

PROPIEDADES ENERGÉTICAS DE BRIQUETAS DE ASERRIN DE PINO, DURANTE LA COMBUSTIÓN

Héctor Andrés Rivera López andresrive379@gmail.com

Dorian Joel Flores Ampie fdorianjoel@gmail.com

Edwin Antonio Reyes Aguilera edwinra11@gmail.com

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito evaluar las propiedades energéticas de briquetas elaboradas a base de aserrín de pino, es una investigación de tipo experimental, descriptiva, correlacional, se utilizó la metodología *wáter boiling test*, medición directa de monóxido con un sistema portátil de emisiones, los datos se analizaron mediante el software estadístico *InfoStat*, mediante la rutina estadística de análisis de varianza (ANOVA). Los resultados obtenidos muestran que el tiempo de ebullición de la briqueta de aserrín con almidón fue de 18.13 minutos, en comparación con la leña que fue de 28.88 minutos; con respecto a la emisión de monóxido de carbono, la menor cantidad se dio en la briqueta de aserrín con almidón con una media de 497.72 ppm en comparación a la leña que logro una mayor emisión de 1687.38 ppm. Se concluye que la briqueta de aserrín con almidón es la más eficiente debido a tener el mejor perfil de medias en cuanto al tiempo de ebullición y de emisiones de monóxido de carbono, con respecto a sus características físicas, las briquetas contribuyen un alto grado a la eficiencia para la combustión y es una alternativa para sustituir el uso de la leña convencional.

Palabras clave: Biomasa, Dendroenergía, Densificación, Briquetas, Eficiencia.

INTRODUCCION

En el mundo un promedio de tres mil millones de personas utiliza leña como combustible para fines de cocina y calefacción, de los cuales dos mil millones de personas se encuentran en áreas rurales y suburbanas (SHE, 2004) por sus siglas en inglés (Solar Household Energy). En América Latina y el Caribe cada año se consume 254 millones de m³ de leña de manera que los más afectados resultan ser las personas que habitan en zonas rurales principalmente las mujeres y niños que ahora tienen que recorrer mayor distancia para recolectar leña, generando problemas sociales y ambientales ((FAO), 1981).

En Nicaragua el manejo de los residuos orgánicos ha sido históricamente deficiente, ya que no se ha promovido el uso de tecnologías aplicadas que le den salida o mejoren este problema, existen situaciones donde estos residuos están cerca de los poblados lo cual afecta a la personas que están cerca del lugar causando graves daños a la salud y al no dársele el tratamiento adecuado a los residuos (forestales en este caso), esto causa graves problemas al medioambiente por la descomposición de estos.

La idea de la fabricación de briquetas con residuos de forestales fue iniciada en 1957 en Soria, España con el carácter de ensayo. Se han realizado ensayos sobre combustibles sólidos como alternativas amigables con el medio ambiente, como el elaborado por el Centro de Desarrollo e Investigación en Termo fluidos (CEDIT) por sus siglas en inglés, Lima Perú que demuestra la viabilidad de fabricación de briquetas y evalúa el desempeño de diferentes materiales biomásicos de los cuales la mejor combinación fue de Aserrín con papel (Gonzales & Rosales, 2016).

La leña es el combustible más antiguo y barato del mundo. La gran demanda ha llevado que en algunos lugares haya escasez de leña. La tecnología aplicada por Legacy Foundation tiene la finalidad de usar residuos agrícolas para generar briquetas como alternativa al uso de leña. El fin práctico de esta tecnología es dar el máximo aprovechamiento a la biomasa como combustible existente en lugares donde no hay accesibilidad a leña y donde su costo es elevado. Esta tecnología pretende disminuir la presión sobre los bosques y aprovechar de mejor manera todos los residuos que se generan en las actividades agrícolas e industriales. Desde el año 1992 hasta el año 2003 Legacy Foundation y sus socios han realizado estudios sobre el uso de la tecnología de briquetas en países asiáticos, africanos y latinoamericanos (Perú, Nicaragua y Haití) en ambientes rurales y suburbanos. Por la escasez y la poca accesibilidad la tecnología de las briquetas (Ramos, 2010)

El uso de las briquetas es una alternativa sostenible a la combustión convencional en fogones sustituyendo el uso de leña, el uso de este producto ayudara al medioambiente ya que la leña aporta en un alto índice a la deforestación. La promoción y difusión de esta tecnología para su aprovechamiento son necesarias para que la sociedad se involucre en el beneficio que tiene el aprovechar los desechos en la producción de energía y en la contribución a la disminución de la contaminación ambiental.

MATERIALES Y METODOS

Caracterizar las propiedades Físicas, químicas y energéticas de las briquetas.

Masa de densificado y secado solar por convección forzada, Volumen, Densidad, humedad, Masa seca, Masa húmeda, Masa de cenizas, Temperatura, Poder calorífico, Tiempo.

Para la caracterización de las propiedades básicas como lo son las físicas, se calculó a partir de la comprensión de los métodos y ecuaciones físicas en las cuales se mide la dimensión de la briketa con una cinta métrica, es decir el volumen de la briketa.

En cuanto a las masas de las briquetas se usó una balanza analítica digital marca KERN EMB5.2KI y consecuentemente se hicieron los cálculos correspondientes para calcular la densidad.

Con la formula $D = m/V$

Para saber el valor de la cantidad de agua existente en la materia a utilizar, se utilizó un medidor de humedad Laserliner. Para determinar las temperaturas en las que las briquetas se vieron involucradas se utilizaron dos termómetros, uno de alta temperatura para monitorear la temperatura en las que se estaban secando las briquetas en el horno y otro tipo tester para monitorear las temperaturas durante las pruebas de WBT.

Dado que también existen propiedades químicas y energéticas en las briquetas que cambian de acuerdo a las condiciones en que se expongan, sobre la cual se realizó un análisis cuantitativo con el objeto de conocer el tipo y grado de alteración que ha sufrido bajo las condiciones en las que se exponga.

Para la obtención de la masa total se realizó con la suma de masa de materia prima, masa de aglomerante y masa del agua.

$$Mt = Mp + Ma + Mh2o$$

Para la obtención de la masa seca se pesó la masa final de la total que se ingresó en el horno solar durante una semana a una temperatura promedio de 60 grados Celsius.

Para la obtención de la masa húmeda se realizó con la resta de la masa total y masa seca.

$$Mh = Mt - Ms$$

Para la medición de material inerte o masa de cenizas se obtienen los sólidos totales estos se separan en dos partes: Sólidos Volátiles y Sólidos Fijos. Al suceder la gasificación del material se espera que los Sólidos Fijos que son los quedan y los Sólidos Volátiles se escapan en forma de gas. Una vez finalizada la combustión del material se procederá a medir los Sólidos Fijos. La diferencia de Sólido Total menos los Sólidos Volátiles:

$$Sv = St - Sf$$

El poder calorífico de las briquetas elaboradas de aserrín, se determinara mediante el cálculo aplicando la fórmula de calor dada por James Prescott Joule (1818-1989).

$$Q = m * Ce * \Delta T$$

Dónde: Q es la cantidad de calor (que se gana o se pierde), expresada en calorías. M es la masa del cuerpo en estudio (1 litro de agua 1000g). Se expresa en gramos Ce es el calor específico del cuerpo (agua en este caso 1 cal/g*°c), Su valor se encuentra en tablas conocidas. Se expresa en cal / gr ° C, t es la variación de temperatura = Tf - T0. Léase Temperatura final (Tf) menos Temperatura inicial (T0).

Comparar mediante test WBT la eficiencia energética de briquetas y otra especie (leña), utilizada en la cocción de alimentos en fogones.

Para el estudio se decidió usar el WBT por los siguientes motivos: se trata de una prueba de fácil aplicación, utiliza agua en las fases de evaluación de eficiencia en cocinas como en combustibles.

El WBT está compuesto por fases. Sin embargo, antes de comenzar con estas fases es necesario haber pesado el combustible, conocer su humedad, el peso de la olla, el peso del recipiente para el carbón y ceniza, y el peso del material para encender que puede ser un combustible diferente al evaluado. Posteriormente damos inicio a las diferentes fases:

Prueba de arranque en frío de alta potencia: La prueba empieza con una estufa a temperatura ambiente, éste utiliza combustible que ha sido pre-pesado para hervir cinco litros de agua en una olla normal como se utilizaría en cualquier hogar. Una vez llegue el agua al punto de ebullición se toman los datos de peso del agua más la olla, del recipiente con ceniza que se obtenga, el tiempo total de combustión cuando llega al punto de ebullición. Después se reemplaza el agua hervida con otros 5 litros de agua en otra olla a temperatura ambiente para llevar a cabo el siguiente paso.

Prueba de arranque en caliente de alta potencia: La prueba se lleva a cabo cuando la estufa aún está caliente, se trata del mismo procedimiento anterior, excepto que ahora se realiza con la estufa caliente (Aprovecho, 2008).

Cuantificar la emisión de monóxido de carbono generado por la combustión de las briquetas.

Durante las pruebas en el laboratorio es posible observar en tiempo real lo que sucede cuando se agrega más combustible a la estufa y cuando hay variación en el fuego. En la pantalla del medidor se observan las oscilaciones de las emisiones. Lo cual permite observar los momentos de elevadas concentraciones del **ppm** y de los gases, lo cual puede servir como enseñanza para el diseño de nuevas estufas y el uso de determinados combustibles (Aprovecho, 2008).

RESULTADOS Y DESCUSION

En la fabricación de briquetas se lubricó la parte de la cámara de depósito de la materia para su prensado, lo cual se hizo con aceite vegetal en pequeñas cantidades, sin mezclarse con nuestra materia por el agua, se observó que las briquetas hechas en la prensa resulta más fácil hacerlas con el menor volumen que se pueda, esto permite un mejor tratamiento, secado y posterior encendido.

El horno secador de madera solar, se mantuvo en una temperatura promedio de 60-65 grados Celsius, las briquetas estuvieron en secado durante una semana.

Con los datos obtenidos en el proceso de recolección de la información se realizaron dos Análisis de la Varianza (ANOVA), que permitió probar hipótesis referidas a los parámetros de posición (esperanza) de dos o más distribuciones. La hipótesis que se somete a prueba generalmente se establece con respecto a las medias de las poblaciones en estudio o de cada uno de los tratamientos evaluados en un experimento, Este es un experimento con fines comparativos, usualmente se realiza la aplicación de varios tratamientos a un conjunto de unidades experimentales para valorar y comparar las respuestas obtenidas bajo cada tratamiento.

Antes de realizar el ANOVA, se realizó el Diagnóstico de la Normalidad, Homogeneidad e Independencia de residuos. Para tal efecto se obtuvieron previamente las variables *RDUO* de las variables y *PRED*. A partir de los residuos y sus transformaciones se puede verificar el cumplimiento de los supuestos de normalidad, homogeneidad de varianzas.

Caracterizar las propiedades Físicas, químicas y energéticas de las briquetas.

ANOVA 1

Antes de realizar el ANOVA, se realizó el Diagnóstico de la Normalidad, Homogeneidad e Independencia de residuos. Para tal efecto se obtuvieron previamente las variables *RDUO de las variables y PRED*.

Normalidad de residuos

Se realizó LA prueba de Shapiro Francia para el diagnóstico de normalidad de los residuos de manera que se examinó el grado de asociación que existe entre la variable respuesta *RDUO_MASA DE COMBUSTIBLE* y la función normal, la cual es linealizada mediante la función log. y se realiza mediante el gráfico del QQ.

El grado de asociación se mide por el coeficiente de correlación “*r*” de Shapiro Francia. Debe obtenerse un $r \geq 0.94$, para aceptar la Normalidad de los residuos, lo que demuestra que existe un correlación significativa entre los residuos y la función normal.

En la figura 6, se muestra el gráfico de el QQ, de la prueba de Normalidad de los residuos realizada mediante la variable respuesta *RDUO masa de combustible*, según el resultado queda demostrado que cumple con la condición de normalidad de los residuos, dado que

se alcanzó un $r = 0.963$, se cumple con el supuesto de normalidad para realizar correctamente el Modelo del DCA.

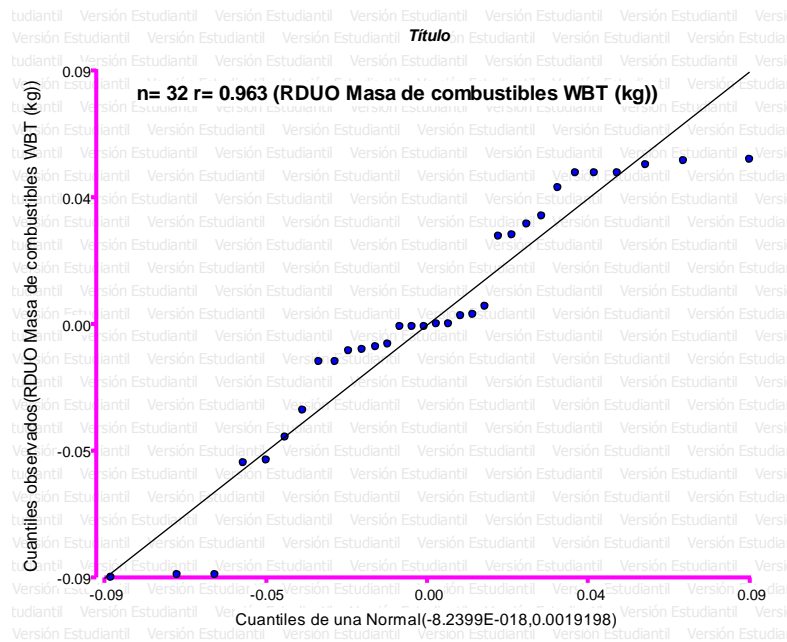


Figura 6. Normalidad de residuos

Homogeneidad de varianza de los residuos con respecto a las pruebas

Para comprobar la homogeneidad de la varianza se realiza a través de la *prueba de Levene* que consiste en realizar un análisis de varianza a los residuos de la variable respuesta que se desea diagnosticar y se realiza bajo la hipótesis nula de **H₀: Los errores tienen varianzas homogéneas**, el resultado debe ser *ns* para que se demuestre la Homogeneidad de Varianza.

Dado el resultado obtenido en la tabla 2, se afirma que se acepta la **H₀: Los errores tienen varianzas homogéneas**, con la obtención de un $p = 0,9999$, el cual es mayor que el nivel crítico de comparación establecido de $\alpha = 0,05$. Claramente se ve que es una respuesta *ns*, aquí se cumple con uno de los supuestos fundamentales para realizar correctamente el Modelo del DCA.

Tabla 2. Homogeneidad de varianza

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RDUO Masa de combustibles ..	32	0	0	1.16498809637824E

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0	3	0	0	>0.9999
Combustible (sustrato)	0	3	0	0	>0.9999 ns
Error	6.0E-02	28	2.1E-03		
Total	6.0E-02	31			

Independencia de los residuos

La independencia de los residuos se realizó **mediante un gráfico de dispersión** para observar y determinar la tendencia de respuesta entre los residuos y los predichos ***RDUO masa combustible*** y ***PRED masa combustible***.

Este gráfico permite visualizar una tendencia de respuesta o patrón de comportamiento de los datos. En la figura 7, se muestra el gráfico de dispersión entre ***RDUO masa combustible*** y ***PRED masa combustible***, se observa claramente que *no hay patrón o tendencia de respuesta de los residuos*. Por lo tanto, se procede a realizar el ANOVA en DCA.

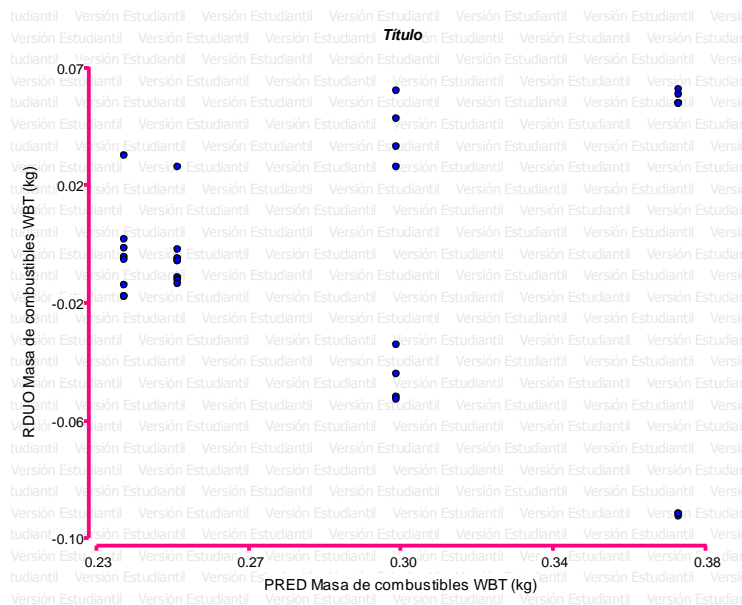


Figura 7. Independencia de los residuos

EL ANOVA EN DCA, permite determinar si existe o no, la relación de causa-efecto de los tratamientos, (efecto de diferentes sustratos o combustible), sobre la variable respuesta **masa de combustible**.

Tabla 3. ANOVA EN DCA

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Masa de combustibles WBT (..	32	0.61	0.57	15.95

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.09	3	0.03	14.54	<0.0001
Combustible (sustrato)	0.09	3	0.03	14.54	<0.0001
Error	0.06	28	2.1E-03		
Total	0.15	31			

El ANOVA realizado, para evaluar el efecto de los diferentes sustratos sobre la masa de combustible, demostró lo siguiente:

Existe un **efecto significativo** del tratamiento (diferentes sustratos o combustibles), sobre la variable respuesta masa de combustible, lo cual se evidencia con un $p = 0,0001$, que resultó ser **menor** que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \dots = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (diferentes sustratos o combustibles, como; leña de pino, aserrín, aserrín con papel, aserrín con almidon), sobre la variable respuesta, **masa de combustible**.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba LSD Fisher (**Diferencia Mínima Significativa**), **con un Alfa = 0.05**, permitió demostrar que, los sustratos de aserrín con almidón y pino no tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la **variable dependiente de masa de combustible**, sin embargo si existen diferencias significativas con respecto a los combustibles de aserrín y aserrín con papel, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de **0.37 Kg** para el sustrato de *aserrín con papel* y un valor mínimo de **0.23 Kg** para el sustrato de *aserrín con almidón*. . Por lo tanto, se recomienda usar el sustrato aserrín almidón y el pino por haber obtenido menor consumo de combustible.

Tabla 4. ANOVA EN DCA

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.04722

Error: 0.0021 gl: 28

Combustible (sustrato)	Medias	n	E.E.	
Aserrín Almidón	0.23	8	0.02	A
Pino	0.25	8	0.02	A
Aserrín	0.30	8	0.02	B
Aserrín Papel	0.37	8	0.02	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

ANOVA 2

Antes de realizar el ANOVA, se realizó el Diagnóstico de la Normalidad, Homogeneidad e Independencia de residuos. Para tal efecto se obtuvieron previamente las variables **RDUO de las variables y PRED**.

Normalidad de residuos

Se realizó LA prueba de Shapiro Francia para el diagnóstico de normalidad de los residuos de manera que se examinó el grado de asociación que existe entre la variable respuesta **RDUO_PODER CALORIFICO** y la función normal, la cual es linealizada mediante la función log. y se realiza mediante el gráfico del QQ.

El grado de asociación se mide por el coeficiente de correlación “r” de Shapiro Francia. Debe obtenerse un $r \geq 0.94$, para aceptar la Normalidad de los residuos, lo que demuestra

que existe una correlación significativa entre los residuos y la función normal. En la figura 8, se muestra el gráfico de el QQ, de la prueba de Normalidad de los residuos realizada mediante la variable respuesta **RDUO poder calorífico**, según el resultado queda demostrado que cumple con la condición de normalidad de los residuos, dado que se alcanzó un $r = 0.988$, se cumple con el supuesto de normalidad para realizar correctamente el Modelo del DCA.

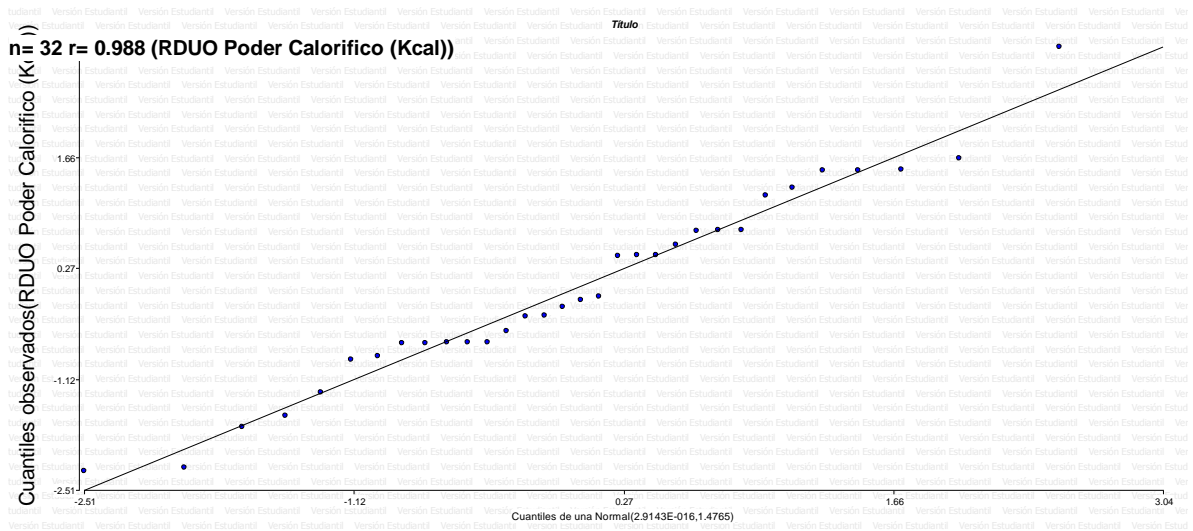


Figura 8. Normalidad de los residuos

Homogeneidad de varianza de los residuos con respecto a los tratamientos

Para comprobar la homogeneidad de la varianza se realiza a través de la **prueba de Levene** que consiste en realizar un análisis de varianza a los residuos de la variable respuesta que se desea diagnosticar y se realiza bajo la hipótesis nula de **H₀: Los errores tienen varianzas homogéneas**, el resultado debe ser **ns** para que se demuestre la Homogeneidad de Varianza.

Dado el resultado obtenido en la tabla 5, se afirma que se acepta la **H₀: Los errores tienen varianzas homogéneas**, con la obtención de un $p = 0,9999$, el cual es mayor que el nivel crítico de comparación establecido de $\alpha = 0,05$. Claramente se ve que es una respuesta **ns**, aquí se cumple con uno de los supuestos fundamentales para realizar correctamente el Modelo del DCA.

Tabla 5. Homogeneidad de varianza

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RDUO Poder Calorífico (Kca..	32	0.00	0.00	541940400021077000.00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999
Combustible (sustrato)	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999 ns
Error	45.77	28	1.63		
Total	45.77	31			

Independencia de los residuos

La independencia de los residuos se realizó mediante un gráfico de dispersión para observar y determinar la tendencia de respuesta entre los residuos y los predichos **RDUO poder calorífico** y **PRED poder calorífico**.

Este gráfico permite visualizar una tendencia de respuesta o patrón de comportamiento de los datos. En la figura 9, se muestra el gráfico de dispersión entre **RDUO poder calorífico** y **PRED poder calorífico**, se observa claramente que *no hay patrón o tendencia de respuesta de los residuos*. Por lo tanto, se procede a realizar el ANOVA en DCA.

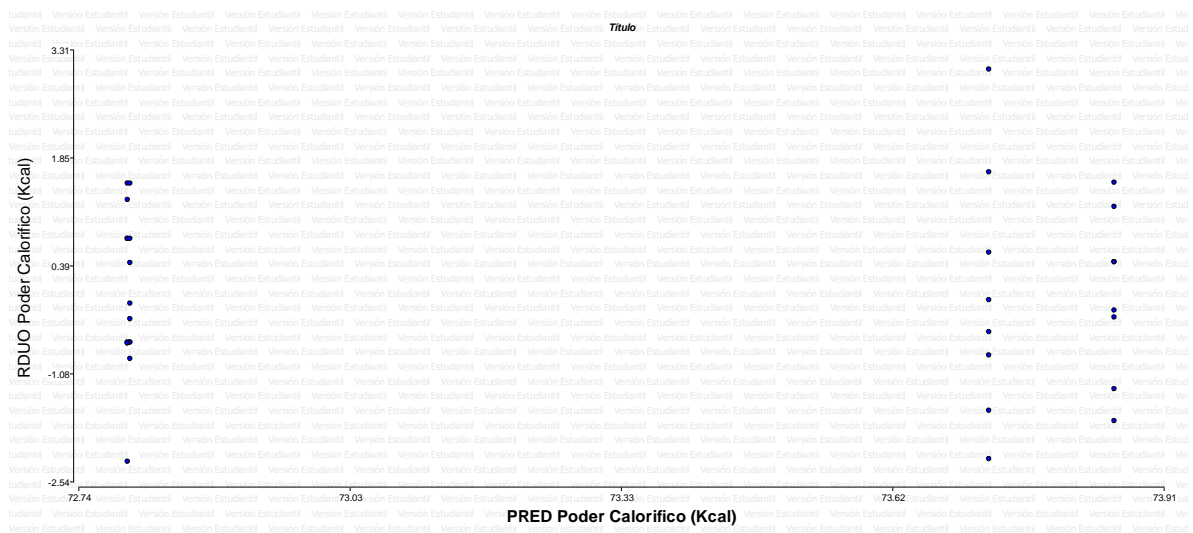


Figura 9. Independencia de los residuos

EL ANOVA EN DCA, permite determinar si existe o no, la relación de causa-efecto de los tratamientos, (efecto de diferentes sustratos o combustible), sobre la variable respuesta poder calorífico

Tabla 6. ANOVA EN DCA

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Poder Calorífico (Kcal)	32	0.15	0.06	1.74

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8.01	3	2.67	1.63	0.2039
Combustible (sustrato)	8.01	3	2.67	1.63	0.2039
Error	45.77	28	1.63		
Total	53.78	31			

El ANOVA realizado, para evaluar el efecto de los diferentes combustibles sobre el poder calorífico, demostró lo siguiente:

Existe un **efecto significativo** del tratamiento (diferentes sustratos o combustibles), sobre la variable respuesta poder calorífico, lo cual se evidencia con un $p = 0,2039$, que resultó ser **menor** que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \dots = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (de diferentes sustratos o, combustibles, como; leña de pino, aserrín, aserrín con papel, aserrín con almidón), sobre la variable respuesta **poder calorífico**.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba LSD Fisher (**Diferencia Mínima Significativa**), con un **Alfa = 0.05**, permitió demostrar que, los sustratos de leña de pino, aserrín, aserien con papel y aserrín con almidón, no tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la **variable dependiente de poder calorífico**, sin embargo, existen diferencias significativas con respecto a los combustibles, aserrín y aserrín con papel y leña de pino, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de **73.86 Kcal** para el sustrato de *aserrín* y un valor mínimo de **72.80 Kcal** para los combustibles de *aserrín con papel* y *leña de pino*.

Por ser estos de igual poder calorífico se recomienda cualquiera de ellos, la explicación de este resultado se debe a que se utilizó la misma materia prima es decir la especie de pino.

Tabla 7. ANOVA EN DCA

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.30950

Error: 1.6347 gl: 28

Combustible (sustrato)	Medias	n	E.E.	
Pino	72.80	8	0.45	A
Aserrín Papel	72.80	8	0.45	A
Aserrín Almidón	73.73	8	0.45	A
Aserrín	73.86	8	0.45	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Eficiencia energética de los diferentes tipos de briquetas y compararlas con otra especie de leña utilizada en la zona rural.

ANOVA 3

Comparar mediante test ebullición de agua, la eficiencia energética de las briquetas y otra especie de leña utilizada.

Antes de realizar el ANOVA, se realizó el Diagnóstico de la Normalidad, Homogeneidad e Independencia de residuos. Para tal efecto se obtuvieron previamente las variables **RDUO de las variables y PRED.**

Normalidad de residuos

Se realizó la prueba de Shapiro Francia para el diagnóstico de normalidad de los residuos de manera que se examinó el grado de asociación que existe entre la variable respuesta **RDUO_TIEMPO DE EBULLICION** y la función normal, la cual es linealizada mediante la función log. y se realiza mediante el gráfico del QQ.

El grado de asociación se mide por el coeficiente de correlación “**r**” de Shapiro Francia. Debe obtenerse un $r \geq 0.94$, para aceptar la Normalidad de los residuos, lo que demuestra que existe una correlación significativa entre los residuos y la función normal. En la figura 10, se muestra el gráfico de el QQ, de la prueba de Normalidad de los residuos realizada mediante la variable respuesta **RDUO tiempo de ebullición**, según el resultado queda demostrado que cumple con la condición de normalidad de los residuos, dado que se alcanzó un $r = 0.984$, se cumple con el supuesto de normalidad para realizar correctamente el Modelo del DCA.

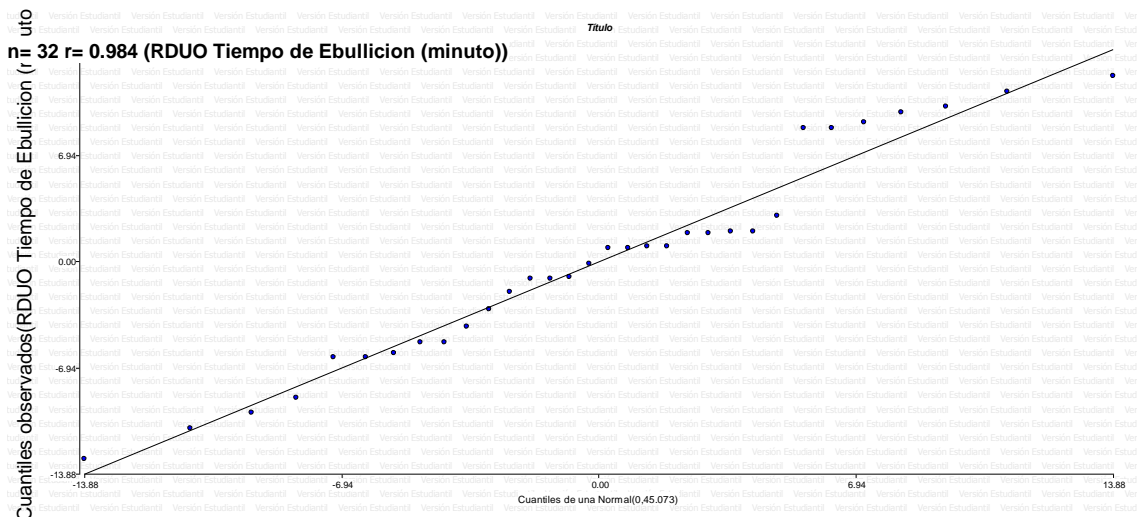


Figura 10. Normalidad de los residuos

Homogeneidad de varianza de los residuos con respecto a los tratamientos

Para comprobar la homogeneidad de la varianza se realiza a través de la *prueba de Levene* que consiste en realizar un análisis de varianza a los residuos de la variable respuesta que se desea diagnosticar y se realiza bajo la hipótesis nula de **H₀: Los errores tienen varianzas homogéneas**, el resultado debe ser *ns* para que se demuestre la Homogeneidad de Varianza.

Dado el resultado obtenido en la tabla 8, se afirma que se acepta la **H₀: Los errores tienen varianzas homogéneas**, con la obtención de un $p = 0,9999$, el cual es mayor que el nivel crítico de comparación establecido de $\alpha = 0,05$. Claramente se ve que es una respuesta *ns*, aquí se cumple con uno de los supuestos fundamentales para realizar correctamente el Modelo del DCA.

Tabla 8. *Homogeneidad de varianza*

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RDUO Tiempo de Ebullición ..	32	0.00	0.00	sd

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999
Combustible (sustrato)	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999 ns
Error	1397.25	28	49.90		
Total	1397.25	31			

Independencia de los residuos

La independencia de los residuos se realizó **mediante un gráfico de dispersión** para observar y determinar la tendencia de respuesta entre los residuos y los predichos **RDUO tiempo de ebullición** y **PRED tiempo de ebullición**.

Este gráfico permite visualizar una tendencia de respuesta o patrón de comportamiento de los datos. En la figura 11, se muestra el gráfico de dispersión entre **RDUO tiempo de ebullición** y **PRED tiempo de ebullición**., se observa claramente que *no hay patron o tendencia de respuesta de los residuos*. Por lo tanto, se procede a realizar el ANOVA en DCA.

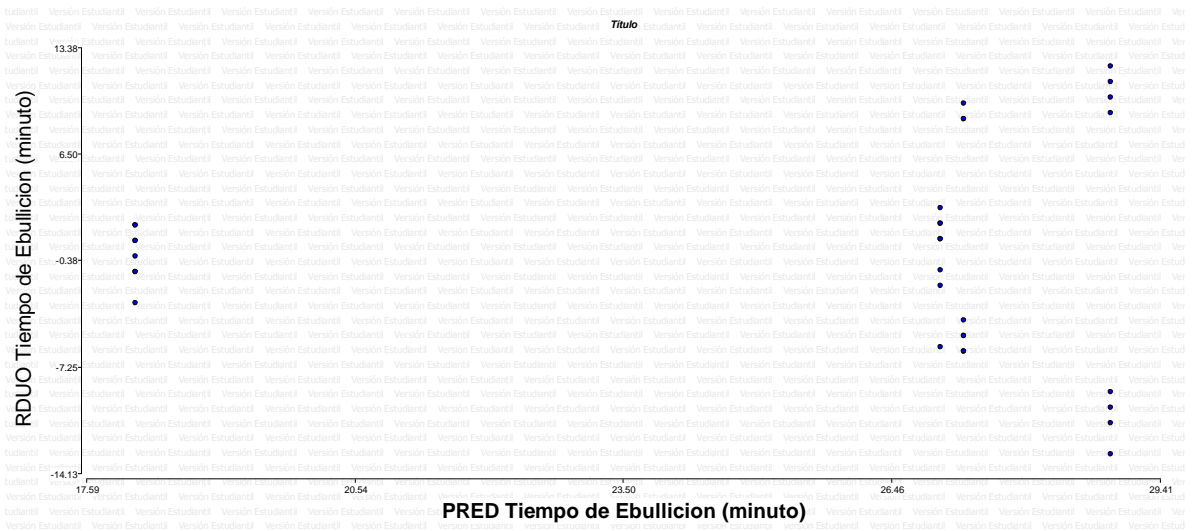


Figura 11. Independencia de los residuos

EL ANOVA EN DCA, permite determinar si existe o no, la relación de causa-efecto de los tratamientos, (efecto de diferentes sustratos o combustible), sobre la variable respuesta **tiempo de ebullición**.

Tabla 9. ANOVA EN DCA

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Tiempo de Ebullición (minu..	32	0.29	0.21	27.91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	567.63	3	189.21	3.79	0.0212
Combustible (sustrato)	567.63	3	189.21	3.79	0.0212
Error	1397.25	28	49.90		
Total	1964.88	31			

El ANOVA realizado, para evaluar el efecto de los diferentes sustratos sobre la masa de combustible, demostró lo siguiente:

Existe un **efecto significativo** del tratamiento (diferentes sustratos o combustibles), sobre la variable respuesta tiempo de ebullición, lo cual se evidencia con un **p = 0,0212**, que resultó ser **menor** que el nivel crítico de comparación **α = 0.05**. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de **H₀: μ₁ = μ₂ = μ₃ = μ₄ = μ_n**. Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (diferentes sustratos o combustibles; leña de pino, aserrín, aserrín con papel, aserrín con almidón,) sobre la variable respuesta **tiempo de ebullición**.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba LSD Fisher (**Diferencia Mínima Significativa**), con un **Alfa = 0.05**, permitió demostrar que, los sustratos de aserrín,

aserrín con papel y pino, no tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la **variable** dependiente de tiempo de ebullición, sin embargo si existen diferencias significativas con respecto a los combustibles de aserrín y aserrín con almidón para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de **28.88 minutos** para el combustible de aserrín y un valor mínimo de **18.13 minutos** para el combustible de aserrín con almidón. Por lo tanto, se recomienda la briqueta de aserrín con almidón debido a obtenerse menor tiempo para la ebullición del agua.

Tabla 10. ANOVA EN DCA

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=7.23509

Error: 49.9018 gl: 28

Combustible (sustrato)	Medias	n	E.E.	
Aserrín Almidón	18.13	8	2.50	A
Pino	27.00	8	2.50	B
Aserrín Papel	27.25	8	2.50	B
Aserrín	28.88	8	2.50	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

La **Briqueta de aserrín con papel** el encendido fue casi instantáneo, el fuego se comportó inestable, hubo necesidad de más oxígeno y las cenizas quedaron pulverizadas.

Briqueta de aserrín con almidón

El encendido fue casi instantáneo, el fuego fue estable, no se necesitó más oxígeno que del ambiente, las cenizas quedaron en forma de carbón sólido.

Briqueta de aserrín con lignina propia

El encendido no fue tan rápido, el fuego estuvo en un rango intermedio de estabilidad, las cenizas quedaron pulverizadas.

Leña de pino

El tiempo de encendido en este fue mayor de 9 minutos, se necesitó el triple de chispa de encendido, el fuego fue estable y sus cenizas quedaron en forma de carbón sólido, de igual manera fue la de mayor cantidad de masa de cenizas.

Emisión de monóxido de carbono generado por la combustión de las briquetas y otra especie de leña.

ANOVA 4

Cuantificar la emisión de monóxido de carbono generado por la combustión de las briquetas y otra especie de leña.

Antes de realizar el ANOVA, se realizó el Diagnóstico de la Normalidad, Homogeneidad e Independencia de residuos. Para tal efecto se obtuvieron previamente las variables **RDUO de las variables y PRED.**

Normalidad de residuos

Se realizó LA prueba de Shapiro Francia para el diagnóstico de normalidad de los residuos de manera que se examinó el grado de asociación que existe entre la variable respuesta **RDUO EMISIONES DE CO** y la función normal, la cual es linealizada mediante la función log. y se realiza mediante el gráfico del QQ.

El grado de asociación se mide por el coeficiente de correlación “r” de Shapiro Francia. Debe obtenerse un $r \geq 0.94$, para aceptar la Normalidad de los residuos, lo que demuestra que existe un correlación significativa entre los residuos y la función normal. En la figura 12, se muestra el gráfico de el QQ, de la prueba de Normalidad de los residuos realizada mediante la variable respuesta **RDUO emisiones de CO**, según el resultado queda demostrado que cumple con la condición de normalidad de los residuos, dado que se alcanzó un $r = 0.9882$, se cumple con el supuesto de normalidad para realizar correctamente el Modelo del DCA.

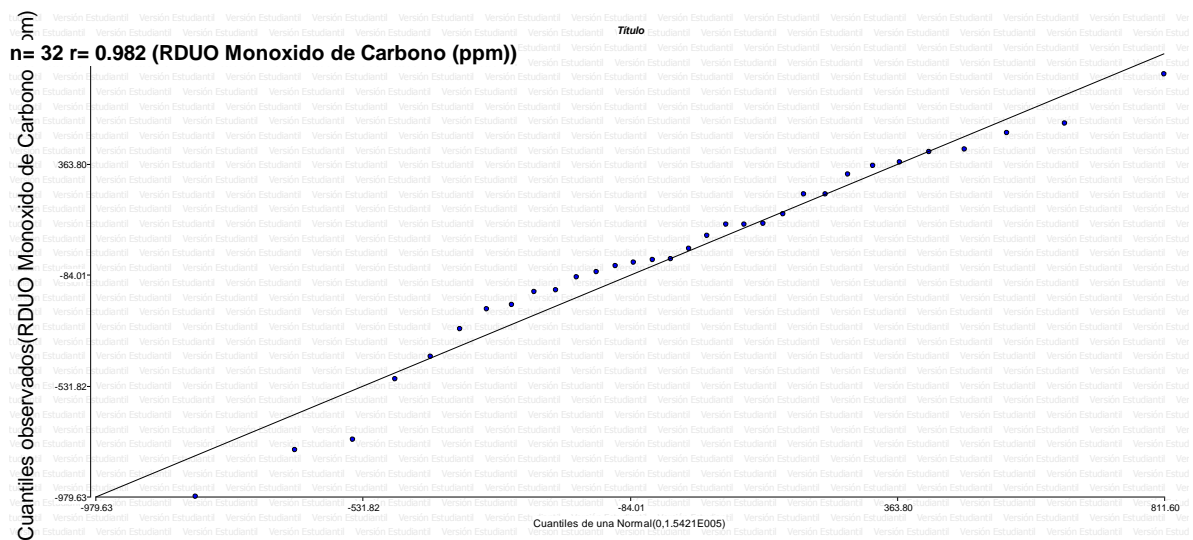


Figura 12. Normalidad de residuos

Homogeneidad de varianza de los residuos con respecto a los tratamientos

Para comprobar la homogeneidad de la varianza se realiza a través de la **prueba de Levene** que consiste en realizar un análisis de varianza a los residuos de la variable respuesta que se desea diagnosticar y se realiza bajo la hipótesis nula de **H₀: Los errores tienen varianzas homogéneas**, el resultado debe ser **ns** para que se demuestre la Homogeneidad de Varianza.

Dado el resultado obtenido en la tabla 11, se afirma que se acepta la **H₀: Los errores tienen varianzas homogéneas**, con la obtención de un $p = 0.9999$, el cual es mayor que el nivel crítico de comparación establecido de $\alpha = 0.05$. Claramente se ve que es una respuesta **ns**, aquí se cumple con uno de los supuestos fundamentales para realizar correctamente el Modelo del DCA.

Tabla 11. Homogeneidad de varianza

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RDUO Monoxido de Carbono (..	32	0.00	0.00	sd

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999
Combustible (sustrato)	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999 ns
Error	4780615.05	28	170736.25		
Total	4780615.05	31			

Independencia de los residuos

La independencia de los residuos se realizó mediante un gráfico de dispersión para observar y determinar la tendencia de respuesta entre los residuos y los predichos **RDUO emisiones** y **PRED emisiones**.

Este gráfico permite visualizar una tendencia de respuesta o patrón de comportamiento de los datos. En la figura 13, se muestra el gráfico de dispersión entre **RDUO emisiones** y **PRED emisiones**. Se observa claramente que *no hay patron o tendencia de respuesta de los residuos*. Por lo tanto, se procede a realizar el ANOVA en DCA.

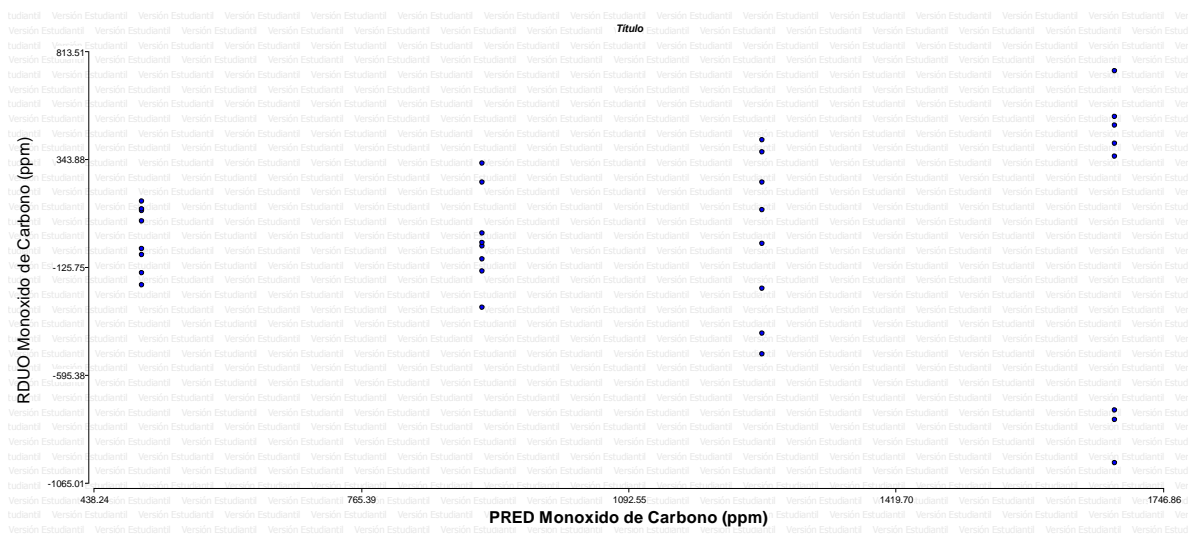


Figura 13. Independencia de los residuos

El ANOVA en DCA, permite determinar si existe o no, la relación de causa-efecto de los tratamientos, (efecto de diferentes sustratos o combustible), sobre la variable respuesta **emisiones**.

Tabla 12. ANOVA EN DCA

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
----------	---	----------------	-------------------	----

Monóxido de Carbono (ppm) 32 0.56 0.51 37.95

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6129060.72	3	2043020.24	11.97	<0.0001
Combustible (sustrato)	6129060.72	3	2043020.24	11.97	<0.0001
Error	4780615.05	28	170736.25		
Total	10909675.78	31			

El ANOVA realizado, para evaluar el efecto de los diferentes sustratos sobre la masa de combustible, demostró lo siguiente:

Existe un **efecto significativo** del tratamiento (diferentes sustratos o combustibles), sobre la variable respuesta masa de combustible, lo cual se evidencia con un $p = 0,0001$, que resultó ser **menor** que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de **H₀: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \dots = \mu_n$** . Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (diferentes sustratos o combustibles; leña de pino, aserrín, aserrín con papel, aserrín con almidón,)), sobre la variable respuesta **emisiones de CO**

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba LSD Fisher (**Diferencia Mínima Significativa**), con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, los sustratos de (aserrín con almidón y aserrín) y (aserrín y aserrín con papel) no tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la **variable** dependiente emisiones de CO, sin embargo si existen diferencias significativas con respecto a los combustibles de leña de pino y aserrín con almidón, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de **1687.38 ppm** para el combustible de leña de pino y un valor mínimo de **497.72 ppm** para el combustible de aserrín con almidón.

Por lo tanto, por ser estos los de menor emisión de monóxido de carbono CO se recomienda el uso de las briquetas de Aserrín con almidón y la briqueta de Aserrín.

Tabla 13. ANOVA EN DCA

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=423.20330

Error: 170736.2520 gl: 28

Combustible (sustrato)	Medias	n	E.E.	
Aserrín Almidón	497.72	8	146.09	A
Aserrín	914.38	8	146.09	AB
Aserrín Papel	1256.25	8	146.09	B
Pino	1687.38	8	146.09	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Las pruebas de emisiones, se realizaron directo al encenderse, luego ya encendido y posterior al apagado de cada combustible, cabe destacar que se hicieron pruebas directas en cámara de combustión del fogón, por esta situación se reflejan altos porcentajes de emisiones, el fogón, que se utilizo es convencional utilizado por una familia, para preparar

sus alimentos a diario, este no cuenta con chimenea, las medidas promedio de las briquetas son de 7 cm de largo, 7 cm de ancho y 7 cm alto.

Se observó que la resistencia hacia la manipulación y transporte de las briquetas varían en su contextura según el aglomerante, la que mejor se comporta a estas actividades es de aserrín con almidón que tiene una contextura mucho más sólida que las demás.

CONCLUSIONES

El análisis de propiedades de las briquetas de diferentes substratos (aserrín de pino con almidón, aserrín de pino con papel y aserrín de lignina propia, también de pino) en comparación con la leña tradicional de pino, sirvió para tener una noción, tanto físico, químicas y energéticas.

Los resultados fueron Satisfactorios siendo la briqueta de aserrín con almidón la más eficiente obteniendo un menor tiempo de ebullición y de menor emisiones de monóxido de carbono, con respecto a sus características físicas, entonces las briquetas si contribuyen un alto grado a la eficiencia para la combustión y también es una alternativa para sustituir el uso de la leña convencional.

Como recomendaciones generales, dado que este trabajo investigativo es meramente experimental, se comparte el pensamiento de otros aspectos a evaluar a mayor profundidad, se deben hacer otras pruebas, con otro tipo de leña con quien referirlas, por otra parte, sabemos que es necesario la evaluación de estos combustibles con respecto a la salud (calidad de aire interior donde se usa el combustible) para analizar el impacto sobre las personas que se ven involucradas en las actividades cotidianas diarias de la familia, en principal la mujer que es la que se encarga en la mayoría de los casos de la preparación de los alimentos para la familia.

AGRADECIMIENTOS

En esta ocasión nuestro reconocimiento y agradecimiento, al asesor de este trabajo investigativo el doctorante Edwin Antonio Reyes, por su oportuna, precisa e instruida orientación. Así mismo se agradece a la Facultad Regional Multidisciplinaria de Estelí FAREM Estelí, por facilitar las instalaciones, equipos y herramientas que permitieron llevar a cabo este estudio.

Referencias

(FAO). (1981). Madera para producir energia:organizacion de la naciones unidas para la agricultura y la alimentacion.

Aprovecho. (2008). Obtenido de <http://aprovecho.org/portfolio-item/portable-emissions-monitoring-system/>

Gonzalez, A, & Rosales, R. (2016). Obtenido de <http://ribuni.uni.edu.ni/1169/1/80489.pdf>

Ramos, L. A. (2010). *Fabricación y evaluación de eficiencia y emisiones de briquetas*. Zamorano Honduras .

SHE, S. H. (2004). www.she-inc.org/crisis_s.php.