



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos del *Saccharum officinarum* por
pirólisis para la obtención de bio-oil, Chongoyape 2018**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

AUTORA:

Cotrina Saavedra Sarita Ximena

ASESOR:

M. Sc. Cermeño Castromonte Cecilia Libia

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2018

DEDICATORIA

La presente tesis va dedicado a mi madre Sara y hermana Josselin, quienes fueron mi fuente de soporte, inspiración y superación en cada momento de mi vida, gracias por darme su amor infinito.

Todo su sacrificio será recompensado.

INDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	III
ACTA DE APROBACION DE LA TESIS	IV
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD.....	V
INDICE	VI
RESUMEN.....	X
ABSTRACT	XI
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MÉTODO	30
2.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	30
2.2 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	31
2.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	35
2.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD	36
2.5 PROCEDIMIENTO	38
2.6 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS.....	45
2.7 ASPECTOS ÉTICOS	45
III. RESULTADOS	46
IV. DISCUSION	62
V. CONCLUSIONES	64
VI. RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS	66
ANEXOS.....	69

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. TAXONOMÍA DE LA CAÑA DE AZÚCAR	13
TABLA 2: COMPOSICIÓN QUÍMICA DE MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS (%)	16
TABLA 3. DIFERENTES CLASIFICACIONES DE LOS PROCESOS DE PIRÓLISIS .	17
TABLA 4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA PIROLISIS RÁPIDA	23
TABLA 5. PASOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIO-OIL	25
TABLA 6. MATRIZ OPERACIONAL.....	32
TABLA 7. COORDENADAS UTM DE PUNTOS DE TRABAJO.....	34
TABLA 8: INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN POR ETAPA	36
TABLA 9: LISTA DE EXPERTOS EVALUADORES DE LOS INSTRUMENTOS	38
TABLA 10. PROCEDIMIENTO DE LOS ANÁLISIS FÍSICOS DEL RESIDUO LIGNOCELULÓSICO	41
TABLA 11. MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS EN EL PROCESO.....	45
TABLA 12: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS DEL <i>SACHARUM OFFICINARUM</i>	46
TABLA 13. RELACIÓN ENTRE HUMEDAD Y PODER CALORÍFICO	47
TABLA 14. COMPARACIÓN DE ANÁLISIS PRÓXIMO	47
TABLA 15: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS DEL <i>SACHARUM OFFICINARUM</i>	48
TABLA 16: PESO DE PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA PIRÓLISIS AL VACÍO ..	50
TABLA 17: RENDIMIENTO DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS (BIO-OIL, BIO- CHAR Y BIOGÁS) DE LA PIRÓLISIS	50
TABLA 18: PROPIEDADES FÍSICAS DEL BIO-OIL.....	53
TABLA 19: COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE BIO-OILS	53
TABLA 20: DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS QUÍMICOS ORGÁNICOS.....	54
TABLA 21: PRUEBAS DE NORMALIDAD	57
TABLA 22: PRUEBA PARAMÉTRICA ANOVA PARA EL RENDIMIENTO OBTENIDO A PARTIR DE	59
LOS 3 TRATAMIENTOS	59
TABLA 23: PRUEBA DE NORMALIDAD DE LA COMPOSICIÓN FÍSICA DEL RESIDUO LIGNOCELULÓSICO DEL <i>SACHARUM OFFICINARUM</i>	60
TABLA 24: PRUEBA DE NORMALIDAD DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL RESIDUO LIGNOCELULÓSICO DEL <i>SACHARUM OFFICINARUM</i>	61

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PARTES DE LA CAÑA DE AZÚCAR.....	15
FIGURA 2. APLICACIONES DE LOS PRODUCTOS DE PIROLISIS RÁPIDA	19
FIGURA 3. ESQUEMA DEL REACTOR DE PIROLISIS RÁPIDA EN LECHO FIJO .	20
FIGURA 4. ESQUEMA DEL REACTOR DE PIROLISIS RÁPIDA EN LECHO FLUIDIZADO	20
FIGURA 5. ESQUEMA DEL REACTOR DE PIROLISIS RÁPIDA EN LECHO CIRCULANTE	21
FIGURA 6. ESQUEMA DEL REACTOR DE ABRASIÓN PARA PIROLISIS RÁPIDA	22
FIGURA 7. ESQUEMA DEL REACTOR DE PIROLISIS RÁPIDA EN LECHO CIRCULANTE	22
FIGURA 8. ESQUEMA DE UN REACTOR DE CONO ROTARIO PARA PIROLISIS RÁPIDA	23
FIGURA 9. ESQUEMA DEL ENSAMBLE DE LOS EQUIPOS PARA EL EXPERIMENTO DE PIROLISIS	27
FIGURA 10: UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	34
FIGURA 11. FLUJOGRAMA DEL PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN	39
FIGURA 12. TERMOGRAVIMETRÍA DEL RESIDUO LIGNOCELULÓSICO <i>SACHARUM OFFICINARUM</i>	49
FIGURA 13. ESPECTRO IR DEL BIO-OIL A 550 °C PRODUCTO DE LA PIROLISIS DE LA HOJA DE CAÑA DE AZÚCAR	56
FIGURA 14. ESPECTRO IR DEL BIO-OIL A 400°C, 550°C, 650°C PRODUCTO DE LA PIROLISIS DE LA HOJA DE CAÑA DE AZÚCAR. BÚSQUEDA ESPECTRAL REALIZADA CON IRSOLUTION	56
FIGURA 15. RECORRIDO AL CAMPO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS	76
FIGURA 16. RECOLECCIÓN DE LAS HOJAS DE CAÑA DE AZÚCAR.....	76
FIGURA 17. PARTES DE LA CAÑA DE AZÚCAR UTILIZADA	77
FIGURA 18. PESADO DE LAS HOJAS DE CAÑA DE AZÚCAR.....	77
FIGURA 19. SECADO DE LAS HOJAS DE CAÑA POR UN DÍA AL AIRE LIBRE ...	78
FIGURA 20. MOLINO.....	78
FIGURA 21. TAMIZADO DE LA MATERIA PRIMA.....	79
FIGURA 22. EQUIPOS UTILIZADOS EN LA CARACTERIZACIÓN	79
FIGURA 23. PARTES DEL EQUIPO DE PIROLISIS	80
FIGURA 24. EQUIPO DE PIROLISIS AL VACÍO.....	80
FIGURA 25. RECOLECCIÓN DEL BIO-OIL	81
FIGURA 26. BOMBA CALORIMÉTRICA.....	81
FIGURA 27. VISCOSÍMETRO Y EQUIPO DE AGUA POR ARRASTRE	82
FIGURA 28. BIO-OIL Y BIO-CHAR	82

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA	69
ANEXO 2: FICHA DE REGISTRO DE MUESTREO DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS DEL <i>SACCHARUM OFFICINARUM</i>	71
ANEXO 3: FICHA DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS HOJAS DE CAÑA DE AZÚCAR	72
ANEXO 4: FICHA DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS HOJAS DE CAÑA DE AZÚCAR	72
ANEXO 5: FICHA DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL BIO-OIL	73
ANEXO 6: DATOS REGISTRADOS DURANTE EL PROCESO	73
ANEXO 7: REGISTRO DE PESOS DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA APLICACIÓN DE PIRÓLISIS	74
ANEXO 8: RENDIMIENTO DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA APLICACIÓN DE PIRÓLISIS	75
ANEXO 9: RECONOCIMIENTO DEL ÁREA DE ESTUDIO	76
ANEXO 10: MOLIENDA DEL RESIDUO LIGNOCELULÓSICO.....	78
ANEXO 11: CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO LIGNOCELULÓSICO.....	79
ANEXO 13: CARACTERIZACIÓN DE BIO-OIL	81
ANEXO 14. PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA PIRÓLISIS	82
ANEXO 15: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS	83
ANEXO 16: RESULTADOS VALIDADOS.....	89
ANEXO 17: ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS	93
ANEXO 18: PANTALLAZO DE TURNITIN	94
ANEXO 19: AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV.....	95

RESUMEN

En esta investigación se tuvo como objetivo general evaluar la eficiencia del aprovechamiento de residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum* en la obtención de bio-oil, Chongoyape; en el cual se recolectó 15 kg de hojas de caña de azúcar en verde para luego ser secado por dos días al aire libre con el fin de reducir la cantidad de agua. Para obtener el bio-oil se utilizó la pirólisis con reactor al vacío, los tratamientos empleados fueron tres temperaturas 400°C, 550°C y 650°C; se utilizó una muestra de 50 g con tamaño de partícula de 0.85 mm para entrar al reactor. Se trabajó con una velocidad de calentamiento promedio de 9.06°C/min, la presión de la pirólisis se mantuvo en 16.66 kPa, la temperatura del horno 1100°C, la temperatura del baño de enfriamiento se mantuvo controlada a menos 1 °C. Los resultados en gramos de los productos obtenidos se determinaron por diferencia, para el líquido y sólido, por diferencia de pesos de tren de condensación y del reactor al inicio y final. La aplicación de los tratamientos tuvo una duración de 12 días. Los resultados obtenidos fueron para el tratamiento N°1 (400°C) 41.5%, en el tratamiento N°2 (550°C) 42.5% y el tratamiento N°3 (650°C) 39.4%. Siendo la temperatura óptima que maximizó el rendimiento la de 550°C.

Palabras claves: Residuos lignocelulósicos de caña de azúcar, pirolisis, bio-aceite

ABSTRACT

In this research, the general objective was to evaluate the efficiency of the use of lignocellulosic waste from the *Sacharum Officinarum* in the production of bio-oil, Chongoyape; in which 15 kg of sugar cane leaves were collected in green and then dried for two days in the open air in order to reduce the amount of water. To obtain the bio-oil pyrolysis was used with a vacuum reactor, the treatments used were three temperatures 400°C, 550°C and 650°C; a 50 g sample with a particle size of 0.85 mm was used to enter the reactor. We worked with an average heating speed of 9.06 ° C / min, the pyrolysis pressure was maintained at 16.66 kPa, the furnace temperature 1100 ° C, the temperature of the cooling bath was controlled at minus 1 ° C. The results in grams of the products obtained were determined by difference, for the liquid and solid, by difference of weights of condensation train and reactor at the beginning and end. The application of the treatments lasted 12 days. The results obtained were for treatment N°1 (400°C) 41.5%, in treatment N°2 (550°C) 42.5% and treatment N°3 (650°C) 39.4%. Being the optimum temperature that maximized the performance of 550°C.

Keywords: Lignocellulosic residues of sugarcane, pyrolysis, bio-oil

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el tema de residuos en cuanto a su gestión y manejo resulta ser un problema ambiental, es por ello que se busca usos alternativos con el fin de reducir los daños al ambiente y salud de la población. Al respecto, el Decreto Legislativo del Ministerio del Ambiente menciona que, “constituyen operaciones de valorización material: la reutilización, reciclado, compostaje, recuperación de aceites, bio-conversión, entre otras alternativas que, a través de procesos de transformación física, química, u otros, demuestren su viabilidad técnica, económica y ambiental” (D.L N°1278, 2018).

En los campos de cultivo de caña de azúcar se puede identificar a los residuos lignocelulósicos o también llamado comúnmente hojas de caña de azúcar conformado por las hojas y vaina o yagua; existe disponibilidad de esta biomasa al practicar la cosecha verde, y se considera fuente potencial para una demanda de energía sostenible que al evaluar las características químicas de “la biomasa difiere de los combustibles fósiles como el carbón y petróleo principalmente por la gran cantidad de oxígeno presente, así mismo por la configuración estereoquímica de sus constituyentes (Mohan et al, 2006). Asimismo, la mezcla compleja característica de estos residuos son la lignina, celulosa y hemicelulosa que con las condiciones de reacción adecuadas permite la obtención de un producto alternativo que evite impactos al ambiente.

La preocupación está en que, con el fin de eliminar a estos residuos, facilitar el corte del tallo y eliminar plagas en la cosecha tradicional de la caña de azúcar, se recurre a la tradicional quema de caña de azúcar. En consecuencia, esta actividad genera grandes cantidades de emisiones de gases que alteran la calidad del aire, destruye la actividad microbiológica debido a las altas temperaturas en el suelo, deteriora la calidad del suelo y ocasiona trastornos a la salud de los pobladores de Chongoyape debido al humo y cenizas liberadas.

En tal sentido, es que se busca la manera de aprovechar estos residuos lignocelulósicos, con el fin de darle un aprovechamiento en el concepto de que los residuos agrícolas son una oportunidad económica y ambiental; por tanto, se pretende desarrollar el proceso termoquímico pirólisis para la obtención de bio-oil. Esta alternativa representa también una

solución para reemplazar la energía de fuente fósil, ya que su uso genera grandes cantidades de gases de efecto invernadero; mitigar estos impactos es todo un reto en el marco de cumplir con el objetivo de adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos en el ambiente.

Es por ello, que esta investigación tiene como objetivo general evaluar la eficiencia del aprovechamiento de residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum* en la obtención de bio-oil, Chongoyape 2018; se tiene como objetivos específicos: (1) Determinar las características físicas y químicas de los residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum* que influyen en la obtención de bio-oil (2) Determinar la temperatura óptima que maximice el rendimiento del bio-oil en la pirólisis de los residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum*; (3) Determinar las propiedades físicas del bio-oil obtenido a partir del aprovechamiento de residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum* por pirólisis; la formulación de problemas e hipótesis se encuentran en el Capítulo I, siguiendo una secuencia lógica en el Capítulo II se describe la operacionalización de variables y el diseño de la investigación, también se explicaran las etapas del proceso de experimentación y las técnicas utilizadas para llevar a cabo la recolección de la biomasa, por último en el Capítulo III, se citan las discusiones de resultados, las conclusiones y recomendaciones en donde se dan sugerencias para las futuras investigaciones.

1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA

Para hacer más fácil la eliminación de plagas como ratones, serpientes y arañas, hojas secas y maleza tradicionalmente se queman los campos de cultivo de caña de azúcar, este problema ambiental se da en todos los países que cultivan esta gramínea (familia de las poáceas), salvo Australia, Cuba, Sudáfrica y en algunas plantaciones de Brasil. Para Laurel et al, (2012), la “quema del follaje y de las hojas de caña de azúcar es inapropiada en el marco de la sustentabilidad y la ecología”.

La quema de caña de azúcar trae consigo impactos ambientales negativos, principalmente la contaminación de aire por generación de gases tales como monóxido de nitrógeno, anhídrido sulfuroso, anhídrido carbónico, monóxido de carbono y óxido de azufre; además la presencia de cenizas puede dispersarse hasta 50 km aledaño al punto de origen. Otro impacto al ambiente es la alteración de las propiedades fisicoquímicas del suelo ya que al estar expuesto a altas temperaturas entre 600° C a 735 ° C el suelo pierde las condiciones necesarias para albergar a poblaciones microbianas, por consiguiente, se perdería el proceso de formación de materia orgánica y la productividad de los suelos.

Por otro lado, en el Perú existen aproximadamente 81 mil 231 hectáreas productivas de caña de azúcar, las cuales mantienen un rendimiento de 128,1 toneladas por hectárea, de esta forma este producto se ubica en el noveno lugar dentro del ranking del PBI agrícola nacional, según cifras del Ministerio de Agricultura. La producción nacional se ve reflejada dentro de dos departamentos los cuales son Lambayeque (33%) y La Libertad (44%) (RPP Noticias, 2017).

El lugar de estudio se encuentra en el distrito de Chongoyape, ubicado al Nor Este de la provincia de Chiclayo alrededor de unos 60 km, en el departamento de Lambayeque. El distrito es de clima cálido, seco y con lluvias concentradas entre diciembre y marzo; cuenta con una población de 25 400 habitantes, su economía está basada en la siembra de arroz y caña de azúcar, y también el maíz. Chongoyape al ser un distrito agricultor debe tomar en cuenta todas las medidas necesarias para mantener la economía, lo ambiental y social en equilibrio, es decir, crear sostenibilidad.

La época de quema de caña de azúcar en Chongoyape se da entre los meses de setiembre y diciembre, esto significa un grave problema que atenta con el medio ambiente considerando en primera instancia la alteración de la calidad del aire y suelo, además de la afectación a la salud de la población con el aumento de enfermedades respiratorias principalmente las de tipo asmática y bronquial dato que la dirección del viento básicamente para esta zona va desde el Suroeste (SO) para el Noreste (NE).

A pesar que no se cuenta con información específica de cuantas personas en este distrito están siendo afectadas con este tipo de enfermedades, el Centro Boliviano de Estudios Multidisciplinarios (CEBEM) explica que la población expuesta de forma directa o indirecta a este tipo de eventos puede presentar mayor riesgo de enfermedades respiratorias, disminución de la función pulmonar y enfermedades cardiovasculares; con este estudio se comprueba el daño que se viene originando a la población de Chongoyape.

Por ello, es necesario encontrar la manera de mejorar la cosecha de esta gramínea en cuanto a poder reemplazar el método de quema antes y después a la cosecha. En este contexto, encontrar la manera de evitar la quema de caña de azúcar es de gran premura, para ello se debe tener en cuenta en primer lugar el término cosecha verde, se considera de dos modos; con la cosecha en sí que implica el monitoreo constante y por otro lado el manejo de residuos agrícolas lignocelulósicos, es este caso las hojas de caña de azúcar.

Las hojas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) “es un residuo agrícola beneficioso para el hombre cuando se usa correctamente. Su quema es altamente destructiva si se realiza indiscriminadamente, genera daños al suelo y emite partículas de carbón vegetal que pasan directamente al medio ambiente [...]” (Tamara, et al., 2013).

En tal sentido, se dará el valor agregado a los residuos lignocelulósicos de la caña de azúcar considerando sus propiedades en cuanto a concentración de lignina, celulosa y hemicelulosa, se dará la descomposición térmica que ocurre en ausencia de oxígeno a través del proceso termoquímico llamado pirólisis, este proceso tiene como productos el bioaceite, gas y biocarbón, siendo el producto de interés para el trabajo de investigación la producción de bioaceite, o bio- oil (bio- petróleo).

Con respecto a lo mencionado, el fin de encontrar fuentes de energías sostenibles es tratar de mitigar los impactos negativos al ambiente, ocasionados por la combustión fósil utilizados habitualmente tales como el carbón, petróleo y gas natural. Además, es necesario mencionar, que “en el Perú, los biocombustibles que mayor interés han generado son el biodiesel y el bioetanol, ambos líquidos producidos en nuestro medio a partir de materias primas de origen agrícola, que están siendo utilizados como sustitutos del petróleo” (Hidrocarburos en el Perú, 2016).

Esta investigación plantea el aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos de la caña de azúcar obtenido de los campos de cultivo ubicado en el distrito de Chongoyape, para evitar la quema de los cañaverales y los consecuentes daños al ambiente y población, mediante el proceso termoquímico; pirólisis, el cual nos permitirá la obtención de bio-oil, un combustible líquido amigable con el ambiente.

1.2 TRABAJOS PREVIOS

BENÍTEZ, J. (2016), en su tesis “Estudio de la cosecha verde para el manejo sostenible de la caña de azúcar”, de la Universidad Católica de Ecuador, Ecuador; tiene como objetivo general analizar la cosecha en verde como práctica agrícola que evite la quema de los canteros y contribuya a la sostenibilidad del cultivo. Asimismo, el autor menciona que la quema de caña de azúcar puede ser cambiada por la práctica cosecha en verde, ya que esta disminuye los impactos negativos al ambiente convirtiéndose en la alternativa más factible para el aprovechamiento de los residuos agrícolas. El estudio de caso se realizó dentro de un diseño de campo descriptivo no experimental que incluye lo siguiente: Recopilación de la información de experiencias en el proyecto de cosecha en verde obtenidas en los Ingenios Valdez y San Carlos y documentadas por investigadores del Centro de Investigaciones de la Caña de Azúcar del Ecuador (CINCAE) y experiencias internacionales, también se incluyó el análisis y sistematización de la información, realizando cuadros comparativos entre cosecha de caña con quema y cosecha de caña de azúcar en verde. El estudio concluye que la cosecha verde mejora la rentabilidad del cultivo, ya que aumenta la productividad de la cosecha y reduce costos de producción al eliminar ciertas labores poco amigables en lo ambiental, como la quema. tal es el caso para el proyecto de investigación el escenario del distrito de Chongoyape.

CABRERA, E., et al. (2016) en la publicación “Caracterización de residuos agroindustriales con vistas a su aprovechamiento” del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la caña de azúcar, ICIDCA, tiene como objetivo principal determinar el contenido de sólidos totales, cenizas, lignina, holocelulosa, extractivos, el pH de carga cero y los grupos ácidos y básicos totales de los materiales. La metodología empleada fue de recolecciones de la paja y la cáscara se efectúan el mismo día del corte de la caña de azúcar y la cosecha del coco seco, respectivamente. El meollo se obtiene por desmedulado en suspensión del bagazo de la caña de azúcar, cuando este último se emplea en la producción de papel y derivados químicos. Los materiales empleados se someten a un secado natural durante 36 h. Posteriormente se efectúa la molienda en un molino de cuchillas (WONDER MAX, 300 W). Finalmente se realiza una operación de tamizado para separar la fracción de partículas de tamaños entre 180 μm y 850 μm , la cual es utilizada en todos los experimentos. Se concluye que la caracterización de los residuos agrícolas es de gran importancia para poder destacar la presencia de la lignina que es calificada como un recurso con gran potencial industrial para sus diversas aplicaciones.

SILVA, E. et al. (2016) en su investigación “Bioenergía y biorrefinerías para caña de azúcar y palma de aceite”, tiene como objetivo exponer las potenciales ventajas de la posible interacción de las biorrefinerías basadas en dos cultivos con gran disponibilidad de biomasa: la caña de azúcar y la palma de aceite. Menciona el uso eficiente y sostenible de la energía de la biomasa para la generación de electricidad, la producción de biocombustibles, productos químicos y alimentos en complejos industriales llamados biorrefinerías, está demostrando ser una estrategia económica y políticamente correcta. En el sistema de clasificación la diferenciación se ha realizado por cuatro procesos de conversión principales, los cuales incluyen los bioquímicos (fermentación, conversión enzimática), termoquímicos (gasificación, pirólisis), químicos (hidrólisis ácida, síntesis, esterificación), y procesos mecánicos (fraccionamiento, prensado, reducción de tamaños). Se concluye que en base energética 1 tonelada de caña de azúcar equivale aproximadamente a 1,2 barriles de petróleo, para la producción de coproductos tales como electricidad, ácido poliláctico, azúcares, bioetanol, polietileno, biobutanol, bioetanol celulósico, biodiésel, alimentos para animales, biometanol y otros tipos de compuestos.

CORONA, F. et al. (2016) en el artículo de investigación “Evaluación de procesos termoquímicos como tecnologías de valorización de residuos”, los autores explican que existen distintas opciones de tratamiento de RU tienen diferentes impactos; sin embargo, se debe considerar la adecuación ambiental de la tecnología en la perspectiva a largo plazo. Los procesos termoquímicos son tecnologías emergentes que tienen menor impacto ambiental que el proceso de incineración tradicional, y, al mismo tiempo, generan productos valiosos a partir de residuos. La pirólisis es un craqueo térmico de materias primas con ausencia total de oxígeno en la reacción. La temperatura de operación en pirólisis oscila entre los 500 y 800 °C. Se concluye que los tres productos principales que se generan en la pirólisis son: gas de síntesis, bio-oil y biochar. Se concluye que los procesos de conversión termoquímica (pirólisis, licuefacción y gasificación) tienen la capacidad de convertir los residuos en productos de valor añadido, como combustibles gaseosos, combustibles líquidos y enmendantes sólidos para el suelo.

AGUIAS, L. et al (2015), en el artículo “Proceso de pirólisis rápida de los residuos sólidos de naranja. Influencia de factores en el proceso”. El objetivo de su investigación fue determinar la influencia de la velocidad de calentamiento y temperatura, en el proceso de pirólisis rápida de los residuos sólidos de naranja. En el proceso se utilizó un diseño de experimento factorial completo de 2^k , valorando la influencia de las variables independientes y sus interacciones en las respuestas, con un grado significación del 95 %. La materia prima utilizada son los residuos sólidos de naranja del proceso industrial de obtención de jugos concentrados y se compone principalmente de corteza, hollejos o bagazo y semillas. Los procesos de tratamiento utilizados en la investigación han sido el secado y la trituración de los residuos. Teniendo como conclusiones que la temperatura es el parámetro que más incide en las respuestas, teniendo influencia significativa en el rendimiento a gas, a carbón, alquitrán y en el poder calórico del gas y la velocidad de calentamiento no influye en las respuestas. Por último, la interacción solo incide en el rendimiento a gas; del mismo modo para elevar el rendimiento de alquitrán del proceso de pirólisis, en la región analizada, se debe trabajar a una temperatura de 600 °C y una velocidad de calentamiento de $V_{cal} = 50$ °C/min, obteniendo un resultado de $R_{alq} = 10,79$ %, sobre lo alimentado.

CHANTA, V. (2015), en su tesis “Producción de biocombustibles a partir de biomasa lignocelulósica de sorgo dulce (*Sorghum bicolor* Var. *Sugar Drip*) por extracción con vapor” tiene como objetivo determinar el nivel de producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica de Sorgo Dulce (*Sorghum bicolor* Var. *Sugar Drip*) por extracción con vapor. Para la realización de la investigación se utilizó biomasa lignocelulósica hojas y tallo (muestras de 2.5 Kg), de sorgo dulce (*Sorghum bicolor* Var. *Sugar drip*). En primer lugar, se pasó a la molienda, pretratamiento con vapor (210°C y 200°C por 5 y 10 minutos); fermentación anaerobia realizada por la Bacteria *Zimomonas Mobilis*; y destilación simple, fraccionada y deshidratación molecular hasta obtener etanol. La producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica Sorgo Dulce, van entre: 136.73 a 408.88 ml Etanol.kg de sustrato. 1 para hojas, y 146.68 a 640.72ml Etanol.kg de sustrato para tallo. Luego de la experimentación se concluye que los análisis de calidad del bioetanol producido según los tratamientos evaluados cumplen los parámetros dados por INDECOPI en la NTP N° 321.126.2011, para etanol anhidro no desnaturalizado. Se destaca los tratamientos Tallo x 210 °C x 5.0 min y Hojas x 210 °C 5.0 min ya que obtiene los mejores resultados.

VESES, A. (2016) en su tesis “Producción de biocombustibles de segunda generación a partir de biomasa de origen lignocelulósico”, tiene como objetivo abordar el grave problema medioambiental causado por la extracción y el uso de los combustibles fósiles, y la disposición y valorización energética de varios residuos como los neumáticos fuera de uso o la biomasa residual forestal como alternativa a la producción de un combustible líquido. Para ello, se plantearon estrategias diferentes; i) el proceso de copirólisis de biomasa y neumáticos fuera de uso; (ii) el proceso integrado de pirólisis catalítica con transportadores de calor de bajo coste, en los que se incluyen materiales de tipo mineral como la sepiolita, la bentonita o la atapulgita, residuos industriales como el red mudo materiales de tipo calcáreo como la caliza calcinada o la dolomita calcinada; y (iii) el craqueo catalítico de los vapores del bioaceite como una segunda etapa del proceso de mejora del bioaceite a través de zeolitas de tipo ZSM-5. Con el análisis adecuado, se obtuvo un bioaceite que presenta menor acidez, menor contenido de oxígeno, y por tanto mayor poder calorífico, y mayor estabilidad a lo largo del tiempo. Además, se ha conseguido aumentar notablemente el contenido en compuestos aromáticos ligeros, llegando a obtenerse valores máximos no antes reportados en otros estudios.

ECKERT, C. et al. (2018) en su artículo “La producción de bio-aceite a partir de diferentes materias primas en Brasil” considera a la pirólisis como una tecnología prometedora para la conversión de biomasa celulósica. Este trabajo tiene como objetivo principal destacar el potencial de producción de bio-aceite, utilizando sus principales características agrícolas, ganaderas y urbanas, y enfatizando el uso residual para generación energética. Para ello se emplearon distintos métodos de producción, la modernización, así como los insumos de producción, como el mercado de la madera, la generación de residuos agrícolas y residuos municipales, que puede construir la producción nacional de energía sin inferir en la competencia por el área y las emisiones. Para mejoramiento del producto con respecto a la cantidad de agua el presente trabajo hizo la utilización del upgrading del combustible. Para obtener la mejor calidad del biocombustible, la biomasa empleada es una variable a ser llevada en la consideración, siendo las más usuales, las de origen forestal, residuos sólidos urbanos y residuos agrícolas. Además de estos factores, los reactores a ser utilizados en la pirólisis, deben presentar un buen rendimiento, ya que se necesita condiciones extremas y que no haya elevadas variaciones en el procedimiento. Se llega a la conclusión que convertir la biomasa con la tecnología correcta ya sea en la forma de cultivo o residual influye en la reducción de los impactos ambientales causados por los aceites de origen mineral.

FABA, L. et al. (2014) en su artículo “Transformación de biomasa en biocombustibles de segunda generación” tiene objetivo hacer una revisión de las posibilidades para obtener biocombustibles de segunda generación mediante procesos químicos hidrolíticos, que implica varios pasos: (i) pretratamiento de la biomasa tanto químico y físico; permite eliminar la lignina y extraer la fracción de hemicelulosa, esta etapa es necesaria para reducir el tamaño de la materia prima, (ii) hidrolisis de la biomasa, permite la ruptura de los enlaces b-1,4-glicosídicos que unen las moléculas de la celulosa y hemicelulosa, obteniendo de este modo los monómeros (azúcares) correspondientes, (iii) deshidratación de azúcares, mediante este proceso se obtienen aldehídos, condensación aldólica e hidrogenación/deshidratación completa para obtener los alcanos lineales (biodiesel). Debido a la necesidad de encontrar alternativas a los combustibles fósiles es que se ha impulsado numerosos estudios para la valorización de materia celulósica y obtención de combustibles de segunda generación. El artículo concluye que es de gran importancia investigar las formas de convertir la biomasa residual, en principio la hemicelulosa para la obtención de biodiesel por medio de tratamientos químicos hidrolíticos.

DOMENE, A. (2014) en su tesis doctoral “Valorización de residuos ligno-celulósicos mediante vías termoquímicas” tiene como objetivo principal determinar las concentraciones de especies efluentes en procesos de gasificación y pirolisis de muestras de residuos lignocelulósicos, así como determinar sus propiedades fisicoquímicas con el fin de caracterizar el gas obtenido para su posterior aplicación. Dicho estudio se desarrollo a escala de laboratorio realizando un muestreo adecuado y posterior pretratamiento de las muestrtas. Se utilizo un horno horizontal donde se estudio la combustion con cantidad subestequimetrica de O₂, utilizando como atmosfera comburente aire y la pirolisis de las muestras en atmosfera de N₂. Se llevó a descomponer termicamente en distintas atmosferas y bajo distintos parametros de operacion una serie de muestras de biomasa lignocelulosica provenientes de los residuos de podas forestales y de especies hortofruticolas tradicionales. En ese sentido, se muestra como conclusion que las muestras de residuos leñosos contienen mayor porcentaje de celulosa, permaneciendo aproximadamente constante el porcentaje de hemicelulosas en todas las especies. Por otro lado, la correclacion existente entre el porcentaje de lignina y cantidad de carbono fijo, entendiendo que las especies con mayor porcentaje ligninico tambien presentan mayor porcfentaje de carbono fijo. Asimismo, el trabajo indica de que la biomasda representa una fuente de energia alternativa y renovable, ya que la energia almacenada en plantas y fitoplancton a traves de la fitosintesis constituye un recurso para obtener energia.

GOMEZ, N. (2015) en su tesis doctoral “Valorización de biomasas residuales mediante el proceso de pirólisis para la producción de biochar y biocombustibles” este trabajo tiene como objetivo estudiar el uso de residuos lignocelulósicos de origen agrario, forestal o proveniente de la industria alimentaria, en un proceso termoquímico de pirólisis, para la obtención de biochar para su aprovechamiento en la industria agraria y como el bio-aceite y gas de pirólisis, para su aprovechamiento energético. La metodología empleada se analizó la producción de aceites de pirólisis en pirólisis rápida, utilizando un reactor fluidizado de pirólisis de 1 kg de capacidad media. Los aceites de pirólisis se analizaron determinando sus características físico químicas tales como: pH, viscosidad, contenido en agua, peso molecular promedio (mediante cromatografía en gel), análisis elemental e identificación de compuestos mediante cromatografía y espectrometría de masas. Se evaluó la producción de carbonizado a partir de dos tipos de biomasas, residuos de cultivo de colza y poda de

sarmiento. Para ello, inicialmente se realizan ensayos en un reactor laboratorio de capacidad media 3 g de biomasa, para evaluar el efecto de la materia inorgánica en los rendimientos y características químicas del carbonizado. Durante los ensayos se realiza la monitorización del proceso, se cuantifica la fracción sólida y se recogen muestras representativas de los carbonizados para definir los rendimientos y su caracterización. El trabajo concluye en que el análisis de la influencia de la temperatura de pirólisis en los rendimientos y en las propiedades químicas del carbonizado permite identificar las condiciones de producción más favorables para cada material, con objeto de obtener un carbonizado apto para aplicación al suelo, identificando el efecto de retención de carbono en su estructura y emisiones evitadas de CO₂ en su producción.

MONTOYA, J. *et al.* (2014) en su publicación “Pirólisis rápida de biomasa” tiene el objetivo de revisar el proceso de pirólisis rápida, dar a conocer la descripción de la composición química de las biomásas, variables principales que influyen en el proceso, tecnologías disponibles para la producción de bioaceite a través de pirólisis rápida, modelos cinéticos propuestos para la desvolatilización de biomásas, criterios para la caracterización fisicoquímica del bioaceite y algunas barreras que se deben superar para el entendimiento global del proceso de pirólisis de biomasa. Dentro de la recopilación de bibliografía se destaca las variables que afectan al proceso de pirolisis rápida, las altas velocidades de calentamiento y las tasas de transferencia de calor utilizadas, esta requiere una alimentación de biomasa con un tamaño de partícula pequeño; la temperatura de reacción, frecuentemente en el rango de 425-500 ° C. En tercer lugar, tiempos de residencia cortos (<2 s) y la velocidad de enfriamiento de los vapores y los aerosoles de la pirolisis para producir el bioaceite. El bioaceite producido por pirolisis rápida de biomásas indica que este biocombustible no se puede acoplar a los procesos tradicionales de producción. Se concluye que la mejor ruta de desoxigenación del bioaceite es el proceso de hidrodeoxigenación catalítica, mediante este tratamiento es posible incorporar el bioaceite hidrotratado a las corrientes intermedias de una refinería.

DAHIYA, A (2015) en su libro “Bioenergy. Biomass to Biofuels” tiene el objetivo de encontrar la mejor forma de bioenergía y sus posibles usos. Además, de discriminar cual es el mejor camino para desarrollar bioenergía considerando las fuentes de biomasa. En el capítulo 26 se habla de la pirolisis de biomasa lignocelulósica: aceite, carbón y gas, donde

se refiere que la pirólisis de la biomasa es un sistema muy complejo, que involucra la transferencia simultánea de calor sólido, las reacciones químicas en fase sólida, la evaporación de líquidos y la eyección térmica. La mejor manera comprender estas interacciones es observar la estructura y la química del material lignocelulósico. El material lignocelulósico es materia seco vegetal y abarca árboles, pastos, restos de maíz / mazorcas, bagazo de caña de azúcar incluso papel molino de descartes. Se tiene el conocimiento de que existen muchas tecnologías disponibles, pero es necesario desarrollar un método sostenible para producir combustibles y productos químicos a partir del petróleo, así como productos de alto valor que forman el carbón y los gases. Se concluye que para la obtención de un producto de calidad es necesario superar los distintos factores; problemas de obstrucción en la entrada y salida de reactores de pirólisis y en sistemas de condensadores, estabilización del bio-aceite, desactivación del catalizador, desarrollo de estrategias para la producción química selectiva, identificación de mercados para productos de alto valor de la pirólisis y desarrollo de tecnologías de pirólisis que pueden utilizar la más baja Materias primas de calidad disponibles.

1.3 TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA

1.3.1 Biomasa lignocelulósica

La biomasa lignocelulósica es un conjunto de carbohidratos constituidos por lignina, celulosa y hemicelulosa; estas características se encuentran en la pared celular de las plantas. La variedad de biomásas conforma una fuente importante de energías, además de ser renovables, abundan y proveen un ciclo cerrado para las emisiones de CO₂. Son considerados como materia prima para la producción de biocarbón, biocombustibles, compuestos orgánicos; esto es debido a la aplicación de procesos termoquímicos como gasificación y pirólisis. La pirólisis es el rompimiento de enlaces de cadenas poliméricas, se da a consecuencia del calor y ausencia de oxígeno. El rendimiento ira de acuerdo a las condiciones operativas a trabajar como temperatura, presión, velocidad, tiempo de residencia y velocidad de calentamiento.

1.3.2 Definición de Caña de Azúcar

La caña (*Saccharum officinarum*) es una planta perteneciente a la familia gramínea (pastos). La caña de azúcar tiene una eficiencia de fotosíntesis muy alta, esto va alrededor de 150 a

200 % en comparación de otras plantas. Su cultivo se considera duradero y muy compatible con respecto al tipo de suelo. Según su variedad y condiciones en las que se encuentre, esta gramínea forma entre 4 y 12 tallos llegan a alcanzar una altura de 3 - 5 m de altura. El contenido de azúcar (sacarosa) oscila entre 11 y 16% (Augstburger.2002, p.1).

1.3.3 Taxonomía y Morfología

En la Tabla 1, se muestra la clasificación botánica de la caña de azúcar según López (2015, p.16).

Tabla 1. Taxonomía de la caña de azúcar

Caña de azúcar	
Reino:	Vegetal
Tipo:	Fanerógamas
Subtipo:	Angiospermas
Clase:	Monocotiledóneas
Orden:	Glumales
Familia:	Poáceas
Tribu:	Andropogoneas
Género:	Saccharum
Especie:	Spontaneum y robustum (silvestre), edule, barberi, sinense y officinarum (doméstica)

Fuente: (López, 2015, p.16)

López (2015, p.17) menciona que reconocer morfológicamente las plantas nos permite notar diferencias, conocer las especies y variedades que existen para después poder hacer una relación en cuanto al rendimiento y su adaptación para con su comportamiento.

Sistema radical: es el órgano que absorbe los nutrientes y agua del medio en donde se establece. En la planta de caña se distinguen dos tipos de raíces:

Raíces primordiales: básicamente son de la primera estaca, son ramificadas y su tiempo de

vida es un aproximado de tres meses.

Raíces permanentes: Aparecen de los anillos de crecimiento de los brotes nuevos, presentan gran cantidad de formas gruesas, crecen rápidamente y su multiplicación se da con el crecimiento de la planta. Su cantidad, su tamaño, su longitud y su edad se dan de acuerdo a la variedad a la que pertenezca la planta y también de las condiciones edafoclimáticas,

El tallo: es el órgano más importante en la planta de la caña de azúcar, puesto que, en esta área se acumulan los azúcares; la cantidad, el grosor, color y el modo de desarrollo o crecimiento dependen de la variedad. Los tallos se pueden clasificar de la siguiente manera: primarios, secundarios o terciarios (Figura 1).

El nudo: es la parte más dura y fibrosa que separa dos entrenudos cercanos o juntos en el tallo, está conformado por el anillo de crecimiento, la banda o franja de raíces, la cicatriz de la hoja, el nudo debidamente dicho la yema y el anillo ceroso. (Figura 1).

El entrenudo: es la parte del tallo que se encuentra entre dos nudos. El grosor, el color, el aspecto y la extensión cambian según la variedad. En el color influye el carácter genético y las condiciones del ambiente. La apariencia más común puede ser de forma cilíndrica, abarrilada, constreñida, coneiforme y curvada.

La hoja: esta parte de la planta se forma en los nudos y se reparte de forma alterna en el tallo a lo largo de su extensión. Cada una de las hojas están formadas por la lámina foliar, por la yagua y la vaina; estas al encontrarse reciben el nombre de lígula, cuenta con una aurícula que desarrolla una variable pubescencia. La lámina foliar posee a lo largo de su forma la nervadura central y posee algunas protuberancias de manera aserrada en el borde. Dependiendo de cuál sea la variedad se define en la planta el color de la hoja, en algunos casos puede ser verde claro y variar a verde oscuro. Aspectos como la extensión y el ancho también es diferente de acuerdo a la variedad (Figura N° 2).

Yagua o vaina: es la parte de la planta que se encuentra envolviendo el tallo y es de forma tubular, en la parte de la base de la planta esta es más ancha. Con las diferentes variedades se puede dar presencia de pelos urticantes, la extensión de estos también puede variar.

La flor: la inflorescencia de la planta tiene una figura de panícula lisa alargada y en espiga. Estas espigas puestas sobre un raquis a lo largo poseen un tipo de flor hermafrodita compuesta por una triplete de anteras y solo un ovario con un par de estigmas. La floración se da en el momento que la temperatura, la cantidad de agua disponible, la cantidad de nutrientes, el fotoperíodo y las condiciones ambientales son óptimas.

Asimismo, López (2015) menciona que el periodo vegetativo de la *Saccharum Officinarum*, según la variedad y las condiciones climáticas, puede pasar por las siguientes fases: después de un mes de realizar siembra, en promedio, se da la germinación, posteriormente y pasados 15 días aumenta la cantidad de brotes, retoños tallos cepa, lo cual se denomina macollamiento. La floración se produce después de los 6 meses del desarrollo o maduración de la planta, donde se da la concentración de sólidos solubles, se da entre los 11 y 14 meses.

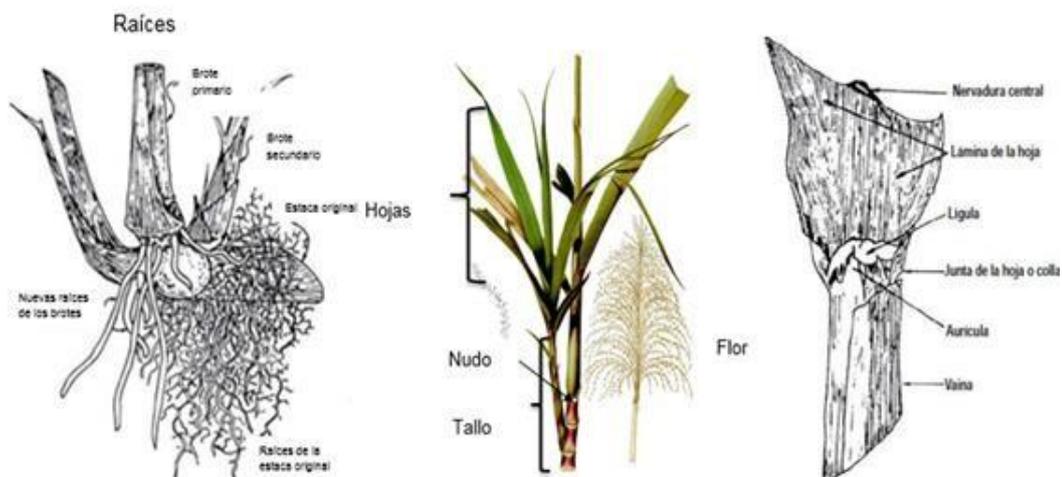


Figura 1. Partes de la caña de azúcar

Fuente: OSORIO, G (2007)

1.3.4 Composición química del residuo lignocelulósico del *Sacharum Officinarum*

La hoja de caña de azúcar está conformada por la vaina y hojas secas. Sus características químicas se muestran en la Tabla 02.

Tabla 2: Composición química de materiales lignocelulósicos (%)

Biomasa	Ceniza	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina
Bagazo de caña de azúcar	2,88	41,3	22,64	18,26
Paja de caña de azúcar	8,00	45,1	25,60	12,70
Paja de arroz	19,78	37,04	22,67	13,64
Madera Subadul	0,86	39,75	23,98	24,68
Paja de Trigo	11,19	30,52	28,90	16,38

Fuente: PELAEZ, M. 2013, p.24

1.3.5 Procesos termoquímicos aplicados a la biomasa

Estos procesos implican reacciones químicas que trabajan con altas temperaturas y en ambiente donde se pueda dar la oxidación (Míguez, J.L., 2010). Según Cobo (2012) menciona que se puede considerar la siguiente clasificación: combustión, la gasificación y la pirólisis.

1.3.5.1 Combustión

La combustión es el proceso mediante el cual la biomasa se transforma en gases calientes, con temperaturas alrededor de 800-1000°C, al aplicar una energía térmica elevada en presencia de oxígeno. Es posible combustionar biomasa con una humedad inferior al 50%. La combustión se puede realizar a pequeña escala (calefacción) o en grandes plantas de escala industrial.

1.3.5.2 Gasificación

En este proceso se busca encontrar un gas que tengan la característica combustible, en el cual seguido se liberará energía en forma de calor. La cantidad de oxígeno adicionado es menor a la cantidad estequiométrica. De acuerdo al producto que se busca se trata los gasificantes, entre los que se tienen aire, oxígeno, hidrógeno, dióxido de carbono o vapor de agua. Los resultados que se obtienen son monóxido de carbono, hidrógeno y metano, en distintas proporciones dependiendo de las condiciones del proceso y del agente gasificante empleado. Este tipo de proceso requiere secado y calentamiento de la biomasa, en los cuales se adiciona calor de manera directa o indirecta al proceso.

1.3.5.3 Pirólisis

La pirólisis es un proceso en donde se calienta la biomasa en ausencia de oxígeno, es así como se descompone la biomasa en presentándose en gases volátiles condensables de los cuales se obtienen los bioaceites, asimismo se presenta una parte de gases incondensables y materia sólida a la cual se le llama biocarbón.

En la Tabla 3, se muestran dos clasificaciones de los tipos de pirólisis, se distinguen la carbonización, que trabaja a bajas temperaturas y bajas velocidades de calentamiento; y la pirólisis rápida, que se da temperaturas altas y altas velocidades de calentamiento.

Tabla 3. Diferentes clasificaciones de los procesos de pirólisis

Clasificación Fuente: Demirbas (2004)				
Tipo de Pirólisis	Rango de temperatura (°k)	Velocidad de calentamiento (°k/s)	Tamaño de partícula (mm)	Tiempo de residencia (s)
Convencional (Carbonización)	550 – 950	0.1 - 1	mayor de 50	450 - 550
Pirólisis rápida	850 - 1250	10 - 200	<1	<0.2
Pirólisis flash	1050 - 1300	>1000	0.5 - 10	<0.5
Clasificación Fuente: L. Zhang (2010)				
Tipo de Pirólisis	Rango de temperatura (°c)	Tiempo de residencia	Distribución de los productos: (Líquido-Sólido-Gas)	
Pirólisis	500	1s	75% - 12% - 13%	

rápida			
Pirólisis intermedia	500	10-20s	50% - 20% - 30%
Pirólisis lenta (Carbonización)	400	Tiempo prolongado	30% - 35% - 35%
Gasificación	800	Tiempo prolongado	5% - 10% - 85%

Fuente: COBO, D.2012, p.02

1.3.5.3.1 Pirólisis rápida

La pirólisis rápida es un proceso a alta temperatura en el que la biomasa (con una humedad inferior al 10%) se calienta rápidamente en ausencia de oxígeno. La biomasa se descompone generando vapores, aerosoles, y carbonizado en menor cantidad. Después del enfriamiento y la condensación de los vapores y aerosoles, se obtiene un líquido marrón oscuro con un poder calorífico de aproximadamente la mitad del aceite combustible convencional, la cual podrá usarse muchas aplicaciones (Montoya, 2014, p.46).

A continuación, se muestran los usos del producto obtenido de la pirólisis rápida:

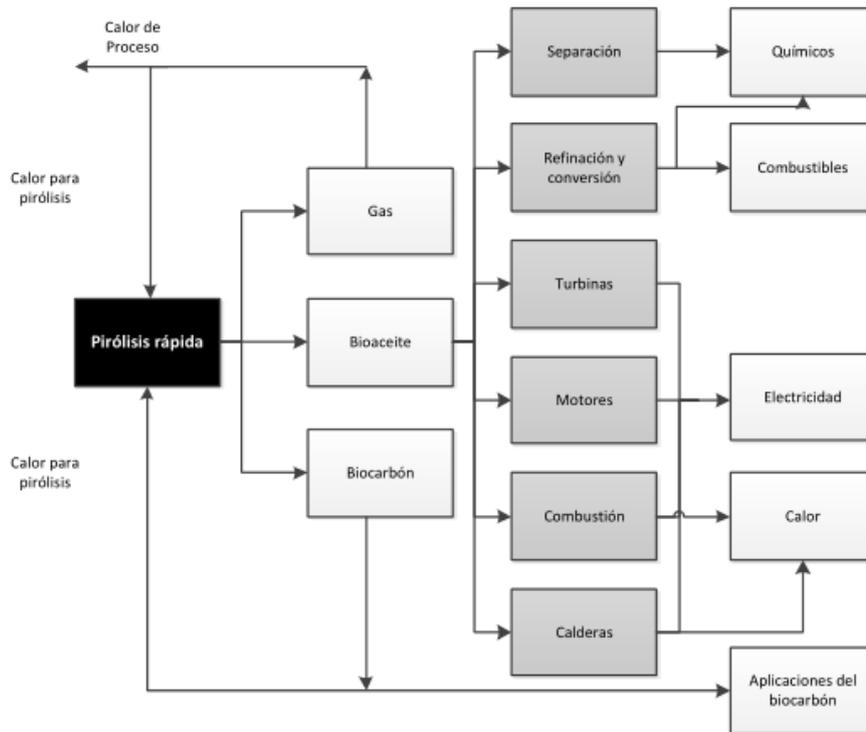


Figura 2. Aplicaciones de los productos de pirólisis rápida

Fuente: VAN DER STEENHOVEN et al. (2011)

1.3.6 Tipos de reactores

Se han desarrollado distintas tecnologías con el fin de obtener la máxima cantidad de líquidos provenientes de la aplicación de la pirólisis, entre ellas se encuentra:

Reactores de lecho fijo: Para este reactor se puede dar calor de dos maneras, por una fuente externa o combustionando la biomasa. Este tipo de reactor tiene mayor rendimiento en la producción de char ya que se trabaja con bajas velocidades de calentamiento y altos tiempos de residencia, aquí se utiliza un gas de arrastre el cual permite la salida del producto gaseoso.

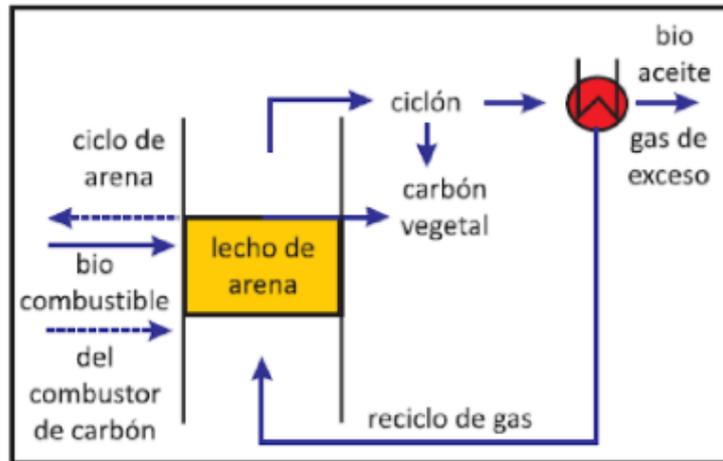


Figura 3. Esquema del reactor de pirólisis rápida en lecho fijo

Fuente: CASTILLO, M (2008)

Reactores de lecho fluidizado: el tiempo de residencia (0.5-2 segundos), el flujo de gas de arrastre, la velocidad de calentamiento, el tamaño de partícula (2.3 mm) son las variables que influyen en este tipo de reactor para tener un mayor rendimiento de conversión de la biomasa. En este reactor el agente gasificante mantiene en suspensión a un inerte y a la biomasa, hasta que las partículas de éste se gasifican y se convierten en cenizas volátiles las cuales son arrastradas por la corriente correspondiente. A continuación, se muestra un esquema del funcionamiento:

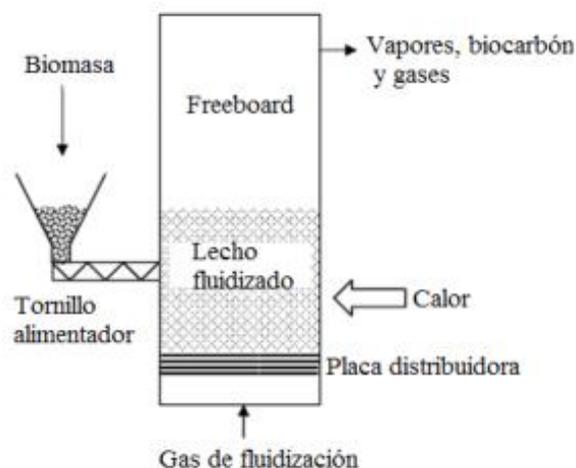


Figura 4. Esquema del reactor de pirólisis rápida en lecho fluidizado

Fuente: PRABIR, B (2010)

Reactores de lecho circulante: Este reactor trabaja con el lecho fluidizado, aquí se recircula las partículas de carbón y biomasa no convertida, posteriormente estas partículas son llevadas a un quemador para aprovechar su densidad energética. La operación típica de este reactor son una temperatura de 600 ° C y un flujo de biomasa de 100 kg / h. Se produce generalmente 60 % de bio - aceite con madera de álamo como los materiales de alimentación.

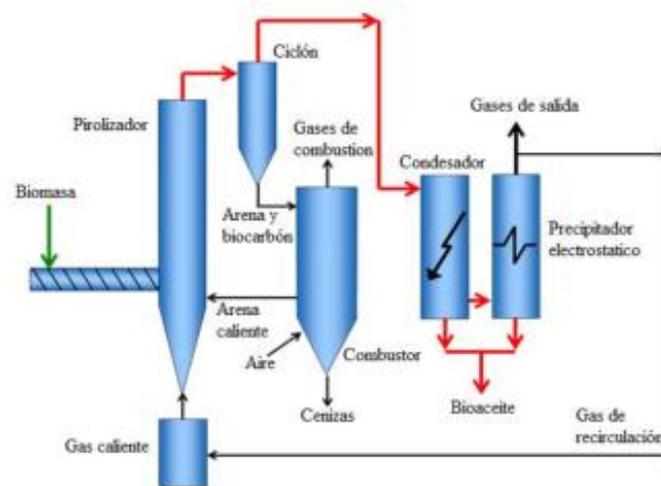


Figura 5. Esquema del reactor de pirólisis rápida en lecho circulante

Fuente: CASTILLO, M (2008)

Reactores de abrasión: Aquí se genera una alta presión entre las partículas de biomasa y las paredes calientes del reactor, proporcionando altas velocidades de calentamiento a la partícula y ocasionando la producción de bioaceite hasta un 80%. En la figura 6 se puede notar que la biomasa recibe presión mediante un plato giratorio caliente.

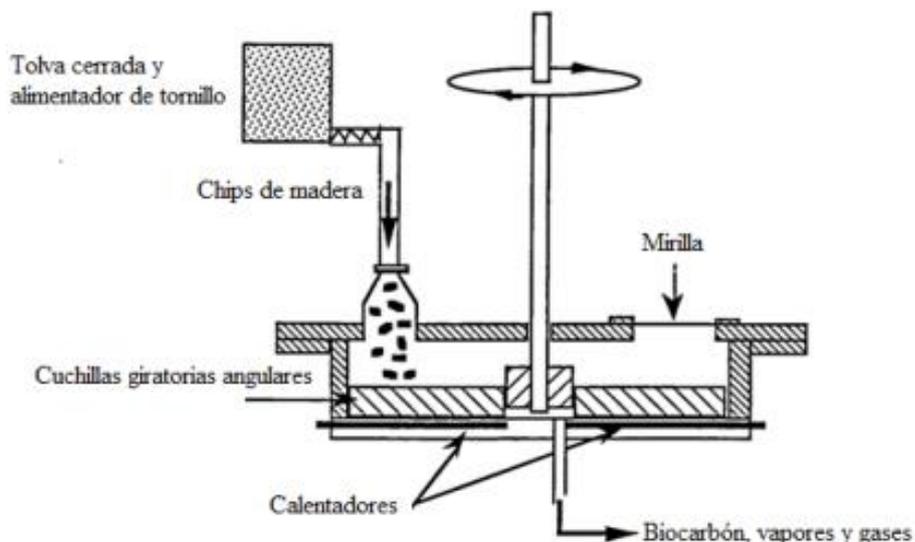


Figura 6. Esquema del reactor de abrasión para pirolisis rápida
Fuente: AV Bridgwater et al. (2009)

Reactor al vacío: Este tipo de reactores está conformado por una serie de placas calientes. La placa ubicada en la parte más alta está a 200°C y la más baja a 400°C. La biomasa entra a la primera placa provocando que al caer se someta al secado. La velocidad de calentamiento es baja, el tiempo de residencia es corto, teniendo de este modo un rendimiento de producto, un aproximado de 35 a 50%.

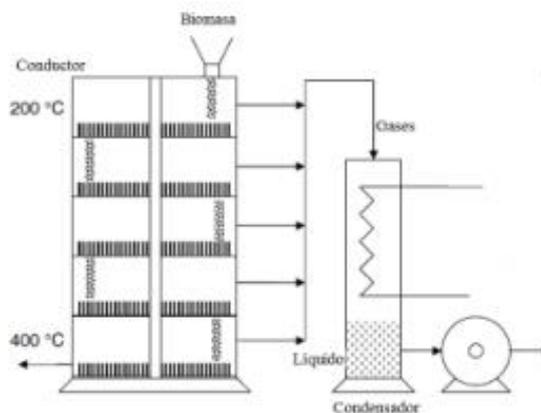


Figura 4.12. Esquema de un reactor para pirolisis al vacío.
Fuente:(Prabir Basu, 2010)

Figura 7. Esquema del reactor de pirolisis rápida en lecho circulante
Fuente: BASU, P (2010)

Tabla 4. Ventajas y desventajas de la pirolisis rápida

Ventajas	Desventaja
<ul style="list-style-type: none">- Fácil condensación de bioaceite- Alimentación de partículas superior de 2-5 cm- Eliminación de necesidad de gases de arrastre	<ul style="list-style-type: none">- Generación de mayor cantidad de agua- Altos costos para la generación al vacío

Fuente: Elaboración propia, 2018

Reactor cono rotatorio: La biomasa se alimenta en el fondo de un cono rotatorio trabaja con una gran cantidad de partículas calientes de arrastre. Al aplicarse la fuerza centrífuga, se está obligando a que las partículas sigan en contacto con las paredes calientes, el cual genera altas velocidades de calentamiento, cortos tiempos de residencia y rendimientos de líquido entre el 60 y 70%.

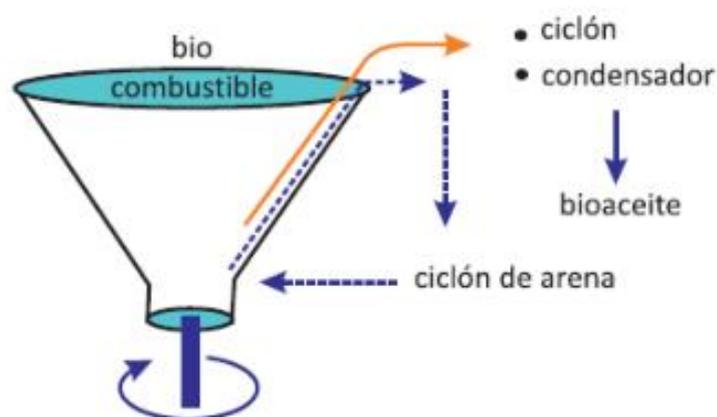


Figura 8. Esquema de un reactor de cono rotario para pirolisis rápida

Fuente: CASTILLO, M (2018)

1.3.7 Productos de la pirólisis

Estos productos principalmente se presentan en: la parte sólida, líquida o bioaceite y la parte gaseosa biogás (COBO, 2012, p. 30).

1.3.7.1 Biocarbón

Estudios demostraron que la producción de biocarbón a partir de bagazo y RAC, poseen una concentración de carbono que se incrementó desde un 47-52% presente en la biomasa, hasta un 60- 85% en el biocarbón obtenido. Además, se señala que el biocarbón podría ser clasificado como un material mesoporoso con un área superficial menor a 20 m²/g. (COBO, 2012, p. 30)

1.3.7.2 Biogás

El biogás es una mezcla gaseosa conformada de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás va a depender del material procesado y de su funcionamiento. Cuando el biogás contiene metano que supera un 45%, se considera inflamable (FAO, 2011, p. 16).

1.3.7.3 Bioaceite

La investigación en procesos termoquímicos de biomasa, en las últimas dos décadas está encaminada a la obtención de productos líquidos, que sean materia prima en tratamientos posteriores para la obtención de hidrocarburos. Con el fin de encontrar nuevas fuentes energéticas y disminuir las emisiones de CO₂, se ha profundizado la investigación en la pirólisis rápida como tecnología para la obtención de productos líquidos a partir de pirólisis de biomasa residual forestal y agrícola. El bioaceite es una mezcla líquida de compuestos oxigenados, conteniendo varios grupos químicos funcionales tales como carbonilos, carboxilos y fenoles (COBO, 2012, p. 33).

Asimismo, MONTROYA (2014) menciona que, el bioaceite es un líquido viscoso de color marrón, de alto contenido energético, cuya composición química es compleja y depende de la naturaleza de la biomasa, de las condiciones de reacción y de la tecnología empleada en la descomposición térmica.

1.3.8 Producción de bio-oil

En primer lugar, se debe considerar el tipo de proceso, en este caso pirólisis rápida, con la tecnología disponible de pirólisis al vacío; durante este proceso se da el rompimiento de las cadenas poliméricas generando nuevos compuestos con menos grado de polimerización, además de gases ligeros cuya estructura es más pequeña que la del monómero de glucosa.

Los bio-aceites son líquidos orgánicos de color marrón oscuro que fluyen libremente y están compuestos por compuestos oxigenados. Los sinónimos para bio-aceite incluyen aceites de pirólisis, pirólisis líquidos, petróleo crudo biológico (BCO), líquidos de madera, aceite de madera, humo líquido, destilados de madera, ácido piroligno y madera líquida (BIN,2008, p.29).

El líquido pirolítico se forma despolimerizando rápida y simultáneamente en donde se fragmenta la celulosa, hemicelulosa y lignina con un rápido aumento de la temperatura. El enfriamiento rápido atrapa muchos productos que al reaccionar degrada, divide o se condensa con otras moléculas, cuando el tiempo de residencia y las altas temperaturas se amplían.

Tabla 5. Pasos para la producción de bio-oil

PASOS	DESCRIPCIÓN
RECOLECCIÓN	Para la recolección de la materia prima - hojas de caña de azúcar, se visitó las áreas de cosecha de caña y se obtuvieron las hojas en verde directamente del tallo, se acumuló un total de 15kg.
SECADO	Este paso es necesario para los siguientes análisis y procedimientos, es por ello que, las hojas recién recolectadas se expusieron al sol por 48 horas, se nota el cambio de color en las hojas y la reducción del peso.
MOLIENDA	La materia prima ya secada fue molida a un tamaño mayor a 0.85 mm en la Universidad Agraria La Molina, Laboratorio de Pulpa y Papel.
PESADO	Para iniciar con el proceso, se empieza a pesar los materiales a emplearse, como la tapa del reactor, el reactor, el sistema de enfriamiento o también llamado tren de condensación, esto con la finalidad de determinar los valores por diferencia de pesos una vez procesado el material. Del mismo modo, la cantidad de biomasa utilizada en cada proceso fue de 50g.

<p>ACONDICIONAMIENTO DEL EQUIPO</p>	<p>En primer lugar, una vez cargado el reactor con la muestra y debidamente asegurado se pasa a probar la condición del equipo, si existe alguna fuga de gases y la marcación de presión (-25inHg), una vez ya verificado se pasa la temperatura del reactor. Para la supervisión del sistema de enfriamiento y temperatura del horno se utilizó el software Logger Pro 3.9, este programa muestra graficas de las temperaturas vs tiempo (180 minutos), ello permite que se controle la temperatura para el caso del baño y poder acondicionarlo a menos 1°C.</p>
<p>OBTENCIÓN DE PRODUCTOS</p>	<p>Para la determinación de la cantidad de los productos obtenido, pasado los 180 minutos se continua a retirar el reactor del horno y se deja enfriar por dos horas, lo mismo con el tren de condensación, una vez que se encuentran a temperatura ambiente, el siguiente paso es pesar cada una de las partes; en el reactor se encuentra el biocarbón, en el tren de condensación el bio-oil; los gases se determinan por diferencia a partir de la muestra ingresada al proceso.</p>

Fuente: Elaboración propia, 2018

A continuación, se presenta el esquema de la pirólisis al vacío trabajada en laboratorio:

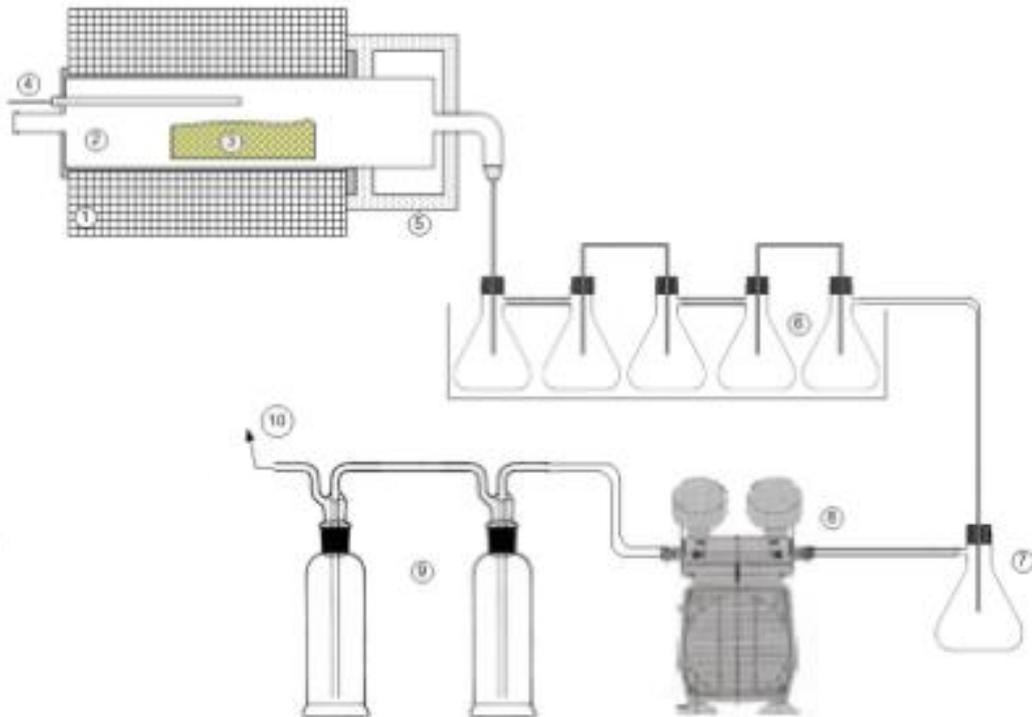


Figura 9. Esquema del ensamble de los equipos para el experimento de pirólisis

Fuente: PRETELL, V (2013)

1.4 Formulación del problema

1.4.1 Problema General

¿Será eficiente el aprovechamiento de residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum* por pirólisis en la obtención de bio-oil, Chongoyape 2018?

1.4.2 Problemas específicos

Problema Específico 1

¿En qué medida las características físicas y químicas de los residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum* influyen en la obtención de bio-oil, Chongoyape 2018?

Problema Específico 2

¿Cuál será la temperatura óptima que maximice el rendimiento del bio-oil en la pirólisis de los residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum*, Chongoyape 2018?

Problema Específico 3

¿Cuáles serán las propiedades físicas del bio-oil obtenido a partir del aprovechamiento de residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum* por pirólisis, Chongoyape?

1.5 Justificación del estudio

Justificación ambiental

El proyecto de investigación surge considerando que, los residuos lignocelulósicos de la caña de azúcar son favorables para el uso humano en distintas actividades. Se estima que la quema muy destructiva si se realiza sin control alguno, lo que traería como consecuencia daños al suelo y emisión de partículas de carbón vegetal que van de manera directa al medio ambiente (Tamara, 2013). Es por ello, que se deben tomar acciones frente a la contaminación ambiental generada por la cosecha tradicional de la caña de azúcar; es aquí donde surge el termino cosecha verde que se refiere al retiro manual o mecanizado de la caña, ello trae consigo muchas ventajas principalmente evita la contaminación del aire, mejora las condiciones fisicoquímicas del suelo recuperando su estructura y fertilidad, además el tiempo disminuiría en cuanto al quemado y molido ya que el promedio de horas de caña quemada es aproximadamente de 50 h, en cambio aplicando cosecha verde tomaría en promedio 18h.

Justificación social

La población de Chongoyape ubicado en la provincia de Chiclayo, serían los más beneficiados por la valorización de esta materia prima para la obtención de bio-oil, además Chongoyape será sostenible al reducir la huella de carbono y se conseguirá el bienestar con respecto a la salud de la población de Chongoyape y zonas aledañas, previniendo enfermedades respiratorias y pulmonares.

Justificación económica

La implementación de energías renovables en el Perú como los biocombustibles es de gran necesidad ya que reduciría la emisión de GEI provenientes del parque automotor que su fuente de energía es el combustible fósil. De este modo, encontrar una fuente de energía a través de biomasa, en este caso, los residuos lignocelulósicos de la caña de azúcar puede traer más ingresos a la población si se da el uso y lugar adecuado para su proceso, ya que el

distrito de Chongoyape basa su economía principalmente en la siembra de esta planta; y encontrar otra forma de aprovechar al máximo la caña de azúcar es en su totalidad muy beneficioso. Esta fuente, el bio-oil, es un producto de gran interés en la actualidad en busca de una alternativa del combustible tradicional traería un ingreso mayor a la población.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis General

Hi: El aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum* por pirólisis será eficiente en la obtención de bio-oil, Chongoyape 2018.

Ho: El aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum* por pirólisis no será eficiente en la obtención de bio-oil, Chongoyape 2018.

1.6.2 Hipótesis Específicas

Hi: Las características físicas y químicas de los residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum* influyen significativamente en la obtención de bio-oil, Chongoyape 2018.

Ho: Las características físicas y químicas de los residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum* no influyen significativamente en la obtención de bio-oil, Chongoyape 2018.

Hi: La temperatura óptima que maximice el rendimiento del bio-oil en la pirólisis de los residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum*, Chongoyape 2018, es de 550°C.

Ho: La temperatura óptima que maximice el rendimiento del bio-oil en la pirólisis de los residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum*, Chongoyape 2018, no es de 550°C.

Hi: Las propiedades físicas del bio-oil maximizado obtenido a partir del aprovechamiento de residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum* por pirólisis presentan condiciones adecuadas en el producto.

Ho: Las propiedades físicas del bio-oil maximizado obtenido a partir del aprovechamiento de residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum* por pirólisis no presentan condiciones adecuadas en el producto.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

Evaluar la eficiencia del aprovechamiento de residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum* en la obtención de bio-oil, Chongoyape 2018.

1.7.2 Objetivos Específicos

Objetivo específico 1

Determinar las características físicas y químicas de los residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum* que influyen en la obtención de bio-oil, Chongoyape 2018.

Objetivo específico 2

Determinar la temperatura óptima que maximice el rendimiento del bio-oil en la pirólisis de los residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum*, Chongoyape 2018.

Objetivo específico 3

Determinar las propiedades físicas del bio-oil obtenido a partir del aprovechamiento de residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum* por pirólisis, Chongoyape 2018.

II. MÉTODO

2.1. Tipo y diseño de Investigación

Es investigación aplicada, puesto que, recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación (Murillo, 2008, p.36).

El proyecto de investigación busca identificar la realidad problemática ambiental para luego encontrar las posibles soluciones factibles, tal es el caso de evitar la quema de caña de azúcar, que trae significativos impactos ambientales negativos (atmósfera, suelo y salud de población aledaña). Mediante la práctica de cosecha en verde de la caña de azúcar, se dará un valor agregado específicamente a las hojas de caña de azúcar en verde para la obtención de bio-oil, un tipo de biocombustible líquido.

2.1.1 Nivel de Investigación

Es investigación explicativa, ya que los estudios explicativos se ocupan de la determinación de las causas, efectos, mediante la prueba de hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos” (Fidias, A. 2012, p. 26).

El proyecto de investigación pretende explicar por qué transformar los residuos lignocelulósicos de la caña de azúcar utilizando el proceso pirólisis para la obtención de bio-oil es una buena alternativa para evitar impactos negativos al ambiente.

2.1.2 Diseño de Investigación

En el presente estudio, el diseño de investigación es experimental, según el Fidias, A (2012), define “la investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)” (p.34). Considerando la cita anterior, en esta investigación se manejará la variable independiente que es el aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum* por pirólisis en la variable dependiente obtención de bio-oil, para poder determinar la eficiencia considerando las condiciones de temperatura, presión y velocidad de calentamiento del proceso.

2.2 Operacionalización de las variables

Esquema: G: O₁ - X - O₂ (1)

Dónde:

O₁: Cosecha verde de caña de azúcar

X: Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos del *Saccharum Officinarum* por pirólisis

O₂: Obtención de bio-oil

V.I = Variable independiente (Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos del *Saccharum Officinarum* por pirólisis)

V.D = Variable dependiente (Obtención de bio-oil)

Tabla 6. Matriz operacional

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
V.I: Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos del <i>Saccharum</i> <i>Officinarum</i> por pirólisis	Dentro de los residuos aprovechables de la caña de azúcar se encuentra “la paja como material lignocelulósico puede sustituir innumerables renglones en los que se emplea bagazo [...] la paja de caña picada se somete a un proceso de termo conversión denominado pirólisis rápida, se obtienen bioaceite con potencial de utilización en la industria química” (Tamara, 2013).	Los residuos lignocelulósicos se obtuvieron de los campos de cultivo ubicado en Chongoyape, para los análisis iniciales se recolecto 7 kg de hojas de caña en verde, el cual fue secado al aire libre durante un día para luego ser llevado a los laboratorios para su posterior determinación de características físicas y químicas.	Características físicas	Humedad	%
				Materia volátil	
				Contenido de Ceniza	
				Carbono fijo	
			Características químicas	Poder calorífico	MJ/kg
				Lignina	%
				Celulosa	
			Hemicelulosa		
			Pirólisis rápida	Peso de muestra	g
				Temperatura	°C
				Presión al vacío	kPa
				Velocidad de calentamiento	°C/min
			Temperatura optima	400	°C
550					
650					

V.D: Obtención de bio-oil	<p>Los bio-aceites son líquidos orgánicos de color marrón oscuro que fluyen libremente y están compuestos por compuestos oxigenados. Los sinónimos para bio-aceite incluyen aceites de pirólisis, pirólisis líquidos, petróleo crudo biológico (BCO), líquidos de madera, aceite de madera, humo líquido, destilados de madera, ácido piroligno y madera líquida(Bin,2008).</p>	<p>Esta variable se maneja mediante el proceso termoquímico pirolisis que mediante la aplicación de tres temperaturas (400 °C, 550°C y 650°C) con un peso de muestra de 50 g, presión de menos 25 ingHg, y velocidad de calentamiento de 10 °C/min; siendo estas tres últimas constantes, se obtendrá un producto, el bio-oil. De este modo, es que se pretende identificar las propiedades físicas de tal producto, de las cuales se considera de mayor prioridad el poder calorífico (MJ/kg), contenido de humedad (%) y viscosidad (cSt); y determinar finalmente la eficiencia del producto considerando que es estrechamente dependiente de las condiciones al cual fue procesado.</p>	Propiedades físicas	Poder calorífico	MJ/kg
				Contenido de agua	%
				Viscosidad	cP

Fuente: Elaboración propia 2018

2.2.1 Área de estudio

El área de estudio es en los campos de cultivo de caña de azúcar ubicado en el departamento de Lambayeque, provincia de Chiclayo (Figura 4), distrito de Chongoyape cuyos puntos de trabajo tienen las siguientes coordenadas UTM (Tabla 6) zona 17L; para el recojo de las hojas de caña de azúcar. Las instalaciones en donde se determinaron las características físicas de las hojas de caña fueron en los laboratorios de la Universidad César Vallejo.

Tabla 7. Coordenadas UTM de puntos de trabajo

PUNTOS	COORDENADAS UTM	
1	677405 E	9265817 Y
2	677188 E	9265403 Y
3	676812 E	9265680 Y
4	676960 E	9266093 Y

Fuente: Elaboración propia 2018

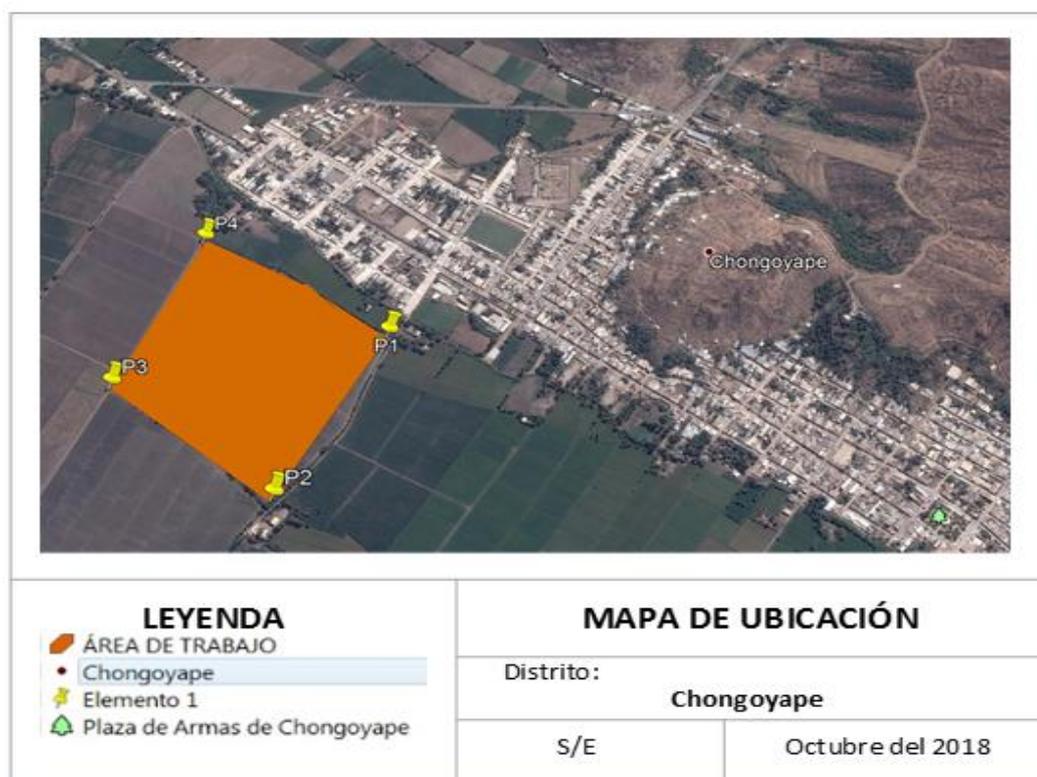


Figura 10: Ubicación del área de estudio

Fuente: Elaboración propia

2.2.2 Duración

El trabajo de investigación tiene una duración de 06 meses aproximadamente, en las primeras semanas se pidió el permiso necesario para poder hacer uso de los laboratorios, después de ello se pasó a viajar al lugar de estudio (Chongoyape – Chiclayo) para la recolección de las hojas de caña de azúcar para su posterior análisis.

Del mismo modo, el procedimiento experimental se desarrolla en cuatro semanas, en la primera semana se realizó el estudio de las propiedades físicas de las hojas de caña de azúcar, en dos semanas se realizó el proceso termoquímico con el residuo lignocelulósico y en la última semana la caracterización del producto obtenido.

2.3 Población y muestra

2.3.1 Población

Busot citado por Hernández et al. (1999), “la población es la totalidad del fenómeno a estudiar con características comunes, es un conjunto de elementos afines en una o más características y sobre el cual se generalizan las condiciones de la investigación”.

La población está representada por la cantidad de residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum* recolectados de los campos de cultivo ubicados en el distrito de Chongoyape – Chiclayo.

2.3.2 Muestra

El muestreo es el método utilizado para seleccionar a los componentes de la muestra del total de la población. Para Mata (1997), "consiste en un conjunto de reglas, procedimientos y criterios mediante los cuales se selecciona un conjunto de elementos de una población que representan lo que sucede en toda esa población" (p.19).

El tipo de muestreo es no probabilístico por conveniencia, ya que permitirá de manera deliberada obtener una muestra representativa, sobre la base de incluir en la muestra un grupo supuestamente típicos de la zona agrícola de cultivo de caña de azúcar.

Además, por la facilidad y accesibilidad de parte del investigador.

La cantidad de muestra considerada fue de 15 kg de residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum* las cuales fueron tomadas en su estado verde de los campos de cultivos de Chongoyape para los respectivos tratamientos de cada procedimiento.

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1 Técnicas

La técnica que se aplicó al proyecto de investigación es observación y experimentación, ya que en primer lugar se determinará las características iniciales de residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum* en el proceso de transformación, se participará y observarán los fenómenos que ocurrirán durante el proceso de pirólisis para la obtención de bio-oil, finalmente se anotarán en cuadros diseñados para su análisis.

Estas técnicas “se diferencia de la no experimental porque elabora datos en condiciones relativamente controladas por el investigador, particularmente porque éste puede manipular la o las variables. Es una poderosa técnica de investigación científica. Puede utilizar como instrumento la hoja o ficha de registro de datos.” (Tamayo y Silva, 2009).

2.4.2 Instrumentos

Los instrumentos de recolección de datos están adjuntos en los anexos del presente trabajo de investigación y son los siguientes:

Tabla 8: Instrumentos y técnicas de recolección de información por etapa

Etapas	Fuentes	Técnicas	Instrumentos	Resultados
Reconocimiento del área de cosecha de caña de azúcar	Investigadora	Observación	Ficha de registro de muestreo de residuos lignocelulósicos del <i>Saccharum Officinarum</i> (Anexo N° 02)	Ubicación de los puntos de recolección de materia prima

Determinación de características físicas del residuo lignocelulósico	Investigadora y laboratorio	Observación y Experimentación	Ficha de registro de las características físicas de residuos lignocelulósicos del <i>Saccharum Officinarum</i> (Anexo N° 03)	Determinación de las características fisicoquímicas del residuo lignocelulósicos
Determinación de características químicas de las hojas de caña de azúcar	Laboratorio de Pulpa y Papel de la Universidad Agraria La Molina		Ficha de resultados de las características químicas de residuos lignocelulósicos del <i>Saccharum Officinarum</i> obtenidos por el laboratorio (Anexo N° 04)	
Procedimiento para la obtención de bio-oil	Investigadora y laboratorio de Petroquímica	de la Universidad Nacional de Ingeniería	Ficha de datos registrados durante el proceso (Anexo N° 05)	Obtención de resultados a partir de la aplicación del proceso termoquímico
Determinación de propiedades físicas del bio-oil			Ficha de resultados de las propiedades físicas del bio-oil obtenidos por el laboratorio (Anexo N° 02)	

Fuente: Elaboración propia 2018

2.4.3. Validación y confiabilidad del instrumento

La validación de los instrumentos fue dada por el juicio de los expertos quienes evaluaron la claridad, objetividad, actualidad, organización, consistencia, metodología del trabajo investigación. Los instrumentos evaluados fueron lo siguiente:

- ✓ Ficha N° 01 - Registro de muestreo de la hoja de caña de azúcar

- ✓ Ficha N° 02 - Características físicas de la hoja de caña de azúcar
- ✓ Ficha N° 03 - Características químicas de la hoja de caña de azúcar
- ✓ Ficha N° 04 - Propiedades físicas del bio-oil
- ✓ Ficha N° 05- Datos registrados durante el proceso
- ✓ Ficha N° 06- Registro de pesos de los productos obtenidos de la pirólisis

Los especialistas que evaluaron la validez de los instrumentos son los a continuación mencionados:

Tabla 9: Lista de expertos evaluadores de los instrumentos

Especialista	Nombres	Apellidos	N° de colegiatura	Porcentaje
1	Fiorella Vanessa	Guere Salazar	131344	85 %
2	María	Aliaga Martínez	59443	90%
3	Rosalbina	De la Cruz Dávila	05060	90%

Fuente: Elaboración propia 2018

$$promedio = \frac{85\% + 90\% + 90\%}{3} = 88.3\%$$

2.5 Procedimiento

Para el presente estudio se detallan las siguientes etapas, las cuales reúnen los diferentes procedimientos utilizados para la determinación de las características físicas de la hoja de caña de azúcar y la producción del biocombustible. Se puede observar el siguiente flujograma de flujo (Gráfico 1).

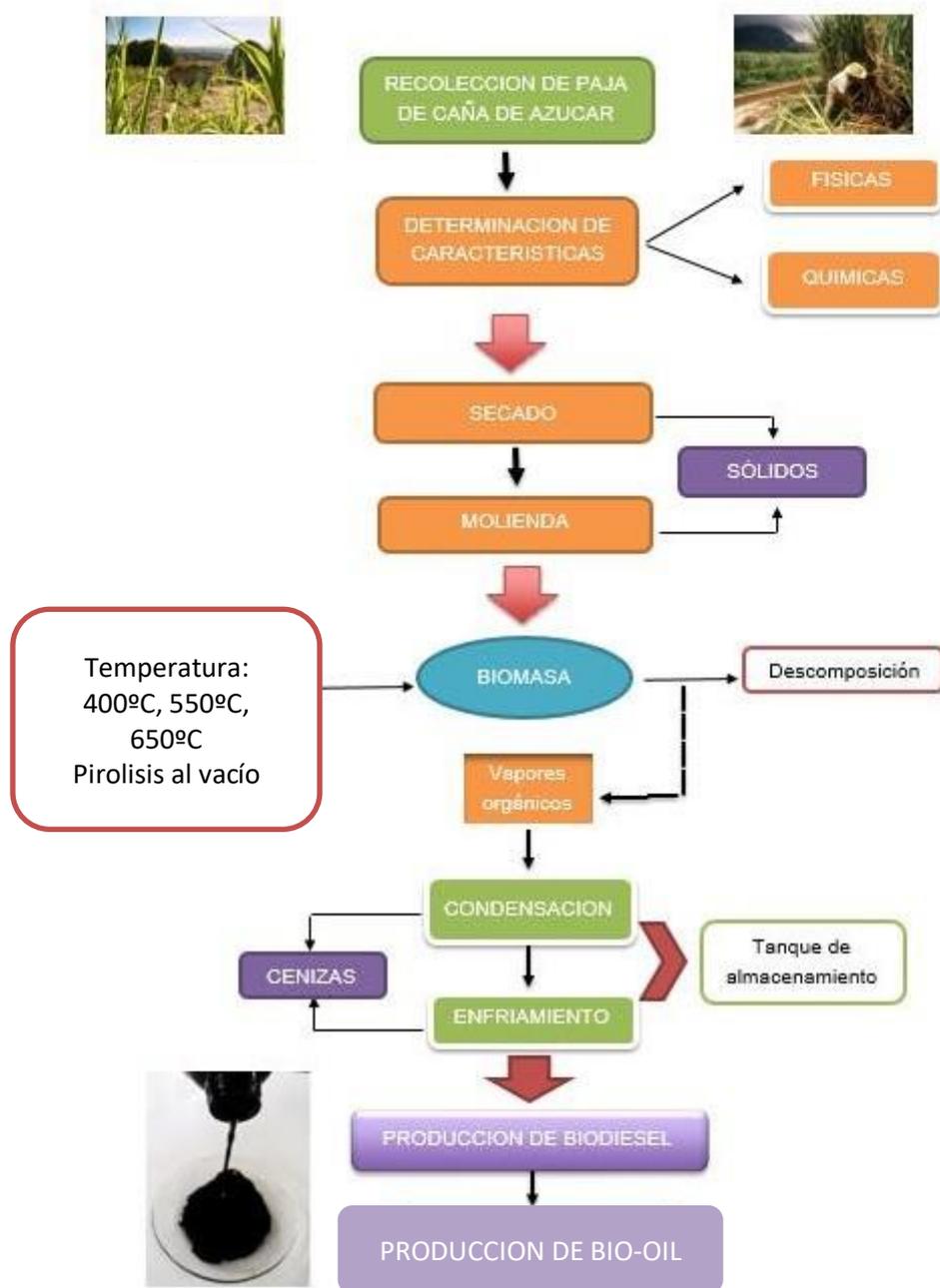


Figura 11. Flujograma del procedimiento de investigación

Fuente: Elaboración propia 2018

Etapa 1: Reconocimiento del área de cosecha de caña de azúcar

El muestreo se realizó el día 24 de Setiembre a las 9:00 am en los campos de cultivo del distrito de Chongoyape. Para la obtención de la muestra se consideró al campo de 6 ha que aproximadamente produce por hectárea 150 toneladas de caña de azúcar, encontrándose en la fase de maduración.

Por la facilidad y accesibilidad de parte del investigador se realiza el muestreo no probabilístico. Se caminó aproximadamente 10 metros dentro del cultivo en donde se pasó a retirar desde la yagua o vaina de la caña y las hojas de la misma. Asimismo, se logró recolectar 6kg de hojas en verde para los análisis iniciales de determinación de características físicas.

Etapa 3: Determinación de características físicas del residuo lignocelulósico

Las hojas de caña de azúcar se secaron al aire (en un lugar cubierto) hasta que tuviera un contenido de humedad menor al 10%. Luego se procedió a molerlos en un molino de cuchillas hasta un tamaño de malla N° 20 (0.85 mm). Para las pruebas de caracterización se tomaron submuestras representativas del material molido.

Para la determinación de características físicas del residuo lignocelulósico, en la humedad se utilizaron los tamices (<80 hasta >20) con un 1g de peso, es decir 0.25 de cada tamiz, para contenido de ceniza (>300 y <80) se utilizaron 2 g entre los dos tamices, materia volátil lo tamices son (>35 hasta <80) se utilizó 0.25g de cada tamiz, resultando en total 1g; y poder calorífico los tamices (300-80) y (35-20) con un peso entre 0,7 y 0,8.

Asimismo, es necesario obtener la muestra molida para la determinación de características químicas (lignina, celulosa y hemicelulosa) y para el proceso termoquímico en sus tres tratamientos. Estos dos procedimientos se realizaron en el laboratorio de Pulpa y papel de la Universidad Nacional Agraria La Molina y en el laboratorio de Petroquímica de la Universidad Nacional de Ingeniería, respectivamente.

Tabla 10. Procedimiento de los análisis físicos del residuo lignocelulósico

ANALISIS	NORMA	PROCEDIMIENTO
Contenido de humedad	ASTM E1756	0.5 a 2 g de biomasa pulverizada a un tamaño menor a 0.85 mm se coloca en un horno a 105 ± 3 °C por un mínimo de 4 horas, se retira y lleva a peso constante. La humedad obtenida está en base, así como es determinado.
Ceniza	ASTM E1755	0.5 a 2 g de biomasa pulverizada a un tamaño menor a 0.85 mm, se quema y luego se calcina en una mufla a 575 ± 25 °C durante 6 horas hasta peso constante. La ceniza obtenida esta en base, así como es determinado.
Contenido de materia volátil	ASTM E872	1 g de biomasa pulverizada a un tamaño menor a 0.85 mm, se calcina en una mufla a 950 ± 50 °C por 7 minutos, se enfría y pesa. El porcentaje de peso perdido menos el porcentaje de humedad es igual al porcentaje de materia volátil.
Contenido de carbono fijo	por diferencia	el contenido porcentual de carbono fijo se obtiene por diferencia si se conoce el % de Materia Volátil, % de Ceniza y % de humedad.

Poder calorífico	ASTM D2015	0.5 a 1 g de biomasa pulverizada a un tamaño menor a 0.85 mm se queman en una bomba calorimétrica adiabática (Parr 1341) bajo condiciones controladas. El poder calorífico superior se calcula a partir de las observaciones de temperatura hechas antes y después de la combustión. El poder calorífico superior obtenido esta en base así como es determinado.
-------------------------	-------------------	--

Fuente: Elaboración propia (2018)

Etapas 3: Determinación de características químicas del residuo lignocelulósico

Tomando en cuenta lo ya mencionado, para la determinación de características químicas de la materia prima se requiere que la muestra esté molida, la molienda y el análisis composicional se realizaron en el laboratorio de Pulpa y Papel de la Universidad Agraria La Molina. Para el análisis composicional de la muestra, se hizo uso de manera general el Método Gravimétrico.

En cuanto a la composición química de la biomasa, en lo redactado a continuación se explica brevemente los métodos para: el análisis de lignina, se empleó el proceso de hidrolisis, aquí el medio acuoso hierve durante 4 horas. Este análisis se basó en la Norma TAPI que aplica a pulpa y madera. Para el análisis de celulosa, se empleó el método Kurschner- Hoffner, se utilizó básicamente ácido nítrico y etanol, luego es llevado a baño maría por un promedio de 30 minutos, luego se pasa a lavar con agua destilada. Para el análisis de holocelulosa, se utilizó el método James Wiese, por oxidación por gravimetría, por diferencia de hipoclorito de sodio más ácido acético.

Si bien es cierto, en el planteamiento de las características químicas de la materia prima se señala que se determinará lignina, celulosa y hemicelulosa; y en lo anterior redactado se habla

de holocelulosa, este será determinado por diferencia ya que la característica química en cuestión es igual a celulosa más hemicelulosa. Cabe resaltar que no se ha podido determinar de manera directa la característica química en cuestión puesto que los laboratorios no cuentan con la metodología adecuada, y lo planteado es lo más cercano para hallar la respuesta.

Etapa 4: Procedimiento para la producción de bio-oil

Los resultados de los análisis están en base, así como ha sido recibida la muestra, es decir no se le hizo ningún pretratamiento al insertarlo en el proceso.

“El proceso de pirólisis rápida es preferible a una pirólisis lenta en cuanto a la alta producción de líquidos. Las principales características de este proceso son: altas tasas de calentamiento y transferencia de calor, control de la temperatura de proceso alrededor de 500°C en la fase vapor con cortos tiempos de residencia del vapor, usualmente menores a 2 s, y enfriamiento rápido de los vapores para obtener el bio- oil” (Arteaga, 2012, p. 146).

Las condiciones operativas para cada tratamiento (T 400°C, T 550°C y T 650°C) con sus respectivas repeticiones se utilizó una muestra de 50 g con tamaño de partícula de 0.85 mm para entrar al reactor. Se trabajó con una velocidad de calentamiento promedio de 9.06°C/min, la presión de la pirólisis se mantuvo en 16.66 kPa, la temperatura del horno 1100°C, la temperatura del baño de enfriamiento se mantuvo controlada a menos 1 °C. Los resultados en gramos de los productos obtenidos se determinaron por diferencia, para el líquido y sólido, por diferencia de pesos de tren de condensación y del reactor al inicio y final. En todos los casos el bio-oil incluye el agua emulsionada, los resultados de los análisis están en base, así como ha sido recibida la muestra, es decir no se le hizo ningún pretratamiento al insertarlo en el proceso.

El trabajo de investigación opero con un reactor al vacío que fue colocado en un horno a una temperatura aproximada de 1100°C, las operaciones previas fueron; en primer lugar el pesado del tapa del reactor, reactor y tren de condensación ensamblado, luego se pesa 50 g de muestra que son colocados dentro del reactor, se coloca la tapa del reactor, de inmediato se conecta al tren de condensación y esta a una manguera para liberación de gases; se prueba que esté completamente sellado conectándolo a una bomba de vacío, una vez confirmado el buen estado se programa la temperatura a utilizar, se introducen la termocupla dentro del reactor y el

termómetro en el baño, verificada la presión fijada para este equipo, queda listo para empezar con el procedimiento.

Para el experimento de pirólisis se enciende la bomba de vacío y se empieza a controlar la temperatura del horno y baño con el software Logger Pro 3.9 y la temperatura del reactor se fue controlando cada 5 minutos, el procedimiento toma un tiempo de 3 horas. Se enciende el horno, a partir de ese momento se registran datos de temperatura del horno, temperatura de la manta de calentamiento, temperatura del baño en el sistema de condensación, presión de vacío, una vez apagado el horno se deja enfriar el sistema por otros 120 minutos ya sacados del equipo. A continuación, se desconecta el sistema de condensación, se limpian y pesan todos sus componentes, luego se desensambla el reactor, se retira la tapa y se pesa. Una vez obtenidos los líquidos se recolectaron en botellas ámbar para su posterior análisis, con respecto al carbón se retira del reactor y se conservó en recipientes de plástico con tapa.

En promedio un experimento completo toma unas ocho horas, entre el ensamblaje, acondicionamiento del equipo, pirólisis, desensamblaje, almacenamiento de muestras y limpieza final de los equipos para la próxima secuencia.

2.5.1 Tratamiento

Preparación de la biomasa

T1: Proceso con temperatura de 400 °C

T2: Proceso con temperatura de 550 °C

T3: Proceso con temperatura de 650 °C

2.5.2 Materiales y Equipos

En la Tabla 7, se muestran en forma general los materiales y equipos que fueron utilizados en el desarrollo de la presente investigación.

Tabla 11. Materiales y equipos utilizados en el proceso

MATERIALES	EQUIPOS
Tamiz	Balanza analítica
Espátula	Horno mufla
Matraz Erlenmeyer	Equipo de pirólisis
Botellas ámbar	Viscosímetro
Recipientes pequeños de plástico	Equipo de agua por arrastre
Papel aluminio, algodón	Bomba calorimétrica
Contendor de muestras	Bomba de O2

Fuente: Elaboración propia, 2018

2.6 Métodos de análisis de datos

El trabajo se planteó mediante el Diseño Completamente al Azar (DCA) donde hay 3 tratamientos, 3 repeticiones y 1 unidad experimental, cuyo modelo aditivo Lineal es:

$$y_{ij} = \mu + t_i + E_{ij} \quad (2)$$

Dónde:

Y_{ij} = Efecto del i-ésimo tratamiento de la J-ésima repetición

μ = es la media poblacional

t_i = Efecto del i-ésimo tratamiento

E_{ij} = Error experimental

Para el ANOVA se usó el software Minitab o SPSS y para la evaluación o comparación de las medias se usó las pruebas de contraste de Tukey y para la obtención de gráficos y cuadros se usó el Excel.

2.7 Aspectos éticos

El proyecto de investigación “Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos del *Saccharum Officinarum* por pirólisis para la obtención de bio-oil, Chongoyape 2018” tomó en cuenta la información de investigaciones anteriores respetando la propiedad intelectual de los autores y/o entidades. Asimismo, fue sometida al software Turnitin para la verificación de la originalidad.

III. RESULTADOS

En esta sección se detallan los resultados obtenidos de las características físicas y químicas de los residuos lignocelulósicos, así como las propiedades físicas del bio-oil obtenido por la pirólisis rápida al vacío. Se evidencia los siguientes resultados:

3.1. Caracterización de los residuos lignocelulósicos

A partir de las repeticiones correspondientes aplicadas a la biomasa se obtuvieron los siguientes resultados detallados a continuación:

Para los análisis de contenido de humedad se utilizó la norma ASTM E-1756, contenido de materia volátil ASTM E-872, ceniza ASTM E-1755, contenido de carbón fijo (100 - (% Materia Volátil + % Ceniza + % de humedad)), poder calorífico ASTM D-2015; estos análisis fueron realizados en el laboratorio de la facultad de Petroquímica de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Tabla 12: Características físicas de los residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum*

Características físicas	Resultados
Humedad (%)	8.94
Materia volátil (%)	80
Contenido de ceniza (%)	7.31
Carbono fijo (%)	3.35
Poder calorífico (MJ/kg)	16.05

Fuente: Elaboración propia (2018)

En la Tabla 11 se observa que la humedad es de 8.94%, esta característica está estrechamente relacionada con el poder calorífico 16.05 MJ/kg (3943.59 kcal/kg), así lo demuestra el cuadro N°, que nos presenta que estas dos características son inversamente proporcionales, entre menor sea la humedad mayor será el valor del poder calorífico. Asimismo, se obtuvo 80 % la materia volátil, esta representa la presencia de compuestos orgánicos condensables y no condensables que son liberados del residuo lignocelulósico cuando está expuesta al calor (650°C), de acuerdo con la literatura encontrada, la biomasa tiene típicamente un alto contenido de materia volátil (>80%). En cuanto al contenido de ceniza, se tiene como resultado 7.31%, es el residuo

inorgánico (Na, K, Ca, Si, Fe, Mg, Mn, Cl, Cr) que queda después de la combustión, esta determinación indica si la biomasa puede alcanzar una combustión completa. El porcentaje obtenido de carbono fijo es de 3.35%, este valor significa la masa de materia orgánica que queda luego de que se ha liberado el material volátil y la humedad.

Estos valores de la biomasa estudiada son muy similares al de otros estudios enfocados también a la producción de nuevas fuentes de energía (Tabla 13)

Tabla 13. Relación entre humedad y poder calorífico

%HUMEDAD	10	20	30	40	50	60	70
PC (kcal/kg)	3391	2988	2518	2084	1644	1707	770

Fuente: MONTOYA, 2014

Tabla 14. Comparación de Análisis Próximo

Biomasa	% Humedad	% Cenizas	% Volátiles	% Carbono fijo
Este trabajo	8.94	7.31	80	3.35
Paja (Montoya, 2014)	6.8	6.2	82	11.9
Hojas de caña (Rueda, 2015)	10.4	16.4	74	13

Fuente: Elaboración propia (2018)

Para la determinación de composición química de la biomasa estudiada, se emplearon en el caso de lignina el método TAPPI T222, para celulosa el método Kurschner-Hoffner, para holocelulosa el método Jayme- Wise, con respecto al resultado de hemicelulosa, se empleó la teoría de que Holocelulosa= hemicelulosa + celulosa.

Tabla 15: Características químicas de los residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum*

Características químicas	Resultados
Lignina	16.69
Celulosa	42.02
Hemicelulosa	20.1

Fuente: Laboratorio de pulpa y papel de la Universidad Nacional Agraria La Molina (2018)

En la tabla 14 se observan las características químicas del residuo, con un porcentaje de lignina de 16.69%, la lignina es el más estable térmicamente entre los otros dos componentes, sufre una descomposición lenta a temperaturas bajas, la presencia de una mayor cantidad de lignina afecta en el rendimiento del producto líquido, ya que está conformada por estructuras poliméricas fenólicas las cuales aportan rigidez y resistencia en sus paredes celulares. En cuanto al porcentaje de celulosa, se obtuvo un 42.02%, la descomposición de este polímero es lenta, la forma de comportarse en el proceso termoquímico se ve afectado por su estructura fina; la aplicación de temperaturas mayores a 500°C hace que los alquitranes, generados desde los 250°C, empiecen a tener reacciones secundarias como la aparición variada de gases ligeros. Para la hemicelulosa se tiene el valor de 20.1%, este resultado se corrobora con la tesis de Veses (2014) en donde indica que la proporción de la biomasa debe ser de un 40-60% en peso de celulosa, un 20-40% en peso de hemicelulosa y un 10-25% en peso de lignina.

3. 2 Termogravimetría

La Fig. 1 muestra las curvas TG (pérdida de peso y conversión) y DTG (pérdida de peso respecto a la temperatura) del residuo lignocelulósico.

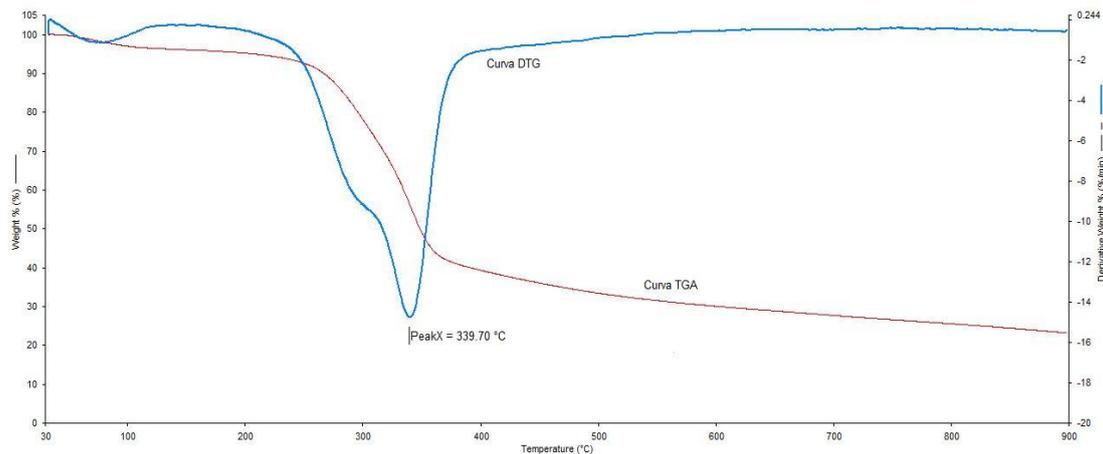


Figura 12. Termogravimetría del residuo lignocelulósico *Sacharum Officinarum*

Fuente: Elaboración propia (2018)

Se puede observar que el pico máximo del DTG llega a 339.7°C, lo que significa que en el proceso la mayor pirólisis ocurre a esa temperatura el cual nos indica la máxima destrucción de las moléculas. De acuerdo a ello, es que se priorizo iniciar el procedimiento por encima del pico máximo, se determinaron que los tratamientos aplicados en la biomasa para el proceso de pirólisis, serán 400°C, 550°C y 650°C; considerando también que en la curva TGA la conversión ocurre en el tramo de 400°C a 800°C. Asimismo, se puede observar en la curva TGA, que a 400°C la biomasa se desintegra hasta un 60%, ello no significa que el producto sea en su totalidad líquido, sino también sólido, el cual va a depender y variar de acuerdo a las condiciones operativas que se le aplique a nivel macroscópico.

3.3 Rendimiento de los productos de la pirólisis

El presente trabajo tuvo el objetivo de determinar a qué temperatura se puede obtener mayor cantidad de bio-oil, para ello se trabajaron con tres temperaturas (400°C, 550°C y 650°C). Se realizaron tres repeticiones para cada temperatura, se utilizó 50 g de residuo lignocelulósico con un tamaño de partícula de 0.85 mm, la presión del sistema fue de -25 inHg (16.66 kpa) la velocidad de calentamiento promedio trabajada fue de 9.06 °C/min. Aplicadas estas condiciones operativas, se obtuvieron los siguientes pesos para líquido, sólido y gas.

Tabla 16: Peso de productos obtenidos de la pirólisis al vacío

Tratamiento	Líquido (g)	Sólido (g)	Gas (g)
400 °C	21.0	14.0	16.0
550 °C	21.0	11.0	18.0
650 °C	20.0	10.0	20.0

Fuente: Elaboración propia (2018)

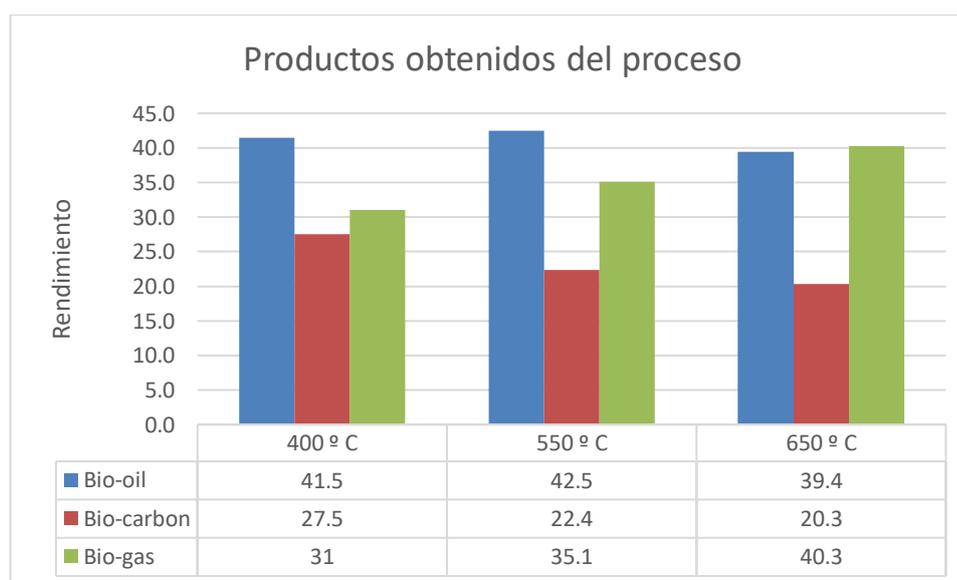
Para hallar el rendimiento se aplica el peso del líquido/sólido/ gas dividido por el peso de la muestra (50g) por 100.

Tabla 17: Rendimiento de los productos obtenidos (bio-oil, bio-char y biogás) de la pirólisis

Producto	Rendimiento (%)		
	400 ° C	550 ° C	650 ° C
Bio-oil	41.5	42.5	39.4
Biocarbon	27.5	22.4	20.3
Biogas	31	35.1	40.3

Fuente: Elaboración propia (2018)

Gráfico 1. Rendimiento de los productos obtenidos del proceso



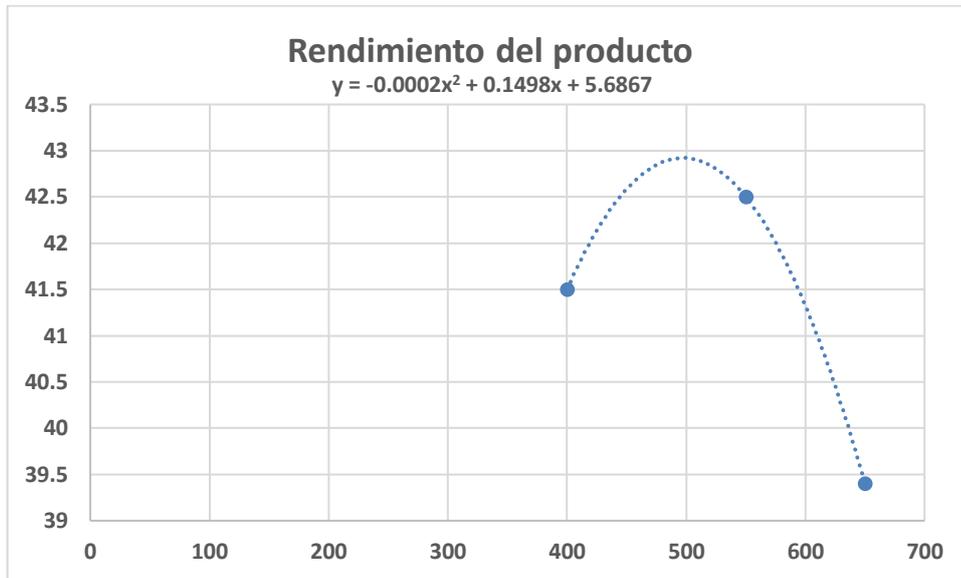
Fuente: Elaboración propia (2018)

En la tabla 16 y gráfico 1 se muestran los resultados de la pirólisis del residuo lignocelulósico del Sacharum, puede notarse la variación de los rendimientos con respecto a los productos en sus tres fases. El máximo rendimiento de bio-oil (42.5%) se encuentra en la temperatura 550°C, sucede porque al inicio se da la deshidratación de la biomasa, seguido se inicia la despolimerización la cual avanza en forma proporcional al aumento de la temperatura, el retiro rápido de los volátiles de la zona de reacción evita las reacciones de recondensación.

Asimismo, se observa que, alcanzado el pico de rendimiento, en este caso con lo experimentado 550°C, a pesar de que se continúe con el aumento de temperatura, el rendimiento en bio-oil decae constantemente, como se nota en la temperatura 650°C obtuvo un rendimiento de 39.4%. Aunque según los resultados se nota que la variación del rendimiento del líquido en sus tres temperaturas no varía notablemente. Cabe destacar que, la obtención de bio-oil en menor cantidad a 650°C se debe a que el craqueo térmico tiene mayor lugar, por lo que se generan más gases (40.3%), esto es directamente proporcional con la temperatura, es decir, habrá mayor presencia de gases si la temperatura es mayor, esto es debido a las reacciones secundarias de descomposición del carbón y al tiempo de residencia de los gases en el reactor. Con respecto al rendimiento del biocarbón (27.5%), se obtiene mayor cantidad a 400°C, esto se debe a que el porcentaje de carbón se reduce a medida que aumenta la temperatura. Lo mencionado anteriormente, concuerda con la literatura, ya que a medida que aumenta la temperatura aumentan las reacciones de despolimerización que lleva a la formación del bio-petróleo, pasada esa fase ocurren reacciones de recondensación que llevan a la formación de carbón.

Se realizó la regresión polinómica con los datos obtenidos del proceso con el fin de determinar que temperatura sería la más eficiente para una posterior experimentación.

Grafico 2. Máximo rendimiento de bio-oil por regresión polinómica



Fuente: Elaboración propia (2018)

El gráfico muestra que con la temperatura 500°C se obtendría un aproximado de 43 % de rendimiento del líquido, por lo que una vez más se demuestra que la temperatura de reacción en el proceso de pirólisis rápida afecta tanto la descomposición como el rendimiento de los productos. Según Bridgweater (2011) en su curva de rendimiento de productos de pirólisis de madera vs temperatura donde se observa que el rendimiento máximo de producto líquido se da en un rango entre 500 y 520°C.

3.3 Caracterización del Bio-petróleo

Se realizó la caracterización física del bio-petróleo obtenido en la pirólisis rápida al vacío de los residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum*, se analizó el contenido de agua, poder calorífico y viscosidad de acuerdo a los ensayos normalizados por ASTM para estimar la calidad del producto como combustible.

Las repeticiones para cada parámetro no fueron posibles de realizar debido al volumen obtenido en cada tratamiento.

Tabla 18: Propiedades físicas del bio-oil

Tratamiento	Poder calorífico (MJ/kg)			Contenido de agua (%)			Viscosidad (cp)		
	400° C	550°C	650°C	400° C	550° C	650° C	400° C	550° C	650° C
	R1	—	—	—	90	91.5	88.5	0.892	0.899

Fuente: Elaboración propia (2018)

De los resultados mostrados en la Tabla 17 se puede notar un elevado contenido de agua en todas las temperaturas, por lo tanto, la cantidad de bio-oil obtenida es no significativa. En cuanto al siguiente parámetro se presenta viscosidad baja en las temperaturas de 400°C y 500°C con 0.892 cp y 0.899 cp respectivamente, ello comparado en lo mostrado en el cuadro 17, con la utilización de bagazo de caña de azúcar se obtiene valores entre 1.98 a 2.47 cp.

Para la determinación de poder calorífico, el producto analizado no mostro respuestas al ser estudiado en la bomba calorimétrica. Por lo que no se registra calor entregado por el líquido obtenido. En la tabla 18 se muestra los valores obtenidos de la caracterización de ciertas biomásas como el bagazo de caña de azúcar, racimos de frutos vacíos y madera de mango, en donde se puede notar que el bio-.oil obtenido a partir de ellos contienen un poder calorífico mayor a 10 MJ/kg, el contenido de agua varía desde 20% a 62 % y la viscosidad oscila desde 1.98 a 10.5 cp.

Tabla 19: Comparación de las propiedades físicas de bio-oils

Bio-oil	Poder Calorífico (MJ/kg)	Contenido de Agua (%)	Viscosidad (cp)	
Residuos lignocelulósicos del Sacharum Officinarum	400 °C	—	90	0.892
	500°C	—	91.5	0.899
	650°C	—	88.5	0.905
Bagazo de caña de azucar- Pretell (2013)	500	11	20.83	1.98
	600	13.49	61.54	2.27

Racimos de frutos vacíos de palma - Pretell (2013)	500	12.59	30	1.37
	600	16.89	27.50	1.43
Madera de mango (Okoroigwe, 2015)		ND	33.41	10.5

Fuente: Elaboración propia (2018)

En vista que el producto líquido no fue en su totalidad bio-oil, sino que se mostró mayor cantidad de agua, por lo tanto, no califica como bio-oil. Según el método aplicado, ASTM D-95, considera a la cantidad de agua como tal. Es por ello, que se procedió a realizar la caracterización de este líquido obtenido de la pirólisis, para la determinación de compuestos orgánicos. La prueba se realizó cualitativamente y los compuestos considerados se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 20: Determinación de compuestos químicos orgánicos

Nº	Reactivos	Observación	Sustancia determinada	Conclusion
1	FeCl ₃ (ac)	Oscurecimiento de la solución	Fenoles y/o enoles	<i>POSITIVO</i>
2	KMnO ₄ (ac)	Formación de precipitado pardo	Compuestos orgánicos fácilmente oxidables	<i>POSITIVO</i>
3	NaOH(ac)	Desaparece el color rosado de la fenolfateína	Ácidos carboxílicos y fenoles	<i>POSITIVO</i>
4	2,4 DNF	Precipitado color amarillo naranja	Compuestos carbonílicos (aldehídos y cetonas)	<i>POSITIVO</i>
5	Br ₂ /H ₂ O	Aparición de precipitado amarillo	Grupos funcionales donantes de electrones en compuestos aromáticos	<i>NEGATIVO</i>
6	Reactivo de Fehling (I y II) Cu(OH) ₂	Desaparición del color azul intenso y aparición de un precipitado de color rojo ladrillo	Aldehídos	<i>NEGATIVO</i>

7	HNO ₂ (NaNO ₂ + HCl)	Desprendimiento de un gas	Aminas primarias	<i>POSITIVO</i>
8	CuSO ₄ (ac)	Coloracion verde tenue	Aminas aromaticas	<i>POSITIVO</i>
9	NaHCO ₃ (ac)	Desprendimiento de un gas	Acidos carboxílicos	<i>POSITIVO</i>

Fuente: DIAZ, J. (2005)

La tabla 19 nos indica que este producto líquido de pirólisis posee compuestos orgánicos tales como fenoles, ácidos carboxílicos, cetonas y aminas aromáticas. Las pruebas N°5 y 6 resultaron negativo puesto que no presentaron cambio en coloración, por lo que se descarta que el líquido contenga aldehídos y grupos funcionales donantes de electrones en compuestos aromáticos. Según lo aplicado, se determina finalmente que el producto líquido posee familia de fenoles, ácidos carboxílicos, aminas primarias y aromáticas

Asimismo, se hizo la prueba de espectro IR, para la confirmación más precisa de la presencia de estos compuestos orgánicos.

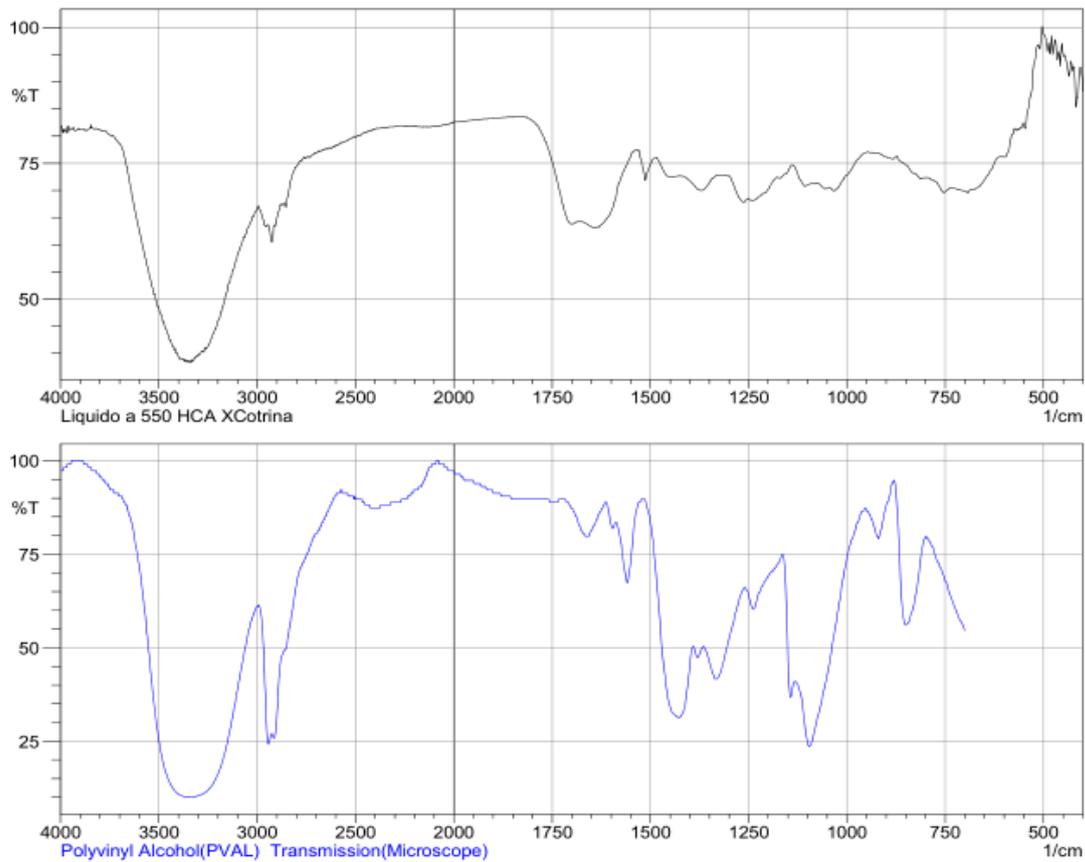


Figura 13. Espectro IR del bio-oil a 550 °C producto de la pirolisis de la hoja de caña de azúcar

Fuente: Laboratorio UNI, 2018

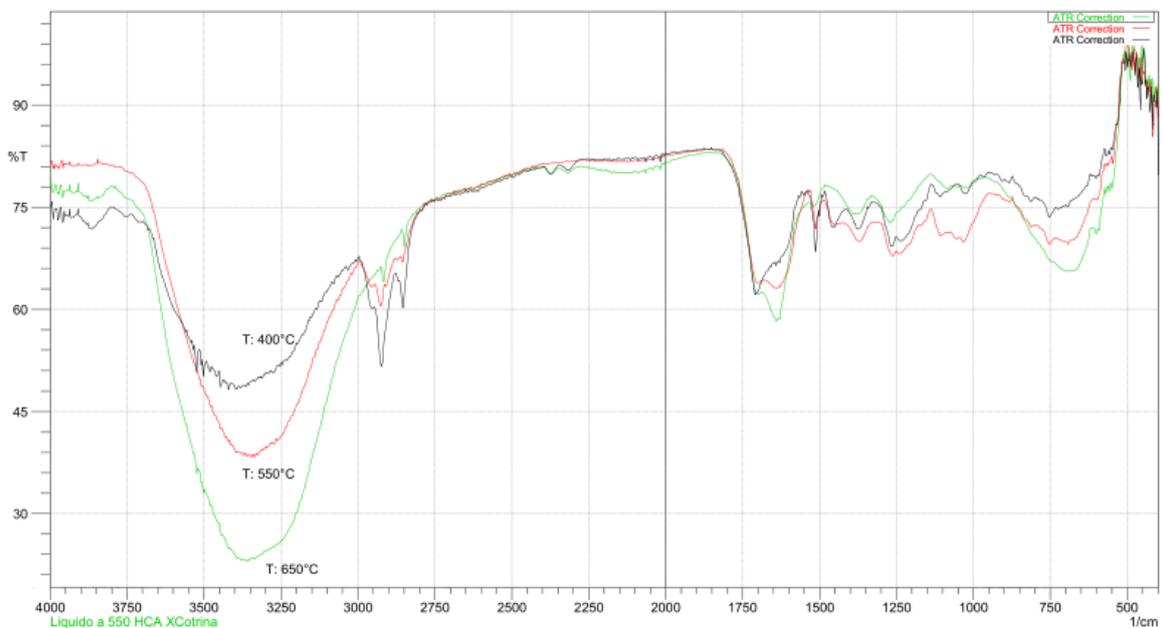


Figura 14. Espectro IR del bio-oil a 400°C, 550°C, 650°C producto de la pirolisis de la hoja de caña de azúcar. Búsqueda espectral realizada con IRSolution

Fuente: Laboratorio UNI, 2018

Los espectros mostrados en la figura 13 y 14 muestran los espectros del bio-ol, en donde se presentan el resultado de la búsqueda espectral realizada con las librerías del software IRSolutions, el cual indica presencia de alcohol polivinílico, alcoholes, fenoles, cetonas y ácidos carboxílicos.

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS EN EL PROGRAMA IBM SPSS V.23

Para comparar medias y desviación estándar es necesario que se cumplan los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Para ello realizara la prueba de normalidad.

Prueba de normalidad para el rendimiento

Para determinar si es válida o no la hipótesis (alterna o nula), se tomó en consideración que los datos obtenidos son normales, para lo cual el nivel de significancia (p) de cada tratamiento con el parámetro a evaluar debe ser mayor a 0,05 para realizar la aplicación de ANOVA u otro estadístico.

Al tener 9 datos, se consideró la data generada de cada tratamiento y la normalidad se contrastó con las significancias de Shapiro-Wilk, puesto que ($n < 50$), la cual se muestra en la Tabla (Hipótesis general).

Tabla 21: Pruebas de normalidad

Pruebas de normalidad							
	TRATAMIENT O	Kolmogorov- Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístic o	g l	Sig .	Estadístic o	g l	Sig .
RENDIMIEN T O	TEMPERATUR A 400	,217	3	.	,988	3	,79 1
	TEMPERATUR A 550	,328	3	.	,871	3	,29 8
	TEMPERATUR A 650	,353	3	.	,822	3	,16 9

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 23 (2018)

a) Prueba de hipótesis

Ho: Los datos del rendimiento tienen una distribución normal.

H1: Los datos del rendimiento no tienen una distribución normal.

b) Regla de decisión

Sig. > 0.05, se acepta la hipótesis nula (Ho)

c) Resultado:

El rendimiento de las temperaturas 400°C, 550°C y 650°C tienen una significancia de 0.791, 0.298, 0.169 respectivamente, siendo mayor a 0.05.

d) Conclusión

Con un nivel de significación del 5%, se concluye que los datos de rendimiento tienen distribución normal.

Prueba de Homogeneidad de Varianzas:

Si en caso las varianzas son homogéneas ($p < 0,05$) se utiliza la prueba de Tukey y si no son homogéneas ($p > 0,05$) se hace empleo de la prueba de Games-Howell, los datos obtenidos se muestran en la Tabla .

Tabla 21. Prueba de homogeneidad de varianzas

Estadístico de			
Levene	gl1	gl2	Sig.
3,269	2	6	,110

Fuente: Procesamiento de datos en IBM SPSS Statistics v.20

a) Prueba de hipótesis

Ho: Todos los tratamientos tienen varianzas iguales

Ha: Al menos un tratamiento no tiene varianza igual

b) Regla de decisión

Sig > 0.05, entonces se acepta la Ho.

c) Resultado

Se tiene una significancia de 0.110, siendo este es mayor a 0.05.

d) Conclusión

Con un nivel de significación del 5%, se concluye que los tratamientos tienen varianzas

iguales, porque la significancia es mayor a 0.05 ($p > 0.05$).

Prueba paramétrica:

ANOVA de un factor

Después de haber realizado la prueba de Normalidad se realizó la prueba paramétrica ANOVA para la aceptación o rechazo de la hipótesis.

$p > 0,05$ = No hay diferencias significativas – Acepta H_0

$p < 0,05$ = Hay diferencias significativas – Rechaza H_0

Tabla 22: Prueba paramétrica ANOVA para el rendimiento obtenido a partir de los 3 tratamientos

ANOVA					
RENDIMIENTO					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	14,676	2	7,338	,569	,594
Dentro de grupos	77,413	6	12,902		
Total	92,089	8			

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 23 (2018)

a) Prueba de hipótesis

H_0 : No existe diferencia significativa entre los tratamientos

H_a : Por lo menos un tratamiento existe diferencia significativa

b) Regla de decisión

Sig. > 0.05 , acepta la hipótesis nula (H_0)

c) Resultados

Sig. = 0.594

0.594 es mayor que 0.05

d) Conclusión

La significancia de la prueba de ANOVA es 0.594 eso significa que no existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 23: Prueba de normalidad de la composición física del residuo lignocelulósico del *Sacharum Officinarum*

Pruebas de normalidad							
	Composicion	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadísti co	gl	Sig.	Estadísti co	gl	Sig.
Res ulta dos	Humedad	,178	3	.	,999	3	,956
	Materia volatil	,385	3	.	,750	3	,000
	Contenido de ceniza	,358	3	.	,814	3	,148
	Carbono fijo	,383	3	.	,754	3	,010
	Poder Calorifico	,364	3	.	,800	3	,114

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 23 (2018)

a) Prueba de hipótesis

Ho: Los datos de la composición física tienen una distribución normal.

H1: Los datos de la composición física no tienen una distribución normal.

b) Regla de decisión

Sig. > 0.05, se acepta la hipótesis nula (Ho)

c) Resultado:

La composición física del residuo lignocelulósico tiene una significancia de 0.956, 0.148, 0.114 respectivamente, siendo mayor a 0.05.

d) Conclusión

Con un nivel de significación del 5%, se concluye que los datos de composición física tienen distribución normal.

Tabla 24: Prueba de normalidad de la composición química del residuo lignocelulósico del *Sacharum Officinarum*

Pruebas de normalidad							
Resultados	Composicion quimica	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
	lignina	,322	3	.	,880	3	,324
	celulosa	,208	3	.	,992	3	,829
	hemicelulosa	,200	3	.	,995	3	,861

Fuente: Elaboración propia, adaptado del SPSS 23 (2018)

a) Prueba de hipótesis

Ho: Los datos de la composición química tienen una distribución normal.

H1: Los datos de la composición química no tienen una distribución normal.

b) Regla de decisión

Sig. > 0.05, se acepta la hipótesis nula (Ho)

c) Resultado:

La composición física del residuo lignocelulósico tiene una significancia de 0.324, 0.829, 0.861 respectivamente, siendo mayor a 0.05.

d) Conclusión

Con un nivel de significación del 5%, se concluye que los datos de composición química tienen distribución normal.

IV. DISCUSION

Los resultados obtenidos de las características físicas del residuo lignocelulósico del *Sacharum Officinarum* fueron humedad 8.57%, materia volátil 80%, contenido de ceniza 7.31%, carbono fijo 3.35%, poder calorífico 16.05%. Estos resultados lo pueden confirmar RUEDA, Y. (2015) con el análisis próximo de algunas biomásas con potencial para la producción de bioaceite donde, para la hojas de caña de azúcar se obtuvieron los valores para humedad 8.42%, materia volátil 86.64%, contenido de ceniza 3.85%, carbono fijo 9.51%; los valores obtenidos de este trabajo en cuanto a los dos primeros análisis están similares, para el valor del carbono fijo para la materia prima estudiada tiene un 5% menos que el autor citado, esto significa la poca cantidad de masa de materia orgánica que queda luego de liberarse la materia volátil y humedad. Las características obtenidas del trabajo no tienen diferencias grandes con los valores obtenidos del anterior autor, lo cual indica que hay uniformidad en el material estudiado.

Para la determinación de características químicas del residuo se obtuvo el valor de lignina 19.69%, celulosa 42.02%, hemicelulosa 20.10%, la proporción de estos compuestos son importantes constituyentes para la calidad de un combustible. De este modo, se confirma con RUEDA, Y. (2015) los valores de lignina 21.63%, celulosa 39.81% y hemicelulosa 33.28%. El resultado de hemicelulosa de este trabajo presenta 13% menos que la literatura citada. En cuanto a la lignina y celulosa los valores presentan características cercanas. Considerando que la composición química del residuo agrícola va a determinar el rendimiento y composición de los productos obtenidos a partir del proceso termoquímico, al respecto ARTEAGA, L (2015) indica que la composición de la biomasa al ser expuesta a temperaturas mayores a 270°C comienza a generar ácidos carboxílicos, fenol, furfural, etanol entre otros compuestos orgánicos, principalmente por la despolimerización de la hemicelulosa, la liberación de grupos carbonilos y carboxilos se da debido a la celulosa y los anillos aromáticos por la lignina.

Los resultados obtenidos nos muestran que se puede producir mayor cantidad de líquido de pirolisis al vacío a partir de residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum*, a una temperatura de 550°C con un 42.5%, sí lo afirma BASU, P. (2010) quien menciona que trabajar con este tipo de reactor se tiene una velocidad de calentamiento baja, tiempo de residencia corto obteniendo un rendimiento de líquido relativamente bajo, de un aproximado 35 a 50%. Las condiciones operativas de la pirolisis al vacío con las que se operó fueron: temperatura de reactor (400°C, 550°C y 650°), temperatura del horno máxima (1086°C, 1168°C, 1249°C;

respectivamente), la temperatura del baño se dio a una temperatura menos a 1°C, la presión fue de -25inHg y el tiempo de duración para los tres tratamientos fue de 180 minutos, asimismo se trabajó con 50g de muestra para cada temperatura con sus respectivas repeticiones.

Luego de la caracterización del producto obtenido, se obtuvo que las propiedades físicas no presentan condiciones adecuadas, ya que, al analizar el poder calorífico para los líquidos de pirólisis de cada aplicación de temperatura, salió nula. Para el contenido de agua se nota que existe una alta cantidad de agua en el producto líquido para 400°C un 90%, 550°C un 91.5% y en 650°C un 88.5%. MONTOYA, J (2014) menciona que la presencia de agua tiene efectos positivos y negativos, en primer lugar, disminuye el poder calorífico, retarda el encendido, disminuye la velocidad de combustión, sin embargo, la presencia de agua reduce la viscosidad, lo que significa que mejorara la fluidez en motores y reduce las emisiones de NOx. Con respecto a la viscosidad, el producto presenta bajos niveles 0.892 cp, 0.899 cp, 0.905 cp en cada temperatura 400°C, 550°C y 650°C respectivamente, estos resultados comparado con otro bioaceite a partir de bagazo de caña de azúcar trabajado por PRETELL, V (2013) presenta que la viscosidad a 500°C es de 1.98 cp, lo cual muestra cierta relación con el producto obtenido de este trabajo. Para MONTOYA, J (2014), la viscosidad es importante porque afecta a los procesos de bombeo e inyección, además se busca disminuir este parámetro a altas temperaturas, de tal modo que los bioaceites muy viscosos pueden ser fácilmente trasegados por bombeo después de un precalentamiento moderado (<80°C).

En el caso de propiedades químicas del líquido a partir de pirólisis, se encontró a través de las pruebas cualitativas (presencia/ausencia y espectro IR), una serie compleja de compuestos orgánicos, tales como familia de fenoles, ácidos carboxílicos, cetonas y aminas aromáticas. Debido a la proporción contenido de agua (90%) y bioaceite (10%) para la temperatura 400°C, contenido de agua (91.5%) y bioaceite (8.5%) para la temperatura 550°C; y contenido de agua (88.5%) y bioaceite (11.5%) para la temperatura 650°C, el producto obtenido califica como compuesto químico. Cabe resaltar que, sí se manifiesta presencia de bio-oil pero la cantidad no es significativa.

V. CONCLUSIONES

- El aprovechamiento de residuos lignocelulósicos del *Sacharum Officinarum* en la obtención de bio-oil si es eficiente, se obtuvo como máximo rendimiento 42.5% con la aplicación del segundo tratamiento.
- Las características físicas y químicas de los residuos lignocelulósicos influyen significativamente puesto que, en el caso de que haya mayor humedad en la biomasa que lo establecido en la literatura, en el proceso esta generaría mayor cantidad de vapores haciendo que el producto obtenga más agua, y en el caso de la composición química, en cuanto a la lignina si hay mayor cantidad de este componente, el rendimiento del líquido disminuiría.
- Se concluye que el máximo rendimiento (42.5%) de bio-oil se logró con una temperatura de 550°C. Considerando los rendimientos (41.5% y 39.4%) obtenidos de la aplicación de las otras dos temperaturas 400°C y 650°C, respectivamente; se realizó una regresión polinómica en donde se demuestra que la aplicación de una temperatura de 500°C se obtiene un mejor rendimiento que asciende a 43% aproximadamente.
- Las propiedades físicas analizadas al producto de interés fueron poder calorífico, contenido de agua y viscosidad; según los resultados el producto líquido obtenido de pirólisis demostraron que no cuenta con las condiciones adecuadas, por lo tanto, no tiene la calidad de un bio-oil, ya que, en primer lugar, no cuenta con poder calorífico y el contenido de agua presente en el producto es muy alta; estos dos parámetros son inversamente proporcional, puesto que al haber más cantidad de agua el poder calorífico disminuye.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda experimentar variando las condiciones operativas, aumentar la presión, la velocidad de calentamiento, la temperatura del baño y disminuir el tamaño de la muestra que entra al reactor, todo ello es debido a que este tipo de investigación con el proceso termoquímico empleado aún es un campo exploratorio.
- Para mejorar el sistema de condensación, debe hacerse una investigación para considerar el uso de una torre de pulverizado, puesto que, según la literatura aquí se produce un enfriamiento por contacto directo.
- Se recomienda determinar con exactitud la cantidad de gases generados del proceso, además de realizar su caracterización para su potencial uso.
- Se recomienda adquirir tecnologías sofisticadas para el retiro de agua generado en el proceso, asimismo, en cuanto al análisis de contenido de agua utilizar la titulación de Karl Fischer, ya que es la más adecuada y para la determinación de la viscosidad se debe emplear viscosímetros rotacionales.
- Para mejorar la calidad del producto se debe considerar la utilización de catalizadores químicos heterogéneos soportados en zeolitas.
- Se debe considerar la posibilidad de experimentar con la misma materia prima, pero en distintos reactores mencionados anteriormente y así determinar cuál de ellos genera mayor rendimiento.
- De acuerdo a lo obtenido en el presente trabajo de investigación, es necesario realizar un estudio posterior para identificar la cantidad y calidad con más detalle, ya que una vez especificado se puede concluir que a las condiciones trabajadas sería una ruta para obtener compuestos químicos.

REFERENCIAS

ALCALA, Diana y otros. Producción enzimática de biodiesel con biomasa lignocelulósica” de la Universidad de Camagüey, Cuba. Revista Scielo. 2017. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000100011

BENÍTEZ, Josie. Estudio de la cosecha en verde para el manejo sostenible del cultivo de caña de azúcar (*saccharum officinarum* l.). Ecuador, 2016. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/11881/1/Cosecha%20en%20verde%20por%20Josie%20Benitez%20final3.pdf>

CABRERA, Emir y otros. Caracterización de residuos agroindustriales con vistas a su aprovechamiento. Cuba: Yaillet Albernas Carvajal, 2016. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612016000400003

COBO, Diego. Pirolisis de residuos de cosecha de caña de azúcar (RAC) como alternativa de aprovechamiento en procesos de cogeneración. Tesis de maestría. 2012. Disponible en: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/8696/TESIS-final-pirolisis-RAC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

LEON, Tamara. y otros. Hojas de caña de azúcar. Sus usos en la actualidad. Cuba: Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, 2013. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223128548003.pdf>

GONZALEZ, Andrés y otros. Biocombustibles de segunda generación y Biodiesel: Una mirada a la contribución de la Universidad de los Andes. Artículo de Universidad de los Andes, Colombia. 2008.

HACKHENBERG, Norbert. Biocombustibles de segunda generación. [en línea]. Revista. Virtual REDESMA. 2008. Disponible en: <http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rvr/v2n2/a05.pdf>

KNOTHE, G. y otros. Energía renovable Biodiesel. Estados Unidos: U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, National Center for Agricultural Utilization Research, 2007. Disponible en:
<http://www.revistavirtualpro.com/revista/biodiesel/1>

LOPEZ, Pedro. Población Muestra y Muestreo. *Punto Cero* [online]. 2004, vol.09, n.08 [citado 2018-09-28], pp. 69-74. Disponible en:
<http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1815-0276.

MALDONADO, César. Cosecha verde: Proyecto hacia la conservación del medio ambiente en el Ingenio Valdez, 2014. Disponible en:
http://www.aeta.org.ec/2do%20congreso%20cana/art_campo/Maldonado,%20C.pdf

MATHIER, Diego y otros. La caña de azúcar como cultivo energético, 2013.

MURILLO, William. La investigación científica. 2008. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2018].

ORTIZ, Hipólito y otros. Perspectivas de la cosecha de la caña de azúcar cruda en México. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Disponible en:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000900020

ROMERO, Eduardo. y otros. Cosecha de la Caña de Azúcar. Argentina, 2014. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/263071747_CAPITULO_1_LA_CANA_DE_AZUCAR_Caracteristicas_y_ecofisiologia

SALCEDO, Jairo y otros. Efecto de pretratamientos deslignificantes sobre la cristalinidad, hidrólisis enzimática y ultraestructura de residuos de la cosecha de la caña

de azúcar. 2013. Disponible en:
https://www.academia.edu/36004322/Efecto_De_Pretratamientos_Deslignificantes_Sobre_La_Cristalinidad_Hidrolisis_Enzimatica_y_Ultraestructura_De_Residuos_De_La_Cosecha_De_La_Ca%C3%B1a_De_Az%C3%BAcar_Effect_of_Delignifying_Pretreatments_on_the_Crystallinity_Enzymatic_Hydrolysis_and_Ultrastructure_of_Sugar_Cane_Crop_Residues

SILVA, Electro. y otros. Bioenergía y biorrefinerías para caña de azúcar y palma de aceite. [en línea]. Disponible en: <http://studylib.es/doc/5270938/m2.3.5-bioenerg%C3%ADa-y-biorrefiner%C3%ADas-para-ca%C3%B1a-de-az%C3%BAcar>

TERAN, Yakelin. y AÑEZ, Miguel. Cosecha en verde de caña de azúcar como técnica para el desarrollo sustentable sector la quebradita Municipio Anzoátegui Estado Cojedes. Venezuela, 2012.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensiones	Indicadores	Escala
<p>P.G: ¿Será eficiente el aprovechamiento de residuos lignocelulósicos del <i>Sacharum Officinarum</i> por pirólisis en la obtención de bio-oil, Chongoyape 2018?</p>	<p>O.G: Evaluar la eficiencia del aprovechamiento de residuos lignocelulósicos del <i>Sacharum Officinarum</i> en la obtención de bio-oil, Chongoyape 2018.</p>	<p>H.G: El aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos del <i>Sacharum Officinarum</i> por pirólisis será eficiente en la obtención de bio-oil, Chongoyape 2018.</p>	<p>V.I: Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos del <i>Saccharum Officinarum</i> por pirólisis</p>	Características físicas	Humedad	%
					Materia volátil	
					Contenido de Ceniza	
					Carbono fijo	
					Poder calorífico	MJ/kg
				Características químicas	Lignina	%
					Celulosa	
					Hemicelulosa	
				Pirólisis rápida	Peso de muestra	g
					Temperatura	°C
					Presión al vacío	kPa
					Velocidad de calentamiento	°C/min
				Temperatura óptima	400	°C
550						
650						

<p>P.E: ¿En qué medida las características físicas y químicas de los residuos lignocelulósicos del <i>Sacharum Officinarum</i> influyen en la obtención de bio-oil, Chongoyape 2018?</p>	<p>O.E: Determinar las características físicas y químicas de los residuos lignocelulósicos del <i>Sacharum Officinarum</i> que influyen en la obtención de bio-oil, Chongoyape 2018.</p>	<p>H.E: Las características físicas y químicas de los residuos lignocelulósicos del <i>Sacharum Officinarum</i> influyen significativamente en la obtención de bio-oil, Chongoyape 2018.</p>	<p>V.D: Obtención de bio-oil</p>	<p>Propiedades físicas</p>	<p>Poder calorífico</p>	<p>MJ/kg</p>
<p>P.E: ¿Cuál será la temperatura óptima que maximice el rendimiento del bio-oil en la pirólisis de los residuos lignocelulósicos del <i>Sacharum Officinarum</i>, Chongoyape 2018?</p>	<p>O.E: Determinar la temperatura óptima que maximice el rendimiento del bio-oil en la pirólisis de los residuos lignocelulósicos del <i>Sacharum Officinarum</i>, Chongoyape 2018.</p>	<p>H.E: La temperatura óptima que maximice el rendimiento del bio-oil en la pirólisis de los residuos lignocelulósicos del <i>Sacharum Officinarum</i>, Chongoyape 2018, es 550°C.</p>			<p>Contenido de agua</p>	<p>%</p>
<p>P.E: ¿Cuáles serán las propiedades físicas del bio-oil obtenido a partir del aprovechamiento de residuos lignocelulósicos del <i>Sacharum Officinarum</i> por pirólisis, Chongoyape 2018?</p>	<p>O.E: Determinar las propiedades físicas del bio-oil obtenido a partir del aprovechamiento de residuos lignocelulósicos del <i>Sacharum Officinarum</i> por pirólisis, Chongoyape 2018?</p>	<p>H.E: Las propiedades físicas del bio-oil obtenido a partir del aprovechamiento de residuos lignocelulósicos del <i>Sacharum Officinarum</i> por pirólisis presentan condiciones adecuadas en el producto.</p>			<p>Viscosidad</p>	<p>cP</p>

Fuente: Elaboración propia 2018

Anexo 2: Ficha de registro de muestreo de residuos lignocelulósicos del *Saccharum Officinarum*

 <p align="center">“Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos del <i>Saccharum Officinarum</i> por pirólisis para la obtención de bio-oil, Chongoyape 2018”</p>	
DATOS PERSONALES	
Evaluador:	Cotrina Saavedra Sarita Ximena
Facultad y Escuela:	Ingeniería- Ingeniería Ambiental
Email:	scotrinasaav@gmail.com
DATOS DEL MUESTREO DE LAS HOJAS DE CAÑA DE AZÚCAR	
Ubicación: Chiclayo - Chongoyape	
Coordenadas UTM WGS84:	
PUNTOS	COORDENADAS UTM
1	677405 E 9265817 Y
2	677188 E 9265403 Y
3	676812 E 9265680 Y
4	676960 E 9266093 Y
Área: 6 ha	
Fecha: 14 de Octubre del 2018	
Cantidad de muestra (kg)	
Imágenes fotográficas	
	

Fuente: Elaboración propia 2018

Anexo 3: Ficha de Características físicas de las hojas de caña de azúcar

Características físicas del residuo lignocelulósico de caña de azúcar					
Repeticiones	Humedad (%)	Materia volátil (%)	Contenido de ceniza (%)	Carbono fijo (%)	Poder calorífico (%)
R1	8.93	80.06	7.09	3.92	15.94
R2	9.32	81.06	7.41	2.21	15.96
R3	8.57	80.06	7.44	3.93	16.24
Promedio	8.94	80	7.31	3.35	16.05

Fuente: Elaboración propia 2018

Anexo 4: Ficha de Características químicas de las hojas de caña de azúcar

Características químicas del residuo lignocelulósico de caña de azúcar			
Repeticiones	Lignina (%)	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)
R1	18.55	40.33	25.39
R2	21.44	43.55	17.45
R3	19.07	42.19	21.92
Promedio	19.69	42.02	20.10

Fuente: Elaboración propia 2018

Anexo 5: Ficha de Propiedades físicas del bio-oil

Propiedades físicas del bio-oil									
Tratamiento	Poder calorífico (MJ/kg)			Contenido de agua (%)			Viscosidad (cp)		
Muestra compuesta	400°C	550°C	650°C	400°C	550°C	650°C	400°C	550°C	650°C
	—	—	—	90	91.5	88.5	0.892	0.899	0.905

Fuente: Elaboración propia 2018

Anexo 6: Datos registrados durante el proceso

Tratamiento	Experimentación	Tamaño de muestra (mm)	Peso de muestra (g)	Temperatura del reactor (°C)	Temperatura del horno máxima (°C)	Temperatura del baño (°C)	Presión (ing Hg)	Tiempo de duración del proceso (min)	Velocidad de calentamiento (°C/min)
1	Repetición n 1	> 0.85	50	400	1132	<0.88-2.5>	-25	180	6.98
	Repetición n 2	> 0.85	50	400	1122	<1.67-2.10>	-25	180	7.1
	Repetición n 3	> 0.85	50	400	1004	<0.4-2>	-25	180	7.35
2	Repetición n 1	> 0.85	50	550	1162	<0.6-1.2>	-25	180	8.15
	Repetición n 2	> 0.85	50	550	1145	<0.8-1.5>	-25	180	8.23

	Repeticio n 3	> 0.85	50	550	1198	<0.8-1>	-25	180	9.71
3	Repeticio n 1	> 0.85	50	650	1278	<0.4-1>	-25	180	11.2
	Repeticio n 2	> 0.85	50	650	1199	<0.5- 1.2>	-25	180	12
	Repeticio n 3	> 0.85	50	650	1270	<0.4- 1.5>	-25	180	10.88

Fuente: Elaboración propia 2018

Anexo 7: Registro de pesos de los productos obtenidos de la aplicación de pirólisis

REGISTRO DE PESOS DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA APLICACION DE PIROLISIS				
Tratamiento	Experimentacion	Peso del liquido (g)	Peso del solido (g)	Peso del gas (g)
400 °C	Repeticion 1	21	12.7	16.3
	Repeticion 2	18.5	15.6	15.9
	Repeticion 3	22.7	13	14.3
	Promedio	21	14	16
	Rendimiento (%)	41.5	27.5	31
550 °C	Repeticion 1	21	11.9	17.1
	Repeticion 2	21.1	10.1	18.8
	Repeticion 3	21.6	11.6	16.8
	Promedio	21	11	18
	Rendimiento (%)	42.5	22.4	35.1
650 °C	Repeticion 1	17.1	10.4	22.5
	Repeticion 2	21.2	9.8	19
	Repeticion 3	20.8	10.2	19
	Promedio	20	10	20
	Rendimiento (%)	39.4	20.3	40.3

Anexo 8: Rendimiento de los productos obtenidos de la aplicación de pirólisis

Tratamiento	Experimentacion	Liquido (%)	Solido (%)	Gas (%)
400 °C	Repeticion 1	42	25.4	32.6
	Repeticion 2	37	31.2	31.8
	Repeticion 3	45.4	26	28.6
	Promedio	41.5	27.5	31.0
550 °C	Repeticion 1	42	23.8	34.2
	Repeticion 2	42.2	20.2	37.6
	Repeticion 3	43.2	23.2	33.6
	Promedio	42.5	22.4	35.1
650 °C	Repeticion 1	34.2	20.8	45
	Repeticion 2	42.4	19.6	38
	Repeticion 3	41.6	20.4	38
	Promedio	39.4	20.3	40.3

Anexo 9: Reconocimiento del área de estudio



Figura 15. Recorrido al campo de recolección de muestras

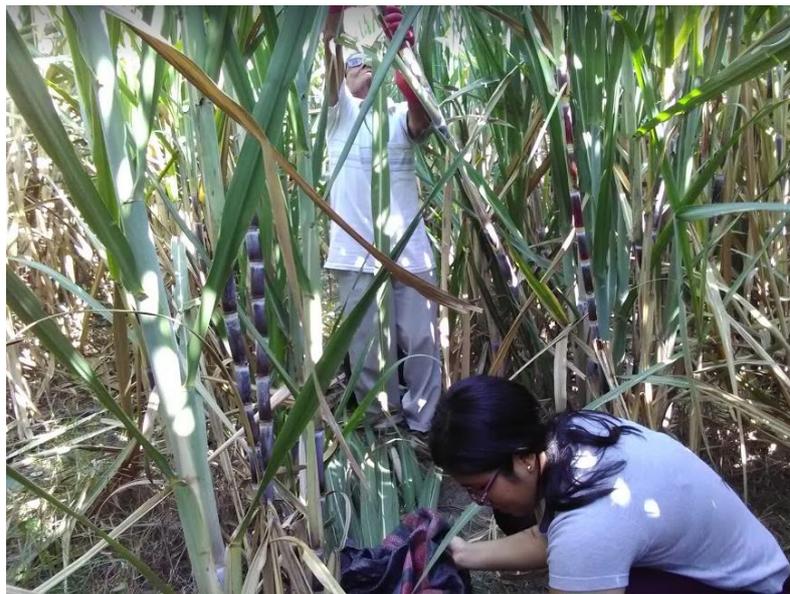


Figura 16. Recolección de las hojas de caña de azúcar



Figura 17. Partes de la caña de azúcar utilizada



Figura 18. Pesado de las hojas de caña de azúcar



Figura 19. Secado de las hojas de caña por un día al aire libre

Anexo 10: Molienda del residuo lignocelulósico



Figura 20. Molino

Anexo 11: Caracterización del residuo lignocelulósico



Figura 21. Tamizado de la materia prima



Figura 22. Equipos utilizados en la caracterización

Anexo 12: Pirólisis al vacío



Figura 23. Partes del equipo de pirólisis



Figura 24. Equipo de pirólisis al vacío

Anexo 13: Caracterización de bio-oil

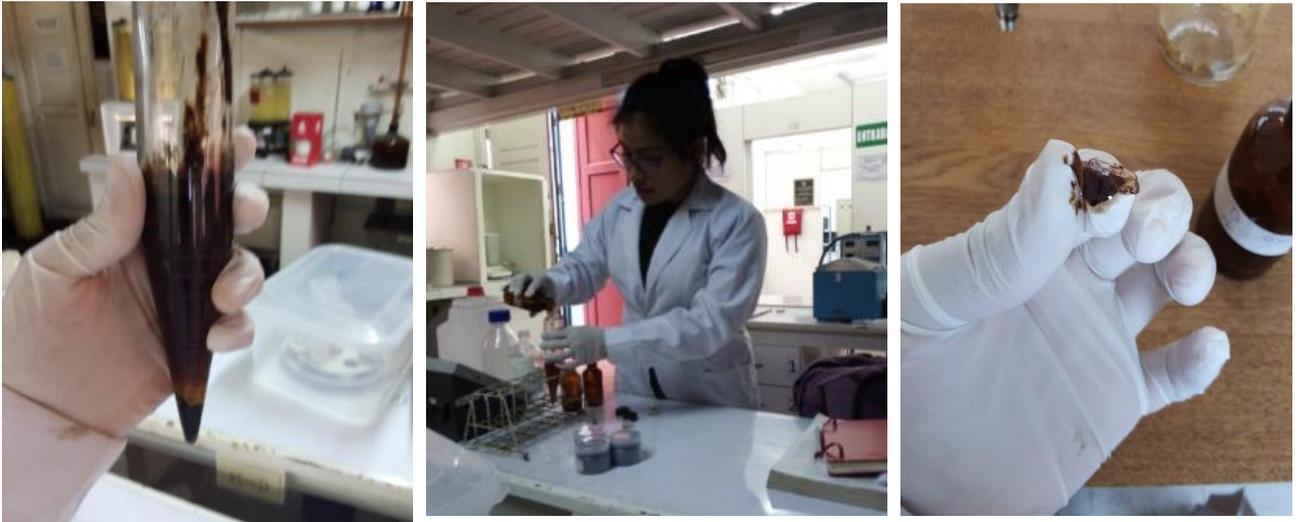


Figura 25. Recolección del bio-oil



Figura 26. Bomba calorimétrica



Figura 27. Viscosímetro y equipo de agua por arrastre
Anexo 14. Productos obtenidos de la pirólisis



Figura 28. Bio-oil y bio-char

Anexo 15: Validación de Instrumentos



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y Nombres: GUERE SALAZAR FIORELLA VANESSA
 1.2. Cargo e institución donde labora: DOCENTE - UCV
 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de Registro de muestreo de paja
 1.4. Autor(A) de Instrumento: CoTrina Saavedra Sarita Ximena

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										/			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										/			
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										/			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										/			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										/			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										/			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										/			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										/			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										/			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										/			

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

Si

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

85 %

Lima, del 2018

CIP: 131344
FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

DNI No. 43566120 Telf.

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Aliaga Martínez María
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente en la Universidad César Vallejo
 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de registro de muestreo
 1.4. Autor(A) de Instrumento: Cotrina Saavedra Sarita Ximena

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											✓		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											✓		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											✓		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											✓		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											✓		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											✓		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											✓		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											✓		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											✓		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											✓		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

Si
No

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

90 %

 Lima, 12 de Junio del 2018


 FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: De la Cruz Rosalbina
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente UCV
- 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de Registro de muestreo
- 1.4. Autor(A) de Instrumento: Cotrina Saavedra Sarita Ximena

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											✓		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											✓		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											✓		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											✓		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											✓		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											✓		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											✓		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											✓		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											✓		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											✓		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

90 %

Lima, 13 de Junio del 2018

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

06506832

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y Nombres: Rosalbina de la Cruz Dávila
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente - UCV
 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Características Asirias de la paja
 1.4. Autor(A) de Instrumento: Co.Tina Saavedra Sarita Ximena

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											✓		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											✓		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											✓		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											✓		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											✓		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											✓		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											✓		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											✓		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados											✓		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su											✓		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											✓		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

Si

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

85 %

Lima, del 2018


 CIP: 131344

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

 DNI No. 43566120 Telf.:

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Guere Salazar Fiorella Vanessa
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente - UCY
- 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Características químicas de la paja
- 1.4. Autor(A) de Instrumento: Costrina Saavedra Saira Ximena

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										/			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										/			
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										/			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										/			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										/			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										/			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										/			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										/			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										/			

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO
I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Alcaga Martínez María
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente en la Universidad César Vallejo
 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Parámetros químicos de la paja de caña
 1.4. Autor(A) de Instrumento: Botrina Saavedra Sarita Ximena

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											✓		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											✓		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											✓		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											✓		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											✓		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											✓		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											✓		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											✓		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											✓		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											✓		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

Si

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

90 %

 Lima, 12 de Junio del 2018


 FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

Anexo 16: Resultados validados



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Departamento Académico de Industrias Forestales
Área de Transformación Química-Laboratorio de Pulpa y Papel
INFORME TÉCNICO: ANÁLISIS DE MUESTRAS
N° 037/11-2018-LPP

Fecha 21 de Noviembre del 2018

ENSAYOS SOLICITADO por Sarita Cotrina (UCV)

RESULTADOS

ENSAYO	Método	%
Humedad	TAPPI T412	10,83
Lignina	TAPPI T222	19,69
Holocelulosa	Jayme-Wise	63,61
Celulosa	Kurschner-Hoffner	42,02



HÉCTOR ENRIQUE GONZALES MORA,
Responsable
Jefe LABORATORIO DE PULPA Y PAPEL
CIP 31024



Dirección: Av. La Universidad s/n Apdo. 12-056-La Molina, Lima 100 PERÚ
Telefax (51-1) 6147800 anexo 229 Correo electrónico: egonzales@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica

Tabla 1. Propiedades físicas del Bio-Oil

PROPIEDADES FÍSICAS DEL BIO-OIL									
Tratamiento	Poder calorífico (MJ/kg)			Contenido de agua (%)			Viscosidad (cp)		
	400°C	550°C	650°C	400°C	550°C	650°C	400°C	550°C	650°C
Muestra compuesta	NA	NA	NA	90	91.5	88.5	0.892	0.899	0.905

NA: No Aplica, la muestra no inflamaba

Tabla 2. Prueba de presencia/ausencia de compuestos orgánicos

Nº	Reactivos	Observación	Sustancia determinada	Conclusión
1	FeCl ₃ (ac)	Oscurecimiento de la solución	Fenoles y/o enoles	POSITIVO
2	KMnO ₄ (ac)	Formación de precipitado pardo	Compuestos orgánicos fácilmente oxidables	POSITIVO
3	NaOH(ac)	Desaparece el color rosado de la fenolftaleína	Ácidos carboxílicos y fenoles	POSITIVO
4	2,4 DNF	Precipitado color amarillo naranja	Compuestos carbonílicos (aldehídos y cetonas)	POSITIVO
5	Br ₂ /H ₂ O	Aparición de precipitado amarillo	Grupos funcionales donantes de electrones en compuestos aromáticos	NEGATIVO
6	Reactivo de Fehling (I y II) Cu(OH) ₂	Desaparición del color azul intenso y aparición de un precipitado de color rojo ladrillo	Aldehídos	NEGATIVO
7	HNO ₂ (NaNO ₂ + HCl)	Desprendimiento de un gas	Aminas primarias	POSITIVO
8	CuSO ₄ (ac)	Coloración verde tenue	Aminas aromáticas	POSITIVO
9	NaHCO ₃ (ac)	Desprendimiento de un gas	Ácidos carboxílicos	POSITIVO


 MSc. Víctor Pretell
 Grupo de Investigación
 Procesos Termoquímicos

Av. Tupac Amaru N° 210 Lima 25 Apartado 1301 - Perú
 Escuelas Profesionales Telf.: 381-3831 / 481-1070 Anexo 287
 Administración Interna / Of. Abastecimiento: Telf.: 481-0576 / 481-1070 Anexo: 283
 Secretario FIP Telf.: 481-1070 Anexo 280
 Oficina Estadística Telf.: 483-2424 / 481-1070 Anexo: 284
 Posgrado Telf.: 381-8208 / 481-1070 Anexo: 289



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica

INFORME TECNICO N° 01-2018

Lima, 9 de Diciembre de 2018

Se recibió una muestra de biomasa de hojas de caña de azúcar, la cual se encontraba molida. A esa muestra se le realizaron los siguientes ensayos de caracterización:

- Análisis Próximo: Contenido humedad, contenido de materia volátil, ceniza y carbono fijo
- Poder calorífico
- Análisis termogravimétrico

Todos los ensayos fueron realizados en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica de la Universidad Nacional de Ingeniería. Se muestran los resultados obtenidos en las tablas adjuntas.

Análisis Próximo y Poder Calorífico

Tabla 1. Análisis Próximo y Poder Calorífico

Repeticiones	Análisis Próximo (% m/m) ¹				Poder Calorífico (MJ/kg)
	Humedad	Materia volátil	Contenido de ceniza	Carbono fijo	
R1	8.93	80.06	7.09	3.92	15.94
R2	9.32	81.06	7.41	2.21	15.96
R3	8.57	80.06	7.44	3.93	16.24
Promedio	8.94	80	7.31	3.35	16.05
Norma	E-1756	E-872	E-1755	(2)	D-2015

¹ En base "así como es recibido", a la muestra no se le hizo ningún pretratamiento

² Por diferencia


MSc. Víctor Pretell
Grupo de Investigación
Procesos Termoquímicos

Av. Túpac Amaru 210, Rimac - Lima 25, Apartado Postal 1301- Perú
Escuelas Profesionales Telf.: 381-3831 / 481-1070 Anexo: 6005
Administración Interna / Of. Abastecimiento: Telf.: 481-0576 / 481-1070 Anexo: 6003
Secretaría FIP Telf.: 481-1070 Anexo 6001
Oficina Estadística Telf.: 483-2424 / 481-1070 Anexo: 6012
Pos grado Telf.: 381-8208 / 481-1070 Anexo: 6008



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petroquímica

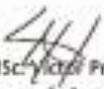
INFORME TECNICO N° 02-2018

Lima, 9 de Diciembre de 2018

Se realizó la pirólisis al vacío de la hojas de caña de azúcar. Se definió realizar la pirólisis a tres temperaturas (400°C, 550°C y 650°C) en cada corrida se empleó un promedio de 50g de muestra, con una presión absoluta de 16.66 kPa y una velocidad de calentamiento promedio de 9.1 °C/min, la temperatura del sistema de condensación se mantuvo a 1°C en promedio lo que asegura la condensación de los gases de pirólisis. Cada corrida dura tres horas al término de las cuales se pesó los productos obtenidos y se realizó el balance de masa para estimar la masa de los productos gaseosos por diferencia. Se muestran los resultados obtenidos en cada corrida.

Tabla 1. Registro de los datos de la pirólisis de la hojas de caña de azúcar

Tratamiento	Experimentación	Peso del liquido (g)	Peso del solido (g)	Peso del gas (g)
400 °C	Repetición 1	21	12.7	16.3
	Repetición 2	18.5	15.6	15.9
	Repetición 3	22.7	13	14.3
	Promedio	21	14	16
	Rendimiento (%)	41.5	27.5	31
550 °C	Repetición 1	21	11.9	17.1
	Repetición 2	21	10.1	18.8
	Repetición 3	21.6	11.6	16.8
	Promedio	21	11	18
	Rendimiento (%)	42.5	22.4	35.1
650 °C	Repetición 1	17.1	10.4	22.5
	Repetición 2	21.2	9.8	19
	Repetición 3	20.8	10.2	19
	Promedio	20	10	20
	Rendimiento (%)	39.4	20.3	40.3


MSc. Yvett Pretell
Grupo de Investigación
Procesos Termoquímicos

Ax. Topos, Anexo N° 210 Lima 25 Apellido 1301 - Perú
Escuelas Profesionales Telf. : 381-3831 / 481-1070 Anexo 287
Administración Interna / Of. Abastecimiento: Telf. : 481-0576 / 481-1070 Anexo. 283
Secretaría FIP Telf. : 481-1070 Anexo 288
Oficina Estadística Telf. : 481-2424 / 481-1070 Anexo: 284
Posgrado Telf. : 381-8208 / 481-1070 Anexo. 288