

CLUB DE LECTURA COMO ESTRATEGIA DE ESCRITURA

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL SAJO (*Camposperma panamensis Standl*), EN FRANCISCO PIZARRO, COSTA PACÍFICA NARIÑENSE

NINIS VANESSA ARAUJO ESTACIO

MARTHA GISELA CONGOLINO ESTACIO

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL}
SAN JUAN DE PASTO**

2017

CLUB DE LECTURA COMO ESTRATEGIA DE ESCRITURA

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL SAJO (*Camposperma panamensis Standl*), EN FRANCISCO PIZARRO, COSTA PACÍFICA NARIÑENSE

NINIS VANESSA ARAUJO ESTACIO

MARTHA GISELA CONGOLINO ESTACIO

ASESORA

MIRIAM DEL ROSARIO GUAPUCAL C

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL}
SAN JUAN DE PASTO**

2017

“Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor”

Artículo 1ro del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

JURADO

JURADO

ASESOR

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL SAJO (*Camposperma panamensis Standl*), EN FRANCISCO PIZARRO, COSTA PACÍFICA NARIÑENSE

Ninis Vanessa Araujo E¹

Martha Gisela Congolino E¹²

Miriam del Rosario Guapucal C³

RESUMEN

La presente investigación se desarrollo en el municipio de Francisco Pizarro, Costa Pacífica Nariñense, donde se evaluó el potencial energético de los residuos maderables producidos por los aserríos del municipio, para ello fue necesario analizar las propiedades físicas, químicas y caloríficas del sajo (*Camposperma panamensis Standl*). Para evaluar las propiedades físicas (densidad y Contenido de humedad), fue necesario utilizar 9 probetas de tamaño y dimensión tal como lo especifica la norma NTC ISO 206-1; para las propiedades químicas (N,P, S, C orgánico) y caloríficas (Energía bruta), se usaron residuos (aserrín) de los aserríos, muestras que siguieron el protocolo establecido por los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño. Para el manejo y tratamiento de los datos fue necesario realizar un diseño experimental multifactorial de pruebas de hipótesis, que analizara la incidencia del contenido de humedad de la madera con relación al potencial energético de la especie. Los resultados indicaron que *C. panamensis*, presenta en promedio 4677 kJ/kg en base húmeda y 18100 kJ/kg en base seca, esto representa un alto potencial en la generación de energía eléctrica; ahora bien, los cuatro aserríos producen 2 toneladas de aserrín semanal, al hacer uso de un gasificador de lecho fluidizado que es el más indicado, para el tipo de residuo que se tiene, se estaría generando 41,4 kwh a la semana; lo cual llevaría a considerar instalar un gasificador en cada aserrío para que supla

¹ Estudiante Tesista. 2016. Trabajo de grado como requisito parcial para optar el título de Ingeniera Agroforestal. Universidad De Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Programa de Ingeniería Agroforestal. E-mail: ninisaraujo1994@outlok.com.

² Estudiante Tesista. 2016. Trabajo de grado como requisito parcial para optar el título de Ingeniera Agroforestal. Universidad De Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Programa de Ingeniería Agroforestal. E-mail: ceferinita4422@gmail.com.

³ Ingeniero Agroforestal. Docente. Facultad de Ciencias Agrícolas. Programa de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Nariño. E-mail: mguapucalc@hotmail.com.

las necesidades de consumo energético, disminuyendo así la dependencia 40% de la energía suministrada por otras fuentes.

Palabras claves: Potencial Energético, propiedades de la madera, Residuos maderables, Gasificación.

ABSTRACT

The present investigation was developed in the municipality of Francisco Pizarro, Pacific coast Nariñense, The energy potential of wood residues were evaluated produced by the sawmills of the municipality, it was necessary to analyze the physical, chemical and thermal properties of the Sajo (*Camptosperma panamensis Standl*), for evaluate the physical properties (density and moisture content), Nine test tubes of size and dimension were used as specified by NTC ISO 206-1; For chemical properties (N,P, S, C orgánico) And heat (gross energy), Waste (sawdust) from the sawmills, Samples that followed the protocol established by the specialized laboratories of the University of Nariño. For the management and treatment of the data it was necessary to perform a multifactor experimental design of hypothesis tests, analyzed the incidence of moisture content of the wood in relation to the energy potential of the species. Los resultados indicaron que *C. panamensis*, Presents on average 4677 kJ/kg on a wet basis and 18100 kJ/kg on a dry basis, this represents a high potential in the generation of electrical energy; Now, the four sawmills produce 2 tons of sawdust weekly during the winter season, when using a fluidized bed gasifier that is the most indicated, for the type of waste you have, you would be generating 41.4 kwh a week; Which would lead to consider installing a gasifier in each sawmill to meet the needs of energy consumption, thus reducing the dependence of 40% of the energy supplied by other sources.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	7
MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
Localización.....	8
Caracterización física, química y caloríficas de la especie	8
Propiedades físicas del sajo (<i>Camptosperma panamensis</i> Standl)	8
Contenido de humedad.	8
Contracción.....	9
Propiedades químicas y caloríficas de la especie maderable sajo (<i>C. panamensis</i> Standl)...	9
Diseño experimental multifactorial.	11
Pruebas de hipótesis del diseño experimental	11
Prueba de normalidad de los datos	11
Evaluación del potencial energético del sajo (<i>C. panamensis</i>).	11
Cuantificación de la disponibilidad de residuos de la especie en estudio.	12
RESULTADO Y DISCUSIÓN	13
Caracterización general del sajo (<i>Camptosperma panamensis</i> Standl).	13
Clasificación taxonómica de la especie	13
Descripción del árbol.....	13
Características de la madera	13
Usos	13
Origen y distribución geográfica.	14
PROPIEDADES FÍSICAS DEL SAJO (<i>C. panamensis</i> Standl)	14
Contenido de humedad	14
PROPIEDADES QUÍMICAS Y CALORIFICA DEL SAJO (<i>C. panamensis</i> Standl).....	16
Propiedades químicas en base húmeda y en base seca de <i>C. panamensis</i>	16
Propiedades térmicas en base húmeda y en base seca de <i>C. panamensis</i>	18
Contenido de Cenizas en base húmeda y en base seca.....	19
Diseño experimental multifactorial	20

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA ESPECIE	21
Evaluación del gasificador.....	22
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	23
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

INTRODUCCIÓN

En los bosques del litoral pacífico al sur colombiano, existe una alta diversidad de maderables, de la cual el sajo (*C. panamensis* Standl)), representa el 75% del volumen comercial y cerca del 58% del número total de árboles con diámetro aprovechable superior a 40cm, en los bosques no intervenidos de la costa pacífica nariñense, (Del valle, 1993), en cuanto al manejo de los residuos derivados de la madera, por lo general no se hace un aprovechamiento o manejo adecuado, los cuales, reducen el espacio disponible en los centros de transformación y con ello la movilidad necesaria para la producción; según el Centro de Control y Contaminación del Pacífico, (CCCP) y la Capitanía de Puerto (1995), la actividad de transformación de la madera constituye una fuente puntual de contaminación por el vertimiento de aserrín en las zonas de bajamar, ya que los residuos al entrar en contacto con las aguas, producen una serie de efectos adversos sobre el ecosistema marino tales como: disminución del oxígeno disuelto, producción de metano, taninos, alcoholes, ácido sulfhídrico y otros compuestos sulfurados tóxicos para los organismos que allí habitan.

En la zona pacífica nariñense no se realiza un aprovechamiento de los subproductos de la madera (aserrín, astillas, corteza, etc), conocer su potencialidad en la producción de energía eléctrica por medio de la gasificación como proceso termoquímico (en el cual residuos sólidos tales como la madera, son convertidos en un gas pobre mediante una combustión controlada, sería una alternativa ambiental y económicamente viable INTIN, 2009), Ésta tecnología se utiliza en casos en los que la biomasa, permite su transformación en energía. En estos procesos se obtienen conversiones normalmente elevadas de la materia prima del 85 al 95% de su materia orgánica con alta eficiencia. Se considera que el uso eficaz de esta fuente de energía permitiría el avance y progreso de los países y zonas subdesarrolladas, garantizando la sostenibilidad del medio ambiente, así como, la seguridad del abastecimiento energético de la sociedad (Chejne, 2007).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El municipio de Francisco Pizarro (Salahonda), se encuentra localizado al Nor-Occidente del departamento de Nariño, con una extensión total de 2340 Km², a 30 kilómetros de Tumaco, y a 442 de San Juan de Pasto. El municipio se caracteriza por ser una de las principales zonas de explotación maderera en la costa pacífica nariñense. Según Guerrero (2015), este municipio cuenta con cuatro aserraderos los cuales reciben semanalmente 3500 trozas, de estas 2500 son trasportadas en embarcaciones hasta algunos municipios de la costa y las otras son utilizadas en el municipio en tablonés, tablas varengas y palillo para escobas.

Para llevar acabo los objetivos específicos de la presente investigación se realizó por fases, la primera fase consistió en la caracterización de las propiedades físicas, químicas y caloríficas del sajo (*C. panamensis*) las cuales se realizaron en el laboratorio de suelo de la Universidad de Nariño y la segunda fase consistió en la evaluación del potencial energético de la especie por medio de un gasificador. A continuación, se describen los procesos que se realizaron en cada fase:

Caracterización física, química y caloríficas de la especie

Propiedades físicas del sajo (*Camposperma panamensis* Standl)

Se tomaron 9 probetas en el aserrío Las Palmas ubicado en el municipio de estudio, con las mismas dimensiones de: 5 cm de grosor, 5 cm de alto y 10 cm de largo, según lo estipulado por las NTC (Normas Técnicas Colombianas), ISO 206-1; las cuales fueron llevadas al laboratorio de suelos Agrícolas de la Universidad de Nariño, para ser sometidas ha secado en el horno, a una temperatura de 102 °C, durante 48 horas.

Contenido de humedad.

Para determinar el contenido de humedad se tomó peso y medida inicial de las probetas, posteriormente, se sometieron a una temperatura de 102 °C al horno durante 48 horas,

además cada 12 horas se realizó el registro de peso y toma de dimensiones, una vez obtenidos los datos se procedió a determinar el contenido de humedad en los dos casos, mediante la fórmula de (Córdoba, 2005):

$$CH \% = \frac{Pi - Pf}{Pf} \times 100$$

Dónde:

CH% = Contenido de humedad, en porcentaje

Pi = Peso inicial, en gramos

Pf = Peso final, en gramos

Una vez obtenidos los datos, tanto del proceso de contracción como de hinchamiento al que fueron sometidas las probetas se realizó los cálculos para determinar la densidad, mediante la siguiente formula (Córdoba, 2005):

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa (g)}}{\text{Volumen (cm}^3\text{)}}$$

Contracción

Pasado dos días en el horno, inicio el proceso de imbibición (Consiste en la absorción de agua por parte de cualquier material ocasionando un hinchamiento de esta, aumentando su peso y su volumen), para lo cual se tomaron 9 beaker, se les agrego 500ml de agua y una probeta a cada uno, además, cada 12 horas las probetas fueron pesadas y medidas, durante 48 horas,

Propiedades químicas y caloríficas de la especie maderable sajo (*C. panamensis* Standl).

Para determinar las propiedades químicas y caloríficas, se extrajo 2000 gr de aserrín del Sajó, *C. panamensis*. estas fueron distribuidas y empacadas en 1000 gr de muestra, posteriormente entregadas al Laboratorio de Bromatología y Abonos Verdes, adscrito a la Universidad de Nariño para realizar su respectivo análisis. A continuación, se muestra el protocolo usado para el análisis de las propiedades químicas y caloríficas ver (tabla 1).

Cuadro 1. Protocolo empelado para determinación propiedades caloríficas y químicas.

Parámetro	Métodos	Técnicas	Unidad
Contenido de ceniza	Incineración mufla	Gravimétrica	g/100g
Nitrógeno	Kjeldahl	Titulométrica	g/100g
Fosforo	Oxidación húmeda, colorimetría.	Colorimétrica	g/100g
Azufre	Oxidación húmeda, turbimetría	Turbimétrica	g/100g
Carbono orgánico	Walkley black	Colorimétrica	g/100g
Energía bruta (poder calorífico)	Bomba calorimétrica	Calorimétrica	kcal/ 100g

Fuente: esta investigación

Para determinar el calor útil (Cu), producido en la combustión de la madera, se empleó la siguiente formula, (Panshin, 1959, citado por Bueno, 2008):

$$\text{Cu} = 0.55 * (1.8\text{Cs} - (\text{A} * \text{B})) / (1 + \text{h})$$

Donde:

$$\text{A} = \text{H} - 0.54$$

$$\text{B} = 1068 - 1.8\text{Ti} + 0.83\text{Tg} + 0.43(\text{Tg} - \text{Ta})\text{a}$$

En las que:

Cu= Calor útil

Cs= Calor superior en kcal/kg

h= porcentaje de humedad de la madera sobre peso húmedo expresado en forma decimal

Ti= temperatura inicial de la madera y del agua en ella incluida, en °C

Tg= Temperatura de los gases de chimenea en °C

a= Porcentaje de exceso de aire en relación el teóricamente necesario para combustión completa de la madera.

Diseño experimental multifactorial.

El diseño experimental fue centrado en las propiedades químicas y térmicas de la madera de sajo (*C. panamensis*), a partir de dos tratamientos uno con un contenido de humedad en estado seco al horno y otro en estado totalmente anhidro, cada tratamiento tuvo seis repeticiones, se plantearon las siguientes hipótesis:

Ho: El contenido de humedad no afecta las propiedades químicas y térmicas de la madera

Hi: El contenido de humedad sí afecta las propiedades químicas y térmicas de la madera

Para llevar a cabo el análisis estadístico del diseño experimental se utilizará el software libre R Project versión 3.3.3, Copyright (C) 2017 The R Foundation for Statistical Computing.

Pruebas de hipótesis del diseño experimental

Para resolver estas hipótesis se realizó una prueba no paramétrica como lo es el test de Kruskal Wallis propuesto por Montgomery (1991) y aplicando la metodología de estadística aplicada por Suazo (2005).

Prueba de normalidad de los datos

La prueba de normalidad de Shapiro – Wilks consiste en que, a partir de la varianza de los datos, el número de observaciones y el rango en que se distribuyen dichos datos, se comprueba si los datos se comportan de manera normal o no, bajo un nivel de confiabilidad del 95%, en este caso las hipótesis son:

Ho: los datos se comportan de una manera normal (p-value mayor o igual a 0.05)

Hi: los datos no se comportan de manera normal (p-value menor a 0.05)

Evaluación del potencial energético del sajo (*C. panamensis*).

Esta fase del estudio se basó en cuantificar la cantidad de aserrín que producen los diferentes aserríos presentes en el municipio, para lo cual se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

Por medio de un recorrido en la zona y un GPS se determinó la ubicación geográfica y el número de aserríos que se encuentran en funcionamiento actualmente en el municipio.

Cuantificación de la disponibilidad de residuos de la especie en estudio.

Para cuantificar la disponibilidad de residuos se obtuvo información primaria y secundaria; como primera medida se utilizó una troza de 40 cm DAP, esta medida se estipula teniendo en cuenta el artículo 10 del Decreto 1791 de 1996, (el cual se encuentra compilado en el Decreto único 1076 de 2015), esa troza fue pesada en una báscula y luego se procedió a realizar el proceso industrial necesario, obteniendo 10 tablas, estas fueron pesadas, cepilladas y nuevamente pesadas. Fuente esta investigación.

$$R = (Ptt \text{ (Kg)} - Ppf \text{ (Kg)}) * Nts \text{ (Kg)}$$

Donde:

R= Disponibilidad Total de Residuos (Kg)

Ptt= peso total de la troza (Kg)

Ppf= Peso producto final (Kg)

Nts = Numero de trozas semanales cortadas (Kg)

Fuente: basado en

Evaluación del gasificador

Para determinar la cantidad de gas producido por la gasificación y la energía obtenida por el generador, se extrajo 1000gr de aserrín del Sajo *C. panamensis*. Ésta fue obtenida de una cepilladora del municipio, donde trabajan exclusivamente con esta especie; posteriormente entregadas al laboratorio de Bromatología y Abonos Verdes, adscrito a la Universidad de Nariño para realizar su respectivo análisis, una vez obtenido los resultados de laboratorio se puede calcular la energía eléctrica total generada con el gasificador y el motor seleccionado.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Caracterización general del sajo (*Campnosperma panamensis* Standl).

Clasificación taxonómica de la especie

De acuerdo a López (2005), el sajo se clasifica de la siguiente manera

Familia botánica: Anacardiaceae

Nombre científico: *Campnosperma panamensis* Standl).

Sinonimia: No presenta.

Nombres vulgares: Sajó, Orey, Vaquerá (Colombia); Sajó (Ecuador); Orey (Brasil y Costa Rica); Orey, Orin, Auree, Aures, Hoary (Panamá).

Descripción del árbol

El sajo alcanza alturas hasta de 28m y su tronco que es recto, cilíndrico y de color dorado, tiene un diámetro promedio de 50 cm en su estado de madurez después de los 15 años. La corteza externa es de color café grisáceo con apariencia escamosa, mientras que la interna tiene una tonalidad rosa, textura arenosa y una resina también color rosa. Sus hojas son alternas, simples y agrupadas, cuenta con flores pequeñas de color amarillo y dispuesto en panículas y su fruto es una drupa de forma ovoide, (Ángel, 2016).

Características de la madera

Su albura es de color rosado pálido, muda gradualmente a una tonalidad marrón y en ciertas ocasiones con bandas grises cuando llega al duramen. Tiene un veteado satinado poco pronunciado, textura mediana, brillo mediano, grano recto y sin sabor y olor, (Escobar *et al* 1993).

Usos

Según Tejada, (2008), principalmente en los departamentos del Cauca y Nariño es utilizada como madera aserrada, muebles, productos moldurados, fabricación de botes, carpintería y

ebanistería, tableros de virutas y de fibras, chapas para triple, pulpa y papel, lápices, juguetería, tableros aglomerados y enlistonados, construcciones normales e interiores.

Origen y distribución geográfica.

El sajo (*C. panamensis* Standl) es originario del Pacífico colombiano, que se encuentra distribuidas en Nicaragua, Costa Rica, Panamá, América central, Colombia, Venezuela hasta Brasil. En Colombia se halla en los ríos Atrato, Baudó, León, San Juan, Mataje; también en el Bajo Calima, Buenaventura, Quibdó, y en la Serranía San Lucas.

PROPIEDADES FÍSICAS DEL SAJO (*C. panamensis* Standl)

Para determinar el contenido de humedad y la densidad de la madera se utilizaron probetas de 5 cm de grosor, 5 cm de alto y 10 cm de largo. Estas probetas fueron sometidas a secado al horno y otras probetas se sometieron a secado al aire libre con una temperatura ambiente promedio de 27°C; se tomaron datos de las probetas en estado verde, seco al aire y seco al horno, para calcular el contenido de humedad y la densidad de la madera.

Contenido de humedad

Según JUNAC, (1989), El contenido de humedad se define como el peso de la cantidad de agua presente en una pieza de madera, expresado en función del peso de esa pieza en condición seca al horno. Teniendo en cuenta las normas técnicas colombianas NTC 206 -1, se pudo establecer el contenido de humedad de *C. panamensis*.

Ahora bien, de acuerdo a los datos obtenidos a partir del proceso de laboratorio, se determinó el contenido de humedad de la madera seca al aire libre el cual fue en promedio 68.19%, mientras la madera seca al horno obtuvo un promedio de 33.91%; es decir, la madera seca al aire libre aún tiene contenido de agua libre y de saturación en las cavidades, por lo tanto, es necesario seguir secando hasta llegar al punto de saturación de las fibras (P.S.F.) pero este proceso llevaría mucho más tiempo. En cuanto a la madera seca al horno, ésta alcanzó en un periodo de tiempo de 48 horas un contenido de humedad promedio de 33.91%, es decir, perdió 0.3% de agua por hora, y se evidencia la necesidad de dejar por mayor tiempo la madera al secado para dejar solo el agua de constitución y llegar a un

contenido de humedad de equilibrio en un rango de 12% al 17%, acompañado de procesos de preservación, con el fin de poderla utilizar como madera estructural.

La curva de secado de la especie (figura 1), demuestra la pendiente de pérdida de humedad es más pronunciada en las primeras 12 horas, esto se debe a la pérdida del agua libre más rápidamente que el agua de saturación y por esta razón el contenido de humedad al acercarse al punto de saturación de las fibras, tiene una pendiente menos pronunciada.

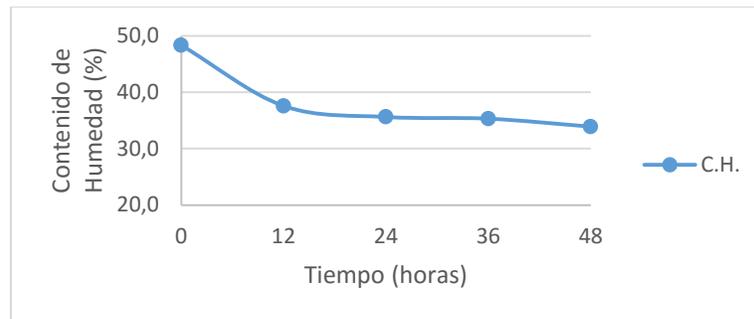


Figura 1. Curva de secado al horno por dos días de *C. panamensis*

Fuente. Esta investigación

➤ Densidad de la madera

A partir de las mediciones realizadas a las probetas en diferentes contenidos de humedad, se obtuvo el peso específico o densidad en tres momentos: En estado verde, seca al horno y el cálculo de la densidad básica, teniendo como resultado la figura 2.

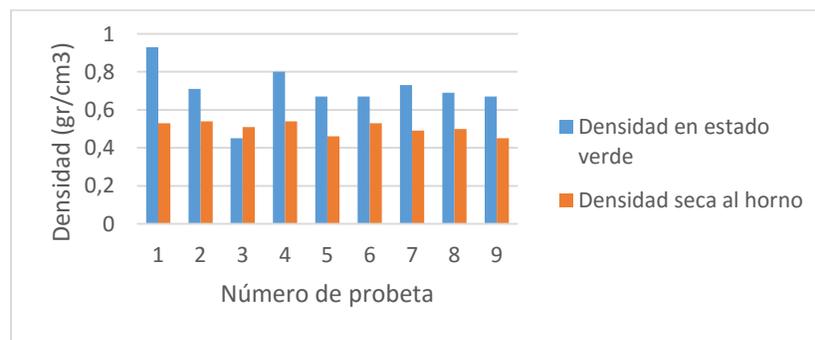


Figura 2 Densidad de sajo en diferentes contenidos de humedad

Fuente. Esta investigación

Para el caso de esta investigación se obtuvo un valor de densidad básica, de 0.44 gr/cm³, en contraste con el valor teórico reportado por la Universidad Nacional de Colombia

(1993), de 0.37 gr/cm³, permitiendo afirmar que el Sajo cuenta con unas propiedades de madera tipo C (JUNAC,1989), las cuales son livianas, de secado lento y no se puede esforzar ese proceso de secado por la presencia de abarquillamiento y deformación de la madera

PROPIEDADES QUÍMICAS Y CALORIFICA DEL SAJO (*C. panamensis* Standl)

Propiedades químicas en base húmeda y en base seca de *C. panamensis*

Las propiedades químicas contenidas de las muestras en base húmeda y en base seca de *C. panamensis* se presentan en la tabla 2.

Cuadro 2. Propiedades químicas en base húmeda y base seca de *C. panamensis*

No. Muestra	Muestras base húmeda				Muestras base seca			
	Nitrógeno (g/100g)	Fósforo (g/100g)	Azufre (g/100g)	Carbono O Total (g/100g)	Nitrógeno (g/100g)	Fósforo (g/100g)	Azufre (g/100g)	Carbono O Total (g/100g)
1	0,12	0,01	0,02	20,6	0,29	0,03	0,06	49,7
2	0,11	0,01	0,02	19,86	0,27	0,02	0,06	47,9
3	0,1	0,01	0,02	22,8	0,22	0,01	0,05	51,2
4	0,11	0,01	0,03	22,3	0,25	0,02	0,07	50,1
5	0,11	0,01	0,02	22,4	0,25	0,02	0,05	51,3
6	0,1	0,01	0,02	21,7	0,22	0,01	0,05	50
Media	0,1	0,01	0,02	21,6	0,3	0,02	0,06	50,0
Varianza	4,72E-05	0,00E+00	1,39E-05	1,10	6,33E-04	4,72E-05	5,56E-05	1,27

Fuente. Esta investigación

Según Francescato y Antonini (2008), reportan valores de contenido de nitrógeno entre 0.1% y 0.5% del peso en seco de muestras de maderas livianas y un contenido de azufre entre 0.01% y 0.05% para las mismas maderas. Comparativamente con los valores

obtenidos en este estudio no difieren de los valores teóricos, equivalente en porcentaje de 100 gramos de muestra en base húmeda, fue en promedio de 0.1% de nitrógeno y 0.02% de azufre (Tabla 2).

En cuanto a las muestras en base seca, se observa en el caso del nitrógeno y el azufre se duplicaron los valores (0.3% y 0.06% respectivamente) en comparación con la muestra en base húmeda; sin embargo se mantienen dentro de los parámetros teóricos descritos. En contraste con un combustible fósil como el carbón mineral contiene 1.3% y 0.94% de nitrógeno y azufre respectivamente, los residuos de *C. panamensis* tienen dos grandes ventajas por tener valores considerablemente menores: la primera de ellas es, frente a la contaminación ambiental aporta menos posibilidades de formar óxidos de nitrógeno y dióxidos de azufre y la segunda ventaja es que el gasificador tiene menos probabilidad de presentar corrosiones por la misma producción de este dióxido de azufre y el nitrato que en combinación con vapores de agua tiene como resultado los ácidos nítricos, los cuales son peligrosos para la salud y el medio ambiente (Castello, 2014). Bajo la misma lógica, el fósforo presenta en promedio un 0.01% en base húmeda y un 0.02% en base seca (ver tabla 2) lo cual no representa ninguna incidencia en el proceso de gasificación, ni riesgos para la maquinaria o el medio ambiente por su baja concentración.

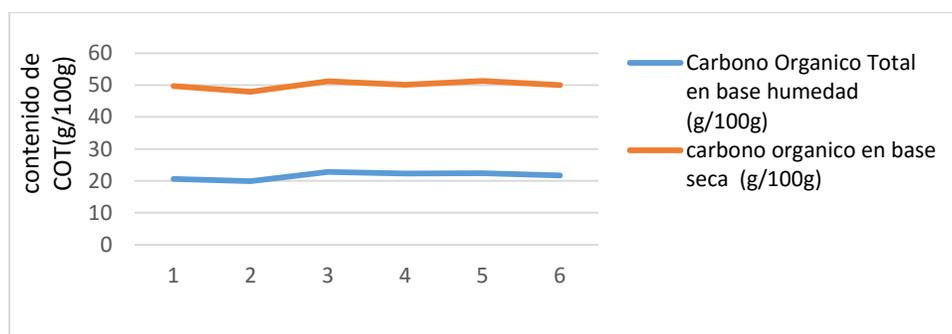


Figura 3. Contenidos de Carbono Orgánico Total en base seca y húmeda de *C. panamensis*

Fuente. Esta investigación

Por su parte, el contenido de carbono orgánico total se encuentra entre 49% y 51% en base seca, este valor es casi el doble respecto en base húmeda (ver figura 3), al secarse la muestra, el carbono presenta una equivalencia del peso mayor en términos porcentuales,

debido a la pérdida del agua libre y de saturación, al comparar el porcentaje obtenido en la muestra en base seca con otros biocombustibles se está dentro de los valores típicos de la biomasa sólida como la madera de coníferas (47% a 54%), maderas frondosas (48% a 52%), pero está por debajo de los combustibles fósiles como el carbón (72.5%) y el gas natural (75%), (Universidad Nacional de la Santa – Perú, 2017; Francescato y Antonini 2008).

Sin embargo, el contenido de carbono es vital para el poder calorífico de los combustibles, porque libera el contenido calorífico; razones por la cual los combustibles fósiles al poseer un mayor porcentaje de este elemento son más poderosos, pero tienen la gran desventaja de no ser sostenible ni estar enmarcados en la resiliencia de los recursos naturales, (FAO, 2001; Fonseca, 2003).

Propiedades térmicas en base húmeda y en base seca de *C. panamensis*

Para realizar el análisis de las propiedades caloríficas de las muestras en base húmeda y base seca a partir de los resultados de laboratorio, fue necesario calcular el calor útil con base en la energía bruta.

Como se puede denotar, para la muestra de base húmeda la especie *C. panamensis*, presenta un calor útil en un rango entre 1071,5 kcal/kg y 1164,5 kcal/kg (tabla 3); dicho de otra manera, un promedio 4677 kJ/kg, lo cual corresponde a un 10% del poder calorífico de los combustibles gaseosos convencionales como el gas natural, el butano y el propano estando estos en promedio entre 9560 kcal/kg y 11000 kcal/kg (Universidad Nacional del Santa – Perú, 2017); sin embargo la muestra en base seca obtuvo casi el triple de calor útil, confirmando de esta manera la teoría que la humedad en la madera reduce el poder calorífico de la misma. Lo anterior se explica porque cuando la madera contiene humedad, la energía liberada en el proceso de combustión es malgastada en la evaporación del agua y por lo tanto no está disponible para ningún otro proceso (FAO, 2001).

cuadro 3. Resultados propiedades térmicas en base húmeda y base seca de *C. panamensis*

Muestra	Muestras base húmeda		Muestras base seca	
	Energía Bruta (kcal/100g)	Calor Útil (kcal/Kg)	Energía Bruta (kcal/100g)	Calor Útil (kcal/Kg)
1	174	1059,9	420	4359,9
2	172	1052,4	411	4280,3
3	185	1167,3	417	4333,3
4	185	1168,7	416	4324,5
5	181	1132,5	413	4298
6	181	1127,2	418	4342,2
Media	179,7	1118,0	415,8	4323,0
Varianza	25,22	2162,47	9,14	714,48

Fuente. Esta investigación

Ahora bien, los resultados de calor útil de las muestras en base seca, se puede observar que están entre 4296.27 kcal/kg y 4349.73 kcal/kg (ver tabla 3), en otras palabras, aproximadamente 18100 kJ/kg, en comparación con otros residuos agrícolas se encuentran a la par e incluso por encima de algunos residuos en estado seco, como por ejemplo el bagazo (19200 kJ/kg), cáscaras de arroz (13800 kJ/kg), celulosa (16500 kJ/kg), entre otros (Universidad Nacional del Santa – Perú, 2017).

Contenido de Cenizas en base húmeda y en base seca

La ceniza en este sentido está entre 3.1% y 4.6% de contenido en la muestra en base húmeda, el cual es comparativamente más alto que el 0.3% reportado por Francescato y Antonini (2008), para las maderas frondosas, esto explica el rápido crecimiento de la madera de *C. panamensis* y el menor contenido de lignina en comparación con otras maderas pesadas, (FAO, 1984). Por otro lado, se obtuvo un valor de 8.8% de la muestra de 100 gramos en base seca, más del doble a las muestras en base húmeda (ver figura 4).

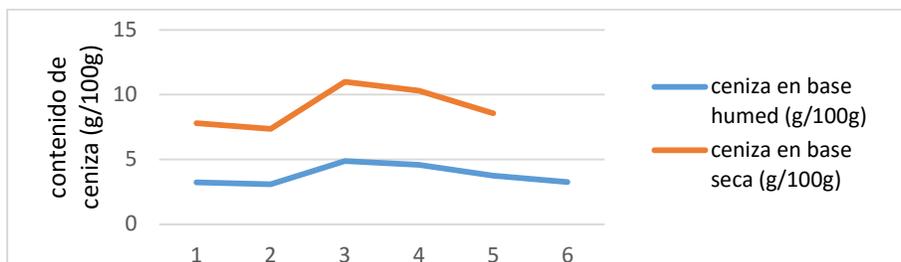


Figura 4. Comparación de contenido de cenizas en base húmeda y seca de *C. panamensis*

Fuente. Esta investigación

Estos valores en comparación con los datos compilados por Francescato y Antonini (2008) de otros biocombustibles son porcentajes altos, haciendo de éste una dificultad para la planta gasificadora, según Melissari (2012), las cenizas se asocian a problemas como la corrosión, formación de aglomerados, emisión de cenizas en estado de aerosol y erosión del metal, donde se lleva a cabo el proceso de combustión inicial, entre otros. Según esta misma autora, se podría utilizar en elaboración de fertilizantes por su contenido de fósforo siempre y cuando no contenga metales pesados.

Diseño experimental multifactorial

En la tabla 4, se observa el comportamiento normal de las variables por medio de la prueba de kruskal wallis se comprobando las diferencias significativas entre las muestras de base húmeda y base seca.

Tabla 1. Test de normalidad shapiro - wilks de las variables

Variable	Resultados	Normalidad
Calor Útil	w: 0.66997 p=0.0004395	No
Contenido Orgánico Total	w: 0.71446 p= 0.001165	No
Azufre	w: 0.82789 p= 0.01979	No
Fosforo	w: 0.67433 p=0.0004823	No
Nitrógeno	w:0.81445 p= 0.01374	No

Fuente. Esta investigación

Tabla 2. Prueba no paramétrica kruskal Wallis

VARIABLE	RESULTADO	DECISIÓN
Calor útil	w: 8.3077 p=0.003948	Aceptar H_0
Contenido orgánico total	w: 83077 p=0.003948	Aceptar H_0
Azufre	w:9.1034 p=0,002551	Aceptar H_0
Fosforo	w:5.3333 p=0,02092	Aceptar H_0
Nitrógeno	w:8.5161 p=0.00352	Aceptar H_0

Fuente. Esta investigación

Como se muestra en la tabla 5, hay suficiente evidencia estadística para afirmar que el contenido de humedad afecta las propiedades químicas y térmicas de los residuos de la transformación de la madera de *C. panamensis* y apoyado en el análisis de correlaciones y la estadística descriptiva, se afirma que a mayor humedad de la madera el poder calorífico es menor.

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA ESPECIE

Esta fase del estudio se basó en cuantificar la cantidad de aserrín que producen los diferentes aserríos presentes en el municipio y evaluar la capacidad de combustión del gas producido por el aserrín a través del gasificador, para lo cual se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

El municipio de Francisco Pizarro (Salahonda) en la actualidad cuenta con 4 aserríos los cuales están ubicados en las siguientes coordenadas (Ver tabla 6); éstos se encuentran separados significativamente por la ubicación estratégica; buscando las riveras del mar para transportar la madera con mayor facilidad en las embarcaciones y a su vez arrojar los residuos al mar.

Cuadro 4. Ubicación de los aserríos de Francisco Pizarro y cuantificación de residuos

Nombre del aserrío	Coordenadas			# trozas semanal	Total residuos semanal (ton)
	Norte	W	Altura		
Las Palmas	02° 02' 38.6"	0.78° 39' 27"	12 msnm	400	3.5
Don Chepe	02° 02' 39.9"	0.78° 39' 36.6"	0 msnm	200	1.75
Albertico	02° 33' 33.8"	0.78° 39' 25.3"	16 msnm	200	1.75
Los Cedros	02° 02' 26.5"	0.78° 39' 22.6"	5 msnm	200	1.75

Fuente: Esta investigación

Evaluación del gasificador

El municipio de Salahonda produce semanalmente 8.75 toneladas de aserrín, distribuidas en los cuatro aserríos: El 40% de los residuos corresponden al aserrío Las Palmas y el 60% por los otros tres aserríos. Lo cual permitiría la utilización de un gasificador de lecho fluidizado, teniendo en cuenta que ayudan a obtener una reacción rápida y no hay necesidad de triturar la materia prima (aserrín).

Por lo tanto los gasificadores modernos poseen una capacidad máxima de 60 kg/h, se necesitarían 4 gasificadores (uno por aserrío), Con un generador que consuma a capacidad máxima de gas de producción 100 m³/hora, y tenga una capacidad de generación de energía de 120 kwh y conexión 120/240 V, 60 Hz con una eficiencia del 70%, y, partiendo de los resultados obtenidos para el sajo de poder calorífico y residuos disponibles este sistema de residuos produciría:

Con el aserrín en estado seco anhidro: $182 \text{ kg} * 18100 \text{ kJ/kg} = 329420 \text{ kJ}$ en bruto, descontando la eficiencia del 70%, equivalente a 640.5 kwh, en efecto, cada gasificador produciría 160.5 kwh a la semana. Con el aserrín en estado seco al aire: $182 \text{ Kg} * 4677 \text{ KJ/Kg} = 851214 \text{ KJ}$ en bruto, descontando la eficiencia del 70%, equivalente a 165,5 kwh, cada hora, por lo tanto cada gasificador produciría 41.4 kwh a la semana; en comparación con el consumo mensual de las viviendas 160 kwh y los aserríos 230 kwh mensual de la

zona, la energía producida por los residuos en estado seco anhidro suplirían la necesidad energética de los aserríos trabajando 96 horas al mes, mientras que los residuos en estado seco al horno abastecerían el consumo de una vivienda o el 70% del consumo de energía de un aserradero, trabajando 192 horas semanales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El contenido de humedad influye en el poder calorífico de la madera y a su vez afecta el potencial energético de la especie Sajo.

La ceniza contenida en el proceso de gasificación puede considerarse como un recurso potencial en la elaboración de fertilizantes siempre y cuando no contengan metales pesados.

La cantidad de residuos de sajo producido por los aserríos del municipio de Francisco Pizarro, sumado al alto poder calorífico, autoabastecerían la demanda energética mensual aserríos o el 70% de las viviendas.

La especie maderable sajo ya está siendo catalogada en vía de extinción, por lo tanto se recomienda realizar estudios para otras especies de la zona, o realizar estudios para determinar la implementación del sajo en sistemas agroforestales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bueno, 2008. La madera como combustible. Universidad Nacional Agraria La Molina. Revista Forestal del Perú. Departamento Académico de Industrias Forestales Perú v. 14 (2). Pp 1-9.

Castello, A. Diseño de un Reactor Continuo de Gasificación de Biomasa. Memoria para optar al título de ingeniero civil químico. Universidad de Chile. Facultad de ciencias y matemáticas. Santiago de Chile – Chile. P.p. 127.

Chejne, 2007. Tecnologías de Conversión y Recuperación de Energía: Convencionales y Nuevas Tendencias. Facultad de Minas Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Córdoba, 2005. Conceptos básicos sobre el secado de la madera. Kurú: Revista Forestal. Costa Rica. Pp. 3-4.

Del Valle, 1993. Metodología para realizar entresacas en la Asociación Sajal de los Bosques de Guandal del litoral Pacífico Colombiano. Universidad Nacional, Medellín.

Escobar, C. Rodríguez, A. Correa, D. 1993. Fichas Técnicas de Especies Forestales. Laboratorio de productos forestales. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, SENA, Centro Colombo Canadiense de la Madera. Recuperado de: <http://www.unalmed.edu.co/>

Food and Agriculture Organization (FAO). 1984. Madera para producir energía. Depósito de documento de la FAO, p.v. en línea. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/Q4960S/q4960s00.htm#Contents>

Fernández, (s.f.). Centrales Térmicas. Capítulo VXII Gasificación del Carbono. Biblioteca sobre ingeniería eléctrica. En línea. Disponible en: <http://es.pfernandezdiez.es/libro/?id=15>

Francescato, V y Antonini, E. 2008. Manual de Combustibles de madera. Producción, requisitos de calidad y comercialización. Asociación española de valorización energética de la biomasa. Intelligent Energy Europe. 82 p.

Fonseca, 2003. Estado del arte y uso del gas de gasificación termoquímica de biomasa (GG) en motores de combustión interna alternativos. Centro de investigaciones energéticas, medioambientales y tecnológicas CIEMAT. En línea. Disponible en: http://oa.upm.es/10905/2/NATALIA_ELIZABETH_FONSECA_GONZALEZ._xpdf.pdf

Guerrero, 2015. Generación de Energía a partir de Residuos de Madera en las Veredas de estudio Firme de los Coimes, Guachal, Pital, San Juan, San Juan Playa y San Sebastián, municipio de Tumaco, Nariño.

Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTIN). 2009. Planta de Gasificación. Unidad operativa NOA, Argentina. Pp 4-9. 19 p.

Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC). 1989. Manual del Grupo Andino para la Preservación de la Madera. Colombia.

Kollmann, 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Instituto Forestal de Investigación y Experiencias y Servicios de la Madera. Madrid, España.

Montgomery, D. 1991. Diseño y análisis de experimentos. Grupo Editorial Iberoamericana. México. 589 p. en línea. Disponible en: <http://www.um.edu.uy>

Melissari, B. 2012. Comportamiento de cenizas y su impacto en sistemas de combustión de biomasa. Memoria de trabajos de difusión científica y técnica 2012. En línea. Disponible en:

http://www.um.edu.uy/docs/6_comportamiento_de_cenizas_y_suimpacto_en_sistemas_de_%20combustion_de_biomasa.pdf

Suazo, C. 2005. Caracterización de las precipitaciones en el secano costero de las regiones O'Higgins, Maule y Norte del Biobío, durante el periodo 2002 – 2003. Universidad de Talca. Facultad de ciencias forestales. Talca – Chile. En línea. Disponible en: http://eias.otalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/tesis_de_grado/CSuazoC.pdf

Universidad Nacional del Santa, Perú. 2017. Termodinámica y termotecnia. Curso de termodinámica y combustibles. En línea. Disponible en: http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/tablas_tema_3.pdf
