. La concentración de elementos mayores y menores en el residuo líquido de la carbonización por pirolisis de madera de Encino se ve predominada por 759.50 ppm N, 4544.00 ppm Ca y 62.40 ppm Mn, además se presentan concentraciones bajas de fósforo, potasio, magnesio, cobre, hierro y zinc. Para el residuo líquido proveniente de la pirolisis de madera de Pino la concentración predominante es de 185.50 ppm N y 92.00 ppm Fe. Se presentan pequeñas concentraciones de potasio, fósforo, calcio, magnesio, cobre, manganeso y zinc.
3. El residuo líquido de la carbonización por pirolisis de madera de Encino analizado tiene un pH de 3.90 y el residuo de Pino uno de 2.90.
4. Las propiedades químicas de los residuos líquidos de la carbonización por pirolisis de madera de Pino y Encino son similares a las del agua debido al alto porcentaje de presencia de ésta.
5. El residuo líquido de la carbonización por pirolisis de madera de Pino y Encino puede ser utilizado como fertilizante líquido si se diluye a un 10% y se aplica cada dos días a la raíz de la planta de frijol.
6. La inversión que requeriría la implementación del sistema propuesto para la recuperación del residuo líquido en los hornos es de Q18,469.00 si se utiliza un tanque de acero inoxidable y de Q16,739.00 si se utiliza un tanque plástico.

X. RECOMENDACIONES

- La prueba del uso de los residuos como fertilizante fue realizada en muestras de plantas de frijol sembradas en algodón, por lo que el porcentaje de residuo en el fertilizante es aplicable en estas condiciones. Al querer utilizar el residuo como fertilizante en cosechas, tanto de frijol como de cualquier otro producto, es indispensable el realizar pruebas previas. Se recomienda un análisis de suelos para la determinación de los nutrientes que la tierra aportará a la cosecha. Además, se debe analizar cuáles con los requerimientos específicos del cultivo que se esté haciendo. Basándose en los resultados obtenidos en esos análisis, puede, entonces, agregarse el residuo diluido a la concentración requerida para aportar los nutrientes necesarios.
- Este trabajo presenta únicamente una introducción al tema del uso del residuo líquido de la carbonización de madera de Pino y Encino por medio de pirolisis como abono. Un ingeniero agroforestal o agrónomo podría continuar con la investigación, estudiando más a fondo sus efectos y los distintos factores influyentes. De esta manera, podría producirse un abono más específico.
- En cuanto a los efectos ambientales que el uso del residuo líquido de la carbonización de madera de Pino y Encino por medio de pirolisis como abono puede mostrar, podría presentarse la contaminación de aguas. Por esto, se refiere al *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y la disposición de lodos*, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. En dicho reglamento se debe prestar atención al Capítulo VII Parámetros de Aguas para Reuso, Artículo No. 35 Autorización de Reuso, Tipo I Reuso para Riego Agrícola en general.
- Un médico homeópata podría estudiar los posibles usos del residuo como medicina. En la literatura se encontró que todo residuo proveniente de la madera contiene dimetil sulfóxido, el cual tiene varios usos medicinales. Por ejemplo, para el alivio de la cistitis intersticial, como anestesia para la remoción de cálculos en los riñones y la vesícula, para el alivio de úlceras y para medicina veterinaria.
- Si se quisiera implementar el sistema propuesto para la recolección del residuo líquido del horno, se recomienda se utilice un tanque plástico para disminuir notoriamente la inversión, además, este cumpliría su función sin ningún daño. También se recomienda utilizar un condensador pequeño de bronce fosforado o hierro, aunque antes se tendrían que llevar a cabo pruebas para determinar si son resistentes a la acidez del líquido y si mostrarán problemas graves de corrosión.

XI. BIBLIOGRAFÍA

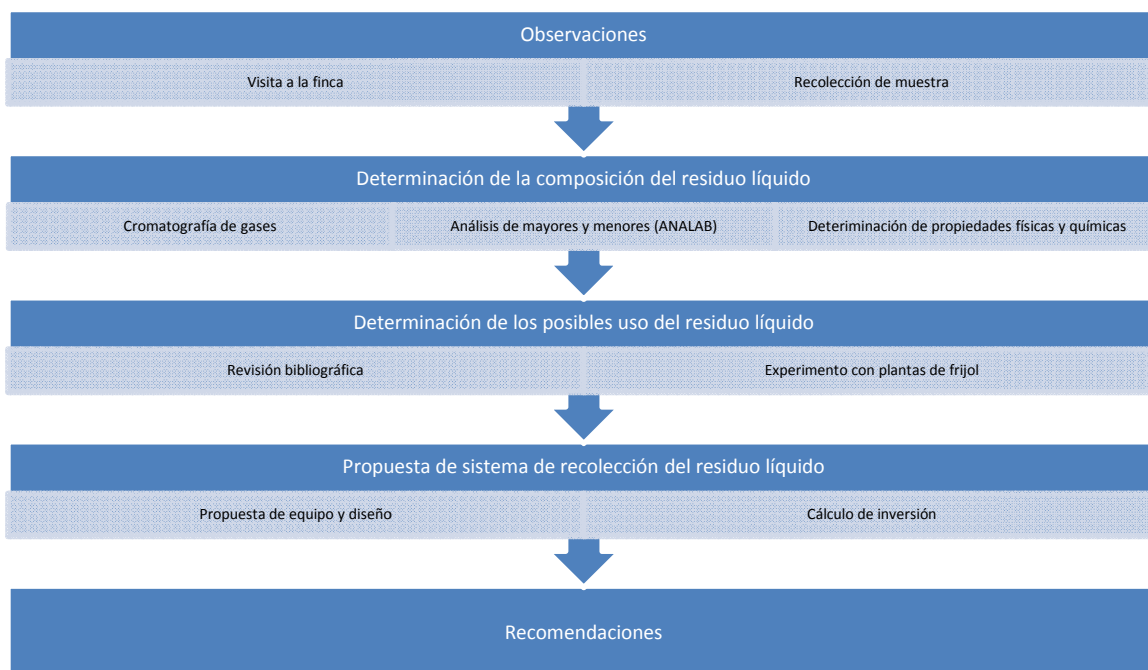
1. Aragón, M. 2008. Administrador de la Finca Lagunilla, Jalapa, Guatemala.
2. Karch, G.E. 1981. *Study of traditional charcoal making techniques*. Cameroun Ministry of Mines and Energy. PAO Project Workinff Document No. 2. Yaounde, Cameroun.
3. Lesme, R. 2006. *Pirólisis de Biomasa. Experiencia y aplicaciones*. CEEFE.
4. Márquez Montesino, F. 2008. *Transformación térmica de la madera*. Universidad de Pinar del Río. <http://www.Transformaci%C3%B3n%20t%C3%A9rmica%20de%20la%20madera.htm>
5. Sadakichi Kishimoto. 1998. *El carbón vegetal*. Soshinsha.
6. Sadakichi Kishimoto. 1997. *Diccionario de la utilización del carbón vegetal y el vinagre de la madera*. Soshinsha.
7. Ongataissonippinkenkyujo. 1998. *Guía de elaborar el carbón vegetal*. Soshinsha.
8. ATSDR Agency for Toxic Substances & Disese Registry. 2002. *Creosta de Madera, creosta de alquitrán de hulla y alquitrán de hulla (creoste)*. Department of Health and Human Services. http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs85.html
9. DOF. 2007. *Alquitranes de Madera; aceites de alquitrán de madera; creosta de madera; merileno (nafta de madera); pez vegetal; pez de cerveceria y preparaciones similares a base de colofonia, de ácidos resínicos o de pez vegetal*. http://www.aduanas-mexico.com.mx/cgi-bin/ctarnet/notas_ex/not_3807.html
10. Egenberg, I. y Glastrup, J. 2000. *Composition of Kiln-Produced Tar*. <http://www.natmus.dk/cons/lab/tjaere/tjaere.pdf>
11. Kaye, T. 1997. *Pine Tar; History and Uses*. Maritime Park Association. <http://www.maritime.org/conf/conf-kaye-tar.htm>
12. Kroger, A. 2006. *Morfología y usos productivos de la Madera*. <http://www.gtiuruguay.com/madera.htm>

13. Senovilla, L., De Torre, C. y Antolín, G. 2006. *Aprovechamiento de Biomasa lignocelulósica mediante pirolisis*. Fundación Cartif, Parque Tecnológico de Boecillo.
http://www.energetica21.com/articulos/bm/2006/bm_ene06_1.pdf

IX. APÉNDICE

A. Procedimiento

Gráfico No. 4 Diagrama de procedimiento



B. Datos originales

Tabla No. 7 Mediciones tomadas para cálculo de densidad de los residuos

Muestra	Volumen 1 (± 0.1 mL)	Peso 1 (± 0.05 g)
Pino 1	20	19.7
Pino 2	20	20.1
Pino 3	20	19.9
Encino 1	20	20.4
Encino 2	20	20.2
Encino 3	20	19.9

C. Cálculos de muestra

- Cálculo de la densidad del residuo líquido

La determinación de la densidad se calcula utilizando el peso de un volumen conocido del residuo. Con función de ejemplificar se muestra el cálculo para la determinación de la densidad de la primera muestra del residuo líquido de Pino.

$$\rho = \frac{\text{peso}}{\text{volumen}}$$

(Ecuación No. 1)

$$\rho = \frac{19.7 \pm 0.05g}{20 \pm 0.1mL} = 0.985 \pm 0.006 \frac{g}{mL}$$

D. Análisis de error

1. Análisis estadístico

- Media

La media se utiliza para sacar el promedio de una serie de datos, en pocas palabras permite conocer el valor central de un conjunto de datos. Se ejemplifica la media de densidades calculadas para el residuo de Pino.

$$m = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

(Ecuación No. 2)

$$m = \frac{0.9850 + 1.0050 + 0.9950}{3} = 0.9950 \frac{g}{mL}$$

- Desviación estándar

La desviación estándar se utiliza para el cálculo de la dispersión de una serie de datos, y en este caso, se presenta cuando se da un resultado como un promedio de varios datos obtenidos. Por ejemplo, para el cálculo de la densidad promedio del residuo de Pino. La desviación estándar se calcula utilizando las funciones de Excel, en este caso, STDEV.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

(Ecuación No. 3)

$$s = \sqrt{\frac{(0.9850 + 1.0050 + 0.9950)^2}{2}} = 0.0100$$

2. Propagación de error

- Incertidumbre para multiplicaciones y divisiones

Se ejemplifica el cálculo de la incertidumbre para de la densidad de la primera muestra del residuo líquido de Pino.

$$s_y = y \sqrt{\left(\frac{s_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{s_b}{b}\right)^2 + \dots + \left(\frac{s_n}{n}\right)^2} \quad (\text{Ecuación No. 4})$$

$$s_y = 0.9850 \sqrt{\left(\frac{0.05}{19.7}\right)^2 + \left(\frac{0.1}{20}\right)^2} = 0.0055$$

E. Datos calculados

Tabla No. 8 Densidades calculadas para los residuos de Pino y Encino

No. Muestra	Pino	Encino
1	0.9850 ± 0.0055	1.0200 ± 0.0057
2	1.0050 ± 0.0056	1.0100 ± 0.0056
3	0.9950 ± 0.0056	0.9950 ± 0.0056
Promedio	0.9950 ± 0.0100	1.0083 ± 0.0126

Figura No. 8
Cromatograma No. 1 de referencia

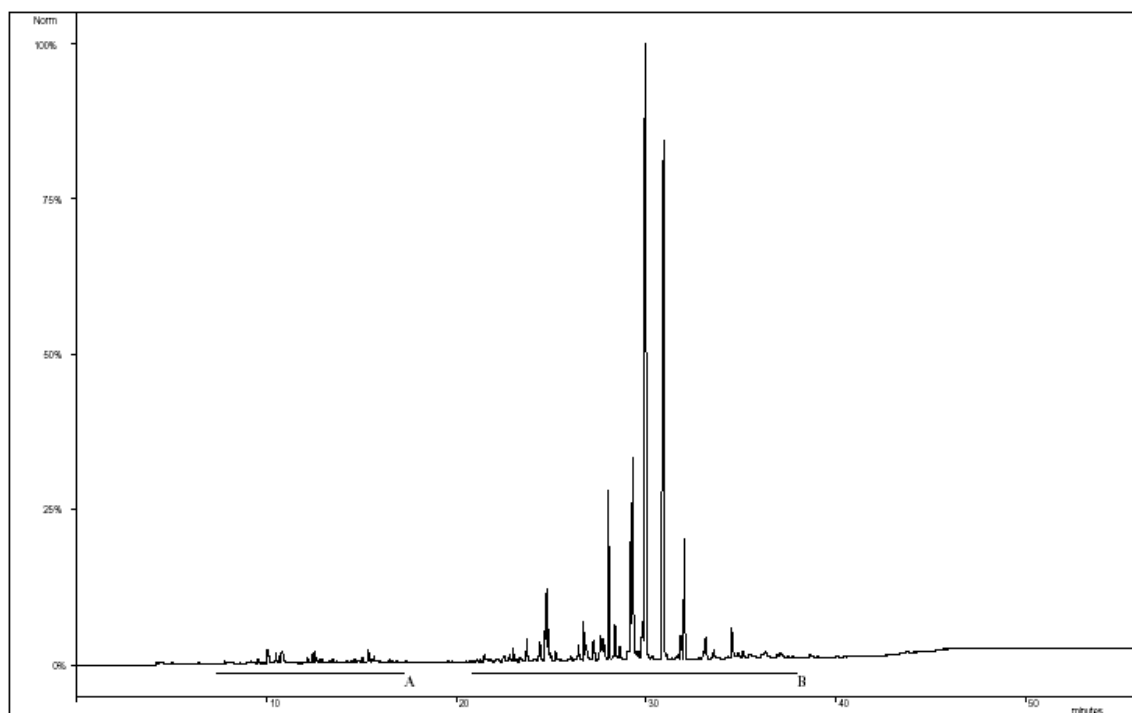


Figure 2. Chromatogram of "Skjåk A". A is the region in which the mono- and sesquiterpenes and the substituted benzenes are found. B is the region of the diterpenes, together with few other components.

Figura No. 9
Cromatograma No. 2 de referencia

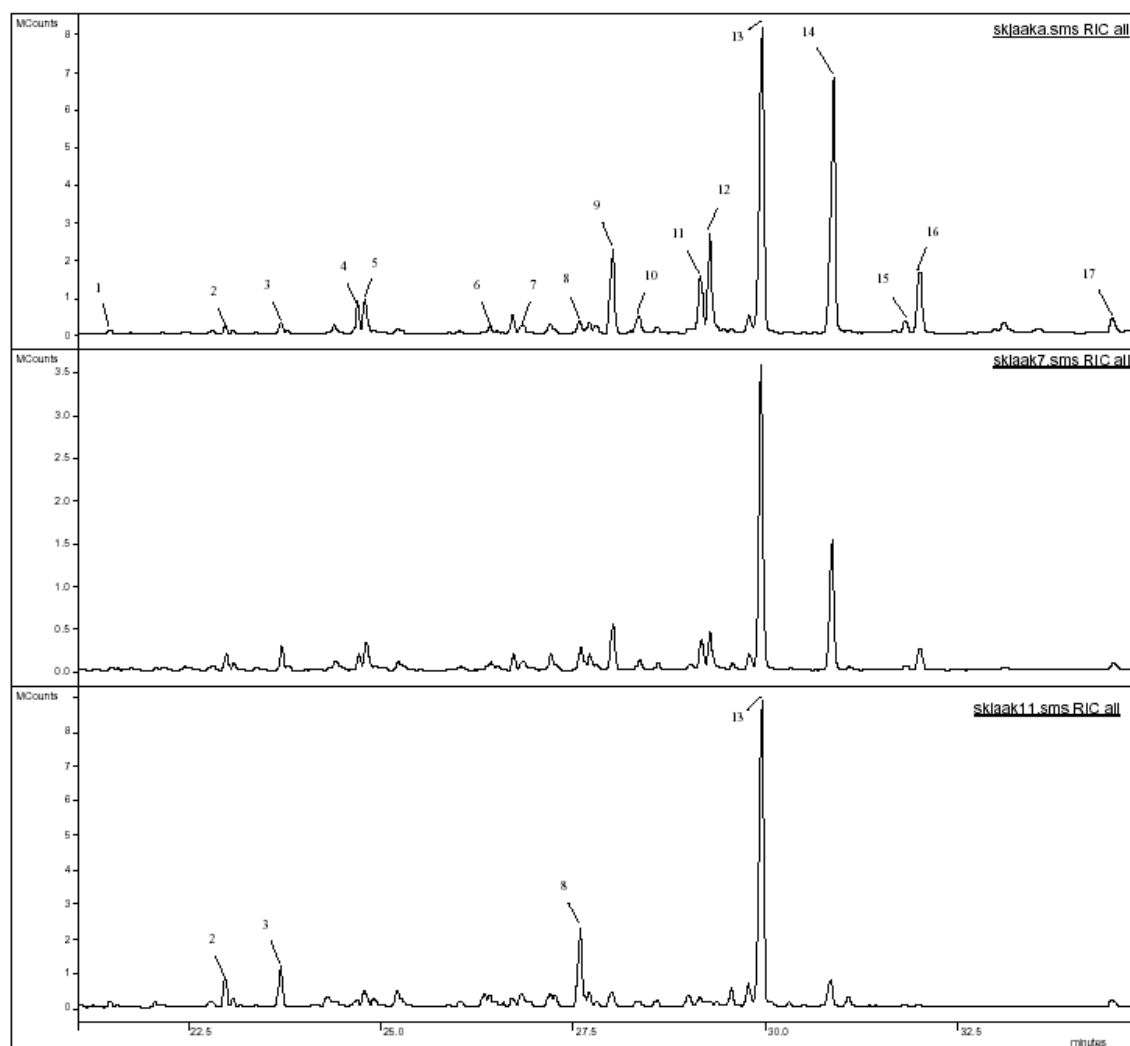
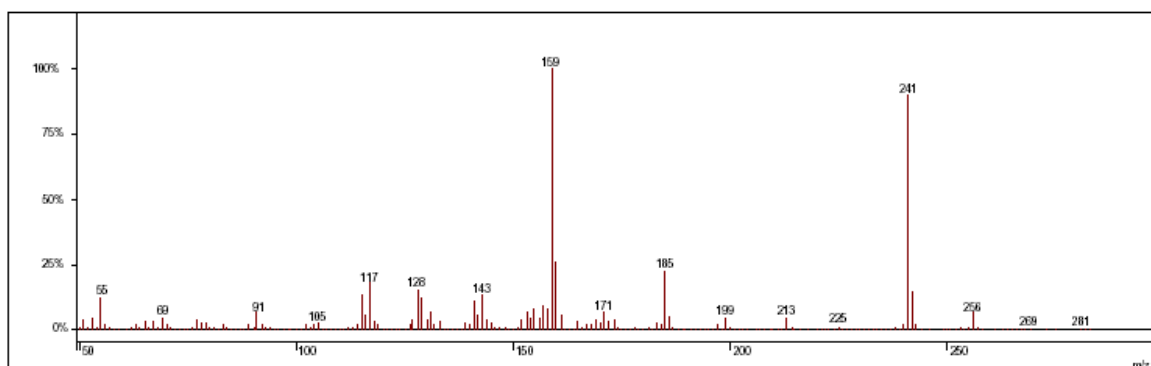


Figure 3. The development in composition of the components of the diterpenes, the B region, from the samples “Skjåk A”, “Skjåk 7” and “Skjåk 11”. The names and concentrations of the components are found in table 2.

Figura No. 10
Espectro de referencia

Scan 1380



Scan 1421

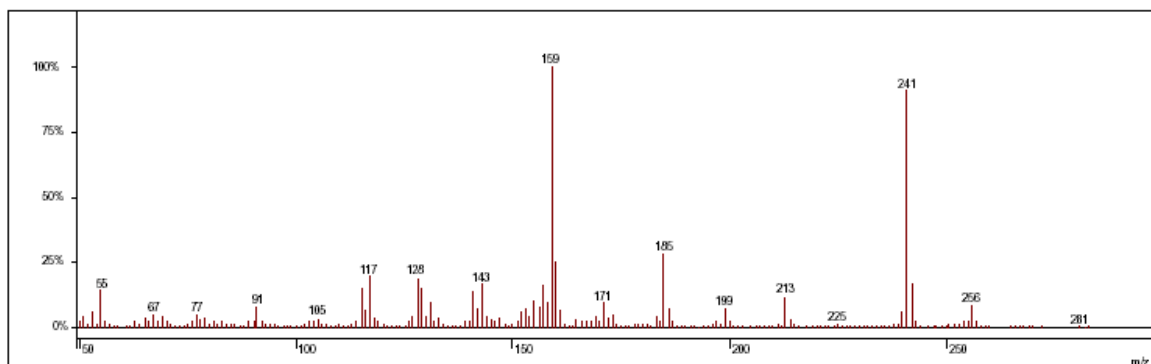


Figure 4. The mass spectra of the two norabietatriene components.

NOTA: Metodología de obtención de los cromatogramas

Los 6 siguientes cromatogramas se obtuvieron utilizando el cromatógrafo de gases con detector de masas del Laboratorio de Instrumental Avanzado de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura No. 11 Cromatograma 2 de Encino

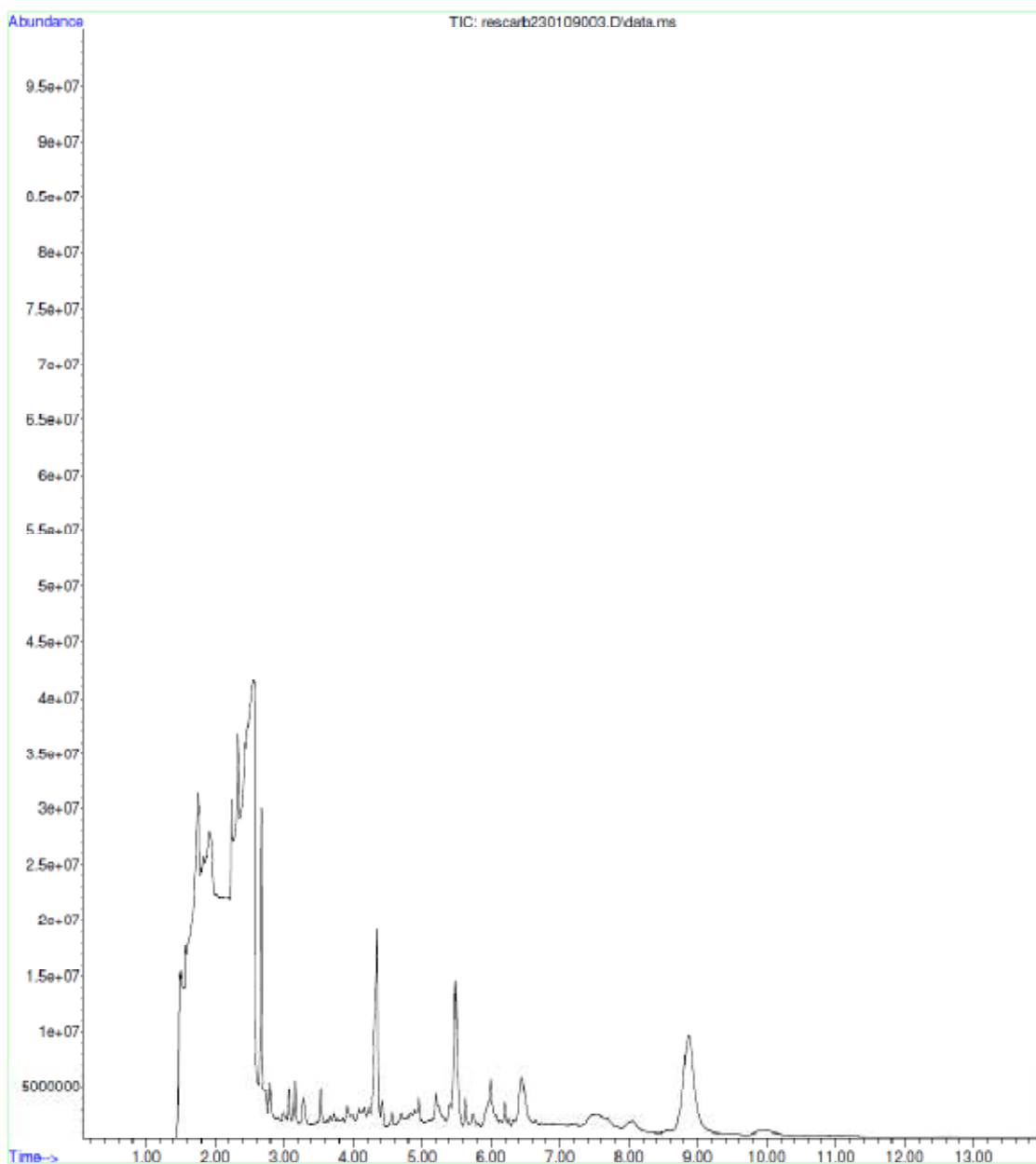


Figura No. 12 Cromatograma 3 de Encino

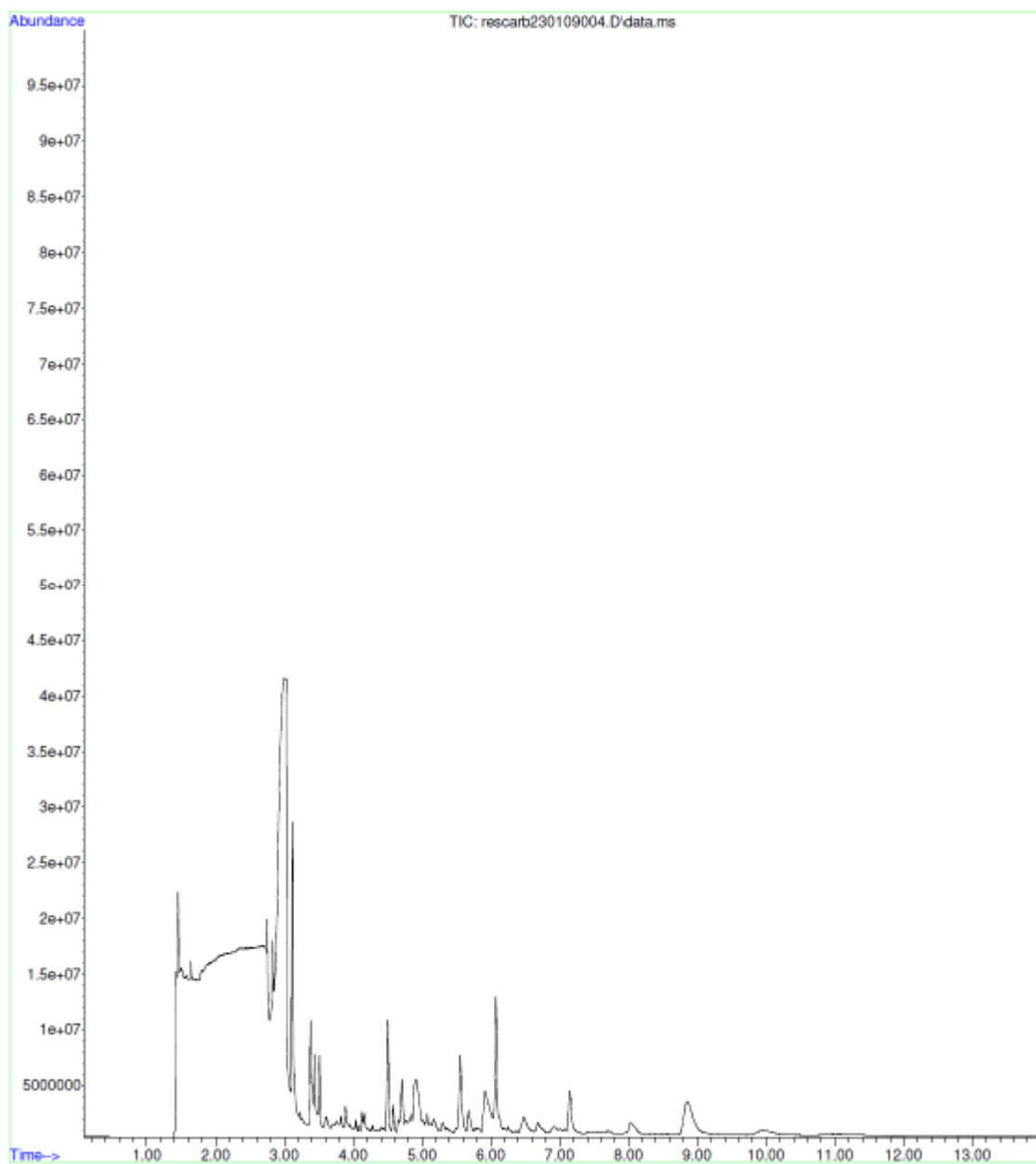


Figura No. 13 Cromatograma 4 de Encino

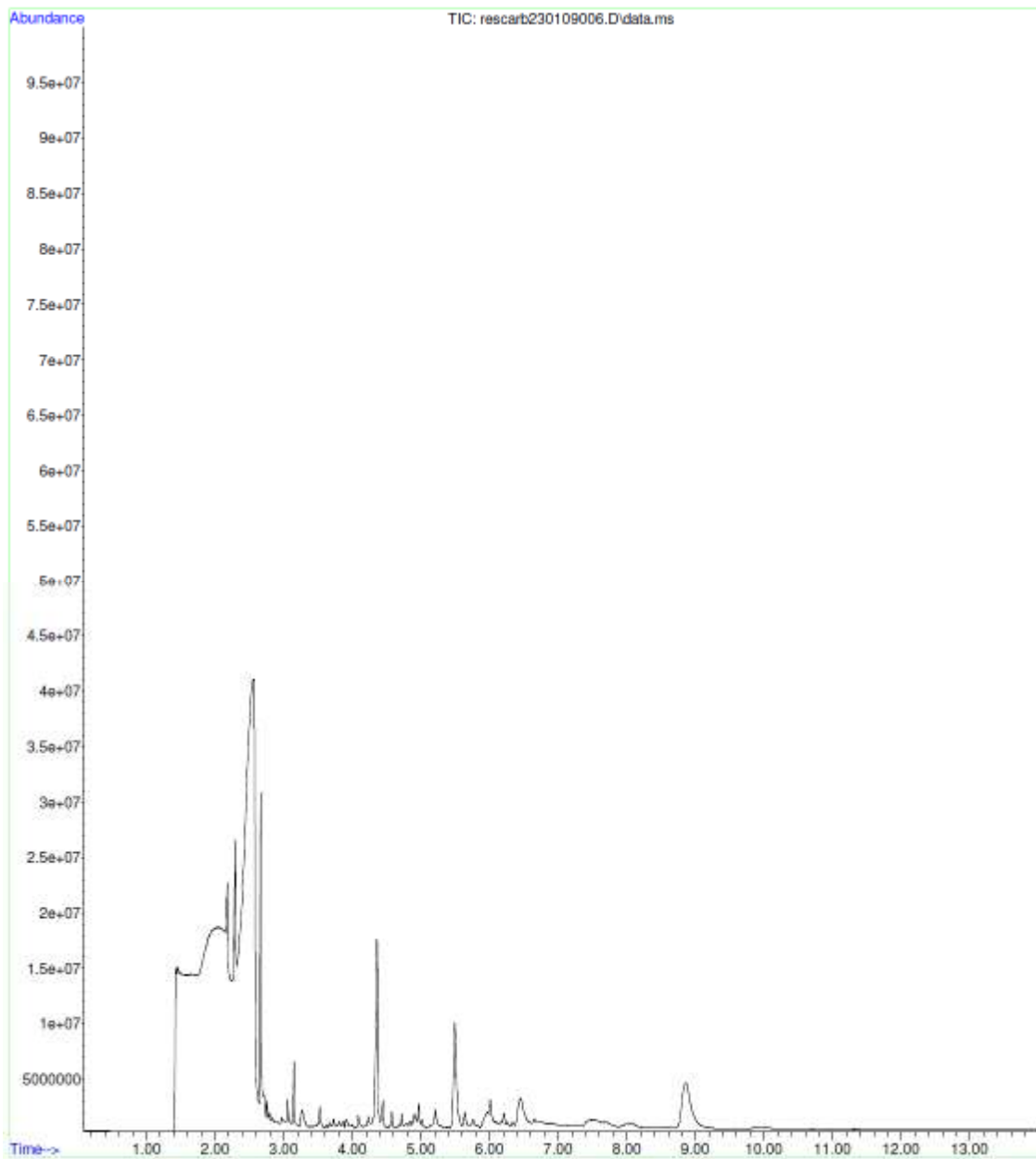


Figura No. 14 Cromatograma 2 de Pino

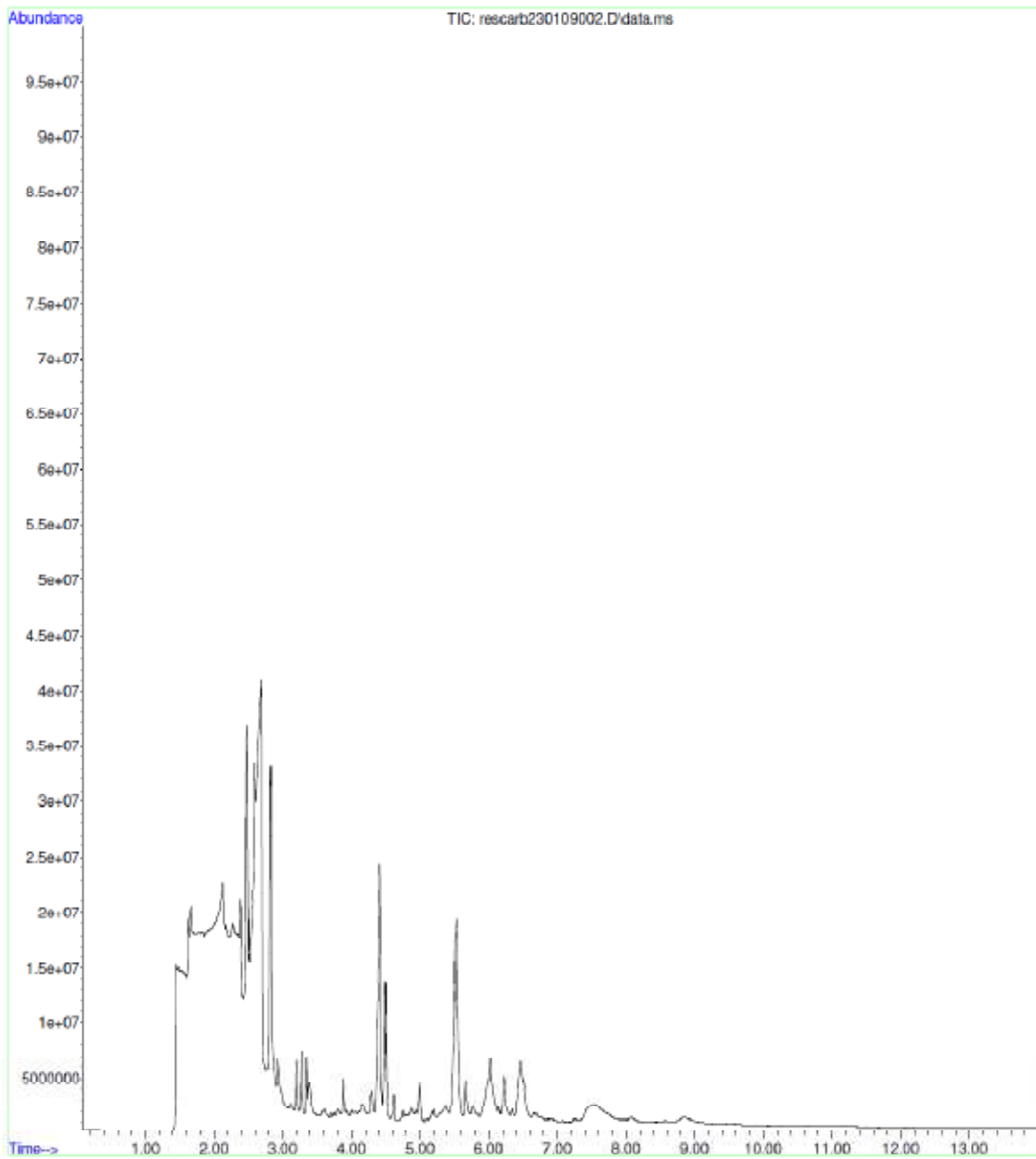


Figura No. 15 Cromatograma 3 de Pino

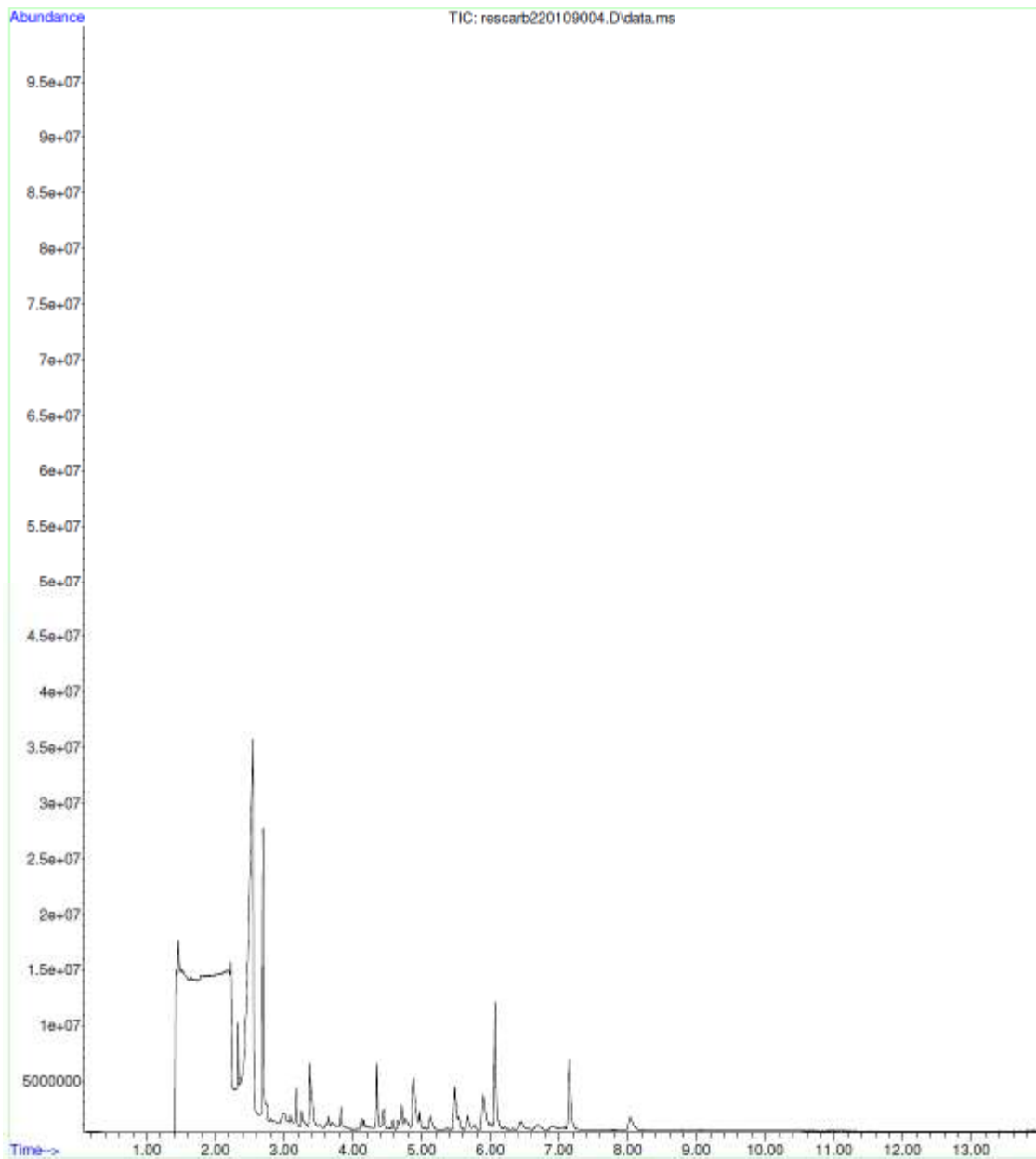


Figura No. 16 Cromatograma 4 de Pino

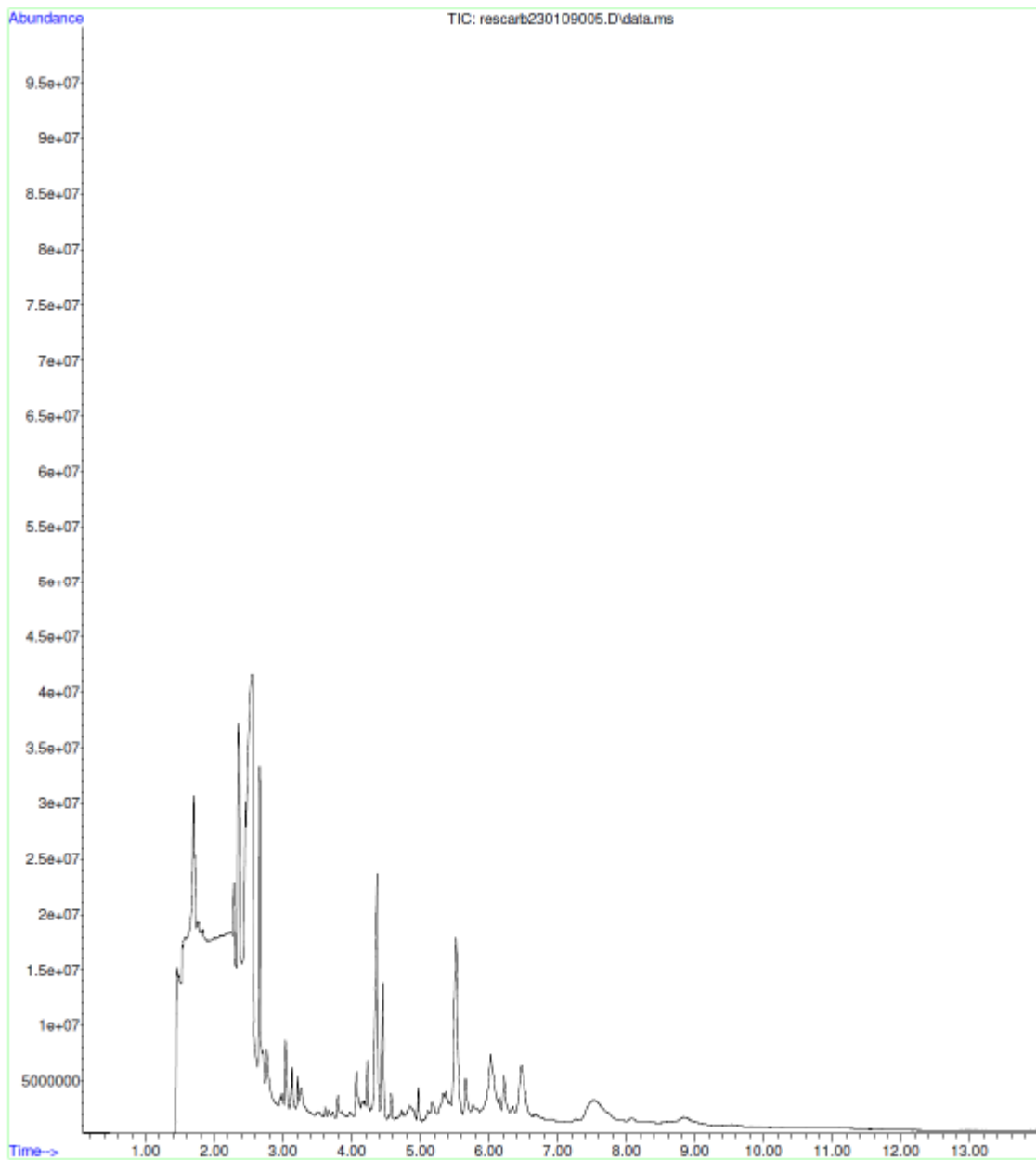


Figura No. 17 Copia de los resultados originales enviados por ANALAB para la muestra de Encino

Orden: 21077
 Propietario: MOLL SANTA CRUZ, FERNANDO
 Finca: S/N
 Localización: Guatemala, GUATEMALA



ABONO ORGANICO LIQUIDO

RESULTADOS DE LABORATORIO

No. de Lab.	Identificación	ppm										PH
		N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn		
116544	ENCINO	759.50	0.01	11.20	4644.00	45.20	0.24	29.20	62.40	0.04	3.90	

Fecha de Ingreso: Martes 03 de Marzo de 2009
 Fecha de Entrega: Viernes 13 de Marzo de 2009

Ing. Humberto Jiménez
 Jefe Laboratorio de Suelos

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida 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.

Figura No. 18 Copia de los resultados originales enviados por ANALAB para la muestra de Pino

Orden: 21076
 Propietario: MOLL SANTA CRUZ, FERNANDO
 Finca: S/N
 Localización: Guatemala, GUATEMALA



RESULTADOS DE LABORATORIO

No. de Lab.	Identificación	ppm									
		N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	PH
116543	PINO	185.50	0.01	2.03	22.70	1.77	0.13	82.00	0.70	0.06	2.90

Ing. Humberto Jiménez
 Jefe Laboratorio de Suelos

Fecha de Ingreso: Lunes, 16 de febrero de 2009
 Fecha de Entrega: Jueves, 25 de febrero de 2009

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida 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.

Fotografía No. 12 Planta con abono de Encino al 10%, aplicado cada 2 días, en el último día de la prueba



Fotografía No. 13 Planta con abono de Encino al 10%, aplicado cada 2 días, en el último día de la prueba (2)



Fotografía No. 14 Planta con abono de Pino al 10%, aplicado cada 2 días, en el último día de la prueba



Fotografía No. 15 Planta con abono de Pino al 10%, aplicado cada 2 días, en el último día de la prueba (2)



Fotografía No. 16 Planta control en el último día de la prueba



Fotografía No. 17 Comparación de la planta con abono de Encino, Pino y planta control.

