



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“ESTUDIO TÉCNICO PARA LA OBTENCIÓN DE
BRIQUETAS DE FACIL ENCENDIDO A PARTIR
DE CARBÓN DE LA CASCARILLA DE PALMA
AFRICANA Y SU PRODUCCIÓN EN LA
EMPRESA TYSAI S.A.”**

JOE RALPH HERNÁNDEZ AVILES

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO INDUSTRIAL

RIOBAMBA – ECUADOR

2011

Espoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Febrero 1, de 2011

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

JOE RALPH HERNÁNDEZ AVILES

Titulada:

**“ESTUDIO TÉCNICO PARA LA OBTENCIÓN DE BRIQUETAS DE FACIL
ENCENDIDO A PARTIR DE CARBÓN DE LA CASCARILLA DE PALMA
AFRICANA Y SU PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA TYSAI S.A.”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. J. Eduardo Villota Moscoso.
DELEGADO DECANO FAC.MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Angel Guamán M.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Carlos Santillán M.
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JOE RALPH HERNÁNDEZ AVILES

TÍTULO DE LA TESIS: “ESTUDIO TÉCNICO PARA LA OBTENCIÓN DE BRIQUETAS DE FACIL ENCENDIDO A PARTIR DE CARBÓN DE LA CASCARILLA DE PALMA AFRICANA Y SU PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA TYSAI S.A.”

Fecha de Examinación: Febrero 1, de 2011.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. J.EDUARDO VILLOTA MOSCOSO			
ING. ÁNGEL GUAMÁN M.			
ING. CARLOS SANTILLÁN M.			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Joe Ralph Hernandez Aviles

AGRADECIMIENTO

Mi más profundo agradecimiento a la
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,
en especial a la Escuela de Ingeniería
Industrial, por brindarme la oportunidad de
obtener una profesión y contribuir al
desarrollo del país.

Y en especial para todos los amigos,
compañeros y personas que me apoyaron de
una u otra manera para culminar con éxito
esta etapa.

Joe Ralph Hernandez Aviles

DEDICATORIA

.....A mi Madre

TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
CAPÍTULO I.....	1
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. La Palma Africana.....	5
2.1.1. Origen.....	5
2.1.2. Descripción.....	7
2.1.3. Variedades.....	9
2.1.3.1. Dura.....	9
2.1.3.2. Pisifera.....	9
2.1.3.3. Tenera.....	10
2.1.4. Productos obtenidos a partir de la palma.....	10
2.2. Carbón.....	13
2.2.1. Carbón Vegetal.....	14
2.2.2. Usos del carbón.....	14
2.2.3. Términos y definiciones.....	16
2.2.3.1. Briqueta de carbón vegetal para barbacoa.....	16
2.2.3.2. Humedad total del carbón vegetal para barbacoas y briquetas de carbón vegetal para barbacoas.....	16
2.2.3.3. Ceniza.....	16
2.2.3.4. Materia Volátil.....	17
2.2.3.5. Carbono Fijo.....	17

2.2.3.6.	Aglomerante	17
2.2.3.7.	Productos químicos de mantenimiento.....	17
2.2.3.8.	Repetibilidad.....	17
2.2.3.9.	Reproducibilidad	18
2.2.4.	Combustión.....	18
2.2.5.	Pirolisis o Carbonización.....	18
2.2.6.	Requisitos	19
2.2.6.1.	Requisitos para las briquetas de carbón vegetal para barbacoa..	20
2.2.7.	Métodos de carbonización	22
2.2.7.1.	Rendimiento teórico	22
2.2.7.2.	Comparación de rendimiento entre métodos	23
2.2.7.2.1.	Parva de tierra.....	24
2.2.7.2.2.	Hornos forestales metálicos	25
2.2.7.2.3.	Hornos verticales tipo Lambiotte SIFIC/CISR	25
2.3.	Análisis estadísticos.....	26
2.3.1.	Conceptos básicos	27
2.3.1.1.	Hipótesis	27
2.3.1.2.	Factor de estudio.....	27
2.3.1.3.	Tratamiento.....	27
2.3.1.4.	Unidad experimental (U.E.).....	28
2.3.1.5.	Variable	28
2.3.1.6.	Clase de experimento.....	28
2.3.1.7.	Experimento	29
2.3.1.8.	Repetición.....	29
2.3.1.9.	Aleatorización.....	29
2.3.1.10.	Control local	29
2.3.1.11.	Error experimental (E.E.)	30
2.3.2.	Diseño experimental	30
2.3.2.1.	Anova	31
2.3.2.2.	Valores críticos de Z y zonas de rechazo	31
2.3.2.3.	Tamaño de muestra.....	32
2.3.2.4.	Cuadrado medio entre grupos o tratamientos	32
2.3.2.5.	Cuadrado medio del error o error experimental	33
2.3.2.6.	Razón F (Fisher)	34

CAPÍTULO III35

3. CONDICIÓN ACTUAL DEL PROCESO PRODUCTIVO Y EL PRODUCTO

35

3.1.	Localización de la planta	35
3.2.	Estructura Organizacional	36
3.3.	Descripción del proceso de diseño y desarrollo del producto (PDDP) ..	37
3.4.	Descripción de los recursos utilizados	39
3.4.1.	Mano de Obra	39
3.4.2.	Materia Prima	40
3.4.3.	Maquinaria y Equipo	41
3.4.4.	Control de Calidad.....	41
3.5.	Descripción del proceso productivo	42
3.5.1.	Diagrama de proceso	44
3.5.2.	Diagrama de recorrido	44
3.6.	Métodos de ensayo y control de calidad.....	45
3.6.1.	Humedad.....	45
3.6.1.1.	Aparatos.....	45
3.6.1.2.	Muestra	45
3.6.1.3.	Procedimiento	46
3.6.1.4.	Expresión de los resultados	46
3.6.2.	Materias volátiles.....	47
3.6.2.1.	Aparatos.....	47
3.6.2.2.	Preparación de la muestra.....	51
3.6.2.3.	Procedimiento	51
3.6.2.4.	Expresión de Resultados.....	52
3.6.3.	Cenizas	53
3.6.3.1.	Aparatos.....	54
3.6.3.2.	Preparación de la muestra.....	54
3.6.3.3.	Procedimiento.....	55
3.6.3.4.	Expresión de los resultaos	56
3.6.4.	Carbono fijo.....	57
3.6.4.1.	Informe de ensayo	57
3.6.5.	Determinación del tiempo de calentamiento en el cilindro estándar..	57

3.6.5.1. Definiciones.....	58
3.6.5.1.1. Tiempo de temperatura estándar (T_{180}).....	58
3.6.5.1.2. Encendido inicial (T_0).....	59
3.6.5.1.3. Registro de temperatura (T_{start}).....	59
3.6.5.1.4. Temperatura máxima (t_{max}).....	59
3.6.5.2. Principio.....	59
3.6.5.3. Aparatos.....	60
3.6.5.3.1. Cilindro de ignición.....	60
3.6.5.3.2. Cilindro estándar.....	60
3.6.5.3.3. Bandeja de ceniza.....	61
3.6.5.3.4. Caja de seguridad.....	61
3.6.5.3.5. Tapa.....	63
3.6.5.3.6. Misceláneos.....	63
3.6.5.3.7. Termocupla y contador de datos.....	63
3.6.5.4. Reactivos.....	63
3.6.5.5. Condiciones de Prueba.....	64
3.6.5.6. Procedimiento.....	64
3.6.5.6.1. Encendido.....	64
3.6.5.6.2. Medición.....	65
3.6.5.7. Reporte.....	66
3.6.5.8. Precisión.....	67
3.6.6. Prueba de fácil encendido.....	68
3.6.6.1. Aparatos.....	68
3.6.6.2. Reactivos.....	68
3.6.6.3. Condiciones de Prueba.....	69
3.6.6.4. Muestra.....	69
3.6.6.5. Procedimiento.....	69
3.6.6.6. Reporte.....	70
3.7. Análisis del producto.....	71
3.7.1. Desempeño de las briquetas de CCPA.....	74
CAPÍTULO IV.....	76
4. ALTERNATIVAS PARA LA MEJORA DEL PRODUCTO.....	76
4.1. Aditivos químicos.....	76

4.1.1.	Nitrato de potasio KNO ₃	77
4.1.1.1.	Porcentaje de materia prima e insumos de la briqueta KNO ₃	77
4.1.1.2.	Análisis inmediato de la briqueta KNO ₃	78
4.1.1.3.	Prueba de fácil encendido de la briqueta KNO ₃	80
4.1.1.4.	Prueba en el cilindro estándar de la briqueta KNO ₃	83
4.1.2.	Nitrato de Sodio NaNO ₃	84
4.1.2.1.	Porcentaje de materia prima e insumos de la briqueta NaNO ₃ ..	85
4.1.2.2.	Análisis inmediato de la briqueta NaNO ₃	86
4.1.2.3.	Prueba de fácil encendido de la briqueta NaNO ₃	88
4.1.2.4.	Prueba en el cilindro estándar de la briqueta NaNO ₃	91
4.2.	Aditivos vegetales	92
4.2.1.	Aserrín	93
4.2.1.1.	Porcentaje de materia prima e insumos de la briqueta con aserrín	93
4.2.1.2.	Análisis inmediato de la briqueta con aserrín.....	94
4.2.1.3.	Prueba de fácil encendido de la briqueta con aserrín	97
4.2.1.4.	Prueba en el cilindro estándar de la briqueta con aserrín	99
4.2.2.	Cisco	101
4.2.2.1.	Porcentaje de materia prima e insumos de la briqueta con cisco	101
4.2.2.2.	Análisis inmediato de la briqueta con cisco	102
4.2.2.3.	Prueba de fácil encendido de la briqueta con cisco.....	104
4.2.2.4.	Prueba en el cilindro estándar de la briqueta con cisco.....	106
CAPÍTULO V		109
5.	COMPARACIÓN Y SELECCIÓN DEL MEJOR ADITIVO	109
5.1.	Comparación de la prueba de fácil encendido.....	109
5.2.	Comparación del análisis inmediato.....	110
5.3.	Comparación de los tratamientos en el cilindro estándar	111
5.4.	Elección de la alternativa más eficiente y conveniente	112
5.5.	Producción de las briquetas con cisco al 50%	113
CAPÍTULO VI.....		115
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	115
6.1.	Conclusiones.....	115
6.2.	Recomendaciones	117

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>	<u>PÁGINA</u>
TABLA 2.1.1.: SUPERFICIE DE CULTIVO POR ZONAS DE PROVINCIA, AÑO 2005.....	6
TABLA 2.2.7.2.1.: CARACTERÍSTICAS DE LA CARBONIZACIÓN EN PARVA DE TIERRA.....	24
TABLA 2.2.7.2.2.: CARACTERÍSTICAS DE LA CARBONIZACIÓN EN HORNO FORESTAL METÁLICO.....	25
TABLA 2.2.7.2.3.: CARACTERÍSTICAS DE LA CARBONIZACIÓN EN HORNO INDUSTRIAL....	26
TABLA 2.3.2.: MATRIZ DEL MODELO LINEAL BÁSICO.....	31
TABLA 3.4.4.: INSTRUMENTOS Y EQUIPOS DE LABORATORIO.....	42
TABLA 3.6.1.4.: PRECISIÓN DEL MÉTODO ENSAYO DE HUMEDAD.....	47
TABLA 3.6.2.4.: PRECISIÓN DEL MÉTODO ENSAYO DE MATERIAS VOLÁTILES.....	53
TABLA 3.6.3.4.: PRECISIÓN DEL MÉTODO ENSAYO DE CENIZAS.....	56
TABLA 3.6.5.8.: RESULTADOS PARA 5 DETERMINACIONES EN EL CILINDRO ESTÁNDAR...	67
TABLA 3.6.6.6.: REPORTE DE DATOS DE LA PRUEBA DE FÁCIL ENCENDIDO.....	71
TABLA 3.7.(A): PORCENTAJES DE INSUMOS DE LA BRIQUETA DE PURO CCPA.....	72
TABLA 3.7.(B): ANÁLISIS INMEDIATO DE LA BRIQUETA DE CCPA.....	73
TABLA 3.7.1.: RESULTADOS DEL CILINDRO ESTÁNDAR PARA LAS BRIQUETAS CCPA.....	75
TABLA 4.1.1.1. PORCENTAJES DE INSUMOS DE CADA TRATAMIENTO DE LA BRIQUETA DE KNO_3	78
TABLA 4.1.1.2.: ANÁLISIS INMEDIATO DE CADA TRATAMIENTO DE LA BRIQUETA DE KNO_3	79
TABLA 4.1.1.3.(A): RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FÁCIL ENCENDIDO, PARA LAS BRIQUETAS CON KNO_3	81
TABLA 4.1.1.3.(B): CÁLCULOS DEL ANOVA PARA LA PRUEBA DE FÁCIL ENCENDIDO DE LA BRIQUETA KNO_3	82
TABLA 4.1.1.4.: RESULTADOS DEL CILINDRO ESTÁNDAR PARA LAS BRIQUETAS CON KNO_3 AL 18%.....	84
TABLA 4.1.2.1.: PORCENTAJES DE INSUMOS DE CADA TRATAMIENTO DE LA BRIQUETA DE $NANO_3$	85
TABLA 4.1.2.2. ANÁLISIS INMEDIATO DE CADA TRATAMIENTO DE LA BRIQUETA DE $NANO_3$	86

TABLA 4.1.2.3.(A): RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FÁCIL ENCENDIDO, PARA LAS BRIQUETAS CON NANO_3	89
TABLA 4.1.2.3.(B): CÁLCULOS DEL ANOVA PARA LA PRUEBA DE FÁCIL ENCENDIDO DE LA BRIQUETA NANO_3	90
TABLA 4.1.2.4.: RESULTADOS DEL CILINDRO ESTÁNDAR PARA LAS BRIQUETAS CON NANO_3 AL 18%.....	92
TABLA 4.2.1.1.: PORCENTAJES DE INSUMOS DE CADA TRATAMIENTO DE LA BRIQUETA DE ASERRÍN.....	94
TABLA 4.2.1.2.: ANÁLISIS INMEDIATO DE CADA TRATAMIENTO DE LA BRIQUETA DE ASERRÍN.....	95
TABLA 4.2.1.3.(A): RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FÁCIL ENCENDIDO, PARA LAS BRIQUETAS CON ASERRÍN.....	97
TABLA 4.2.1.3.(B): CÁLCULOS DEL ANOVA PARA LA PRUEBA DE FÁCIL ENCENDIDO DE LA BRIQUETA CON ASERRÍN.....	98
TABLA 4.2.1.4.: RESULTADOS DEL CILINDRO ESTÁNDAR PARA LAS BRIQUETAS CON ASERRÍN AL 8%.....	100
TABLA 4.2.2.1.: PORCENTAJES DE INSUMOS DE CADA TRATAMIENTO DE LA BRIQUETA CON CISCO.....	101
TABLA 4.2.2.2.: ANÁLISIS INMEDIATO DE CADA TRATAMIENTO DE LA BRIQUETA CON CISCO.....	102
TABLA 4.2.2.3.(A): RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FÁCIL ENCENDIDO, PARA LAS BRIQUETAS CON CISCO.....	104
TABLA 4.2.2.3.(B): CÁLCULOS DEL ANOVA PARA LA PRUEBA DE FÁCIL ENCENDIDO DE LA BRIQUETA CON CISCO.....	105
TABLA 4.2.2.4.: RESULTADOS DEL CILINDRO ESTÁNDAR PARA LAS BRIQUETAS CON CISCO 50%.....	108
TABLA 5.1.: COMPARACIÓN DE LA PRUEBA DE FÁCIL ENCENDIDO.....	109
TABLA 5.5.(A): ANÁLISIS INMEDIATO DE LA <i>BRIQUET MIX</i>	113
TABLA 5.5.(B): RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FÁCIL ENCENDIDO, PARA LA <i>BRIQUETA MIX</i>	114

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>	<u>PÁGINA</u>
FIGURA 1: PORCENTAJE DE SUPERFICIE DE CULTIVO POR PROVINCIA, AÑO 2005	6
FIGURA 2: ELAEIS GUINEENSIS	7
FIGURA 3: FRUTO DE LA PALMA AFRICANA EN REGÍMENES	8
FIGURA 4: FRUTO DE LA PALMA AFRICANA	10
FIGURA 5: PULPA Y PALMISTE (COQUITO)	11
FIGURA 6: TORTA DE PALMASTE	12
FIGURA 7: DERIVADOS DE LA PALMA AFRICANA	13
FIGURA 8: CARBÓN VEGETAL	14
FIGURA 9: BRIQUETAS DE CARBÓN VEGETAL PARA BARBACOA	15
FIGURA 10: PORCENTAJE OBTENIDOS EN EL ANÁLISIS INMEDIATO Y RENDIMIENTO, TEÓRICOS.....	23
FIGURA 11: COMPARACIÓN DE RENDIMIENTO ENTRE MÉTODOS DE CARBONIZACIÓN ..	24
FIGURA 12: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PLANTA TYSAI S.A.....	35
FIGURA 13: ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	36
FIGURA 14: MODELO DEL PDDP POR INGENIERÍA SECUENCIAL.....	38
FIGURA 15: COSTES DE LOS CAMBIOS SEGÚN LA FASE DEL PDDP Y DESMOTIVACIÓN DE LOS EQUIPOS	39
FIGURA 16: CASCARILLA DE PALMA AFRICANA A LA SALIDA DEL PROCESO DE PALMISTERIA	43
FIGURA 17: DISPOSITIVOS PARA EL ANÁLISIS DE UNA MUESTRA INDIVIDUAL	49
FIGURA 18: DISPOSITIVOS PARA EL ANÁLISIS DE VARIAS MUESTRAS	50
FIGURA 19: CILINDRO ESTÁNDAR, PARRILLA, BANDEJA, TAPA Y CILINDRO DE IGNICIÓN	61
FIGURA 20: ENSAMBLE DEL CILINDRO ESTÁNDAR CON LA CAJA DE SEGURIDAD.....	62
FIGURA 21: PRESENTACIÓN DE 20LB DEL CARBÓN VEGETAL EN BRIQUETAS PAKEMAR	72
FIGURA 22: SECUENCIA TIEMPO - TEMPERATURA EN EL CILINDRO ESTÁNDAR DE LA BRIQUETA CCPA.....	74
FIGURA 23: PORCENTAJE DE CARBONO FIJO PARA CADA TRATAMIENTO DE LA BRIQUETA DE KNO ₃	79

FIGURA 24: PORCENTAJE DE CENIZA PARA CADA TRATAMIENTO DE LA BRIQUETA DE KNO_3	80
FIGURA 25: BRIQUETA DE KNO_3 AL 18% Y LA BRIQUETA CCPA EN EL CILINDRO ESTÁNDAR	83
FIGURA 26: PORCENTAJE DE CARBONO FIJO PARA CADA TRATAMIENTO DE LA BRIQUETA $NANO_3$	87
FIGURA 27: PORCENTAJE DE CENIZA PARA CADA TRATAMIENTO DE LA BRIQUETA $NANO_3$	87
FIGURA 28: BRIQUETA DE $NANO_3$ AL 18% Y LA BRIQUETA CCPA EN EL CILINDRO ESTÁNDAR	91
FIGURA 29: PORCENTAJE DE CARBONO FIJO PARA CADA TRATAMIENTO DE LA BRIQUETA CON ASERRÍN	96
FIGURA 30: PORCENTAJE DE CENIZA PARA CADA TRATAMIENTO DE LA BRIQUETA CON ASERRÍN	96
FIGURA 31: BRIQUETA DE ASERRÍN AL 8% Y LA BRIQUETA CCPA EN EL CILINDRO ESTÁNDAR	99
FIGURA 32: PORCENTAJE DE CARBONO FIJO PARA CADA TRATAMIENTO DE LA BRIQUETA CON CISCO	103
FIGURA 33: PORCENTAJE DE CENIZA PARA CADA TRATAMIENTO DE LA BRIQUETA CON CISCO	103
FIGURA 34: BRIQUETA DE CICO AL 50% Y LA BRIQUETA CCPA EN EL CILINDRO ESTÁNDAR	107
FIGURA 35: COMPARACIÓN DEL PORCENTAJE DE CARBONO FIJO DE LOS TRATAMIENTOS ÓPTIMOS	110
FIGURA 36: COMPARACIÓN DEL PORCENTAJE DE CENIZA DE LOS TRATAMIENTOS ÓPTIMOS	111
FIGURA 37: COMPARACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS ÓPTIMOS EN EL CILINDRO ESTÁNDAR	112

SIMBOLOGÍA

%	porcentaje
<	menor que
=	igual
>	mayor que
≤	menor o igual que
≥	mayor o igual que
°	grado angular
<i>A</i>	contenido de ceniza
<i>C</i>	contenido de carbono fijo
<i>CM</i>	cuadrado Medio
<i>F</i>	razon Fisher
<i>gl</i>	grados de libertad
<i>m</i>	número de medidas muestrales, grupos o tratamientos
<i>M</i>	contenido de humedad (Moister)
<i>m#</i>	masa número
<i>n</i>	tamaño de muestra
Ø	diámetro
<i>r</i>	repeticiones
<i>S</i>	desviación estándar
<i>S</i> ²	varianza
<i>SC</i>	suma de los cuadrados
<i>t</i>	tratamientos
<i>T₀</i>	encendido inicial
<i>T₁₈₀</i>	tiempo de temperatura estándar
<i>t_{max}</i>	temperatura máxima
<i>T_{start}</i>	registro de temperatura
<i>V</i>	contenido de materia volátil
<i>Z</i>	variable normal estándar
<i>Z_(1-α)</i>	coeficiente de confiabilidad

LISTA DE ABREVIACIONES

°C	grados centígrados
a.C.	antes de Cristo
AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación
ANCUPA	Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Africana
ANOVA	Análisis de Varianza (Analysis of Variance)
Av.	Avenida
CCPA	Carbón de Cascarilla de Palma Africana
cm	Centímetros
cm ²	Centímetros cuadrados
cm ³	Centímetros cúbicos
CO ₂	Dióxido de carbono
CO	Monóxido de carbono
d.C.	Después de Cristo
DIN	Instituto Alemán de Normalización (Deutsches Institut für Normung)
DVN	Instituto Danés de etiquetado informativo (Dansk Varefakta Nævn)
E.E.	Error experimental
EN	Norma Europea
g	Gramos
g/cm ²	Gramo por centímetro cuadrado
g/cm ³	Gramo por centímetro cúbico
H	Hora
ha	Hectárea
HP	Caballos de fuerza (Horse Power)
ISO	Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization)
Kg	Kilogramos
KNO ₃	Nitrato de Potasio

L	Litros
lb	libras
m/s	metro por segundo
m ³	Metros cúbicos
mg	Miligramos
min	minutos
ml	mililitros
mm	Milímetros
NaNO ₃	Nitrato de Sodio
N°	Número
PDDP	Proceso de diseño y desarrollo del producto
pH	Potencial de hidrógeno
S.A.	Sociedad Anónima
SS	Norma Sueca (Swedish Standard)
TM	Tonelada Métrica
Tysai	Técnica de Servicios Agroindustriales
U.E.	Unidad Experimental
UNE	Unión de Naciones Europeas
µm	Micrómetro

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1.....	DISTRIBUCIÓN NORMAL
ANEXO 2.....	DISTRIBUCIÓN <i>F</i>
ANEXO 3.....	DIAGRAMA DE PROCESO
ANEXO 4.....	DIAGRAMA DE RECORRIDO
ANEXO 5.....	CRISOL Y TAPADERA
ANEXO 6.....	ANILLO
ANEXO 7.....	SOPORTE
ANEXO 8.....	CILINDRO DE IGNICIÓN
ANEXO 9.....	CILINDRO ESTÁNDAR
ANEXO 10.....	TAPA
ANEXO 11.....	PARRILLA
ANEXO 12.....	BANDEJA DE CENIZAS
ANEXO 13.....	CAJA DE SEGURIDAD

RESUMEN

Se ha desarrollado el estudio técnico para mejorar el carbón vegetal en briquetas Pakemar y también se ha comprobado que es posible producir esta nueva composición, en la planta de la empresa Tysai S.A., se escogieron aditivos químicos y vegetales como factor de estudio, para elaborar briquetas de laboratorio, emulando el proceso de planta y se eligió el aditivo que aportaba la mejores características, se evaluó el desempeño para cada tratamiento con la norma UNE EN1860-2, los ensayos de fácil encendido y del cilindro estándar, que incluyen observaciones cualitativas y cuantitativas.

De los resultados, se sabe que los tratamientos que alcanzaron un tiempo de recubrimiento de ceniza, ash-over, más corto fueron los del KNO_3 al 18%, NaNO_3 al 18%, aserrín al 8% y cisco al 50%, siendo los aditivos químicos los que alcanzaron un mayor tiempo de temperatura estándar (T_{180}) en el cilindro estándar, mas altos porcentajes de carbono fijo y poca ceniza, pero los aditivos vegetales demostraron mejores características subjetivas como el olor del carbón, la cantidad de humo o un encendido sin violentas chispas o llamas, partiendo de estas características se determinó que el tratamiento del cisco al 50% era el más indicado, y su aplicación en el proceso productivo demostró que era reproducible en planta todo lo ensayado en el laboratorio.

Con el tratamiento del cisco al 50% se alcanza un ash-over de menos de 30 minutos, un T_{180} de 225 minutos en el cilindro estándar, y porcentajes de carbono fijo y ceniza dentro lo permitido por la norma UNE EN1860-2.

Se recomienda abastecerse de residuos forestales y producir el cisco, para mejorar la calidad de los insumos.

SUMMARY

To improve *Pakemar* charcoal briquettes it has developed a technical study and has also been proven that it is possible to produce a new composition of charcoal briquettes in the Tysai S.A.'s plant, were selected chemical and vegetable additives as study factor, to produce laboratory's briquettes, simulating the plant process was selected the additives which provide the best features, performance was evaluated for each treatment with the UNE EN1860-2, fast lighting and standard cylinder, including qualitative and quantitative observations.

On the results, it is known that the treatment that achieved the shortest ash-over time were the briquettes whit 18% KNO_3 and 18% NaNO_3 , 8% sawdust and 50% coaldust, were chemicals additives which reached out a higher standard temperature (T_{180}) in the standard cylinder, the higher fixed carbon and low ash percentage, but the vegetable additives demonstrated better subjective features like the smell of coal, the amount of smoke or at the ignition very violent sparks and flames wasn't observed, based on these characteristics was determined that treatment of 50% coaldust was the most suitable, and its application in the production process proved to be reproducible in plant the laboratory tests.

In the treatment with 50% coaldust it's achieved an ash-over time of less than 30 minutes, a T_{180} of 225 minutes in the standard cylinder, and had a fixed carbon and ash contented into the extent permitted by UNE EN1860-2.

To improve the quality of inputs, it is recommended supplies for forest residues and produces the coaldust,

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

Las primeras explotaciones industriales de yacimientos carboníferos datan del siglo XII d.C.; aunque existen antiguos documentos chinos que evidencian la explotación de carbón en el siglo XI a.C., la introducción del ladrillo refractario y su uso en chimeneas convierten al carbón en el combustible por excelencia del siglo XVIII. Esta creciente demanda obliga una evolución en las técnicas de explotación, donde las ciencias de la ingeniería han tenido un importante papel.

El carbón vegetal es un producto sólido, frágil y poroso con un alto contenido en carbono del orden del 80%, que es obtenido por pirolisis, que consiste en el cambio químico de los componentes de la madera por medio de calor, en ausencia de oxígeno.

Las briquetas de carbón vegetal son un combustible, de origen lignocelulósico, formado por la compactación de biomasa carbonizada; la materia prima fundamental son las astillas y residuos de madera, sin embargo, a veces, las briquetas están formadas por la compactación de cualquier tipo de biomasa residual.

La cascarilla de la nuez de la Palma Africana considerada un subproducto del proceso de extracción de aceite de palmiste, de la *Elaeis guineensis*, ya se ha utilizado como combustible biomásico en el sector industrial, se aprovecha este subproducto para convertirlo en la materia prima de la producción de briquetas de carbón vegetal.

1.2. Antecedentes

La empresa ecuatoriana Tysai S.A., se encuentra en constante desarrollo, cumpliendo con las normas y estándares internacionales de calidad, que garantizan la excelencia de sus productos, y la satisfacción de las necesidades de los consumidores.

Inicia su producción hace 18 años, dedicándose al procesamiento agroindustrial de palma aceitera, tiempo durante el cual, ha crecido y mejorado sus procesos, además, su vinculación establecida con el "Grupo Agroindustrial La Fabril", le ha permitido posicionarse como una de las mayores empresas productoras de aceites y tortas de palmiste a nivel regional.

Para optimizar los recursos disponibles ha desarrollado procesos de producción innovadores, y ha promovido, ejecutado e instalado una fábrica de carbón vegetal en briquetas, utilizando como materia prima las cáscaras desechadas de la nuez de palma africana que proviene del proceso de la planta de nuez de palmisteria.

El producto final obtenido, son las briquetas de carbón vegetal usado para parrilladas y barbacoas, que posee incomparables características energéticas, y que por sus características se convierte en un producto amigable con el medio ambiente, porque su utilización, ayuda a disminuir la tala de bosques destinados a la producción de carbón vegetal.

1.3. Justificación

Es importante indicar que la empresa Tysai S.A., es la primera empresa en el país en producir briquetas de carbón vegetal; pero, no es la primera en exportarlo; sus competidores se encuentran en países como Argentina, Uruguay, México, entre otros; quienes poseen experiencia de más de una década en la producción de briquetas de carbón vegetal, sin embargo la demanda del mercado internacional es considerablemente elevada.

El constante desarrollo tecnológico de la industria, reflejo de las exigencias del mercado, exige involucrarse en la búsqueda permanente de la excelencia de los productos y sus procesos; con este contexto real, la empresa Tysai S.A. conoce las debilidades y fortalezas que posee su producto, denominado *Pakemar*, que es el nombre de la marca de sus briquetas de carbón vegetal. La dureza de su materia prima, que es la cascarilla de palma, da a las briquetas un alto contenido energético y un tiempo de duración alto; esto como un aspecto positivo, sin embargo la demora en su encendido se convierte en una desventaja.

Uno de los objetivos de este estudio, es el de obtener una combinación apropiada de las características del producto con un enfoque correctivo desde su formulación hasta su proceso de producción, dando como resultado, el mejorar sus propiedades y poder competir en un mercado de altas exigencias.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

“Desarrollar el estudio técnico para la obtención de briquetas de fácil encendido a partir de carbón de cascarilla de la Palma Africana y su producción en la Empresa Tysai S.A.”

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar la situación del proceso productivo y el desempeño de la briqueta de carbón de cascarilla de Palma Africana en su encendido.
- Estudiar las alternativas que ejercen la mejora en el encendido de la briqueta.
- Determinar la reformulación de la briqueta de fácil encendido.
- Efectuar el análisis comparativo para elegir la alternativa más eficiente y conveniente.
- Aplicar la decisión en el proceso productivo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. La Palma Africana

La Palma Africana ha representado en las últimas décadas la alternativa viable para solventar las demandas crecientes de materia prima oleaginosa en los países ubicados en la franja tropical; su característica de especie perenne y alto potencial de producción, junto a su condición de cultivo conservacionista puede representar para estos países, la mejor y más adecuada alternativa en materia prima oleaginosa para la alimentación humana y animal. La introducción de la aceitera africana significa: sustitución de importación de aceite, economía de divisas, promoción de la agroindustria, trabajo bien remunerado, vivienda adecuada, salud, educación e incorporación a la economía del país en zonas no tradicionales.

2.1.1. Origen

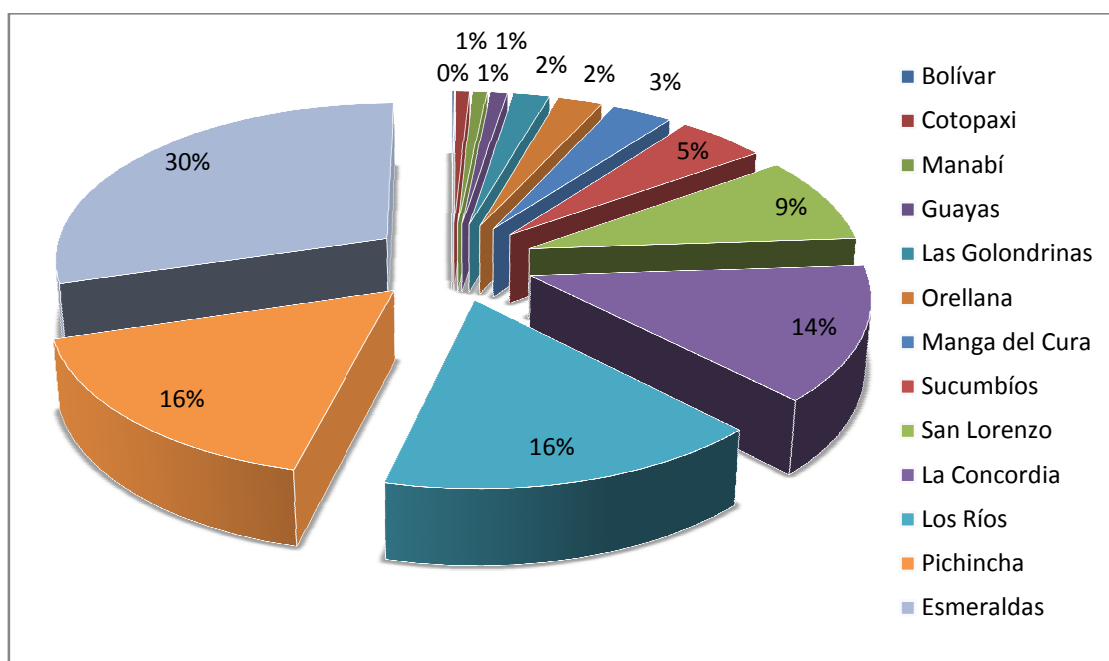
Los nativos del África Ecuatorial hace 5000 años ya extraían aceite de sus racimos, siendo originaria de África Central y Oriental, de los Bosques pluviales de Guinea, Golfo de Guinea. Pero no fue hasta el siglo XV cuando su pre cultivo como tal, se extendió a otras regiones de África, se estima que en 1934, primero llega a Martinica y después al Brasil.

Las primeras plantaciones de Palma Africana en el Ecuador se remontan al año 1953 en Santo Domingo, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas y en Quinindé, provincia de Esmeraldas, sitios en los que se inician los cultivos a pequeña escala. El crecimiento del sector palmicultor se da el año 1967, época en la cual ya se habían sembrado alrededor de 1000 hectáreas.

Tabla 2.1.1.: Superficie de cultivo por zonas de provincia, año 2005¹

ZONAS DE PROVINCIAS	CENSO 2005	
	Área (ha)	Palmicultores
Bolívar	191,20	4
Cotopaxi	1525,10	28
Esmeraldas	61452,13	1925
Los Ríos	33508,88	621
Manabí	1607,50	50
Pichincha	34201,27	943
La Concordia	28476,15	743
Las Golondrinas	4070,38	105
Manga del Cura	6920,30	443
Orellana	5068,74	101
Sucumbíos	10118,57	233
Guayas	1878,20	11
San Lorenzo	18266,89	71
TOTAL :	207285,31	5278

Fuente: ANCUPA- Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Africana

**Figura 1: Porcentaje de superficie de cultivo por provincia, año 2005¹**

¹ http://www.ancupa.com/ancupa/docs/superficie_provincia.html

ANCUPA, que es la Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Africana, realizó el “Censo Palmero 2005” en el que presenta las hectáreas de cultivo por provincia **Tabla 2.1.1., Figura 1.** Se considera que para el año 2009 existirán 224975,23 hectáreas de palma cosechada.²

2.1.2. Descripción

De nombre científico, *Elaeis guineensis* **Figura 2**, nombre común, Palma Africana de aceite, de la clase *Liliopsida*, del orden *Arecales*, pertenece a la familia de la *Areaceae*, Genero *Elaeis*. La alta producción de biomasa que genera es un indicativo de sus exigencias en cuanto a factores ecológicos.



Figura 2: *Elaeis guineensis*

² <http://www.ancupa.com/ancupa/docs/superficie1.html>

Es una palmera monaica, llega a vivir más de 100 años, pero bajo cultivo solo se le permite llegar hasta los 25 años, con altura de 10 a 12 metros y 30 a 60cm de diámetro cubierto de cicatrices de las hojas viejas; las hojas son pinnadas de 4 a 5m de longitud, con 100 a 150 pares de folíolos de 50 a 100cm de longitud, con el nervio central marcado y son de color verde en ambas caras; los frutos **Figura 3**, que se forman precozmente en ejemplares de apenas 3 años, son carnosos, similares a pequeñas ciruelas de 3 a 6cm de largo y de 5g a 12g, oblongo-ovoideas, de color rojizo, reunidos en gruesos racimos llamados regímenes que pueden llegar a pesar desde 5Kg a 40Kg.

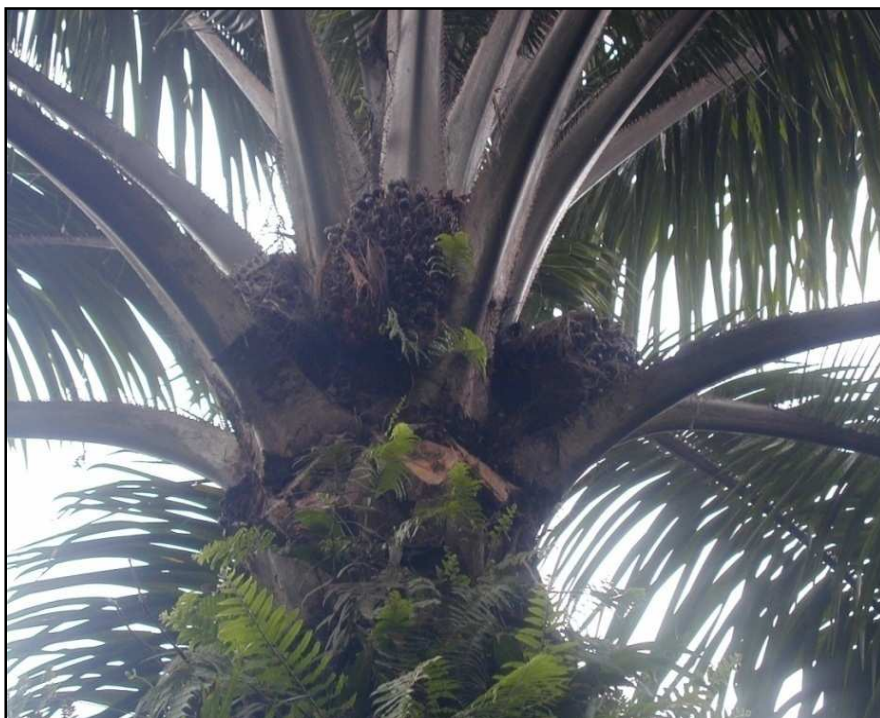


Figura 3: Fruto de la Palma Africana en regímenes

El cultivo requiere lugares donde existen precipitaciones de 2000 a 3000 milímetros de lluvia anual, bien distribuidos, con temperatura óptima promedio que oscila entre 24 y 26°C, también requiere un pH entre 5 y 6, con un nivel del agua en el suelo de entre 1 y 1.5 metros de profundidad.

2.1.3. Variedades

Existen dos especies del género *Elaeis* de interés económico, la Palma Africana *Elaeis guineensis* y la Palma Americana *Elaeis oleifera*. Las plantaciones comerciales del mundo están sembradas casi exclusivamente con *Elaeis guineensis*, mientras que la *Elaeis oleifera* es importante en los programas de mejoramiento genético para la obtención del híbrido al cruzarla con la *Elaeis guineensis*, el cual es resistente a enfermedades y produce un aceite más líquido.

Las principales características que se han explotado para aumentar el rendimiento de aceite han sido las del fruto, de acuerdo a estas características se pueden distinguir tres variedades de palma, su favorable porcentaje de extracción y su alta productividad de fruta. Actualmente, las palmas que se siembran son de la variedad Tenera, a pesar de ser menos resistente a ciertas enfermedades. A continuación se presentan tres variedades:

2.1.3.1. Dura

Fruto con cáscara gruesa, superior a los 2mm y relativamente poco mesocarpio (20 al 65%). Por tener el mesocarpio o área aceitosa muy delgada, se obtiene una extracción de aceite baja.

2.1.3.2. Pisifera

Fruto sin cáscara y almendras pequeñas. Presentan mayor cantidad de pulpa y por ende mayor extracción pero no se pueden utilizar comercialmente ya que los racimos no siempre alcanzan su madurez.

2.1.3.3. Tenera

Fruto con cáscara delgada y más mesocarpio que la Dura (60 - 96%). Se obtienen del cruce de la variedad Dura con la Pisífera. Tiene un potencial de aceite de 4 a 6 TM. Debido a mesocarpio (pulpa) muy aceitoso y de la semilla o nuez constituida de un endocarpio (cascarilla) duro y negro; el endosperma (almendra) y un embrión.

2.1.4. Productos obtenidos a partir de la palma

La fruta de palma **Figura 4**, se la convierte en aceite vegetal, materia prima para la obtención de otros productos comestibles y no comestibles, actualmente, el aceite de palma es el segundo aceite más consumido en el mundo; es empleado como aceite de cocina y utilizado para elaborar productos de panadería, pastelería, confitería, heladería, sopas instantáneas, salsas, diversos platos congelados y deshidratados y cremas no lácteas para mezclar con el café.



Figura 4: Fruto de la Palma Africana

También se puede aprovechar la pepa de la fruta de palma llamada Palmiste o nuez de palma, que comprende la cascarilla dura interna y la almendra **Figura 5**, extrayendo la almendra se obtiene un aceite del mismo nombre, que procesado puede utilizarse en la producción de manteca, margarina y aceite vegetal.



Figura 5: Pulpa y Palmiste (coquito)

Los aceites de palma y de palmiste constituyen la materia prima que se utiliza para la fabricación de jabones y detergentes; aditivos y grasas lubricantes; secadores metálicos, para la producción de pintura, barnices y tintas; concentrados minerales; crema para zapatos; en la fabricación de acero inoxidable; en la industria textil y de cuero, en la laminación de acero y aluminio, en la trefilación de metales y en la producción de ácidos grasos y vitaminas A y E, etc.

La torta de palmiste **Figura 6**, es decir los restos de la almendra una vez extraído el aceite, se utilizan en la elaboración de alimentos concentrados para animales de granja, aunque también puede suministrarse directamente, en especial a los bovinos para suplementar sus requerimientos de fibra.

Por otra parte, la cascarilla del palmiste o coquito, es usada como biomasa con aplicaciones energéticas, principalmente en la producción de gas, energía térmica y energía eléctrica, pero únicamente en el sector industrial, puesto que para los procesadores de aceite de Palma Africana la utilidad de este subproducto se limita a los campos en mención; el excedente se vende a precios extremadamente bajos y de esta manera no se preocupan por su almacenamiento. La cascarilla de la nuez, adecuadamente procesada, puede convertirse en carbón y que posteriormente será compactado en briquetas.



Figura 6: Torta de Palmiste

La rentabilidad de su cultivo y la gran variedad de derivados que se pueden obtener de esta planta oleaginosa han generado un gran interés económico por ella, incluso, hoy se pretende producir Diesel en base a su aceite, los procesos para la extracción de aceite en su mayoría son mecánicos y térmicos, y en la obtención de sus derivados los procesos pueden ser químicos. El siguiente organigrama **Figura 7**, muestra los distintos derivados en grupos.

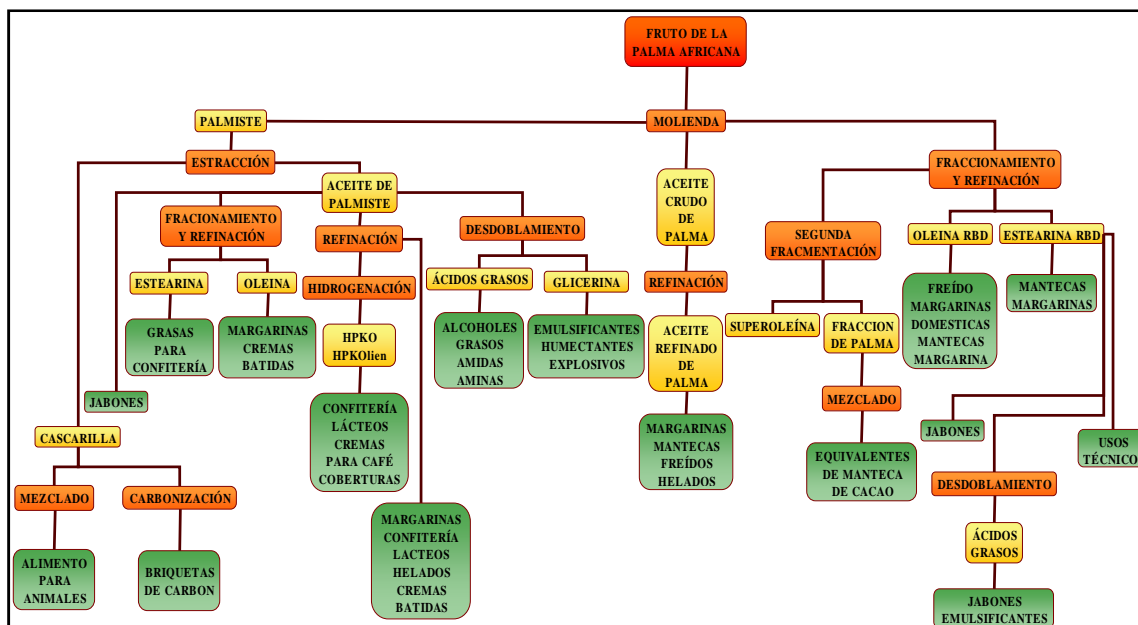


Figura 7: Derivados de la Palma Africana

2.2. Carbón

Como elemento libre, el *carbono*, aparece en distintas formas que se comportan de la misma manera en las reacciones químicas; todas arden y producen un gas, el dióxido de carbono, o anhídrido carbónico. Las formas más o menos impuras son aquellas con las que se está más familiarizado: carbón de piedra, coque, carbón de leña, negro de humo, etc. Según su origen el carbón puede clasificarse en, carbón vegetal y carbón mineral, siendo este último la acumulación y alteración físico-química de materia vegetal sepultada, la *Turba*, por millones de años que con un incremento de presión y temperatura, en ocasiones el calor volcánico, de forma progresiva se comprime y endurece hasta convertir el depósito en grafito.

Los usos y su clasificación según su contenido de carbono y por el grado de transformación que han experimentado en su proceso puede ir desde, combustible y como fuente de carbono industrial, Antracita; el carbón de piedra, se empleaba como combustible en la siderurgia, para la obtención de coque y centrales térmicas, Hulla; formado de la carbonización de madera bajo presiones extremas, está el *Lignito*, también se utiliza en lubricantes, herramientas de corte, aleaciones de acero, carbón

activado, electrodos, elementos calefactores, escobillas para motores, dispositivos y partes de horno de alta temperatura, materiales para moldes, crisoles y sellos, etc.

2.2.1. Carbón Vegetal

El carbón vegetal es el residuo sólido del proceso de carbonización de la madera u otras materias vegetales que no crepitan chispas de manera anormal cuando se queman y no han sido tratados químicamente de manera artificial, de modo que su principal componente es el carbón y el contenido de cenizas es mínimo **Figura 8**, también se obtiene de la carbonización de biomasa o los residuos de las cosechas, partes orgánicas de los desechos urbanos que se encuentran en la basura; siendo estos últimos los de peor calidad en cuanto a poder calorífico.



Figura 8: Carbón Vegetal

2.2.2. Usos del carbón

La demanda de carbono para uso industrial es mucho mayor que la del carbón de vegetal de tipo doméstico; entre los sectores industriales está la industria del silicio, del sulfuro de carbono, de las ferro-aleaciones, los explosivos, la cristalería, los

pegamentos, la metalurgia, los productos farmacéuticos, los pigmentos, la industria del plástico, el caucho, la corrección de suelos, el carbón activado es un excelente adsorbente universal, que también tiene algunas propiedades catalíticas y es utilizado ampliamente para purificar agua y corrientes de aguas residuales con contenidos orgánicos, cloro y algunos inorgánicos.

Los productores de carbón vegetal tienen, en las aplicaciones industriales, un mercado potencial con grandes posibilidades de expansión, siempre y cuando dispongan de los equipos que les permitan producir un carbón vegetal cuya calidad convenga a la industria. El uso doméstico se refiere a los carbones fabricados de partes leñosas de las plantas, son trozos más o menos sólidos de carbón que se pueden envasar y comercializar directamente, mientras que los residuos biomásicos hay que convertirlos en briquetas porque quedan muy desmenuzados, como ejemplo se muestran las briquetas de carbón vegetal para barbacoa **Figura 9**.



Figura 9: Briquetas de carbón vegetal para barbacoa

2.2.3. Términos y definiciones

El carbón vegetal para barbacoas así como las briquetas de carbón vegetal para barbacoas, se evalúan de acuerdo a ciertas propiedades, que determinan la calidad que el producto debe cumplir, o pueden servir como métodos para comparar productos de carbón para barbacoa.

Para los propósitos del presente documento se aplican los siguientes términos y definiciones que nos permitirán asociar las conclusiones, que posteriormente se expondrán.

2.2.3.1. Briqueta de carbón vegetal para barbacoa

Las briquetas de carbón vegetal para barbacoa están producidas por compresión de las partículas de carbón vegetal de barbacoa con un aglomerante apropiado.³

2.2.3.2. Humedad total del carbón vegetal para barbacoas y briquetas de carbón vegetal para barbacoas

Agua contenida en el carbón vegetal para barbacoas o briquetas de carbón vegetal para barbacoas cuando son eliminados por calentamiento a 105°C.³

2.2.3.3. Ceniza

Residuo procedente de la incineración al aire de carbón vegetal o briquetas de carbón vegetal.³

2.2.3.4. Materia Volátil

Determinada por la pérdida de masa deducida de la debida a la humedad, cuando el carbón vegetal o las briquetas de carbón vegetal son calentados sin contacto con el aire en condiciones normalizadas.³

2.2.3.5. Carbono Fijo

Carbono que queda después de la eliminación de la materia carbónica volátil y de la ceniza de carbón vegetal seco.³

2.2.3.6. Aglomerante

Producto añadido a los gránulos de carbón vegetal que une las partículas en una masa solida permanente.³

2.2.3.7. Productos químicos de mantenimiento

Productos químicos, como nitratos y nitritos, añadidos como agentes oxidantes para mantener la combustión.³

2.2.3.8. Repetibilidad

Comparación de los resultados de dos análisis, llevados a cabo en momentos diferentes en el mismo laboratorio por el mismo operador, usando el mismo aparato en muestras duplicadas tomadas de la misma muestra global en el último estadio de la

preparación de la muestra, y que no se debe diferir en más de los valores indicados en las **Tablas 3.6.1.4., 3.6.2.4., 3.6.3.4.**³

2.2.3.9. Reproducibilidad

Comparación entre los resultados de dos análisis efectuados en dos laboratorios diferentes sobre partidas representativas tomadas de misma muestra global al final de la etapa de preparación de la muestra, no debe diferir en más de los valores indicados en las **Tablas 3.6.1.4., 3.6.2.4., 3.6.3.4.**³

2.2.4. Combustión

En este proceso exotérmico, la biomasa se combina con el oxígeno del aire para producir calor. La combustión de la biomasa es más compleja que la pirolisis y gasificación puesto que en la combustión, primero la biomasa debe pirolizarse para después sufrir una combustión parcial (gasificación) antes de alcanzar la combustión completa, estequiométricamente hablando.

2.2.5. Pirolisis o Carbonización

El proceso de calentamiento de materiales orgánicos en ausencia de aire se denomina pirolisis o carbonización. Por lo general se utiliza el término pirolisis cuando dicho proceso se enfoca a la obtención de los gases y aceites que se producen y carbonización cuando, como en el caso del carbón vegetal, el proceso se dirige hacia la obtención del producto sólido resultante carbonizado. Durante carbonización de la

³ Asociación Española de Normalización y Certificación 164 Biocombustibles Sólidos. UNE-EN 1860-2. Aparatos, Combustibles Sólidos y Sustancias de Encendido para el Asado en Barbacoas Parte 2: Carbón Vegetal y Briquetas de Carbón Vegetal para Barbacoas Requisitos y Métodos de Ensayo. Madrid: AENOR, 2005. pp. 6-7.

biomasa se producen una serie de cambios químicos y pueden distinguirse tres fases claramente diferenciadas.

En una primera etapa hasta alcanzar los 170°C se produce fundamentalmente la deshidratación de la biomasa y la destilación de algunos aceites esenciales; todo ello unido a una pequeña degradación de la biomasa. Hasta los 270°C se produce un abundante desprendimiento de gases (CO₂ y CO principalmente) y de líquidos acuosos. En la última etapa hasta alcanzar la temperatura final en torno a los 600°C, donde se produce la pirolisis o carbonización, propiamente dichas, el desprendimiento de sustancias volátiles es máximo. El residuo sólido resultante es el carbón vegetal.

El proceso de pirolisis produce carbón vegetal, constituido principalmente por carbono, más una pequeña cantidad de residuos alquitranados; las cenizas contenidas originalmente en la biomasa, gases de combustión, alquitranes, una cierta cantidad de productos químicos, principalmente ácido acético y maternos con una gran cantidad de agua originada del secado y de la descomposición piro-lítica de la biomasa, que es expulsada en forma de vapor.

2.2.6. Requisitos

El carbón vegetal para barbacoa y las briquetas de carbón vegetal para barbacoa deben satisfacer los requisitos para el carbón vegetal para barbacoa y las briquetas de carbón vegetal para barbacoa junto con los requisitos de la Norma UNE EN 1860-2.⁴

2.2.6.1. Requisitos para las briquetas de carbón vegetal para barbacoa

- **Humedad:** El contenido de humedad expresado sobre materia seca de las briquetas de carbón vegetal para barbacoa, no debe ser superior al 8%, cuando se ensaya se realiza de acuerdo con el apartado 3.6.1.⁴
- **Cenizas:** El contenido de cenizas expresado sobre materia seca de las briquetas de carbón vegetal para barbacoa debe ser como máximo del 18%, cuando se ensaya según el apartado 3.6.3.⁴
- **Materia Volátil:** Las materias volátiles deberían ensayarse para determinar el carbono fijo, pero no se define ningún valor máximo o mínimo.⁴
- **Carbono fijo:** El carbono fijo cenizas, expresado sobre materia seca de las briquetas de carbón vegetal para barbacoa debe ser como mínimo del 60%, calculado según el apartado 6.1.4.⁴
- **Agente aglomerante:** El agente aglomerante no debe presentar riesgo para la salud cuando sus gases de combustión entran en contacto con la comida, y el aglomerante en sí mismo debe ser de calidad alimentaria.⁴

Las briquetas de carbón vegetal para barbacoa disponibles, se encuentran típicamente en forma de una almohada que proporciona una razonable comodidad de manufactura para el fabricante y de manipulación para el consumidor; sin embargo, se

⁴ Asociación Española de Normalización y Certificación 164 Biocombustibles Sólidos. UNE-EN 1860-2. Aparatos, Combustibles Sólidos y Sustancias de Encendido para el Asado en Barbacoas Parte 2: Carbón Vegetal y Briquetas de Carbón Vegetal para Barbacoas Requisitos y Métodos de Ensayo. Madrid: AENOR, 2005. pp.7-8.

ha prestado atención a las características de encendido como una parte relacionada a la distribución del material.

Es conocido que algunas briquetas son usadas específicamente para cocinar, para parrilla, para barbacoa o similares, colocando numerosas briquetas en una configuración amontonada, encendiendo la superficie con alguna sustancia de encendido para barbacoas, calentadores eléctricos, etc., y esperando a que haya progresado el encendido de una porción significativa de las briquetas hasta que una mayoría de la superficie expuesta este encendida y siga quemándose hacia el interior de la briqueta.

Como la combustión avanza hacia el interior, desde la superficie de la briqueta, una ceniza gris se forma encima; así, la terminación del encendido inicial o fase de ignición es apreciable por la formación de ceniza visible en la briqueta, y está definido como el tiempo en el cual existe 60% a 80% de formación de ceniza visible en la briqueta.

Esto ha sido llamado por algunos como el tiempo de cubrimiento de ceniza – *ash-over*. Después las briquetas son esparcidas y continúan quemándose con un intenso calor durante la fase de quema o el tiempo en el que se le da cocción a los alimentos. Para el máximo desempeño de las briquetas es deseable que la fase de ignición sea corta así las briquetas pueden ser usadas para cocinar sin desmedido retraso, y que la fase de quema se extienda para proveer un adecuado tiempo de cocción para un uso promedio. Lo óptimo es obtener el máximo desempeño de la combustión respecto a la cantidad de combustible consumido.⁵

⁵ Leong, Kenneth. Fast Lighting Charcoal Briquet. US 2006/0143976 A. Sunrise Valley: Patent Application Publication. 2006. pp.1.

2.2.7. Métodos de carbonización

En esencia para obtener carbón vegetal a partir de la biomasa, se debe crear una barrera física que aisle la biomasa del exterior, para evitar que al calentarla, el oxígeno del aire la incendie, de este modo se logrará la carbonización. Las diferentes tecnologías que se utilizan se basan en las distintas formas de crear esta barrera física que puede ser de tierra, ladrillos, cemento armado y metal.

En las distintas formas de secar y calentar la biomasa, si el calor empleado está originado por la propia biomasa de la carga o por algún otro combustible que se separa de la carga que va a carbonizarse, el proceso debe estar en función de que la producción sea continua o discontinua. La carbonización produce sustancias que pueden ser dañinas, por su elevado contenido de monóxido de carbono, los alquitranes y el humo producidos, si bien no son directamente venenosos pueden tener efectos perjudiciales a largo plazo en el sistema respiratorio, estos alquitranes de la madera y el ácido piroleñoso pueden irritar la piel y debe evitarse el contacto prolongado.

2.2.7.1. Rendimiento teórico

En un proceso de carbonización existen varios factores que determinan su rendimiento, como el uso de materia prima de baja densidad, dado que el proceso de carbonización implica una pérdida de masa, las mayores pérdidas ocurren en el rango de 400°C a 600°C, otro factor es la humedad de la materia, puesto que se requiere grandes insumos de energía calorífica, esto forma gran parte del éxito del proceso. La descomposición por pirolisis o termal de la biomasa no se inicia antes que llegue a una temperatura de alrededor de 300°C, pero únicamente si se ha evacuado la humedad de la materia prima, a continuación la **Figura 10**, muestra el rendimiento teórico de un proceso de carbonización basado en las temperaturas y los porcentajes de materias volátiles, carbono fijo.

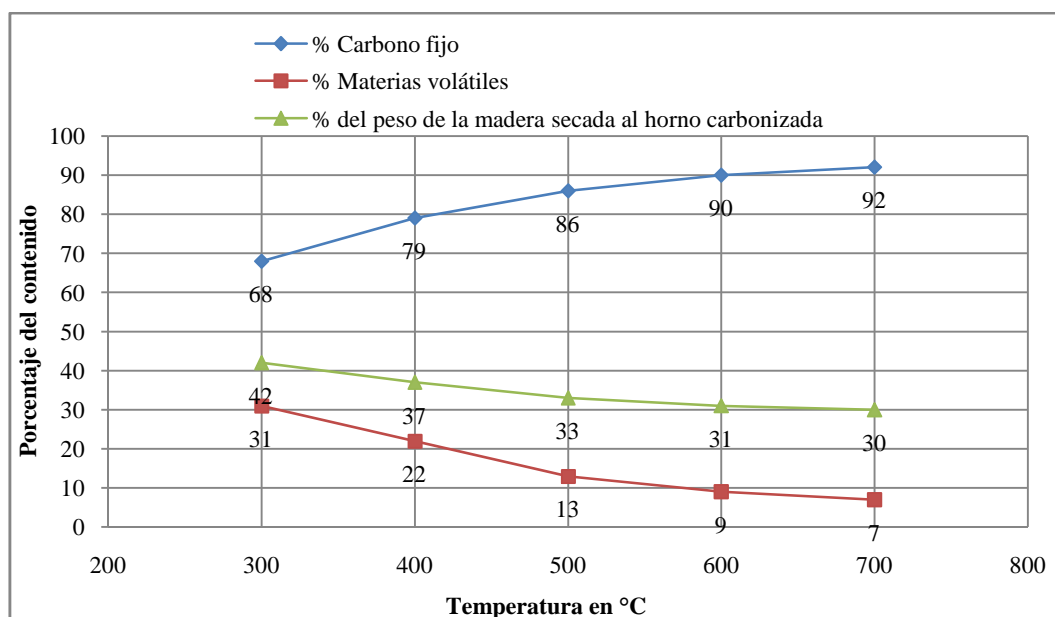


Figura 10: Porcentaje obtenidos en el análisis inmediato y rendimiento, teóricos⁶

Las bajas temperaturas de carbonización dan un mayor rendimiento en carbón vegetal, pero que es de baja calidad, es corrosivo por contener ácido acético y compuestos químicos más complejos, fundamentalmente en la forma de alquitranes y gases no condensables, que consisten principalmente en hidrógeno, monóxido y bióxido de carbono, y que no quema con una llama limpia sin humo.

2.2.7.2. Comparación de rendimiento entre métodos

Las diferencias en el rendimiento para cada método de carbonización son significativas, pues a medida que el proceso es más tecnificado permite no solo mejorar la producción, también aumenta la continuidad del mismo, la **Figura 11**, muestra valores promedio de carbón obtenido a partir 1000 Kg de madera mediante diferentes métodos.

⁶ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Dept. de Montes, Dirección de Industrias Forestales, Dirección de Productos de la Industria Mecánica de la Madera. Métodos Simples para Fabricar Carbón Vegetal. Italia: Roma. 1983. pp.40.

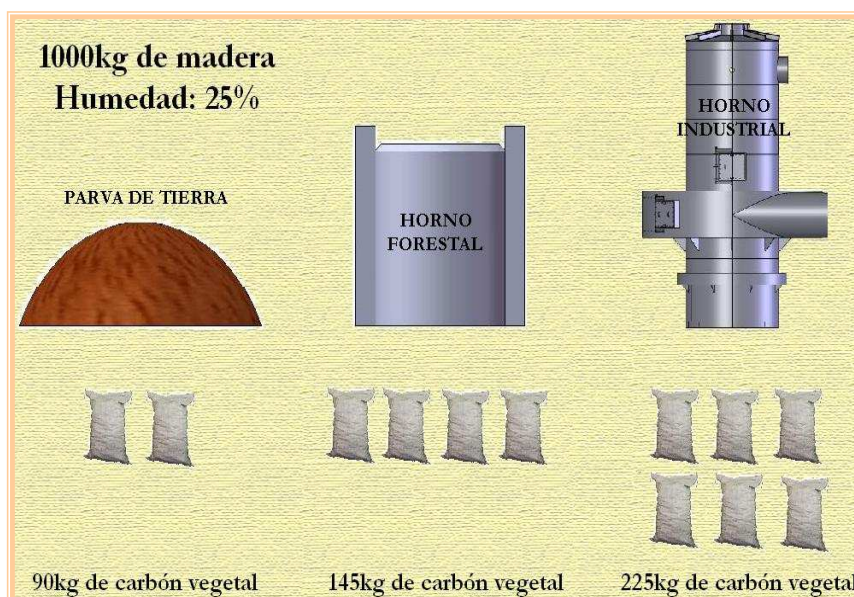


Figura 11: Comparación de rendimiento entre métodos de carbonización

2.2.7.2.1. Parva de tierra

Un ciclo de producción dura de 8 a 15 días, según la humedad de la madera y las dimensiones de la parva. El rendimiento es pobre dado que el procedimiento es irregular y difícil de dominar y que, además, queda siempre una parte de carbón vegetal que no se consigue recoger. El secado de la madera requiere la combustión de una parte de la madera o del carbón vegetal. Se pueden vigilar varias parvas simultáneamente, pero es preciso una vigilancia continua y el trabajo es pesado, resumen de características en **Tabla 2.2.7.2.1.**

Tabla 2.2.7.2.1.: Características de la carbonización en parva de tierra

CARACTERISTICAS	Rendimientos en Kg de carbón vegetal	60 – 130Kg por tonelada de madera	
	Mano de Obra	20 hombres por día, por cada tonelada de carbón	
	Callidad del carbón vegetal	Heterogénea	
		Carbono fijo	66%
	Humedad	10%	

Fuente: FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

2.2.7.2.2. Hornos forestales metálicos

Estos hornos están hechos con virolas de acero y una tapa, con una capacidad de 4 a 9m³. Estos hornos pueden ser ensamblados y desplazados por dos hombres, su inversión es relativamente reducida, pero su duración de vida es corta, más o menos 2 años, debido a los impactos térmicos y a la corrosión. La duración de la carbonización es de 48 horas si se dispone de madera seca. El rendimiento es un ligeramente superior al de parva de tierra, pero el trabajo es menos pesado, resumen de características en **Tabla 2.2.7.2.2.**

Tabla 2.2.7.2.2.: Características de la carbonización en horno forestal metálico

CARACTERISTICAS	Producción	De 30 a 50 toneladas de carbón vegetal por horno	
	Rendimiento de carbón vegetal	130 a 170Kg por tonelada de madera	
	Mano de Obra	20 hombres por día, por cada tonelada de carbón	
	Calidad del carbón vegetal	Bastante heterigeneo	
		Carbono fijo	70%
		Humedad	10%
		Presencia de incocidos	

Fuente: FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

2.2.7.2.3. Hornos verticales tipo Lambiotte SIFIC/CISR

Comparado con los dos sistemas precedentes, este método de carbonización presenta varias ventajas importantes como son: la una producción continua de carbón vegetal frío, esto permite manejarlo y almacenarlo con mayor facilidad, también existe

una muy elevada productividad de la mano de obra, dado que el modelo de horno es de fácil explotación, el rendimiento del carbón vegetal es máximo, la calidad se puede controlar y además es posible recuperar energía o subproductos de la madera, como calor de los vapores piro lignosos excedentarios, que representan un potencial energético importante y puede ser recirculado al sistema para realizar un presecado de la materia prima, otra de las característica es que este horno recibe cualquier calidad o especie de madera, resumen de características en **Tabla 2.2.7.2.3.**

Tabla 2.2.7.2.3.: Características de la carbonización en horno industrial

CARACTERISTICAS	Producción	Continua	
	Rendimiento de carbón vegetal	245Kg por tonelada de madera, humedad 25%	
	Mano de Obra	0,5 hombre por día, por cada tonelada de carbón	
	Calidad del carbón vegetal	homogenea	
Carbono fijo			80 - 85%
Humedad			3 - 4%
		Sin presencia de incocidos	

Fuente: FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

2.3. Análisis estadísticos

El propósito del análisis estadístico es reducir el nivel de incertidumbre en el proceso de toma de decisiones. Los gerentes pueden tomar mejores decisiones sólo si tienen suficiente información a su disposición. La prueba de Hipótesis es una herramienta analítica, el análisis del ANOVA, la prueba de Fisher son instrumentos muy efectivos para obtener información de un proceso, tratamiento, experimento, etc.

2.3.1. Conceptos básicos

2.3.1.1. Hipótesis

Para realizar una prueba de hipótesis, se hacen algunas inferencias o supuestos con sentido acerca de la población, para su aprobación o rechazo; y que debe estar sustentada por un conjunto de observaciones, las cuales deben seleccionarse a través de un patrón bien definido, este patrón se le conoce como diseño experimental. Así, se establece la hipótesis nula, que tradicionalmente contiene alguna referencia de un signo con igual ($=$, $>$, $<$, \geq , \leq), frente a una hipótesis alternativa la cual plantea lo contrario.

No se puede “aceptar” la hipótesis nula como verdadera, el no rechazo de la hipótesis nula solo significa que la evidencia muestral no es lo suficientemente fuerte como para llevar a cabo su rechazo.

2.3.1.2. Factor de estudio

Son las causas o concausas (causa que conjuntamente con otra producen algún efecto) que se estudian para dar respuesta a las hipótesis planteadas, pueden ser métodos de erradicación de virus, sistemas de riego, hormonas temperatura.

2.3.1.3. Tratamiento

Es la modalidad en la que se ensaya un “factor de estudio”. Éste puede aplicarse a toda la U.E. o a una parte de ella. Los tratamientos no son sino niveles de un determinado factor, que deben ser aplicados en forma aleatoria en las distintas unidades experimentales.

2.3.1.4. Unidad experimental (U.E.)

Es el elemento de observación o el ente físico sobre el cual se aplica determinado tratamiento. El número de unidades experimentales (tamaño de muestra) dependerá de la naturaleza del material, es decir su homogeneidad y de la precisión que se desea.

2.3.1.5. Variable

Es la característica que se mide en la U.E., para evaluar el efecto de los tratamientos, estos pueden ser Kg de rendimiento, porcentaje de infección, densidad, altura en plantas.

2.3.1.6. Clase de experimento

Se diferencian principalmente por el número de factores o tratamientos que intervienen en la investigación:

- **Preliminares o exploratorios** cuando persiguen definir los tratamientos que intervendrán en los ensayos definitivos, a través de ensayos preliminares con rangos amplios del o los factores de estudio; éstos se realizan cuando no se tiene mayor conocimiento de los tratamientos a ensayar.
- **Simples** cuando consideran un solo factor o tratamientos a analizar
- **Factoriales** son los que incluyen dos o más factores o tratamientos a ensayar

2.3.1.7. Experimento

Es la actividad mediante la cual se ponen a prueba diferentes materiales de los cuales se obtiene resultados que confirman o refutan la(s) hipótesis establecida(s). En la experimentación, el Diseño Experimental establece los principios básicos de repeticiones, aleatorización y control local.

2.3.1.8. Repetición

No es sino la duplicación, en el tiempo y/o espacio, del experimento básico o de algunos tratamientos. Estas repeticiones se realizan para tener una mejor estimación de los efectos de los tratamientos, también para calcular el Error Experimental, con cuyas bases se evalúe las diferencias del efecto que producen los tratamientos de estudios.

2.3.1.9. Aleatorización

Consiste en ubicar los tratamientos de una investigación estrictamente al azar en las unidades experimentales. Es necesario aplicar este procedimiento aleatorio para eliminar al máximo el error experimental, y en consecuencia asegurar estimaciones no sesgadas del efecto de los tratamientos.

2.3.1.10. Control local

Se refiere a la forma de controlar el ensayo, con el establecimiento de las repeticiones, agrupando las diferentes unidades experimentales en forma homogénea en bloques, con el control del efecto de borde, etc. Esta actividad, que persigue eliminar otros efectos que no sean provocados por los tratamientos en estudio. También se

conoce como “bloqueo del ensayo” y constituye un conjunto de medidas tendientes a minimizar el error experimental y en consecuencia evitar posibles sesgos en la inferencia.

2.3.1.11. Error experimental (E.E.)

En estadística, el Error Experimental no significa necesariamente “fracaso”; está relacionada con la variabilidad de los datos como la variabilidad externa del medio (clima, topografía, temperatura, humedad ambiental, etc.) en que se desenvuelve la investigación, y de la variabilidad intrínseca del materia; variabilidad que en el primer caso puede ser controlado o no.

2.3.2. Diseño experimental

Proporciona los principios del diseño, manejo y análisis de experimentos, y en consecuencia los elementos para el desenvolvimiento acertado de la investigación científica. El objetivo central del diseño experimental es la comparación de dos o más tratamiento cada uno de los cuales representa una población como es usual en experimentos comparativos.

Si por ejemplo se tiene un factor A con t ($t=m$) niveles o tratamientos y cada uno de ellos esta repetido r ($r=n$) veces en el experimento, entonces cada (X) U.E. produce una observación, en la **Tabla 2.3.2.**, se muestra una matriz, la cual se analiza en base a un modelo estadístico llamado modelo lineal básico.

Tabla 2.3.2.: Matriz del Modelo lineal básico

		REPETICIONES (r)		
TRATAMIENTOS (t)		1... j n
1	x_{11}	
:	:			:
i	:	x_{ij}		:
:	:			:
m	:..... x_{mn}	

$X_i = \sum x_i$

$X_j = \sum x_j$

Fuente: Julio Sánchez, Otero, Introducción al diseño experimental

2.3.2.1. Anova

En múltiples ocasiones el analista o investigador se enfrenta al problema de determinar si dos o más grupos son iguales, si dos o más cursos de acción arrojan resultados similares o si dos o más conjuntos de observaciones son parecidos. El ANOVA está diseñado para probar si dos o más poblaciones tienen la misma media.

Aún cuando el propósito del ANOVA es hacer pruebas para hallar las diferencias en las medias poblacionales, implica un examen de las varianzas muestrales, más así, se ve su aplicación a través de varios tipos de diseño experimental, los cuales se diferencian básicamente por la forma que se agrupan las unidades experimentales; comenzando por clasificarlos por tratamientos en una *Clasificación Única* y luego por bloques *Clasificación doble* y *otras modalidades*, restricciones que se impondrán en la selección del mejor plan de muestreo.

2.3.2.2. Valores críticos de Z y zonas de rechazo

Los valores críticos de Z permiten establecer una regla de decisión que diga si se rechaza la hipótesis nula o no, de modo que para definir el valor de Z se divide para 2 el nivel de confianza y se lo busca en la distribución normal Anexo 1, de modo

ordenado, se busca en las columna de la derecha los dos primeros dígitos que correspondan al valor de Z y en la fila superior el tercero.

2.3.2.3. Tamaño de muestra

El tamaño de muestra juega un papel importante al ser basado en un nivel de confianza que nos permite asumir un error de muestreo. Una vez que se ha seleccionado el nivel de confianza, dos factores importantes influyen en el tamaño de muestra y si bien no se puede hacer nada por la varianza de la muestra, si se puede definir el error que el investigador está dispuesto a tolerar.

$$n = \frac{Z^2 \cdot S^2}{(\text{error})^2} \quad (2.0)$$

Donde n = tamaño de muestra.
 Z = valores críticos y nivel de confianza.
 S^2 = varianza total.

2.3.2.4. Cuadrado medio entre grupos o tratamientos

La varianza entre grupos o cuadrado medio entre grupos o tratamientos, tomando un valor común para el tamaño de muestra, es calculada como sigue:

$$S_{tr}^2 = \frac{\frac{\sum \sum x_{ij}^2}{n} - \frac{(\sum x_{ij})^2}{N}}{m-1} = CM_{tr} = \frac{SC_{tr}}{gl_{tr}} \quad (2.1)$$

Donde S_{tr}^2 = varianza entre grupos o tratamientos.
 x_{ij} = observaciones o datos.
 N = número de total de casos.
 n = tamaño de muestra.

m = número de medias de muestra, grupos o tratamientos.

CM_{tr} = cuadrado medio entre tratamientos.

SC_{tr} = suma de cuadrados entre tratamientos.

gl_{tr} = grados de libertad entre tratamientos.

El numerador corresponde a la suma de cuadrados de entre tratamientos que refleja la variación en las medias de la columna alrededor de la gran media, y el denominador a los grados de libertad entre tratamientos.

2.3.2.5. Cuadrado medio del error o error experimental

La varianza del error o cuadrado medio dentro de tratamientos, denominado también el error experimental, y se calcula:

$$S_e^2 = \frac{\sum x_{ij}^2 - \frac{\sum \sum x_i^2}{n}}{N-m} = CM_e = \frac{SC_e}{gl_e} \quad (2.2)$$

Donde S_e^2 = varianza dentro de grupos, error experimental.
 x_{ij} = observaciones o datos.
 N = número de total de casos.
 n = tamaño de muestra.
 m = número de medias de muestra, grupos o tratamientos.
 CM_e = cuadrado medio del error.
 SC_e = suma de cuadrados del error.
 gl_e = grados de libertad del error.

Donde, el numerador corresponde a la suma de cuadrados del error que mide la variación aleatoria de los valores dentro de un tratamiento alrededor de su propia media, y el denominador a los grados de libertad del error.

2.3.2.6. Razón F (Fisher)

Esta prueba, que es la razón entre dos varianzas, tendría dos aplicaciones; para determinar si dos estimaciones de variancias independientes pueden ser admitidas como estimaciones de una misma variancia, en el numerador irá la mayor varianza, debido a que por razones de la distribución F , interesan valores de este test mayores o iguales a 1 y en el ANOVA permite verificar la igualdad de las medias, calculando con la ecuación:

$$F = \frac{CM_{tr}}{CM_e} \quad (2.4)$$

Donde

F = razón fisher.

CM_{tr} = cuadrado medio entre tratamientos.

CM_e = cuadrado medio del error.

Cuando las medias poblacionales son diferentes, el efecto del tratamiento está presente y las desviaciones entre las muestras son grandes comparadas con la desviación del error dentro de una muestra. Por lo tanto el valor de F aumentará, lo cual es una razón de la variación del tratamiento y de la variación del error.

El valor crítico de F , puede encontrarse en el Anexo 2 y está relacionado con los grados de libertad de los respectivos cuadrados medios.

CAPÍTULO III

3. **CONDICIÓN ACTUAL DEL PROCESO PRODUCTIVO Y EL PRODUCTO**

3.1. **Localización de la planta**

Tysai S.A. es una empresa procesadora agroindustrial de nueces de palma aceitera, su planta de producción está ubicada en la costa norte occidental del Ecuador, en el kilómetro 50 de la vía Santo Domingo – Quinindé, en la parroquia la Independencia, localidad en la que residen la mayoría de los obreros **Figura 12**, es una zona de gran producción de palmífera. Las plantas extractoras de aceite de Palma Africana, que son aquellas que se encargan de la pulpa de la fruta separándola de la nuez o palmiste y procesándola para obtener el aceite del fruto, se encuentran en la misma área, y son éstas las que proveen el palmiste a la planta de Tysai S.A., porque es un sub-producto de sus procesos.

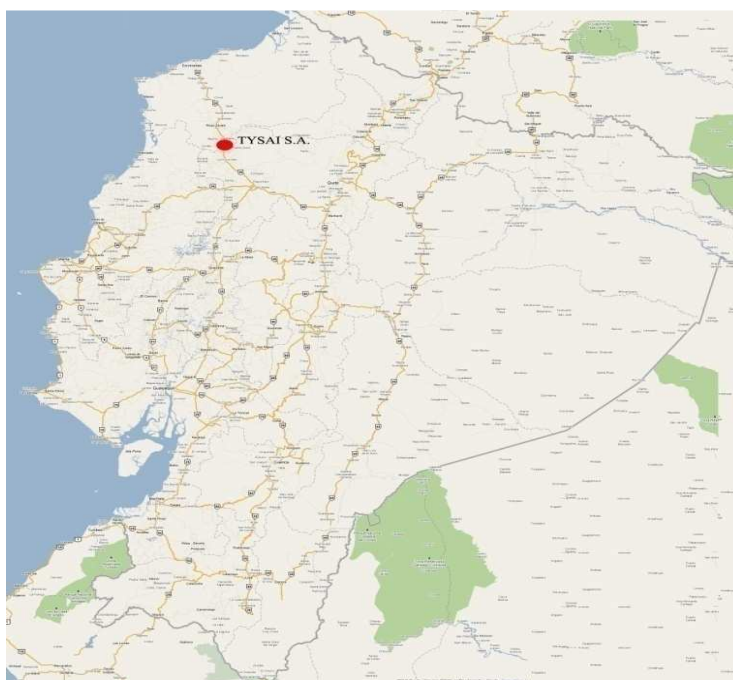


Figura 12: Ubicación geográfica de la planta Tysai S.A.

3.2. Estructura Organizacional

Técnica y Servicios Agroindustriales está constituida por dos plantas en las que se procesa la nuez de Palma Africana; en la planta de Palmistería se extrae el aceite de la nuez del palmiste y en la planta de Carbón Vegetal en Briquetas se procesa la cascarilla del palmiste. El papel que desempeña cada uno de los miembros de la entidad está establecido en la estructura organizacional **Figura 13**, para que puedan trabajar de forma óptima y se alcancen las metas fijadas en la planificación

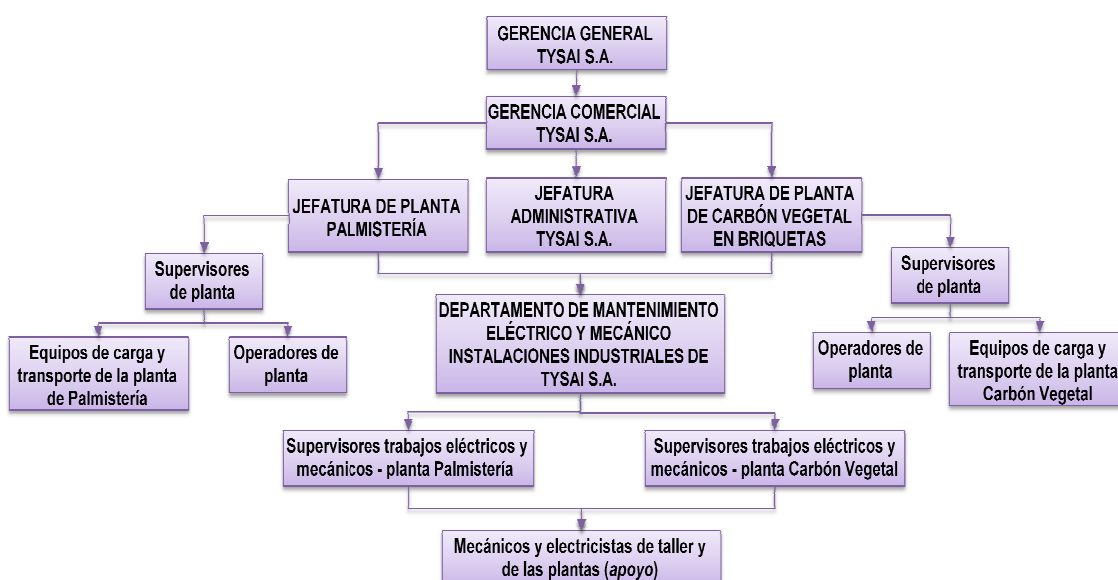


Figura 13: Estructura Organizacional

Cuanto más clara sea la línea de autoridad desde el puesto gerencial, más alta será la línea de autoridad hasta todos los puestos subordinados y más clara será la responsabilidad para la toma de decisiones; las jefaturas de planta ejecutan y llevan a cabo la producción independientemente al igual que la adquisición de materiales; mientras que el departamento de mantenimiento brinda el soporte que funcionará según los cronogramas de producción.

Las oficinas se encuentran en la ciudad de Santo Domingo, Av. Quito, edificio Banco Bolivariano, oficina #1 donde se encuentra la Gerencia General, Gerencia Comercial y Jefatura Administrativa. Para el personal de la Jefatura de Planta Palmisteria, Jefatura de Planta de Carbón Vegetal en Briquetas y personal administrativo existe un recorrido de transporte, desde puntos específicos de la ciudad hasta la planta que se ubica a pocos metros de la vía Santo Domingo – Quinindé, permitiendo el fácil acceso de los vehículos que ingresan a la planta transportando tanto al personal como a los diferentes insumos.

3.3. Descripción del proceso de diseño y desarrollo del producto (PDDP)

La planta de carbón vegetal en briquetas es una extensión de la planta procesadora de nuez de Palma Africana Tysai S.A. que fue creada con la finalidad de utilizar la cascarilla del palmiste, que con los años se ha ido acumulando sin ningún uso, más que el de biomasa para procesos de industriales. Aún después de ser separada la almendra de la cascarilla, ésta posee todavía residuos del aceite, que al acumularse en grandes cantidades puede llegar a incendiarse espontáneamente debido a la temperatura que se alcanza en la zona. Por el constante peligro de incendio que la acumulación de cascarilla presenta, es permanentemente rociada con grandes cantidades de agua para evitar un desastre ecológico de grandes magnitudes.

Cuando surgió la idea de que la cascarilla del palmiste podía procesarse hasta convertirse en carbón vegetal en briquetas, no se prepararon las pruebas adecuadas respecto al tipo de características que posee como producto y, si éstas se encontraban a la altura de productos similares, de modo que no se diagnosticaron las particularidades que ofrece ni tampoco la reacción del mercado.

Es decir que el modelo del PDDP se desarrolló utilizando ingeniería secuencial **Figura 14**, donde el trabajo se realiza de nuevo, sobre otro deficiente, por no haber tenido en cuenta todos los condicionantes que cada departamento aporta como solución, para este modelo obsoleto que no maneja el concepto de cliente interno.

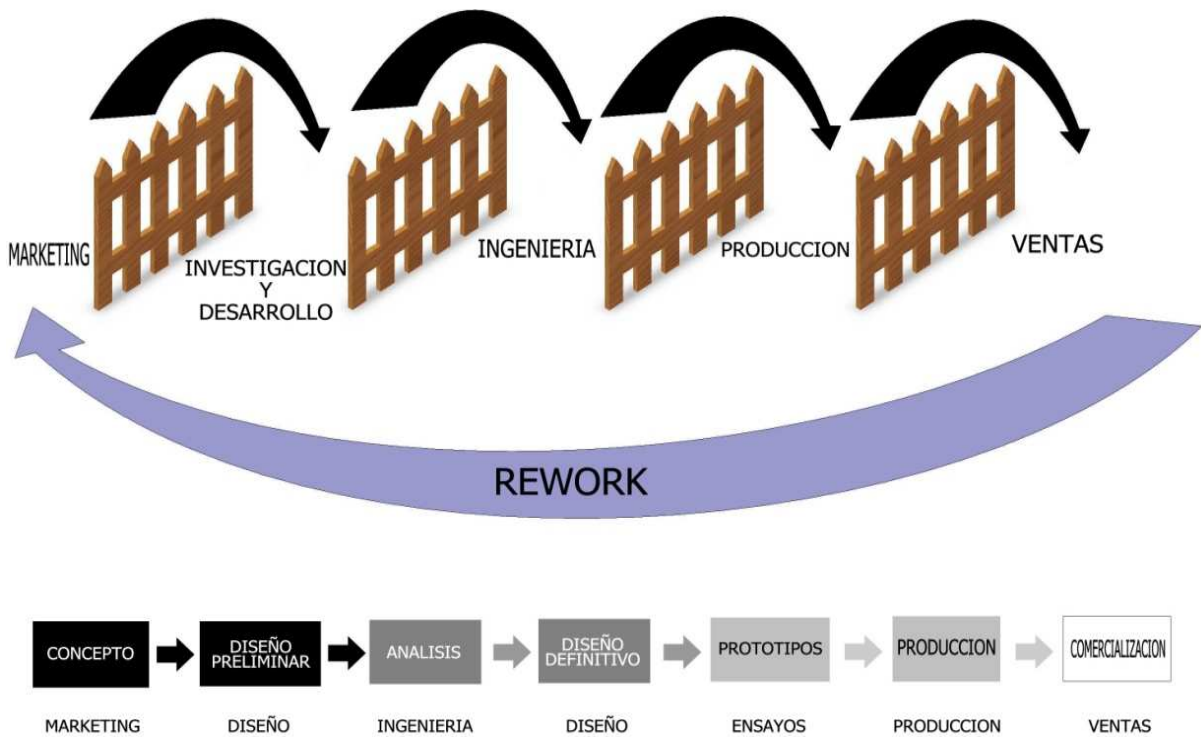


Figura 14: Modelo del PDDP por Ingeniería Secuencial⁷

La construcción de la planta empezó a principios del año 2004 y se puso a punto a finales del 2006; para la fecha la producción, ésta ya era irregular debido a la falta de aceptación del producto, y a medida que las fases del PDDP se fueron completando, los costes de los cambios en el proceso o el producto eran significativos **Figura 15**.

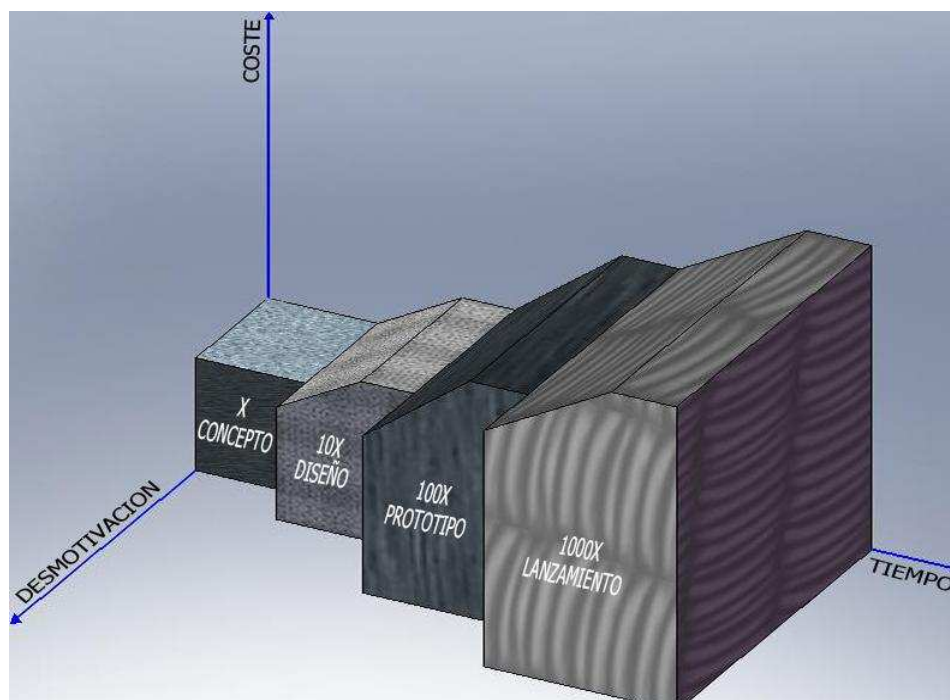


Figura 15: Costes de los cambios según la fase del PDDP y desmotivación de los equipos

Los estudios que inicialmente se desarrollaron para mejorar el producto fueron: pruebas al azar sin una base estadística, de las cuales no era posible obtener conclusiones específicas y que solo terminaron reflejando la desmotivación de los equipos de trabajo.

3.4. Descripción de los recursos utilizados

3.4.1. Mano de Obra

En el área de producción de la planta de carbón vegetal en briquetas, trabajan 36 personas, quienes son divididas en dos turnos. El supervisor de cada turno es el encargado de controlar el proceso junto con un operario en el cuarto de control, que mediante radio reciben las indicaciones sobre el trabajo a cumplir.

La distribución de los operarios en los turnos se da de la siguiente manera: tres operarios en la tolva de alimentación del carbonizador; dos operarios en la exclusiva del gasificador; dos operarios en los tanques de enfriamiento; un operario en la torre de enfriamiento; dos operarios en la salida del carbón granular; un operario en la salida del tambor de enfriamiento; un operario en el molino de martillos; dos operarios en la briquetadora; un operario en la distribución del aglomerante; dos operarios a la salida de la secadora y dos operarios en los montacargas.

3.4.2. Materia Prima

La materia prima base para la producción de briquetas de carbón vegetal es la cascarilla de Palma Africana, que resulta como subproducto del proceso de extracción de aceite de palmiste, la cascarilla carbonizada y molida conforma el 94% de la briqueta y el otro 6% está constituido por el aglutinante; la fécula de mandioca que es bien conocida por ser empleada como aglutinante para la fabricación de alimentos y no constituye un riesgo para la salud al ser incinerada. También se adiciona bórax como agente para el desmolde de las briquetas, en los porcentajes expresados no consideran el contenido de humedad, y representan el porcentaje en masa sobre base seca.

En cuanto a la generación de energía, la cascarilla desempeña su papel como biomasa, al ser utilizada en el caldero para la generación de vapor. El tamo de arroz es utilizado para iniciar el proceso de carbonización y en la generación de gases de secado; la utilización de cascarilla en el proceso de secado de las briquetas de carbón vegetal podría reemplazar al tamo de arroz, pero se vuelve contraproducente ya que los gases que se producen al quemar la cascarilla impregnan de un olor fuerte y picante al producto final.

3.4.3. Maquinaria y Equipo

La planta de carbón vegetal en briquetas *Pakemar* cuenta con un carbonizador Lambiotte de 2,2 a 2,5TM/hora, si bien es el más importante de los elementos, requiere de una columna de secado previa, el sistema de transporte de materia prima de la planta está constituido por sinfines, transportador de cangilones y para el sistema de evacuación del carbonizador existe un sistema de enfriamiento incluido mediante un Scrubber; en el área de carbonización se utilizan dos gasificadores.

Se cuenta con 2 silos para el pre-almacenamiento de 1,5TM cada uno, 4 silos de 15TM cada uno para el almacenamiento del carbón granular que ingresa al molino de martillos, éste está conectado a un ciclón recolector de finos y este a su vez a un filtro de mangas que los retiene, existe otro silo para almacenar el carbón molido de 26TM.

Tres bombas de diafragma están destinadas para el agua y la fécula de mandioca, y una bomba dosificadora Tuthill de desplazamiento positivo que entrega el gel a la mezcladora Bonfanti; el sistema está configurado para que la briqueteadora Komarek tenga la capacidad de entregar 25% más briquetas conformadas, que la capacidad de la secadora Aeroglide. Una empacadora Fischbein que posee una bascula, una cosedora, una paletizadora y una reformadora. Además, en planta se cuenta con dos montacargas, dos tecles, una báscula y una caldera de vapor piro-tubular.

3.4.4. Control de Calidad

Los procesos que no se orientan hacia el control y optimización, tienden a disminuir la calidad y la confiabilidad del resultado final; el laboratorio que posee la empresa Tysai S.A. tiene equipos específicos para llevar a cabo los controles en los procesos de extracción de aceite de palmiste y la producción de carbón vegetal en briquetas, en la **Tabla 3.4.4.**, se detalla los aparatos que forman parte del control de calidad de la planta.

Tabla 3.4.4.: Instrumentos y equipos de Laboratorio

Nombre del Equipo	Marca	Rango	Apreciación
Desecador		0.025m ³	
Tamices	ROTAP	0,0015 - 2''	
Molino	Construcción local	½HP	
Vibradora de Tamiz	LESSON	¼HP	
Analizador de humedad	Sartorius	0 - 100%	0,1%
Analizador de humedad	OAHUS	0 - 100%	0,1%
Estufa	Lemord	0 - 150°C	1°C
Balanza	Electronic Balance	0 - 500g	0,001g
Agitador Calentador	Thermoline	0 - 100°C	10°C
Mufla	Barnstead International	0 - 1200°C	1°C
Medidor de pH	HANNA instruments	0 - 14pH	0,01pH
Pirómetro	Titus	0 - 800°C	0,1°C

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

3.5. Descripción del proceso productivo

El proceso comienza con el ingreso en volqueta de la cascarilla que se encuentra en el depósito, es almacenada ahí al terminar el proceso de extracción de aceite de palmiste **Figura 16**; ya dentro del sistema, la cascarilla pasa por una columna de secado que elimina la excesiva humedad que posee y así mejora el rendimiento del proceso de carbonización, un gasificador proporciona la energía para este proceso de secado previo y un segundo gasificador abastece al carbonizador, al separar la fibra de la cascarilla se transporta al carbonizador donde se asegura que los diferentes elementos y combustibles estén a punto para comenzar el proceso de carbonización, un quemador de gases que se encuentra en la chimenea del carbonizador funciona de manera auxiliar, sí estos gases no arden de forma natural al estar en contacto con el aire exterior. Después la materia evacuada se convierte en carbón granular y debe ser enfriada mediante aspersores de agua y gases enviados desde el Scrubber; luego se transporta el carbón granular con una humedad del 5% y a una temperatura de 40°C a 60°C para evitar el encendido espontáneo de el mismo en los silos de almacenamiento.



Figura 16: Cascarilla de Palma Africana a la salida del proceso de palmisteria

Para el proceso de molienda, se cuenta con un operario que previamente verifica que los bajantes de conexión entre los transportadores estén libres, que los dampers de succión de los polvos de carbón funcionen correctamente y, que los magnetos que se encuentran a la entrada del molino se encuentren limpios, una vez revisado, se empieza con el transporte del carbón granular del silo designado, a la boca del molino.

Este carbón molido es almacenado en otro silo, y una vez lleno se procede a transportarlo al área de conformado, donde se encontrará con el gel aglutinante en la mezcladora, simultáneamente la fécula de mandioca es mezclada con agua y posteriormente cocinada en las marmitas para obtener el gel aglutinante, que es almacenado y mediante la bomba dosificadora de desplazamiento positivo es mantenido en recirculación hasta mezclarse con el carbón. Aún que los sinfines controlan la cantidad de materia que ingresa a la mezcladora, los operarios pueden cambiar la velocidad según como se encuentre la mezcla de carbón molido, gel aglutinante y el aditivo que se esté utilizando, posterior a la aprobación del jefe y/o supervisores de turno.

Las briquetas conformadas, pero húmedas, caen hacia la secadora de cuatro etapas Aeroglidge; dentro de ésta, son transportadas por una banda mientras son secadas por la circulación de los gases resultado de la combustión del gasificador, la temperatura es controlada mediante dampers que se abren o cierran según sea necesario. La temperatura disminuye en cada etapa, al final las briquetas son evacuadas para ser almacenadas o a su vez empacadas.

El proceso es automático, se dirige desde el cuarto de control, donde se puede regular la velocidad de los sinfines y bandas, caudal de las bombas, temperaturas de carbonización y secado, posición de las válvulas, cantidad de flujo de aire y flujo de gases es decir posición de los dampers, niveles de volumen y quema de los gases. En algunas operaciones existe un control local, el cual le permite al operario ajustar los parámetros del proceso desde el puesto de trabajo, es así como se puede pesar la fécula de mandioca, controlar la presión de vapor en las marmitas, regular los sinfines de alimentación de carbón molido, controlar la dosificación del aglutinante, así como también se regula la mezcladora Bonfanti y la briqueteadora Komarek, es decir que el proceso es semiautomático y necesita de la supervisión de un operario.

3.5.1. Diagrama de proceso

El **Anexo 3**, muestra la secuencia de las actividades realizadas en la materia prima en cada una de las áreas, hasta llegar al producto terminado, que es el carbón vegetal en briquetas.

3.5.2. Diagrama de recorrido

El **Anexo 4**, muestra gráficamente el flujo de materia prima y las actividades realizadas en cada una de las áreas hasta conseguir el producto terminado.

3.6. Métodos de ensayo y control de calidad

3.6.1. Humedad

Según la Norma ISO 579, se calienta una muestra al aire a 105°C - 110°C y se mantiene a esta temperatura hasta que se obtiene una masa constante. Se calcula el porcentaje del contenido de humedad a partir de la masa perdida por la muestra. El carbón vegetal y las briquetas de carbón vegetal no son susceptibles de oxidación significativa bajo las condiciones descritas.

3.6.1.1. Aparatos

Estufa, capaz de mantener una zona a temperatura parcialmente uniforme de 105°C - 110°C y en la que la frecuencia de renovación de aire es lo suficientemente rápida a lo largo del ensayo; bandeja, de una superficie de 10cm² aproximadamente, y de 25mm de profundidad, hecha de un material no sensible a la corrosión como el acero inoxidable, el acero estañado o el aluminio; balanza, de precisión de 1g.

3.6.1.2. Muestra

La muestra debe consistir en 500g de carbón vegetal o briquetas de carbón vegetal triturado hasta que el 100% de la muestra sea de una dimensión menor de 20mm.

3.6.1.3. Procedimiento

Se pesa 0,1% de la muestra y su contenido, en el estado en que se recibe. Se pesa la bandeja seca y vacía, se transfiere la muestra tan completamente como sea posible en la bandeja y se extiende de manera uniforme. Se coloca la bandeja cargada en el horno a temperatura de 105°C - 110°C. Se seca el contenedor, con la muestra que queda adherida por calentamiento se transfiere la muestra restante a la bandeja y se pesa el contenedor vacío y seco. Se calienta la bandeja y su contenido hasta la obtención de una masa constante, pesando la bandeja caliente para evitar la absorción de humedad durante el enfriamiento.

3.6.1.4. Expresión de los resultados

La precisión del método se describe en la **Tabla 3.6.1.4.**, y el contenido de humedad M del carbón analizado, expresado como porcentaje en masa, se obtiene de la siguiente fórmula.

$$M = \frac{(m_1 - m_4) - (m_3 - m_2)}{(m_1 - m_4)} \times 100 \quad (3.0)$$

Donde

M = es el contenido de humedad, porcentaje;

m_1 = es la masa del contenedor y de la muestra en el estado en el que se recibe, en gramos;

m_2 = es la masa de la bandeja vacía y seca, en gramos;

m_3 = es la masa de la bandeja y de la muestra después del calentamiento, en gramos;

m_4 = es la masa del contenedor vacío y seco, en gramos.

Tabla 3.6.1.4.: Precisión del método ensayo de humedad

Contenido en humedad total	Diferencias máximas aceptadas entre los resultados obtenidos	
	En el mismo laboratorio (repetibilidad)	En diferentes laboratorios (reproducibilidad)
	0,5% en valor absoluto	0,7% en valor absoluto

Fuente: AEN/CTN 164 Biocombustibles Sólidos

3.6.2. Materias volátiles

El ensayo es empírico y, para garantizar resultados reproducibles, es esencial que el caudal térmico, la temperatura final y la duración total del ensayo sean controladas cuidadosamente. El contenido en humedad de la muestra se debe determinar a la vez que el contenido en materias volátiles, de manera que se pueda hacer la corrección adecuada. Los aparatos y el procedimiento son descritos de tal modo que se puedan llevar a cabo una o más medidas simultáneamente en el mismo horno de mufla.

De acuerdo con la ISO 562, la muestra se calienta a 900°C sin contacto con el aire durante 7min. El porcentaje de materias volátiles se calcula por la pérdida de masa de la muestra después de haber deducido la pérdida de masa debida a la humedad.

3.6.2.1. Aparatos

Horno de mufla, calentado eléctricamente en el que es posible mantener una zona adecuada a una temperatura constante y uniforme de $(900 \pm 10)^\circ\text{C}$. Puede ser del tipo de extremidad cerrada o estar dotado en su parte trasera de un conducto de evacuación de alrededor 25mm de diámetro y de 150mm de longitud.

Su capacidad térmica debe ser tal que, con una temperatura inicial de 900°C, se recupere una temperatura mínima de 885°C en 4 minutos, lo óptimo será 3 minutos después de la introducción de un soporte frío de uno o más crisoles. La temperatura se mide por medio de un termopar de contacto desnudo, generalmente el horno debe diseñarse específicamente para recibir un crisol y un soporte o para determinaciones múltiples utilizando un número de crisoles sobre un único soporte. La temperatura alcanzada debe ser tan próxima como sea posible a los 900°C, con una tolerancia de $\pm 10^\circ\text{C}$ para responder a los errores inherentes de medida de la temperatura y a la falta de uniformidad en la distribución de la temperatura. Se debe escoger una zona de temperatura uniforme para el soporte del crisol y usar esta posición para todas las determinaciones.

Pirómetro: las características de temperatura del horno se deben controlar por medio de un termopar con soldadura desnuda, provisto de un hilo de diámetro inferior o igual a 1mm. La soldadura debe introducirse a medio camino entre la base del crisol en su soporte y el suelo del horno; si el soporte lleva varios crisoles, la temperatura bajo cada crisol debe ser verificada de la misma manera. Si se desea, se puede instalar un termopar forrado en el horno permanentemente; en este caso, los valores de temperatura se deben comparar frecuentemente con los del termopar con soldadura desnuda, que no se introduce entonces más que en caso de necesidad. La relación temperatura/fuerza electromotriz de una soldadura mantenida a alta temperatura varia progresivamente con el tiempo.

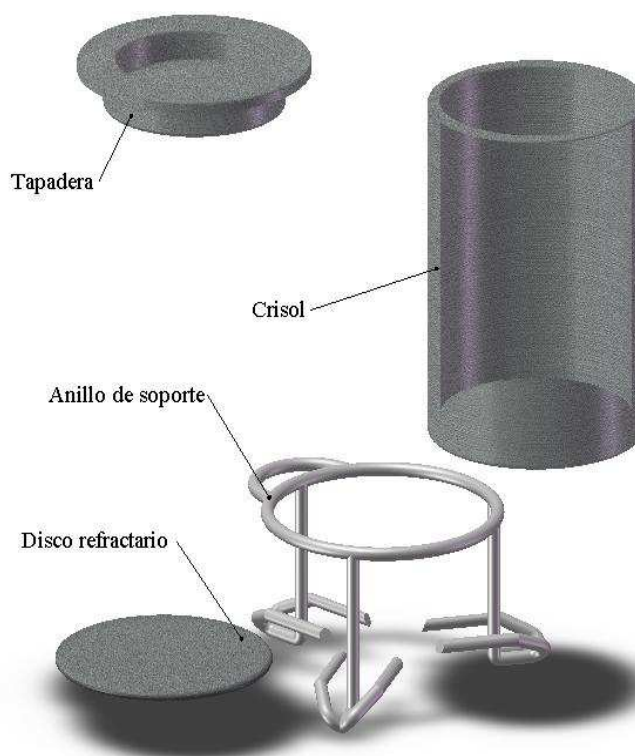


Figura 17: Dispositivos para el análisis de una muestra individual

El crisol y tapadera de la **Figura 17**, es un crisol cilíndrico provisto de una tapadera bien ajustada, ambos en cristal de sílice. El crisol y su tapadera deben tener una masa comprendida entre 10g y 14g, y dimensiones aproximadas en las indicadas en el **Anexo 5**. El ajuste de la tapadera sobre el crisol es esencial para la determinación: se debe elegir la tapadera para coincidir con el crisol de manera que el juego horizontal entre los dos elementos no sobrepase los 0,5mm. Después de la selección, el crisol y la tapadera se deben esmerilar para obtener superficies lisas y entonces se les pone una marca común distinguible.

El soporte de la **Figura 18**, es sobre el cual se coloca el crisol en el horno de mufla, de manera que se pueda obtener el caudal térmico apropiado. Por ejemplo, puede estar constituido por los siguientes elementos:

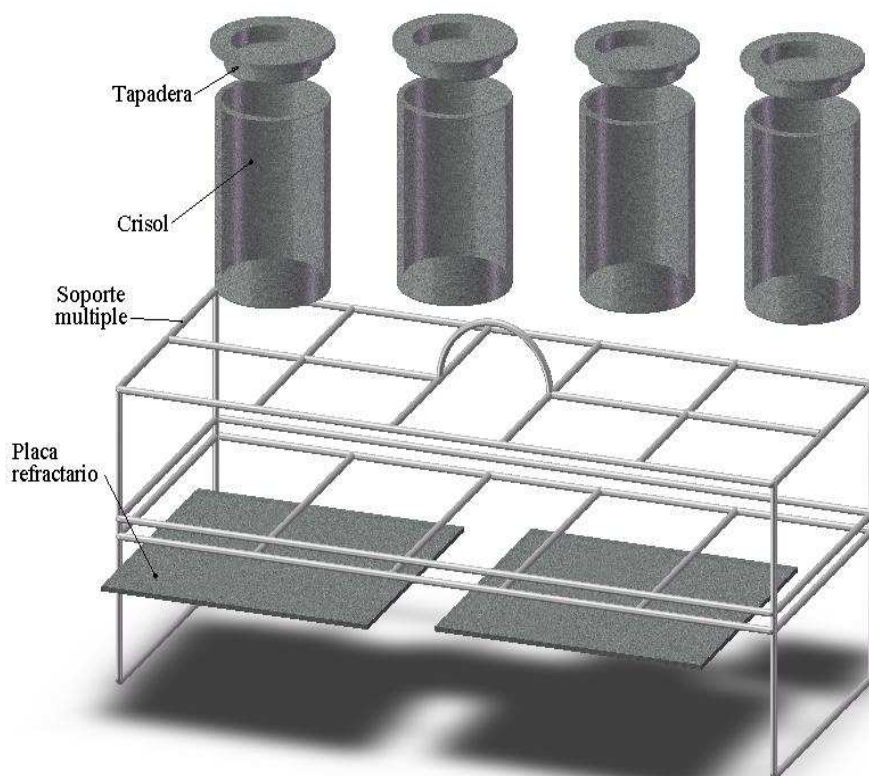


Figura 18: Dispositivos para el análisis de varias muestras

- Para una determinación simple: se utiliza un anillo en hilo de acero resistente al calor, como se ilustra en el **Anexo 6**, con 2 discos apropiados que están en el material refractario, de 25mm de diámetro y de 1mm de espesor, situados sobre la proyección interior de sus pies.
- Para determinaciones múltiples: se usa una bandeja en hilo de acero resistente al calor, como se ilustra en el **Anexo 7**, de dimensiones adecuadas provisto de una placa apropiada en material refractario, de 2mm de espesor, destinada a soportar los crisoles.

3.6.2.2. Preparación de la muestra

El carbón vegetal utilizado para la determinación de las materias volátiles está constituido por la muestra de análisis triturada para pasar a través de un tamiz de 212 μ m de abertura.

Antes de proceder a la determinación, se mezcla de forma exacta la muestra, durante al menos un minuto, de preferencia por medios mecánicos.

3.6.2.3. Procedimiento

En el horno de muflas a (900 \pm 10) $^{\circ}$ C se calienta durante 7 minutos un crisol y su tapadera, o el número de crisoles o tapaderas requerido para rellenar completamente el soporte; se sacan enseguida los crisoles del horno, se dejan enfriar, primero sobre una placa metálica gruesa y finalmente en un desecador colocado cerca de la balanza.

- Cuando están fríos, se pesa cada crisol vacío con su tapadera e se introduce en ellos entre 1,00g a 1,01g de muestra, al 0,1mg más próximo. Como es necesario expresar los resultados sobre base seca, la primera operación a efectuar es la siguiente.
- Se calienta el crisol sin su tapadera a 105 $^{\circ}$ C - 110 $^{\circ}$ C durante 1h.
- Se deja enfriar en un desecador.

- Se pesa de nuevo el crisol y el polvo de carbón vegetal seco, después se calcula la masa exacta de carbón vegetal que queda en el crisol para hacer el ensayo de contenido en materias volátiles.
- Se vuelve a colocar la tapadera y se golpea el crisol sobre una superficie limpia y dura hasta que la muestra forma una capa de espesor uniforme en el fondo del crisol.

Un tratamiento exactamente similar del crisol antes y después de la determinación minimizada el efecto de la absorción de cualquier capa de agua en su superficie, mientras que el enfriamiento rápido reduce la absorción de la humedad por el residuo de carbón.

- Se ajusta la temperatura de la zona en el horno de mufla a $(900 \pm 10)^\circ\text{C}$.
- Se colocan los crisoles cargados sobre un soporte frío y se transfieren al horno. Se cierra la puerta y se dejan durante exactamente 7 minutos, luego se sacan, se dejan enfriar en un desecador y se pesan el/los crisol/es para definir m_3 que es necesario para calcular y expresar los resultados.
- En el caso de múltiples determinaciones, conviene llenar los huecos vacantes en el soporte con crisoles vacíos.

3.6.2.4. Expresión de Resultados

El contenido de materias volátiles V , determinando sobre base seca y expresando como porcentaje en más, se calcula mediante la ecuación siguiente.

$$V = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \quad (3.1)$$

Donde

V = es el contenido de materias volátiles, como porcentaje en masa, en la muestra analizada;

m_1 = es la masa del crisol vacío y su tapadera en gramos;

m_2 = es la masa del crisol y su tapadera y muestra después de secado a 105°C durante 1h, en gramos;

m_3 = es la masa del crisol con su tapadera y del contenido después del calentamiento, en gramos;

La precisión del método se describe en la **Tabla 3.6.2.4.**, y los resultados (preferiblemente la media de los dos ensayos) deben darse redondeados al 0,1% más cercano.

Tabla 3.6.2.4.: Precisión del método ensayo de materias volátiles

Muestra.	Diferencias máximas aceptadas entre los resultados obtenidos (calculados con el mismo contenido de humedad)	
	En el mismo laboratorio (repetibilidad)	En diferentes laboratorios (reproducibilidad)
Carbón vegetal y briquetas de carbón vegetal de contenido en materias volátiles >10%	0,3% en valor absoluto	0,5% en valor absoluto

Fuente: AEN/CTN 164 Biocombustibles Sólidos

3.6.3. Cenizas

De acuerdo a la Norma ISO 1171, la muestra se calienta al aire, a la velocidad especificada hasta la temperatura de $(710 \pm 10)^\circ\text{C}$, y se mantiene a esta temperatura

hasta la obtención de una masa constante. El porcentaje de cenizas se calcula a partir de la masa de residuo después de la incineración.

3.6.3.1. Aparatos

Horno de mufla, capaz de disponer de una zona de temperatura prácticamente uniforme a los niveles requeridos por el modo de operación y de alcanzar estos niveles en los tiempos especificados. La ventilación a través del horno de mufla debe permitir efectuar más de 5 renovaciones por minuto. El número de renovaciones de aire por minuto puede evaluarse por medida del flujo de aire en el conducto de aireación del horno por medio de un tubo de Pitot estático y de un manómetro sensible.

Cápsula de sílice, de porcelana o de platino, de 10mm a 15mm de profundidad, provisto de una tapadera. El diámetro de la cápsula debe ser tal que la cantidad de muestra no sobrepase los $0,15\text{g/cm}^2$.

Placa aislante de sílice, de 6mm de espesor o equivalente, de dimensiones que permitan deslizar fácilmente en el horno de mufla.

3.6.3.2. Preparación de la muestra

El carbón utilizado para la determinación del contenido de cenizas está constituido por la muestra de análisis triturada para pasar a través de un tamiz de $200\mu\text{m}$ de abertura. Antes de comenzar la determinación, mezclar concienzudamente la muestra de análisis durante al menos 1 min, preferiblemente por medios mecánicos.

3.6.3.3. Procedimiento

Antes de determinar su masa inicial, la cápsula de sílice utilizada debe calentarse a $(710 \pm 10)^{\circ}\text{C}$, mantenida a esta temperatura durante 15min, después se enfría en las condiciones descritas para la determinación real. Se pesa la cápsula con su tapadera seca y limpia al 0,1mg mas próximo, se extiende de manera uniforme 1g a 2g de muestra en la cápsula. Los resultados se expresan sobre base seca. La primera operación a realizar es la siguiente.

- Se calienta la cápsula y la muestra de 105°C a 110°C durante un 1h.
- Se deja enfriar en el desecador.
- Se pesa de nuevo la cápsula y el polvo de carbón seco y se calcula el peso exacto de carbón que queda en la cápsula y de ahí se determina el contenido de cenizas.

Se introduce la cápsula destapada en el horno de mufla a temperatura ambiente. Se lleva la temperatura a 250°C en 30min, de 250°C a 500°C durante otro periodo de 30min, de 500°C a $(710 \pm 10)^{\circ}\text{C}$ en 60min, y se mantiene hasta la obtención de una masa constante.

Cuando la incineración es completa, se cubre la cápsula con su tapadera en el lugar, se saca la cápsula del horno, y se deja enfriar sobre una placa metálica espesa durante 10min. Opcionalmente se transfiere después a un desecador sin desecante.

Cuando está fría se pesa la cápsula con su tapadera al 0,1mg más próximo. Se recalienta a $(710 \pm 10)^{\circ}\text{C}$ durante un nuevo periodo de 15min hasta la obtención de una variación de masa inferior a 1mg.

3.6.3.4. Expresión de los resultados

La precisión del método se describe en la **Tabla 3.6.3.4.**, el contenido en cenizas *A* de la muestra analizada, expresado en porcentaje en masa y determinado sobre base seca, se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$A = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \quad (3.2)$$

Donde

A = es el contenido en cenizas en porcentaje;

*m*₁ = es la masa de la cápsula con su tapadera, en gramos;

*m*₂ = es la masa de la cápsula con su tapadera y de la muestra después del secado a 105°C a 110°C durante 1h, en gramos;

*m*₃ = es la masa de la cápsula con su tapadera y de las cenizas, en gramos.

Tabla 3.6.3.4.: Precisión del método ensayo de cenizas

Cenizas	Diferencias máximas aceptadas entre los resultados obtenidos (calculados con el mismo contenido de humedad)	
	En el mismo laboratorio (repetibilidad)	En diferentes laboratorios (reproducibilidad)
Inferior a 10%	0,2% en valor absoluto	0,5% en valor absoluto
10% y más	2,0% del resultado medio	3,0% del resultado medio

Fuente: AEN/CTN 164 Biocombustibles Sólidos

El triturado final destinado a pasar por el tamiz de 200µm se lleva a cabo en diferentes laboratorios; los resultados de la reproducibilidad arriba citados pueden expresarse (preferiblemente la media de los dos ensayos) según el apartado 3.6.4.1 al 0,1% más cercano.

3.6.4. Carbono fijo

El porcentaje en masa del carbono fijo se calcula matemáticamente mediante la ecuación siguiente.

$$C(\text{fix}) = 100 - (F + A) \quad (3.3)$$

Donde F = es el contenido en materias volátiles, expresado en porcentaje en masa de producto seco (WF);
 A = son las cenizas expresadas en porcentaje en masa de producto seco⁷

3.6.4.1. Informe de ensayo

El informe de ensayo debe mencionar la identificación del producto sometido a ensayo, resultado en base del análisis, fenómenos inusuales observados durante el transcurso del ensayo y desviación respecto a este documento.

3.6.5. Determinación del tiempo de calentamiento en el cilindro estándar

El método de ensayo descrito para carbón vegetal para barbacoa y las briquetas de carbón para barbacoa, ha sido desarrollado en base al reconocimiento de la demanda de los productos por usuarios más objetivos.

⁷ Asociación Española de Normalización y Certificación 164 Biocombustibles Sólidos. UNE-EN 1860-2. Aparatos, Combustibles Sólidos y Sustancias de Encendido para el Asado en Barbacoas Parte 2: Carbón Vegetal y Briquetas de Carbón Vegetal para Barbacoas Requisitos y Métodos de Ensayo. Madrid: AENOR, 2005. pp9 - 17

Existiendo estándares nacionales y regulaciones en el área, como DIN 51749, SS 1872 y DVN 5180; establecidas las necesidades y métodos de ensayo de parámetros más específicos del material como medición de la temperatura y contenido de finos, cenizas y carbono fijo en el producto, la mayoría de los parámetros son definitivamente relevantes, asegurando la calidad del producto, por ejemplo, que el carbón tenga suficientes grados de carbonización y que la briqueta no posea una innecesaria cantidad de aglutinante.

El problema es sin embargo, que la información específica de estos materiales no le brinda al usuario la oportunidad de comparar diferentes productos en el mercado con respecto a las propiedades de éstos cuando son usados en una barbacoa. Por ejemplo, al declarar que posee un valor muy alto de temperatura no necesariamente garantiza que el producto brinde un prolongado tiempo de cocción en la barbacoa.

3.6.5.1. Definiciones

3.6.5.1.1. Tiempo de temperatura estándar (T_{180})

Es el tiempo en minutos en el cual la muestra puede mantener una temperatura de más de 180°C, específicamente dentro del cilindro estándar, usando el procedimiento de encendido y preparación descrito. El T_{180} es una medida relativa usada para comparar estos productos, actualmente el posible tiempo de cocción de un producto depende de varias condiciones, como por ejemplo, el diseño de la barbacoa y la cantidad de producto usado, los elementos usados en la barbacoa y el procedimiento utilizado por el usuario.

3.6.5.1.2. Encendido inicial (T_0)

Es el tiempo en el cual la muestra de prueba está ardiendo completamente en el cilindro de ignición.

3.6.5.1.3. Registro de temperatura (T_{start})

Es el momento en el que comienza el registro de temperatura en el cilindro estándar, el tiempo desde T_0 hasta T_{start} está establecido entre 5 minutos ± 2 minutos.

3.6.5.1.4. Temperatura máxima (t_{max})

Es la máxima temperatura alcanzada, en grados centígrados, registrada en el cilindro estándar después de T_{start} .

3.6.5.2. Principio

Se enciende 1Kg de producto el cilindro de ignición, que es colocado en la parrilla del cilindro estándar. Cuando toda la muestra arde, se retira el cilindro de ignición y el producto ardiendo es esparcido en la parrilla, después de colocar la tapa del cilindro estándar, se registra la temperatura desde T_{start} hasta T_{180} . De la secuencia del registro, temperatura en función de tiempo se toma la lectura de tiempo de temperatura estándar T_{180} y la temperatura máxima t_{max} .

3.6.5.3. Aparatos

3.6.5.3.1. Cilindro de ignición

El cilindro previsto de una plancha de acero de 2mm y con un diámetro interior de \varnothing 150mm \pm 2mm. La altura del cilindro es 275mm \pm 25mm. El cilindro es convenientemente preparado con dos agujeros en la parte superior de manera que una barra pueda ser insertada. Ver el **Anexo 8**, es suficiente una altura de 250mm para briquetas compactas; para productos de carbón de baja densidad aparente es necesaria una altura de 300mm.

3.6.5.3.2. Cilindro estándar

El cilindro previsto de una plancha de acero de 2mm y con un diámetro interior de \varnothing 250mm \pm 2mm. La altura del cilindro es 190mm \pm 2mm. El cilindro será equipado con un conducto para una termocupla, ubicada a 170mm \pm 2mm, **Anexo 9**. Se equipa con una tapa de bien ajustada, hecha del mismo material y con un agujero de \varnothing 40mm \pm 2mm, ubicado en el centro para el humo; ver **Anexo 10**.

Se proporcionará una parrilla al cilindro, con un área igual a la de la base del cilindro estándar. La parrilla será construida de barras de acero de \varnothing 4mm, con una distancia de 15mm \pm 2mm entre barras (mediada desde el centro de la barra), **Anexo 11**. La parrilla tendrá 4 patas de forma que esta tenga una notoria altura sobre la base, de 100mm \pm 5mm, ver **Figura 19**.



Figura 19: Cilindro estándar, parrilla, bandeja, tapa y cilindro de ignición

3.6.5.3.3. Bandeja de ceniza

Una bandeja de forma circular o de 4 bordes de material resistente al calor, Anexo 12, con una extensión tal, que las cenizas y las partículas de coque que caen de la parrilla sean recogidas.

3.6.5.3.4. Caja de seguridad

La prueba es llevada a cabo bajo condiciones controladas (ver apartado 3.6.5.5), con una salida para disipar el humo generado. Como la emisión del producto encendido (apartado 3.6.5.6.2) puede ocasionar violentas chispas y desarrollar llamas se recomienda el uso de la caja de seguridad.

La caja de seguridad puede estar elaborada con una tubería metálica de aleación ligera de Ø 500mm. La caja debe tener una tapa o una pieza base y dos

ranuras, ubicadas a una distancia de 180° (opuestos entre sí), para la barra del cilindro de ignición, ver **Anexo 13**.

Las ranuras deben ser construidas idénticas de manera que la barra pueda quedarse en las dos posiciones, ver **Figura 20**. Cuando el cilindro de ignición va a ser quitado, la caja de seguridad se encuentra sobre el cilindro de ignición. La barra es guiada a través de las ranuras de la caja de seguridad y el cilindro de ignición.

El cilindro de ignición es cuidadosamente levantado, sostenido en la barra; la barra es colocada en la primera muesca en la ranura de la caja de seguridad y se queda ahí hasta que toda la muestra ardiente caiga en la parrilla; después la barra es levantada a la segunda muesca y permanece ahí hasta que no se observen ni chispas y ni flamas (a través las ranuras). A ese momento la caja de seguridad y el cilindro de ignición están conjuntamente levantados y colocados en un soporte a prueba de fuegos para enfriarse.

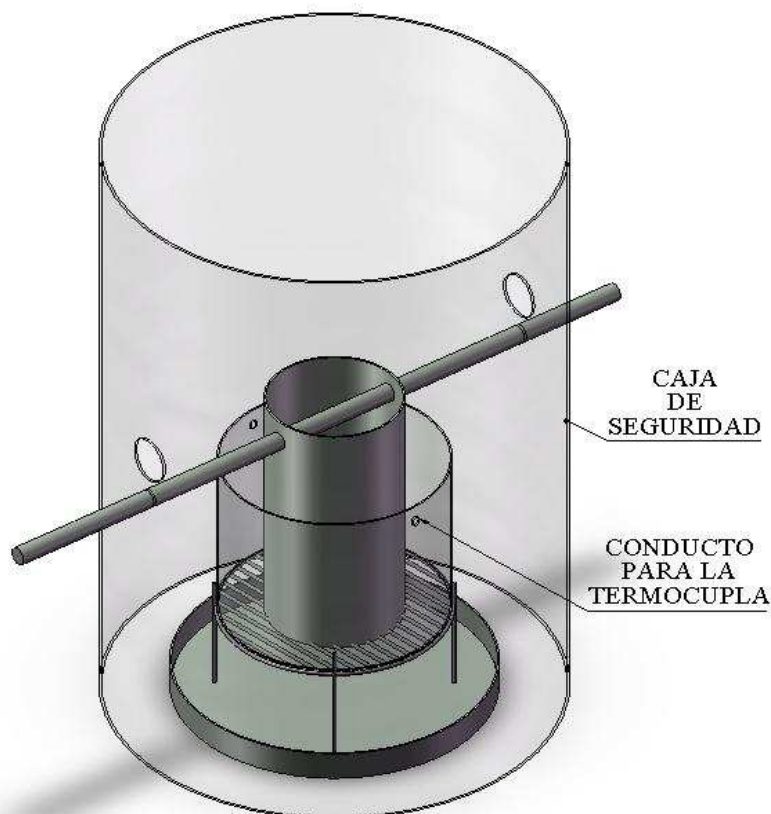


Figura 20: Ensamble del cilindro estándar con la caja de seguridad

3.6.5.3.5. Tapa

Durante el encendido de la muestra (apartado 3.6.5.6.1) se producen llamas y chispas generando riesgo de flagelo en la instalación; por lo tanto es recomendado colocar una tapa aproximadamente 1m a 1½m de altura sobre la parte superior del cilindro de ignición, por ejemplo por medio de un soporte de réplica; alternativamente puede ser utilizarse un corte parcial de la caja de seguridad, para observar el proceso de encendido.

3.6.5.3.6. Misceláneos

Contenedor plástico con un volumen de 10L, por ejemplo un cubeta de plástico; probeta graduada con un volumen de al menos 100ml, atomizador, antorcha o quemador de gas propano.

3.6.5.3.7. Termocupla y contador de datos

Termocupla conveniente para la medición de temperaturas entre 100°C y 800°C con un lector de al menos $\pm 1^\circ\text{C}$. Un contador de datos que será usado para recaudar el registro de las temperaturas, con la opción de anotarlas al menos cada 2 minutos.

3.6.5.4. Reactivos

Líquido encendedor, derivado del petróleo (nafta estándar), Merck N° 1.09718, con un punto de ebullición de 180°C a 220°C, punto inflamación a 60°C.

3.6.5.5. Condiciones de Prueba

La prueba debe ser llevada a cabo bajo condiciones controladas, es decir una temperatura ambiente de 15°C a 35°C, sin corrientes de viento o influencia del aire. El encendido y quema de los productos para barbacoa generan chispas y humo, por lo tanto la prueba debe ser llevada a cabo en un lugar a prueba de fuego y con un extractor de gases. El extractor debe ser capaz de retirar el humo generado pero creando una velocidad en el aire de máximo 2m/s alrededor del sitio del ensayo. El extractor debe poseer un deflector (como en una garita soldada) y debe estar ubicada por lo menos a 3 metros sobre de el ensayo.

Por el encendido y la emisión de las muestras ardientes, pueden ocurrir violentas chispas y desarrollarse llamas; deben tomarse precauciones para asegurar el personal, el sistema de evacuación y los alrededores contras las llamas y chispas, ver el apartado 3.6.5.3.4 y 3.6.5.3.5.

3.6.5.6. Procedimiento

3.6.5.6.1. Encendido

Se toma una muestra representativa del producto de 1Kg ± 0.05 Kg en un contenedor (apartado 3.6.5.3.6). Colocar en la muestra, distribuyendo uniformemente, 100ml ± 1 ml del líquido encendedor (apartado 3.6.5.4), usando un atomizador (apartado 3.6.5.3.6). Dejar que la muestra repose por 10 minutos para absorber el líquido encendedor.

Las muestras con baja densidad aparente formarán más de una capa en el contenedor, en tal caso la muestra debe ser pesada en un contendor y sucesivamente pasada a otro, agregándole de forma parcial 100ml ± 1 ml de líquido encendedor.

Colocar la parrilla del cilindro estándar (apartado 3.6.5.3.2) en la bandeja de cenizas (apartado 3.6.5.3.3), colocar el cilindro estándar en el medio de la parrilla y el cilindro de ignición (apartado 3.6.5.3.1) dentro y en el medio del cilindro estándar, colocar la muestra en el cilindro de ignición, ignorar la posible caída de finos desde la parrilla, colocar la tapa (apartado 3.6.5.3.5) o correspondiente arreglo de seguridad contra chispas y llamas, encender la muestra sosteniendo la llama de la antorcha de gas propano desde abajo hacia arriba en el cilindro de ignición.

La llama debe permanecer allí hasta asegurarse de observar el fondo ardiendo, normalmente alrededor de 30 segundos. Registrar si se necesita un encendido más prolongado. Las muestras colocadas estrechamente en el cilindro de ignición, como por ejemplo muestras con alto contenido de finos, dificultan el encendido.

3.6.5.6.2. Medición

Cuando toda la muestra está ardiendo, es decir, cuando también la parte superior del cilindro de ignición arde, se remueve el cilindro de ignición, este debe ser retirado de tal forma que la muestra caiga en la parrilla, usar al caja de seguridad (apartado 3.6.5.3.4) u otra precaución contra la generación de llamas y chispas, esparcir la muestra ardiendo con una barra de metal a un mismo nivel en la parrilla, seguido colocar la tapa en el cilindro estándar y montar la termocupla a través del conducto en el centro del cilindro estándar a 170mm sobre la parrilla.

El encendido inicial, es decir el tiempo desde que se enciende con la antorcha la capa inferior hasta arde la capa superior de la muestra, es de $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$ hora, para las muestras colocadas estrechamente en el cilindro de ignición, el encendido inicial puede estar en el orden 1 hora, el encendido inicial debe ser anotado.

El tiempo muestra el encendido inicial de la muestra en el cilindro de ignición, $T=T_0$, hasta el registro de la temperatura, $T=T_{start}$, es de 5 minutos ± 2 minutos (estabilización de la temperatura).

Desde T_{start} la temperatura in el cilindro estándar, en la posición señalada, será registrada al menos cada dos minutos, hasta que el contador haya caído a 180°C , $T=T_{180}$, o inferior.

3.6.5.7. Reporte

El registro de temperaturas de $T=T_{start}$ a al menos $T=T_{180}$ para la prueba es graficado en base a la secuencia del registro, temperatura en función de tiempo, en el reporte debe incluirse los datos con la presión descrita.

La temperatura máxima, t_{max} debe ser la más alta temperatura registrada después de T_{start} , a los 10°C más cercanos y el tiempo de temperatura estándar, T_{180} es el número de minutos después de T_{start} , cuando la ha caído a los 180°C o inferior, a los 10 minutos más cercanos.

Deben ser reportadas posibles circunstancias especiales de pertinencia para los resultados obtenidos, observados durante el ensayo, por ejemplo:

- La muestra probada tiene gran cantidad de finos.
- Se observó violentas llamas/chispas/generación de humo en el encendido.
- El producto fue difícil de encender; se mantuvo la antorcha por 50 segundos.

- El producto fue difícil de encender; el encendido inicial fue de 1 hora.
- El residuo de cenizas contenía grandes cantidades de producto sin quemar después de la prueba.

Adicionalmente se recomienda complementar la determinación del tiempo de calentamiento con determinaciones específicas del material, como por ejemplo, contenido de finos, ceniza y volátiles sujeto de conformidad a los actuales estándares nacionales y regulaciones.

3.6.5.8. Precisión

La evaluación de la precisión del método, debe llevarse a cabo a un nivel de repetibilidad de dos o más productos de barbacoa. Para cada uno de ellos, se debe llevar a cabo cinco repeticiones en momentos diferentes, por el mismo operador con el mismo equipo, usando el procedimiento especificado. En la **Tabla 3.6.5.8.**, se muestra los datos estadísticos a calcular para cada producto en los cinco ensayos.⁸

Tabla 3.6.5.8.: Resultados para 5 determinaciones en el cilindro estándar

PRODUCTOS	TEMPERATURA MÁXIMA, t_{max}		TIEMPO DE TEMPERATURA ESTÁNDAR, T_{180}	
	MEDIA, °C	DESVIACIÓN ESTÁNDAR, °C	MEDIA, minutos	DESVIACIÓN ESTÁNDAR, minutos
muestra #1				
muestra #2				

Fuente: FORCE Technology

⁸ Force Technology. Barbecue coal and barbecue coal briquettes - Determination of heating time in Standard cylinder. Västerås: FORCE Technology Sweden A. 2005. pp. 1-7

3.6.6. Prueba de fácil encendido

Para efectuar este ensayo, es necesario utilizar 15 briquetas, el test incluye, la prueba de fácil encendido, que consiste en constatar el tiempo en el que la mayor parte de las briquetas están cubiertas de ceniza *ash-over*, con lo que se da por concluida la fase de encendido, a continuación en la fase de quema del producto se debe observar que el humo generado y el olor del carbón no sean excesivos; el objetivo es que el arreglo de briquetas se encienda lo más rápido posible, siguiendo las instrucciones a continuación expresadas.

3.6.6.1. Aparatos

Un agitador con calentador para laboratorio, una probeta graduada con un volumen de al menos 100ml, una estufa capaz de mantener una zona a temperatura parcialmente uniforme de 105°C - 110°C y en la que la frecuencia de renovación de aire sea lo suficientemente rápida a lo largo del ensayo, una bandeja de una superficie aproximada a 30cm², hecha de un material que no sea sensible a la corrosión como el acero inoxidable, el acero estañado o el aluminio; una balanza de precisión de 1g, un pirómetro manual con una apreciación de 0,1°C, un medidor de pH, un cronómetro con una apreciación de 1 minuto, una cámara fotográfica, molde con una configuración similar a la del producto y un desecador.

3.6.6.2. Reactivos

Líquido encendedor, derivado del petróleo (nafta estándar), Merck N° 1.09718, con un punto de ebullición de 180°C a 220°C, punto inflamación a 60°C.

3.6.6.3. Condiciones de Prueba

La prueba debe ser llevada a cabo bajo condiciones controladas, es decir una temperatura ambiente de 15°C a 35°C, sin corrientes de viento o influencia del aire. El encendido y quema de los productos para barbacoa generan chispas y humo, por lo tanto la prueba debe ser llevada a cabo en un lugar a prueba de fuego y con un extractor de gases. El extractor debe ser capaz de retirar el humo generado pero creando una velocidad en el aire de máximo 2m/s alrededor del sitio del ensayo. El extractor debe poseer un deflector (como en una garita soldada) y debe estar ubicada por lo menos a 3 metros sobre el ensayo.

3.6.6.4. Muestra

El carbón necesario para este ensayo es tomado del proceso mismo; carbón vegetal molido, previo al procedimiento de elaboración de las briquetas de laboratorio, se debe conocer la humedad del carbón, para hacer los ajustes necesarios y obtener los porcentajes de insumos deseados, también se debe comprobar que el pH del aglutinante, esta característica está directamente relacionada a la viscosidad, que para el caso del la fécula de mandioca está entre el pH7 y pH8; las condiciones del laboratorio, en cuanto a humedad y temperatura deben ser constantes, permitiendo almacenar los insumos sin que cambien sus características.

3.6.6.5. Procedimiento

Se calcula la cantidad en gramos de cada insumo (carbón, aglutinante, aditivo, agua) en función de los porcentajes que se desea obtener y la humedad que tiene el carbón vegetal molido. Pesados estos insumos se procede a emular el proceso de planta desde el área de conformado, es decir se prepara el gel que luego es mezclado con el carbón vegetal molido y el aditivo específico, hasta obtener una masa uniforme de igual

consistencia que la obtenida en la planta de briquetas, después de prensar manualmente cada briquetas se procede a secarlas en la estufa.

Una vez secas las briquetas son puestas en un desecador hasta enfriarse. Se colocar 15 briquetas en forma de pirámide en una parrilla y se agregar uniformemente 50ml de líquido encendedor, después de esperar 10 minutos se enciende. Se toma fotografías, desde el momento del encendido, es el minuto cero, luego cada 5 minutos hasta que las cenizas caen de la parrilla.

3.6.6.6. Reporte

La **Tabla 3.6.6.6.**, muestra los datos, que deben registrarse en dos categorías: Constitución, que involucra el conformado y los criterios subjetivos de humo y olor en la muestra y el rendimiento del encendido, descrito como el tiempo de cubrimiento de ceniza *ash-over*, que es censado desde que se enciende la muestra hasta cuando la ceniza alcanza al menos el 80% de la superficie de las briquetas.

Este ensayo cuenta únicamente con el criterio empírico de la inspección visual, es decir la evaluación cualitativa del operario, por esto se considera diferencias máximas aceptables por repetibilidad del 5% del valor absoluto y no se considera las diferencias por reproducibilidad, debido a que este ensayo permite comparar dos o más muestras de carbón bajo las mismas condiciones de repetibilidad.

Tabla 3.6.6.6.: Reporte de datos de la prueba de fácil encendido

Evaluación	A	B	C	D
Constitución				
Defectos	Conforme	Conforme	No conforme	No conforme
Olor	Fuerte	No muy fuerte	Fuerte	No muy fuerte
Humo	No excesivo	excesivo	No excesivo	excesivo
Rendimiento (min)	Ahsover			
Tratamiento #1	40	35	10	18
Tratamiento #2	26	15	29	34
Tratamiento #3	24	12	45	33

Fuente: Kenneth Leong

El análisis de las varianzas sirve para comparar si existen diferencias significativas en el tiempo de *ash-over* entre tratamientos y comparar dentro de los tratamientos si se controlaron las condiciones del ensayo.

3.7. Análisis del producto

El laboratorio proporciona la información de cada etapa del proceso, y llena un registro de los ensayos previos que se realizan durante la producción y además al producto terminado. Los porcentajes de los insumos de la briqueta de puro CCPA en planta, se obtienen de la regulación de los sinfines que suministran los componentes de la briqueta, el porcentaje de humedad se lo obtiene del método de ensayo descrito en el apartado 3.6.1, los resultados se muestran en la **Tabla 3.7.(A)**, a continuación.

Tabla 3.7.(A): Porcentajes de insumos de la briqueta de puro CCPA

TRATAMIENTOS	MASA (g)	DENSIDAD (g/cm ³)	CCPA	ALMIDÓN	ADITIVO	HUMEDAD
CCPA	31,5	2,14	93%	4%	0%	2%
	29,6	2,01				
	32,4	2,20				
	28,7	1,95				
	30,9	2,10				

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

Cada briqueta de CCPA tiene una masa de aproximadamente 30,6g y una densidad de 2,08g/cm³, la **Figura 21** permite tener una idea del volumen que el producto ocupa en la actual presentación de 20lb.



Figura 21: Presentación de 20lb del Carbón vegetal en briquetas PAKEMAR

El análisis inmediato corresponde a los porcentajes de volátiles, ceniza y el cálculo del porcentaje de carbono fijo, este ensayo se realiza al producto terminado después del proceso de empacado, siguiendo las instrucciones mencionadas en los

apartados 3.6.2, 3.6.3, 3.6.4 y constatando la precisión exigida por el método, los resultados de la **Tabla 3.7.(B)**, son las repeticiones corresponden a muestras tomadas de la misma población y los análisis fueron realizado al mismo tiempo.

Tabla 3.7.(B): Análisis inmediato de la briqueta de CCPA

Ensayos simultaneos	Volátiles	Carbón Fijo	Ceniza
1	6,78%	80,07%	11,59%
2	9,44%	81,03%	12,19%
3	8,09%	80,78%	9,83%
4	6,85%	84,77%	8,59%
PROMEDIO	7,79%	81,66%	10,55%
Precisión	Para Volátiles >10% debe ser 0,3% en valor absoluto	Diferencia máxima aceptada entre resultados	Para Ceniza \geq10% debe ser 2,0% del resultado medio

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

La briqueta de carbón vegetal tiene como ingrediente principal el CCPA, un material lignoceluloso de gran dureza, y es el único combustible que posee la briqueta, así es como se convierte en el único ingrediente responsable de las características del encendido y durabilidad de la brasa una vez que el carbón es utilizado, aparte está compuesta por el aglutinante, que es el elemento que proporciona a la briqueta la posibilidad de compactarse para facilitar el uso y manejo de su materia prima, los gases que genera la combustión de este aglutinante son inofensivos a la hora de mezclarse con los alimentos de la parrilla o barbacoa.

3.7.1. Desempeño de las briquetas de CCPA

Se han comparado diferentes muestras obtenidas de una misma población de briquetas, para la determinación del tiempo de calentamiento en el cilindro estándar según el apartado 3.6.5 y la prueba de fácil encendido de acuerdo con el apartado 3.6.6.

Las graficas de durabilidad permiten comparar dos o más muestras de diferentes productos de carbón bajo condiciones de repetibilidad, a continuación, en la **Figura 22** se muestra una gráfica de durabilidad típica para la briqueta CCPA.

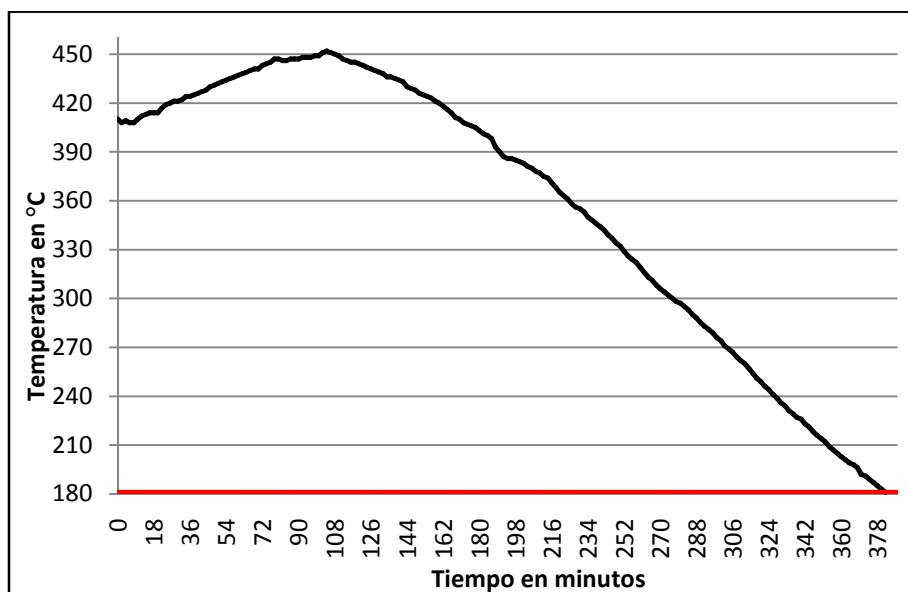


Figura 22: Secuencia tiempo - temperatura en el cilindro estándar de la briqueta CCPA

Para facilitar el análisis, se tabulan los datos relevantes, como son la temperatura máxima (t_{max}) registrada y el tiempo de temperatura estándar (T_{180}), a la **Tabla 3.7.1.**, se le acompaña un cuestionario que describe las circunstancias especiales observadas durante la prueba.

Tabla 3.7.1.: Resultados del cilindro estándar para las briquetas CCPA

PRODUCTOS, BRIQUETA DE	TEMPERATURA MÁXIMA, t_{max}		TIEMPO DE TEMPERATURA ESTÁNDAR, T_{180}	
	Media, °C	Desviación estándar, °C	Media, minutos	Desviación estándar, minutos
CCPA	453	5	358	6
CIRCUNSTANCIAS ESPECIALES				
La muestra probada tiene gran cantidad de finos?				
Se observó violentas llamas/chispas/generación de humo en el encendido?				
El producto fue difícil de encender; se mantuvo la antorcha por 50 segundos?				X
El producto fue difícil de encender; el encendido inicial fue de 1 hora?				X
El residuo de cenizas contenía grandes cantidades de producto sin quemar después del la prueba?				

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

La característica principal de este producto de carbón es que, es difícil de encender, la prueba de fácil encendido en el apartado 3.6.6 no se pudo realizar, debido a que para encender una muestra de carbón de CCPA se necesita una fuente de energía constante como una antorcha de gas; de una simple inspección a una muestra de carbón de CCPA se puede notar que tiene un fuerte olor y ya ardiendo la cantidad de humo que emana no es excesivo.

CAPÍTULO IV

4. ALTERNATIVAS PARA LA MEJORA DEL PRODUCTO

Muchos productos de carbón en briquetas para parrilla o barbacoa, poseen inconvenientes al momento de su ignición, razón por la cual los industriales se han visto en la necesidad de adicionarles productos que de alguna manera alcancen las expectativas de los consumidores, entre algunas de las exigencias están las características cualitativas como el olor del carbón, la cantidad de humo que genera, que las briquetas se desmoronen, una combustión moderada sin chispas violentas o el desarrollo de llamas excesivas, incluso que no se encuentre producto sin quemar en las cenizas.

En tanto las características cuantitativas, se ven enmarcadas en las normativas que se exige a las briquetas de carbón vegetal para barbacoa como se cita en el apartado 2.2.6, también se examinan estos productos de carbón mediante análisis comparativos como el cilindro estándar y la prueba de fácil encendido.

4.1. Aditivos químicos

Los químicos de mantenimiento como nitratos o nitritos añadidos como agentes oxidantes para mantener la combustión, son sustancias que se descomponen al calentarlas intensamente o al arder, produciendo óxidos de nitrógeno y oxígeno, y es el suministro de oxígeno, como comburente, que mejora la combustión. Las normativas para briquetas de carbón vegetal a las que nos referimos en este texto, permiten el uso de nitritos y nitratos, ya que son utilizados en porcentajes tales que, las emisiones de gases se consideran despreciables al descomponerse por calentamiento.

Entre los oxidantes más utilizados para productos de carbón en briquetas, se encuentran los nitratos de metales alcalinos, como nitrato de sodio, potasio, bario y estroncio. Para el presente trabajo se ha elegido el nitrato de potasio KNO_3 y el nitrato de sodio NaNO_3 , que se analizarán por separado para definir las cualidades que aporta cada uno, a las briquetas de carbón vegetal.

4.1.1. Nitrato de potasio KNO_3

El nitrato del potasio no es combustible, pero facilita la combustión de otras sustancias, se utiliza como un fertilizante y en la conservación de alimentos, pero hay teorías que indican que el uso del nitrato potásico como conservante puede causar cáncer y es conocido como el conservante E252. Su almacenaje, debe hacerse en recipientes de vidrio o plástico, debe ser separado de sustancias combustibles y reductoras.

4.1.1.1. Porcentaje de materia prima e insumos de la briqueta KNO_3

Se ha tomado en cuenta experimentos exploratorios ya realizados, tanto en planta y en laboratorio, para definir los niveles de KNO_3 , de ahí que cada tratamiento fue aplicado de manera aleatoria en la U.E., la **Tabla 4.1.1.1.**, muestra los porcentajes aportados por cada insumo y el aditivo nitrato de potasio, que conforman la briqueta de laboratorio.

Tabla 4.1.1.1. Porcentajes de insumos de cada tratamiento de la briqueta de KNO₃

TRATAMIENTOS		MASA (g)	DENSIDAD (g/cm ³)	CCPA	ALMIDÓN	ADITIVO	HUMEDAD
KNO ₃	3%	28,83	1,96	90%	5%	3%	2%
KNO ₃	8%	27,76	1,89	85%	5%	8%	2%
KNO ₃	13%	26,42	1,80	80%	5%	13%	2%
KNO ₃	18%	25,58	1,74	75%	5%	18%	2%
KNO ₃	21%	24,65	1,68	71%	6%	21%	2%

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

En el producto terminado, la humedad de las briquetas no debe superar el 8% según los requisitos del apartado 2.2.6.1. Puede notarse que la masa promedio y la densidad de las briquetas del tratamiento KNO₃ 18%, son menores a la masa promedio y la densidad de la briqueta CCPA en un 16%, esto se ve reflejado en un aumento directamente proporcional del volumen del producto.

4.1.1.2. Análisis inmediato de la briqueta KNO₃

Este análisis corresponde a los ensayos realizados para obtener los porcentajes, expresado sobre materia seca, de materia volátil, ceniza y carbono fijo. El contenido de humedad en la muestra no se tomará en cuenta a la hora de presentar los resultados, la humedad debe determinarse a la par con el contenido de materia volátil, de manera que se pueda hacer la corrección apropiada.

En la **Tabla 4.1.1.2.**, se encuentran únicamente la media de las cuatro repeticiones del análisis inmediato para cada uno de los tratamientos del KNO₃, cumpliendo con la precisión establecida por el método.

Tabla 4.1.1.2.: Análisis inmediato de cada tratamiento de la briqueta de KNO₃

PROMEDIO			
TRATAMIENTOS	Volátiles	Carbón Fijo	Ceniza
KNO ₃ 3%	9,07%	80,11%	10,82%
KNO ₃ 8%	11,65%	76,76%	11,59%
KNO ₃ 13%	9,10%	79,57%	11,33%
KNO ₃ 18%	11,75%	76,52%	11,73%
KNO ₃ 21%	10,96%	78,34%	10,70%
Precisión	Para Volátiles >10% debe ser 0,3% en valor absoluto	Diferencia máxima aceptada entre resultados	Para Ceniza ≥10% debe ser 2,0% del resultado medio

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

El porcentaje de carbono fijo expresado sobre materia seca de briquetas de carbón vegetal debe ser como mínimo del 60%, en la **Figura 23** se aprecia la dispersión de los porcentajes de carbono fijo que se obtuvo en cada una de las cuatro repeticiones de cada tratamiento con KNO₃.

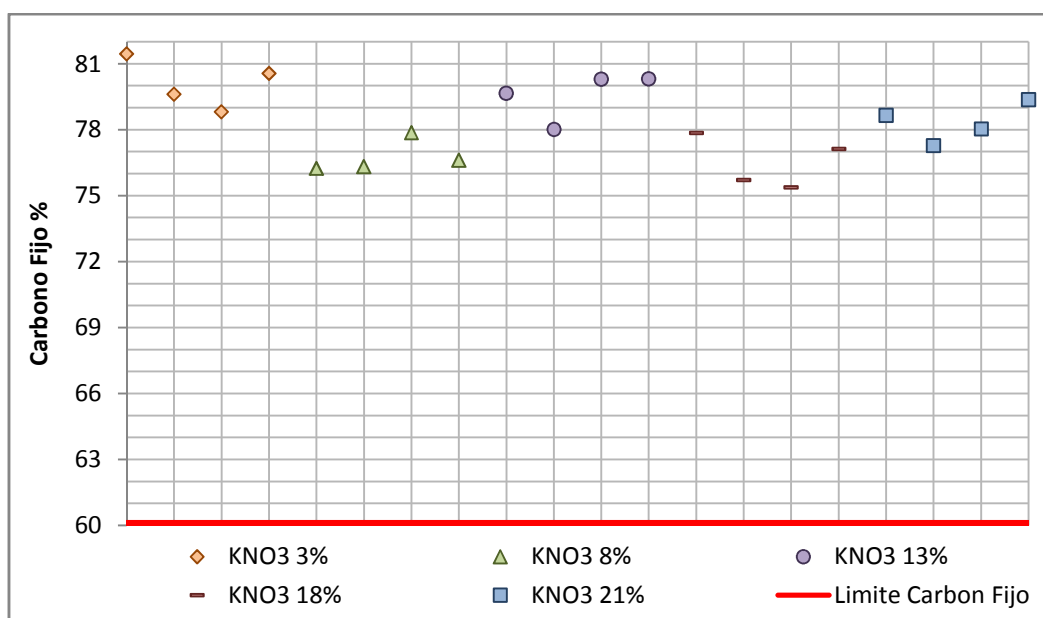


Figura 23: Porcentaje de carbono fijo para cada tratamiento de la briqueta de KNO₃

El contenido de cenizas expresado sobre materia seca de las briquetas de carbón vegetal debe ser como máximo del 18%, en la **Figura 24** se aprecia la dispersión de los porcentajes de ceniza que se obtuvo en cada una de las cuatro repeticiones de cada tratamiento con KNO_3 .

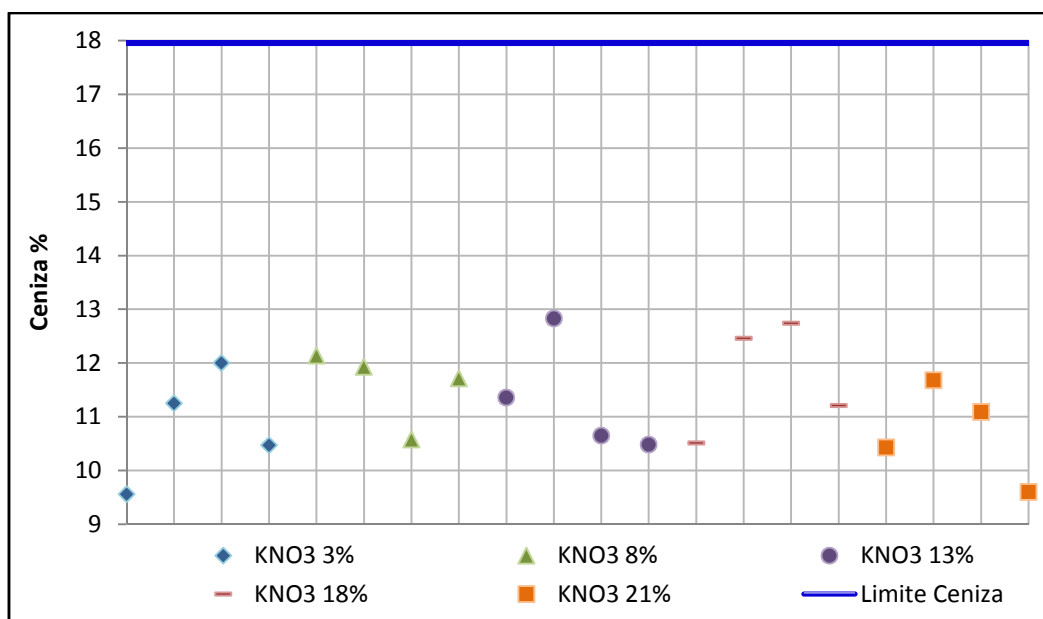


Figura 24: Porcentaje de ceniza para cada tratamiento de la briqueta de KNO_3

Con la presencia de KNO_3 al 21% en las briquetas, se mantiene porcentaje de carbono fijo y ceniza dentro de los rangos requeridos.

4.1.1.3. Prueba de fácil encendido de la briqueta KNO_3

El ensayo es empírico, y requiere establecer un grado de repetibilidad para comparar dos o más muestras de carbón, así se obtendrá un nivel de confiabilidad sobre las evaluaciones de las muestras de carbón. En la **Tabla 4.1.1.3.(A)**, se reporta los datos obtenidos en los cinco tratamientos y sus repeticiones.

Tabla 4.1.1.3.(A): Resultados de la prueba de fácil encendido, para las briquetas con KNO_3

Repetición	1	2	3	4	5	6	7	8
Constitución								
Defectos	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme
Olor	Picante Fuerte	Picante Fuerte	Picante Fuerte	Picante Fuerte	Picante Fuerte	Picante Fuerte	Picante Fuerte	Picante Fuerte
Humo	No excesivo	No excesivo	No excesivo	No excesivo	No excesivo	No excesivo	No excesivo	No excesivo
Rendimiento	(min)	Ahsover						
KNO_3 3%	75	76	78	77	79	76	77	79
KNO_3 8%	59	56	59	60	56	58	58	57
KNO_3 13%	40	36	39	37	38	38	39	40
KNO_3 18%	20	17	21	19	20	20	18	21
KNO_3 21%	9	7	6	8	9	6	8	10

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

Se desea saber si existe una diferencia significativa al aplicar los tratamientos, con una nivel significancia de $\alpha=0,05$. Así la hipótesis nula, ecuación 4.0, dice que no existe diferencia al aplicar un tratamiento u otro y la hipótesis alternativa, ecuación 4.1, postula que existe diferencia al aplicar los tratamientos.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 \quad (4.0)$$

$$H_A: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \quad (4.1)$$

Se realizaron los cálculos para aceptar o rechazar la hipótesis nula, ecuación 4.0, basados en los datos de la tabla anterior, el valor de $Z_{\alpha=0,05}$ lo obtenemos del **Anexo 1**, el valor crítico de $F_{(95\%)}$ del **Anexo 2** interpolando los grados de libertad del denominador y para el cálculo del tamaño de muestra se admite un error de 1 minuto, ya que es la apreciación del cronometro, a continuación la **Tabla 4.1.1.3.(B)**.

Tabla 4.1.1.3.(B): Cálculos del ANOVA para la prueba de fácil encendido de la briqueta KNO_3

$Z_{(\alpha=0,05)}$	n	Σx_i	S^2	μ	$gl_{trt(m-1)}$	SC_{trt}	$CM_{trt}=S^2_{trt}$	F	$F_{(95\%)}$
1,96	8	617	2,13	77	4	25220,60	6305,15	3043,87	2,65
	8	463	2,13	58					
	8	307	1,98	38	$gl_{e(N-m)}$	SC_e	$CM_e=S^2_e$		
	8	156	2,00	20	35	72,50	2,07		
	8	63	2,13	8					

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

Se observa que $F > F_{(95\%)}$, por lo tanto se concluye que las varianzas de la muestra son significativas, aceptando la hipótesis alternativa, los tratamientos no poseen la misma media.

También se desea saber, si las condiciones experimentales se mantuvieron constantes durante los tratamientos, con un nivel significancia de $\alpha=0,05$, En la ecuación 4.2 se plantea que las condiciones experimentales se mantuvieron constantes durante los tratamientos y en la ecuación 4.3 se plantea lo contrario, es decir que no son estimaciones de una misma varianza.

$$H_0: S^2_{max} = S^2_{min} \quad (4.2)$$

$$H_A: S^2_{max} > S^2_{min} \quad (4.3)$$

Se obtiene la relación entre la varianza más alta de los tratamientos con la más baja, la $S^2_{max}=2,13$ y la $S^2_{min}=1,98$: y se compara con el valor crítico $F_{(95\%)}$ del **Anexo 2**, que proviene del de los grados de libertad del numerador $n-1$ y del denominador $n-1$, donde n es el número de repeticiones, para ambos casos es 7.

Así, el resultado obtenido es $F=1,07$ y $F_{(95\%)}=3,7871$; es decir que $F < F_{(95\%)}$ y se concluye que las varianzas pueden considerarse estimaciones de una misma varianza o que las condiciones de los ensayos fueron las mismas.

4.1.1.4. Prueba en el cilindro estándar de la briqueta KNO₃

Al comparar dos muestras de briquetas de carbón vegetal, la muestra que contiene únicamente CCPA y la del tratamiento con KNO₃ al 18%, en la **Figura 25** se muestra una grafica de durabilidad con las dos curvas que describen el comportamiento típico de cada una de las muestras de carbón vegetal, ensayado en el cilindro estándar, bajo condiciones de repetibilidad

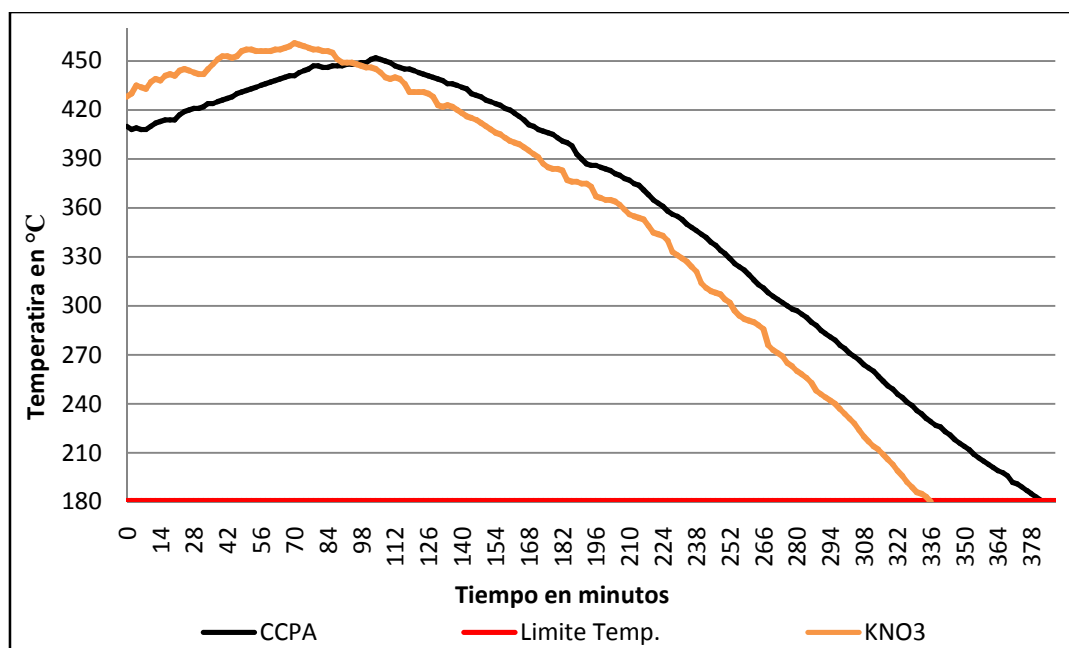


Figura 25: Briqueta de KNO₃ al 18% y la briqueta CCPA en el cilindro estándar

Para determinar el tiempo de calentamiento en el cilindro estándar se eligió el tratamiento de KNO₃ al 18% porque también alcanzó un tiempo de *ash-over* menor a los 30 minutos en la prueba de fácil encendido y su encendido no fue tan violento, los resultados de las cinco determinaciones se encuentran en la **Tabla 4.1.1.4.**, así como el

cuestionario que describe las circunstancias especiales observadas durante la prueba, que son de carácter subjetivo.

Tabla 4.1.1.4.: Resultados del cilindro estándar para las briquetas con KNO₃ al 18%

PRODUCTOS, BRIQUETA DE	TEMPERATURA MÁXIMA, t_{max}		TIEMPO DE TEMPERATURA ESTÁNDAR, T_{180}	
	Media, °C	Desviación estándar, °C	Media, minutos	Desviación estándar, minutos
KNO ₃	459	6	332	7
CCPA	453	5	358	6
CIRCUNSTANCIAS ESPECIALES				
La muestra probada tiene gran cantidad de finos?				
Se observó violentas llamas/chispas/generación de humo en el encendido?				X
El producto fue difícil de encender; se mantuvo la antorcha por 50 segundos?				
El producto fue difícil de encender; el encendido inicial fue de 1 hora?				
El residuo de cenizas contenía grandes cantidades de producto sin quemar después del la prueba?				

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

El encendido fue violento, con grandes llamas y chispas, pero notoriamente más rápido que en el caso de la briketa de puro CCPA. Al arder el KNO₃, en una reacción endotérmica consume parte de la energía del carbón, reduciendo el tiempo de la temperatura sobre los 180°C. La muestra de carbón posee el mismo olor fuerte y picante a CCPA y ya ardiendo la cantidad de humo que emana no es excesivo.

4.1.2. Nitrato de Sodio NaNO₃

El nitrato del sodio, es muy similar al de potasio, de igual manera no es combustible, pero facilita la combustión de otras sustancias, se utiliza como un fertilizante y en la conservación de alimentos, pero hay teorías que indican que el uso del nitrato sodio como conservante puede causar cáncer y es conocido como E251, es también un precursor de la pólvora negra, en sustituto del nitrato de potasio.

Su almacenaje debe ser en recipientes de vidrio o plástico, manteniéndose separado de sustancias combustibles y reductoras, para evitar posibles explosiones o incendios.

4.1.2.1. Porcentaje de materia prima e insumos de la briqueta NaNO₃

Se tomaron en cuenta experimentos exploratorios ya realizados, tanto en planta y en laboratorio para definir los niveles, de ahí que cada tratamiento fue aplicado de manera aleatoria en la U.E., en la **Tabla 4.1.2.1.**, constan los porcentajes aportados de cada insumo y el aditivo nitrato de sodio, que conforman la briqueta de laboratorio.

Tabla 4.1.2.1.: Porcentajes de insumos de cada tratamiento de la briqueta de NaNO₃

TRATAMIENTOS		MASA (g)	DENSIDAD (g/cm ³)	CCPA	ALMIDÓN	ADITIVO	HUMEDAD
NaNO ₃	3%	28,59	1,94	91%	5%	3%	2%
NaNO ₃	8%	27,14	1,85	85%	5%	8%	2%
NaNO ₃	13%	25,48	1,73	80%	5%	13%	2%
NaNO ₃	18%	24,19	1,64	75%	5%	18%	2%
NaNO ₃	21%	23,08	1,57	72%	5%	21%	2%

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

En el producto terminado, la humedad de las briquetas no debe superar el 8% según los requisitos del apartado 2.2.6.1. Puede notarse que la masa promedio y la densidad de las briquetas del tratamiento NaNO₃ 18%, son menores a la masa promedio y la densidad de la briqueta CCPA en un 21%, esto se ve reflejado en un aumento directamente proporcional del volumen del producto.

4.1.2.2. Análisis inmediato de la briqueta NaNO₃

Este análisis corresponde a los ensayos aplicados para obtener los porcentajes, expresado sobre materia seca, de materia volátil, ceniza y carbono fijo. El contenido de humedad en la muestra no se tomará en cuenta a la hora de presentar los resultados, ya que la humedad debe determinarse a la par con el contenido de materia volátil, de manera que se pueda hacer la corrección apropiada. En la **Tabla 4.1.2.2.**, se encuentra únicamente la media de las cuatro repeticiones del análisis inmediato para cada uno de los tratamientos del NaNO₃, cumpliendo con la precisión establecida por el método.

Tabla 4.1.2.2. Análisis inmediato de cada tratamiento de la briqueta de NaNO₃

PROMEDIO			
TRATAMIENTOS	Volátiles	Carbón Fijo	Ceniza
NaNO ₃ 3%	10,72%	79,24%	10,04%
NaNO ₃ 8%	11,29%	77,45%	11,26%
NaNO ₃ 13%	13,08%	77,50%	9,43%
NaNO ₃ 18%	10,33%	78,53%	11,15%
NaNO ₃ 21%	12,85%	76,84%	10,31%
Precisión	Para Volátiles >10% debe ser 0,3% en valor absoluto	Diferencia máxima aceptada entre resultados	Para Ceniza ≥10% debe ser 2,0% del resultado medio

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

El porcentaje de carbono fijo expresado sobre materia seca de briquetas de carbón vegetal debe ser mínimo del 60%, en la **Figura 26** se aprecia la dispersión de los porcentajes de carbono fijo que se obtuvo en cada una de las cuatro repeticiones de cada tratamiento con NaNO₃.

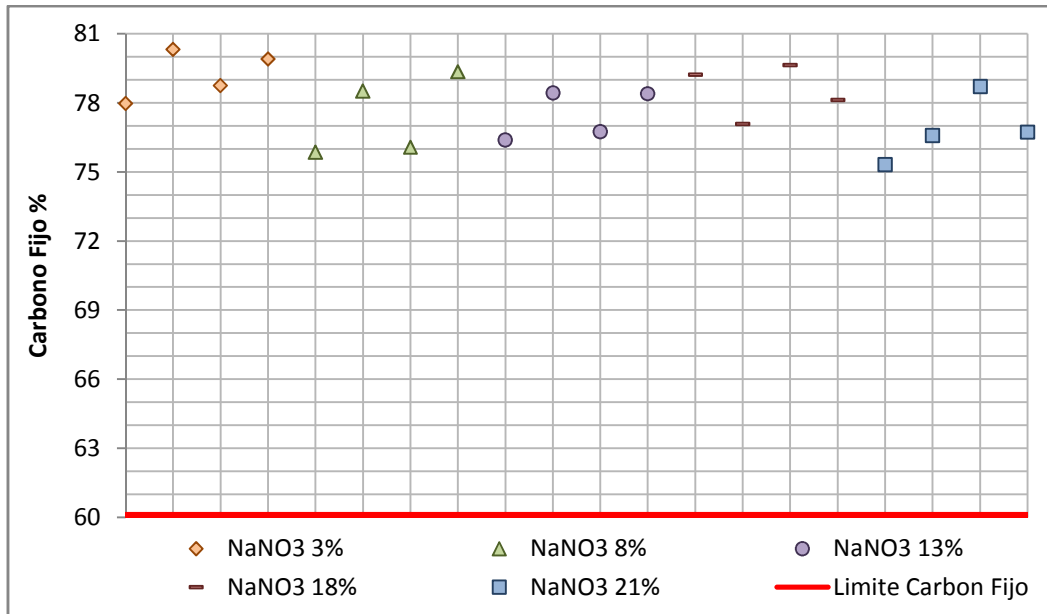


Figura 26: Porcentaje de carbono fijo para cada tratamiento de la briqueta NaNO₃

El contenido de cenizas expresado sobre materia seca de las briquetas de carbón vegetal debe ser como máximo del 18%, en la **Figura 27** se aprecia la dispersión de los porcentajes de ceniza que se obtuvo en cada una de las cuatro repeticiones de cada tratamiento con NaNO₃.

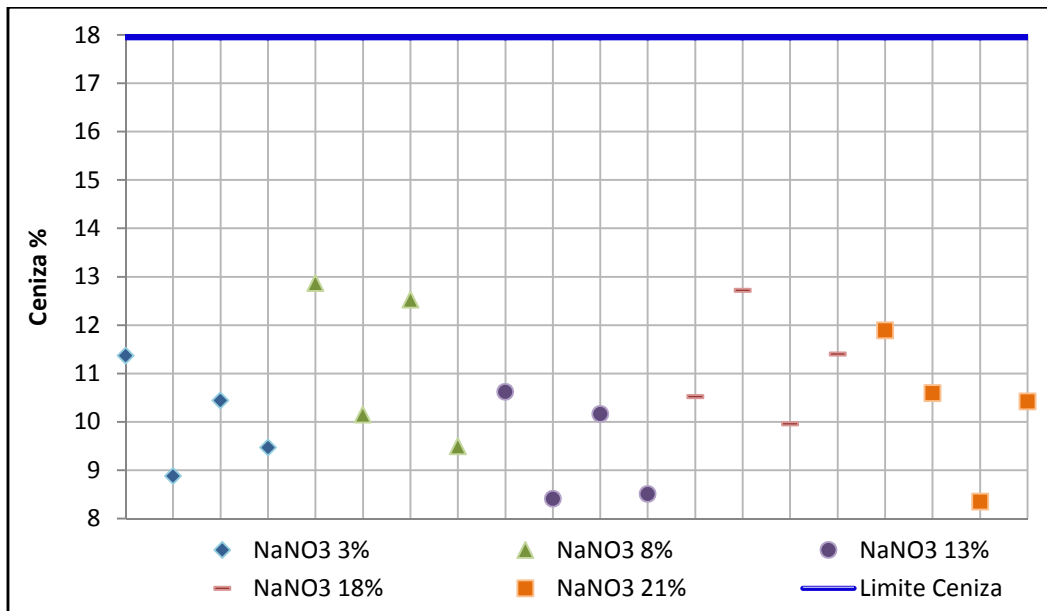


Figura 27: Porcentaje de ceniza para cada tratamiento de la briqueta NaNO₃

Con la presencia de NaNO_3 al 21% en las briquetas, se mantiene porcentaje de carbono fijo y ceniza dentro de los rangos requeridos.

El análisis del contenido de materias volátiles para los tratamientos con KNO_3 y con NaNO_3 debe realizarse con mayor cuidado, debido a la naturaleza del aditivo, al estar en contacto con una fuente del calor tan fuerte como la mufla, se descompone con facilidad, impidiendo tomar en cuenta la masa de la materia volátil en el conteo de masa.

4.1.2.3. Prueba de fácil encendido de la briqueta NaNO_3

El ensayo es empírico, y requiere establecer un grado de repetibilidad para comparar dos o más muestras de carbón, así se obtendrá un nivel de confiabilidad sobre las evaluaciones de las muestras de carbón.

En la **Tabla 4.1.2.3.(A)**, se reportan los datos obtenidos en los cinco tratamientos y sus repeticiones, también la constitución de las briquetas, es decir la comprobación de la compactación e integración de la masa, así como su olor antes y después de encenderse; los registros de humo se toman como percepciones generales y empíricas del desenvolvimiento del producto, se refiere a picante fuerte, en relación al olor que posee la briqueta CCPA y es característico de la Palma Africana.

Tabla 4.1.2.3.(A): Resultados de la prueba de fácil encendido, para las briquetas con NaNO_3

Repetición	1	2	3	4	5	6	7	8
Constitución								
Defectos	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme
Olor	Picante Fuerte	Picante Fuerte	Picante Fuerte	Picante Fuerte	Picante Fuerte	Picante Fuerte	Picante Fuerte	Picante Fuerte
Humo	No excesivo	No excesivo	No excesivo	No excesivo	No excesivo	No excesivo	No excesivo	No excesivo
Rendimiento (min)								
NaNO₃ 3%	98	100	99	102	101	100	99	98
NaNO₃ 8%	73	75	72	72	73	73	72	70
NaNO₃ 13%	47	46	49	45	47	48	46	49
NaNO₃ 18%	25	25	28	26	27	28	25	28
NaNO₃ 21%	13	11	10	9	12	11	12	9

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

Se desea saber si existe una diferencia significativa al aplicar los tratamientos, con un nivel significancia de $\alpha=0,05$. Así la hipótesis nula, ecuación 4.4, dice que no existe diferencia al aplicar un tratamiento u otro y la hipótesis alternativa, ecuación 4.5, postula que existe diferencia al aplicar los tratamientos.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 \quad (4.4)$$

$$H_A: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \quad (4.5)$$

Se hacen los cálculos para aceptar o rechazar la hipótesis nula, ecuación 4.4, basados en los datos de la tabla anterior, el valor de $Z_{\alpha=0,05}$ lo obtenemos del **Anexo 1**, el valor crítico de $F_{(95\%)}$ del **Anexo 2** interpolando los grados de libertad del denominador.

Para el cálculo del tamaño de muestra se admite un error de 1 minuto, ya que es la apreciación del cronometro, a continuación la **Tabla 4.1.2.3.(B)**

Tabla 4.1.2.3.(B): Cálculos del ANOVA para la prueba de fácil encendido de la briqueta NaNO_3

$Z_{(\alpha=0,05)}$	n	Σx_i	S^2	μ	$gl_{irt(m-1)}$	SC_{irt}	$CM_{irt}=S^2_{irt}$	F	$F_{(95\%)}$
1,96	8	797	1,98	100	4	40411,15	10102,79	4936,79	2,65
	8	580	2,00	73					
	8	377	2,13	47	$gl_{e(N-m)}$	SC_e	$CM_e=S^2_e$		
	8	212	2,00	27	35	71,63	2,05		
	8	87	2,13	11					

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

Se observa que $F > F_{(95\%)}$, por lo tanto se concluye que las varianzas de la muestra son significativas, aceptando la hipótesis alternativa, los tratamientos no poseen la misma media.

También se desea saber, si las condiciones experimentales se mantuvieron constantes durante los tratamientos, con un nivel significancia de $\alpha=0,05$. En la ecuación 4.6 se plantea que las condiciones experimentales se mantuvieron constantes durante los tratamientos y en la ecuación 4.7 se plantea lo contrario, es decir que no son estimaciones de una misma varianza.

$$H_0: S^2_{max} = S^2_{min} \quad (4.6)$$

$$H_A: S^2_{max} > S^2_{min} \quad (4.7)$$

El resultado es la relación entre la varianza más alta de los tratamientos con la más baja, la $S^2_{max}=2,13$ y la $S^2_{min}=1,98$; y la comparamos con el valor crítico $F_{(95\%)}$ del **Anexo 2**, que proviene del de los grados de libertad del numerador $n-1$ y del denominador $n-1$, donde n es el número de repeticiones, para ambos casos es 7.

Así, se tiene que $F=1,07$ y $F_{(95\%)}=3,7871$; es decir que $F < F_{(95\%)}$ y concluimos que las varianzas pueden considerarse estimaciones de una misma varianza o que las condiciones de los ensayos fueron las mismas.

4.1.2.4. Prueba en el cilindro estándar de la briqueta NaNO₃

Al comparar las dos muestras de briquetas de carbón vegetal; la muestra que contiene únicamente CCPA y la del tratamiento con NaNO₃ al 18%, en la **Figura 28** se muestra una grafica de durabilidad con las dos curvas que describen el comportamiento de ambas muestras de carbón vegetal en el cilindro estándar.

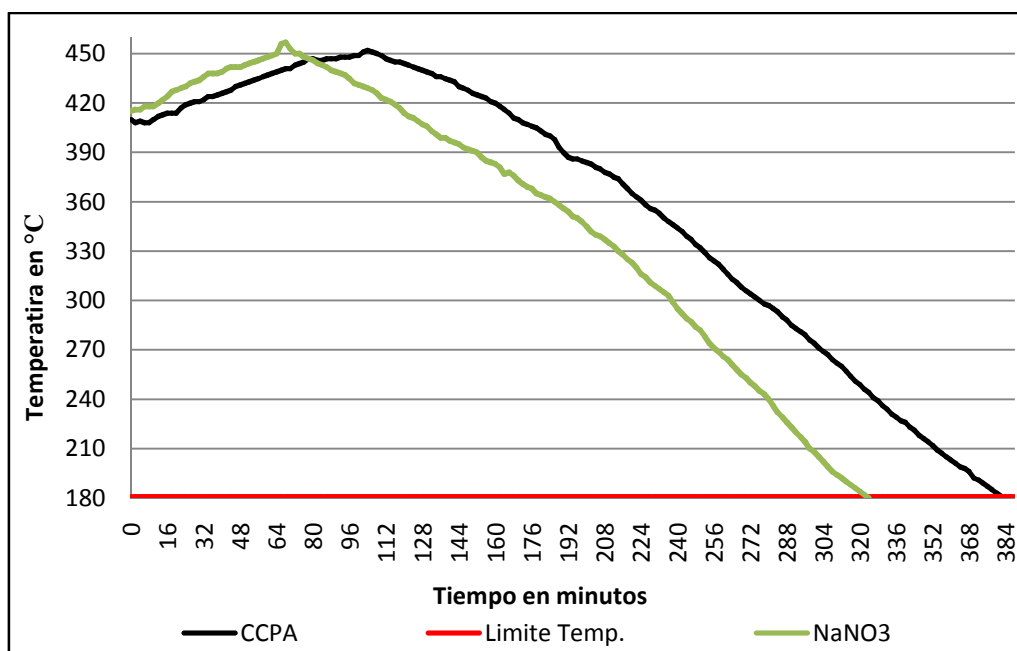


Figura 28: Briqueta de NaNO₃ al 18% y la briqueta CCPA en el cilindro estándar

Para realizar la determinación del tiempo de calentamiento en el cilindro estándar se eligió el tratamiento de NaNO₃ al 18% sobre el tratamiento NaNO₃ al 21%, debido a que su encendido fue menos violento que el de NaNO₃ 21%, y porque también alcanzó un tiempo de *ash-over* menor a los 30 minutos en la prueba de fácil encendido.

Los datos estadísticos de las cinco determinaciones se encuentran en la **Tabla 4.1.2.4.**, así como el cuestionario que describe las circunstancias especiales observadas durante la prueba.

Tabla 4.1.2.4.: Resultados del cilindro estándar para las briquetas con NaNO₃ al 18%

PRODUCTOS, BRIQUETA DE	TEMPERATURA MÁXIMA, <i>t_{max}</i>		TIEMPO DE TEMPERATURA ESTÁNDAR, <i>T₁₈₀</i>	
	Media, °C	Desviación estándar, °C	Media, minutos	Desviación estándar, minutos
NaNO ₃	454	4	324	7
CCPA	453	5	358	6
CIRCUNSTANCIAS ESPECIALES				
La muestra probada tiene gran cantidad de finos?				
Se observó violentas llamas/chispas/generación de humo en el encendido?				X
El producto fue difícil de encender; se mantuvo la antorcha por 50 segundos?				
El producto fue difícil de encender; el encendido inicial fue de 1 hora?				
El residuo de cenizas contenía grandes cantidades de producto sin quemar después de la prueba?				

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

El encendido fue violento, con grandes llamas y chispas, pero notoriamente más rápido que en el caso de la briketa de puro CCPA. Al arder el NaNO₃, en una reacción endotérmica consume parte de la energía del carbón, reduciendo el tiempo de la temperatura sobre los 180°C y la cantidad de humo que emana no es excesivo.

4.2. Aditivos vegetales

Los residuos forestales y de plantas agrícolas leñosas constituyen recursos potenciales con interesantes posibilidades de aprovechamiento tecnológico, entre los que cabe destacar el empleo de procesos termoquímicos, combustión, gasificación y pirólisis.

Las briquetas de carbón vegetal son un ejemplo de esta posibilidad, así mismo la combinación de CCPA con diferentes materiales vegetales, considerados residuos o desperdicios, puede ser una alternativa para aprovechar tanto las cualidades del carbón de cascarilla de Palma Africana como de otra biomasa, en la producción de un combustible que posee las ventajas de ambos.

4.2.1. Aserrín

También conocido como viruta, es un residuo vegetal, producto del aserrado de la madera, sus usos son muy variados, desde la fertilización de los suelos hasta la producción de muebles o paneles de aglomerado, es muy fácil de conseguir debido a la abundancia; al utilizarlo como aditivo en las briquetas de carbón vegetal, de antemano sabemos que el material posee grandes cantidades de agua, aportará con materia volátil que mejorará el proceso de encendido en las briquetas de carbón.

4.2.1.1. Porcentaje de materia prima e insumos de la briqueta con aserrín

Para definir los niveles, se tomó en cuenta cuanto aserrín puede mezclarse con el carbón molido y el aglutinante para formar la masa que se prensará y formará las briquetas, de ahí que cada tratamiento fue aplicado de manera aleatoria en la U.E., en la **Tabla 4.2.1.1.**, constan los porcentajes aportados de cada insumo y el aditivo aserrín, que conforman la briqueta de laboratorio.

Tabla 4.2.1.1.: Porcentajes de insumos de cada tratamiento de la briqueta de aserrín

TRATAMIENTOS		MASA (g)	DENSIDAD (g/cm ³)	CCPA	ALMIDÓN	ADITIVO	HUMEDAD
ASERRÍN	2%	24,49	1,66	89%	7%	2%	2%
ASERRÍN	4%	22,94	1,56	88%	7%	4%	2%
ASERRÍN	6%	21,75	1,48	86%	6%	6%	2%
ASERRÍN	8%	19,58	1,33	84%	6%	8%	2%

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

En el producto terminado, la humedad de las briquetas no debe superar el 8% según los requisitos del apartado 2.2.6.1. Puede notarse que la masa promedio y la densidad de las briquetas del tratamiento aserrín al 8%, son menores a la masa promedio y la densidad de la briqueta CCPA en un 36%, esto se ve reflejado en un aumento directamente proporcional del volumen del producto.

4.2.1.2. Análisis inmediato de la briqueta con aserrín

Este análisis corresponde a los ensayos para obtener los porcentajes, expresado sobre materia seca, de materia volátil, ceniza y carbono fijo. El contenido de humedad en la muestra no se tomará en cuenta a la hora de presentar los resultados, ya que la humedad debe determinarse a la par con el contenido de materia volátil, de manera que se pueda hacer la corrección apropiada.

En la **Tabla 4.2.1.2.**, se encuentran únicamente la media de las cuatro repeticiones del análisis inmediato para cada uno de los tratamientos del aserrín, cumpliendo con la precisión establecida por el método.

Tabla 4.2.1.2.: Análisis inmediato de cada tratamiento de la briqueta de aserrín

PROMEDIO			
TRATAMIENTOS	Volátiles	Carbón Fijo	Ceniza
ASERRÍN 2%	12,55%	73,63%	13,82%
ASERRÍN 4%	17,16%	67,22%	15,62%
ASERRÍN 6%	21,77%	60,88%	17,35%
ASERRÍN 8%	26,38%	54,50%	19,12%
Precisión	Para Volátiles >10% debe ser 0,3% en valor absoluto	Diferencia máxima aceptada entre resultados	Para Ceniza \geq10% debe ser 2,0% del resultado medio

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

El porcentaje de carbono fijo expresado sobre materia seca de briquetas de carbón vegetal, debe ser como mínimo del 60% y el contenido de cenizas debe ser como máximo del 18%, con la presencia de aserrín al 8% en las briquetas, se obtiene porcentaje de carbono fijo por debajo de los rangos requeridos, debido a que el aserrín es en su totalidad materia sin carbonizar.

Debido a la proporcionalidad que existe entre estos componentes, el porcentaje de ceniza aumenta por encima de su límite. En la **Figura 29** se aprecia la dispersión de los porcentajes de carbono fijo que se obtuvo en cada una de las cuatro repeticiones de cada tratamiento con aserrín.

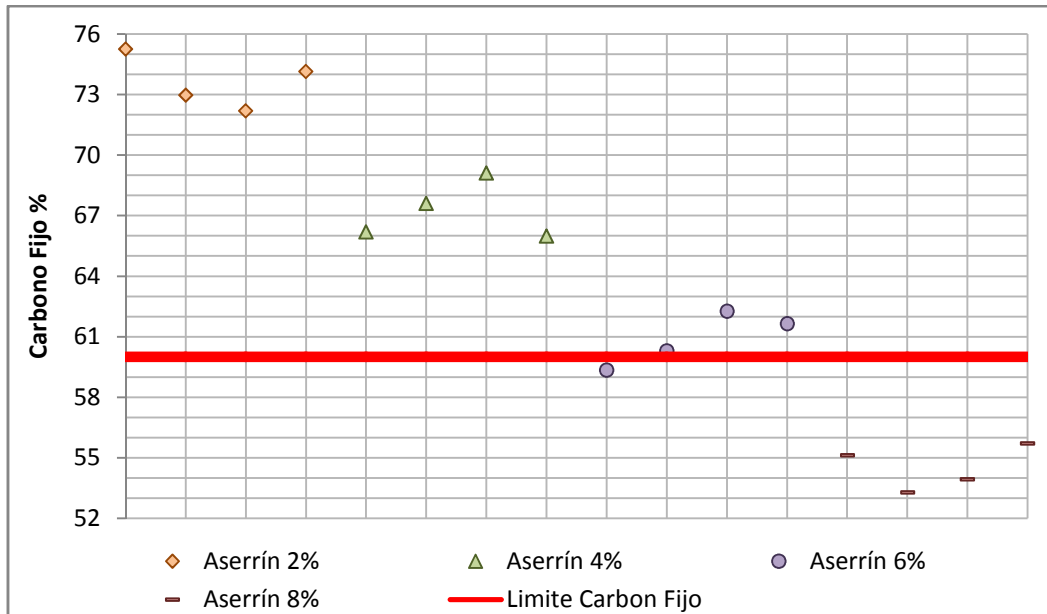


Figura 29: Porcentaje de carbono fijo para cada tratamiento de la briqueta con aserrín

La **Figura 30** muestra la dispersión de los porcentajes de ceniza que se obtuvo para cada una de las cuatro repeticiones de cada tratamiento, donde el tratamiento de aserrín al 6% y el de 8% se encuentra por encima del límite de ceniza permisible en las briquetas del carbón vegetal.

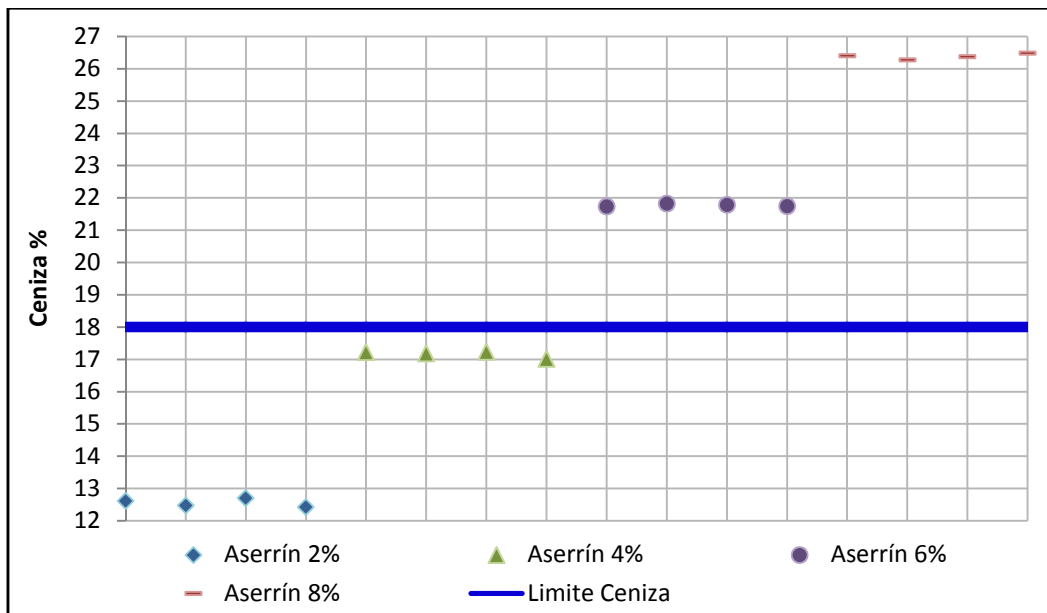


Figura 30: Porcentaje de ceniza para cada tratamiento de la briqueta con aserrín

4.2.1.3. Prueba de fácil encendido de la briqueta con aserrín

El ensayo es empírico, y requiere establecer un grado de repetibilidad para comparar dos o más muestras de carbón, así se obtendrá un nivel de confiabilidad sobre las evaluaciones de las muestras de carbón. En la **Tabla 4.2.1.3.(A)**, se reporta los datos obtenidos en los cinco tratamientos y sus repeticiones.

Tabla 4.2.1.3.(A): Resultados de la prueba de fácil encendido, para las briquetas con aserrín

	Repetición									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Constitución										
Defectos	No Conforme	No Conforme	No Conforme	No Conforme	No Conforme	No Conforme	No Conforme	No Conforme	No Conforme	No Conforme
Olor	Madera	Madera	Madera	Madera	Madera	Madera	Madera	Madera	Madera	Madera
Humo	excecivo	excecivo	excecivo	excecivo	excecivo	excecivo	excecivo	excecivo	excecivo	excecivo
Rendimiento	(min)					Ahsover				
ASERRÍN 2%	96	98	97	93	95	94	94	96	96	97
ASERRÍN 4%	72	73	70	70	73	74	69	71	72	73
ASERRÍN 4%	40	41	40	43	44	43	42	44	44	41
ASERRÍN 6%	17	18	16	18	19	17	20	19	20	21

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

Se desea saber si existe una diferencia significativa al aplicar los tratamientos, con un nivel significancia de $\alpha=0,05$. Así la hipótesis nula, ecuación 4.8, dice que no existe diferencia al aplicar un tratamiento u otro y la hipótesis alternativa, ecuación 4.9, postula que existe diferencia al aplicar los tratamientos.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \quad (4.8)$$

$$H_A: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \quad (4.9)$$

Se realizaron los cálculos para aceptar o rechazar la hipótesis nula, ecuación 4.8, basados en los datos de la tabla anterior, el valor de $Z_{\alpha=0,05}$ lo obtenemos del **Anexo**

1, el valor crítico de $F_{(95\%)}$ del **Anexo 2** interpolando los grados de libertad del denominador y para el cálculo del tamaño de muestra se admite un error de 1 minuto, ya que es la apreciación del cronometro, a continuación la **Tabla 4.2.1.3.(B)**.

Tabla 4.2.1.3.(B): Cálculos del ANOVA para la prueba de fácil encendido de la briqueta con aserrín

$Z_{(\alpha=0,05)}$	n	Σx_i	S^2	μ	$gl_{trt(m-1)}$	SC_{trt}	$CM_{trt}=S^2_{trt}$	F	$F_{(95\%)}$
1,96	10	956	2,49	96	3	34073,40	11357,80	4415,56	2,87
	10	717	2,68	72					
	10	422	2,62	42	$gl_{e(N-m)}$	SC_e	$CM_e=S^2_e$		
	10	185	2,50	19	36	92,60	2,57		
	10	956	2,49	96					

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

Se observa que $F > F_{(95\%)}$, por lo tanto se concluye que las varianzas de la muestra son significativas, aceptando la hipótesis alternativa, los tratamientos no poseen la misma media.

También se desea saber, si las condiciones experimentales se mantuvieron constantes durante los tratamientos, con un nivel significancia de $\alpha=0,05$, En la ecuación 4.10 se plantea que las condiciones experimentales se mantuvieron constantes durante los tratamientos y en la ecuación 4.11 se plantea lo contrario, es decir que no son estimaciones de una misma varianza.

$$H_0: S^2_{max} = S^2_{min} \quad (4.10)$$

$$H_A: S^2_{max} > S^2_{min} \quad (4.11)$$

Se obtiene la relación entre la varianza más alta de los tratamientos con la más baja, la $S^2_{max}=2,68$ y la $S^2_{min}=2,49$: y se compara con el valor crítico $F_{(95\%)}$ del **Anexo 2**,

que proviene del de los grados de libertad del numerador $n-1$ y del denominador $n-1$, donde n es el número de repeticiones, para ambos casos es 9.

Así, se obtiene que $F=1,08$ y $F_{(95\%)}=3,1789$; es decir que $F < F_{(95\%)}$ y se concluye que las varianzas pueden considerarse estimaciones de una misma varianza o que las condiciones de los ensayos fueron las mismas.

4.2.1.4. Prueba en el cilindro estándar de la briqueta con aserrín

Muestras de dos briquetas de carbón vegetal se comparan; la muestra que contiene únicamente CCPA y la del tratamiento con Aserrín al 8%, en la **Figura 31** se muestra una grafica de durabilidad con las dos curvas que describen el comportamiento de ambas muestras de carbón vegetal en el cilindro estándar.

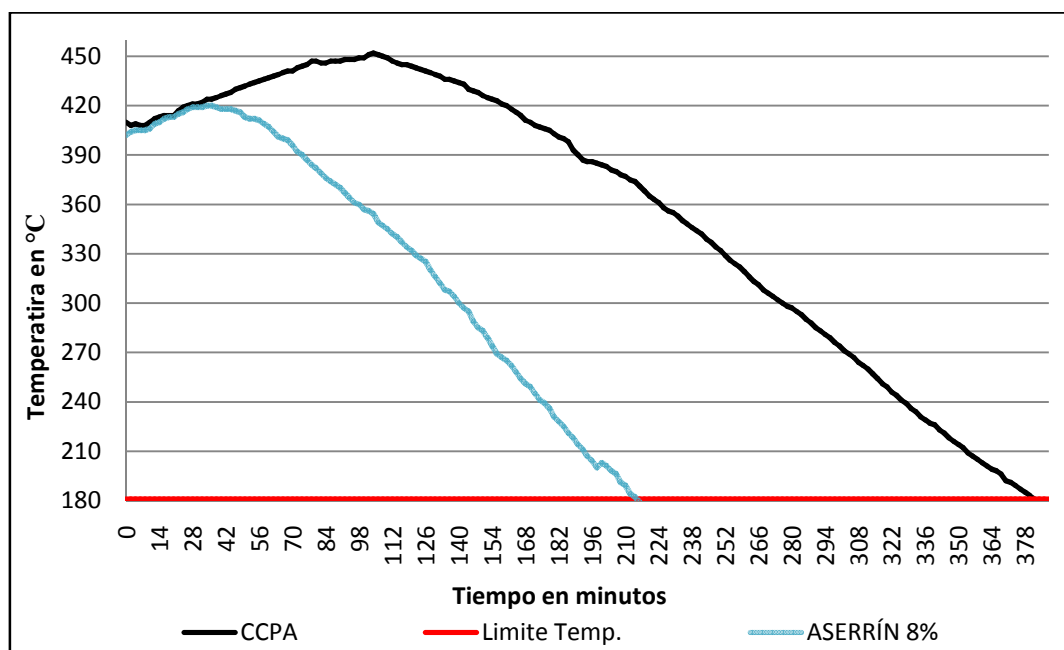


Figura 31: Briqueta de aserrín al 8% y la briqueta CCPA en el cilindro estándar

Para realizar la determinación del tiempo de calentamiento en el cilindro estándar se eligió el tratamiento de Aserrín al 8% porque alcanzó un tiempo de *ash-over* menor a los 30 minutos en la prueba de fácil encendido, los datos estadísticos de las cinco determinaciones se encuentran en la **Tabla 4.2.1.4.**, así como el cuestionario que describe las circunstancias especiales observadas durante la prueba, que son de carácter subjetivo.

Tabla 4.2.1.4.: Resultados del cilindro estándar para las briquetas con Aserrín al 8%

PRODUCTOS, BRIQUETA DE	TEMPERATURA MÁXIMA, t_{max}		TIEMPO DE TEMPERATURA ESTÁNDAR, T_{180}	
	Media, °C	Desviación estándar, °C	Media, minutos	Desviación estándar, minutos
Aserrín	425	6	212	10
CCPA	453	5	358	6
CIRCUNSTANCIAS ESPECIALES				
La muestra probada tiene gran cantidad de finos?				
Se observó violentas llamas/chispas/generación de humo en el encendido?				
El producto fue difícil de encender; se mantuvo la antorcha por 50 segundos?				
El producto fue difícil de encender; el encendido inicial fue de 1 hora?				
El residuo de cenizas contenía grandes cantidades de producto sin quemar después del la prueba?				
				X

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

En la bandeja de cenizas se pudo visualizar, aparte de la ceniza, carbón sin quemar que se desmoronaba y caía de la parrilla, esto es perjudica tanto el desempeño como capacidad del usuario de manipular el carbón, notándose quebradizo. Debido a su elevado contenido de ceniza es muy fácil que esta se levante, además es claramente menos durable que la briketa de puro CCPA. La muestra de carbón posee el un olor a madera y ya ardiendo la cantidad de humo que emana es excesivo.

4.2.2. Cisco

En los procesos para la producción de carbón, como el de la parva, que es empírico, el rendimiento es pobre y además queda siempre una parte de carbón vegetal que no se consigue recoger; se convierte en una fuente constante de cisco a bajo costo, porque este no tiene ningún uso comercial, en ocasiones es utilizado para el siguiente ciclo de parva. Existe la posibilidad de producirlo a partir de residuos de madera y así ahorrar los costos de transporte del cisco artesanal, desde su lugar de origen hasta la planta.

4.2.2.1. Porcentaje de materia prima e insumos de la briqueta con cisco

Se estableció el 50% de cisco como el límite de los tratamientos, debido a que se espera seguir utilizando el carbón de cascarilla de Palma Africana como insumo principal, de ahí que cada tratamiento fue aplicado de manera aleatoria en la U.E., en la **Tabla 4.2.2.1.**, constan los porcentajes aportados de cada insumo y el aditivo nitrato de sodio, que conforman la briqueta de laboratorio.

Tabla 4.2.2.1.: Porcentajes de insumos de cada tratamiento de la briqueta con cisco

TRATAMIENTOS	MASA DENSIDAD		CCPA	ALMIDÓN	ADITIVO	HUMEDAD
	(g)	(g/cm ³)				
CISCO 10%	24,27	1,65	83%	5%	10%	2%
CISCO 20%	22,59	1,54	72%	6%	20%	2%
CISCO 30%	21,37	1,45	62%	6%	30%	2%
CISCO 40%	20,07	1,36	51%	7%	40%	2%
CISCO 50%	18,48	1,26	40%	8%	50%	2%

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

En el producto terminado, la humedad de las briquetas no debe superar el 8% según los requisitos del apartado 2.2.6.1. Puede notarse que la masa promedio y la densidad de las briquetas del tratamiento cisco al 50%, son menores a la masa promedio

y la densidad de la briqueta CCPA en un 40%, esto se ve reflejado en un aumento directamente proporcional del volumen del producto.

4.2.2.2. Análisis inmediato de la briqueta con cisco

Este análisis corresponde a los ensayos hechos para obtener los porcentajes, expresados sobre materia seca, de materia volátil, ceniza y carbono fijo. El contenido de humedad en la muestra no se tomará en cuenta a la hora de presentar los resultados, ya que la humedad debe determinarse a la par con el contenido de materia volátil, de manera que se pueda hacer la corrección apropiada. En la **Tabla 4.2.2.2.**, se encuentran únicamente la media de las cuatro repeticiones del análisis inmediato para cada uno de los tratamientos con cisco, cumpliendo con la precisión establecida por el método.

Tabla 4.2.2.2.: Análisis inmediato de cada tratamiento de la briqueta con cisco

PROMEDIO			
TRATAMIENTOS	Volátiles	Carbón Fijo	Ceniza
CISCO 10%	9,86%	77,39%	12,75%
CISCO 20%	11,95%	74,78%	13,27%
CISCO 30%	14,60%	72,17%	13,23%
CISCO 40%	15,91%	69,56%	14,53%
CISCO 50%	17,77%	67,07%	15,16%
Precisión	Para Volátiles >10% debe ser 0,3% en valor absoluto	Diferencia máxima aceptada entre resultados	Para Ceniza ≥10% debe ser 2,0% del resultado medio

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

El porcentaje de carbono fijo expresado sobre materia seca de briquetas de carbón vegetal debe ser como mínimo del 60%, en la **Figura 32** se aprecia la dispersión de los porcentajes de carbono fijo que se obtuvo en cada una de las cuatro repeticiones de cada tratamiento con cisco.

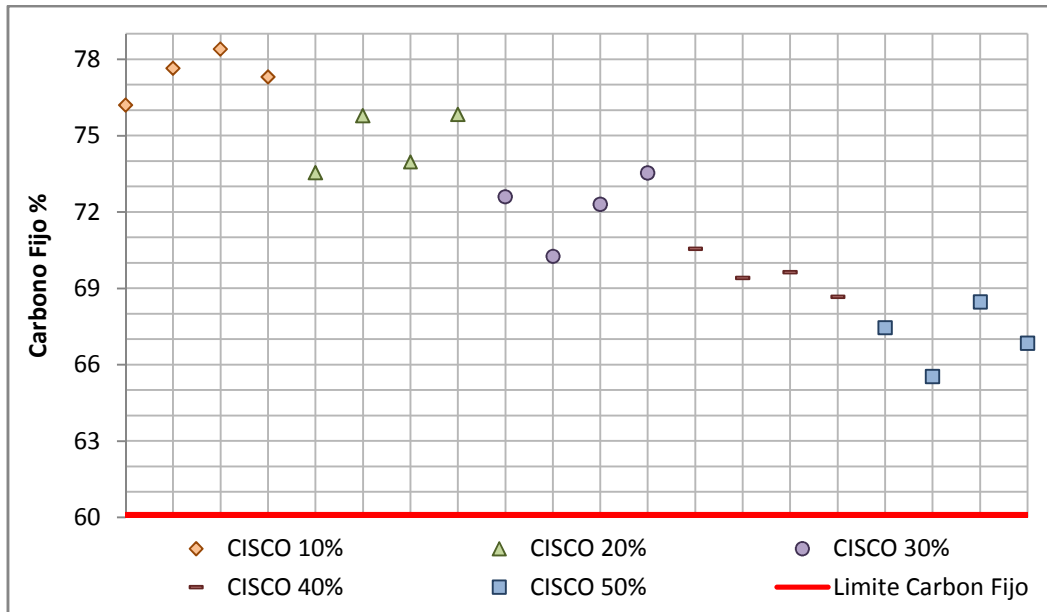


Figura 32: Porcentaje de carbono fijo para cada tratamiento de la briqueta con cisco

El contenido de cenizas expresado sobre materia seca de las briquetas de carbón vegetal debe ser como máximo del 18%, en la **Figura 33** se aprecia la dispersión de los porcentajes de ceniza que se obtuvo en cada una de las cuatro repeticiones de cada tratamiento con cisco.

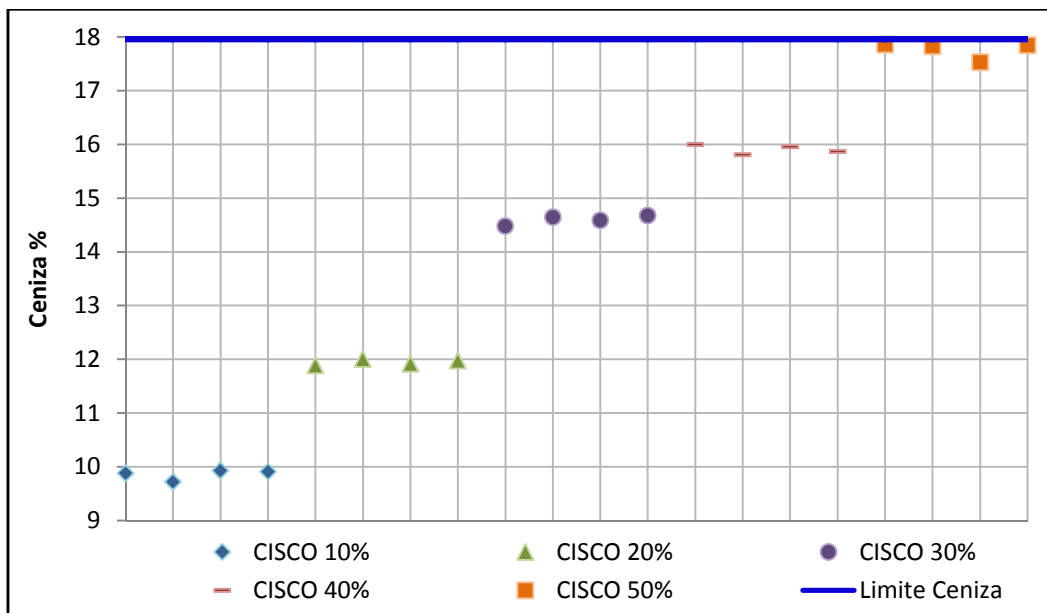


Figura 33: Porcentaje de ceniza para cada tratamiento de la briqueta con cisco

Con la presencia de CISCO al 50% en las briquetas, el porcentaje de ceniza se encuentra al borde de la restricción, pero aún es aceptable. La disminución en el porcentaje de carbono fijo, es a causa de que el cisco posee mayor cantidad de materia volátil, en esta encuentra, tanto producto sin carbonizar como carbón de madera, pero en pequeños pedazos que fácilmente pueden mezclarse con el CCPA.

4.2.2.3. Prueba de fácil encendido de la briketa con cisco

El ensayo es empírico, y requiere establecer un grado de repetibilidad para comparar dos o más muestras de carbón, así se obtendrá un nivel de confiabilidad sobre las evaluaciones de las muestras de carbón.

En la **Tabla 4.2.2.3.(A)** se reporta los datos obtenidos en los cinco tratamientos y sus repeticiones, también la constitución de las briquetas, es decir la comprobación de la compactación e integración de la masa, así como su olor antes y después de encenderse; los registros de humo se toman como percepciones generales y empíricas del desenvolvimiento del producto.

Tabla 4.2.2.3.(A): Resultados de la prueba de fácil encendido, para las briquetas con cisco

Repeticón	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Constitución										
Defectos	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme
Olor	Carbón de maderas	Carbón de maderas	Carbón de maderas	Carbón de maderas	Carbón de maderas	Carbón de maderas	Carbón de maderas	Carbón de maderas	Carbón de maderas	Carbón de maderas
Humo	No excecivo	No excecivo	No excecivo	No excecivo	No excecivo	No excecivo	No excecivo	No excecivo	No excecivo	No excecivo
Rendimiento	(min)					Ahsover				
CISCO 10%	127	128	128	129	131	127	129	126	127	127
CISCO 20%	93	90	91	92	91	94	89	92	92	93
CISCO 30%	63	60	62	60	60	63	64	61	63	63
CISCO 40%	39	36	40	38	39	38	37	40	36	39
CISCO 50%	23	19	21	20	21	22	19	23	21	23

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

Se desea saber si existe una diferencia significativa al aplicar los tratamientos, con un nivel significancia de $\alpha=0,05$. Así la hipótesis nula, ecuación 4.12, dice que no existe diferencia al aplicar un tratamiento u otro y la hipótesis alternativa, ecuación 4.13, postula que existe diferencia al aplicar los tratamientos.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 \quad (4.12)$$

$$H_A: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \quad (4.13)$$

Se han hecho los cálculos para aceptar o rechazar la hipótesis nula, ecuación 4.12, basados en los datos de la tabla anterior, a continuación la **Tabla 4.2.2.3.(B)**.

Tabla 4.2.2.3.(B): Cálculos del ANOVA para la prueba de fácil encendido de la briqueta con cisco

$Z_{(\alpha=0,05)}$	n	Σx_i	S^2	μ	$gl_{trt(m-1)}$	SC_{trt}	$CM_{trt}=S^2_{trt}$	F	$F_{(95\%)}$
1,96	9	1152	2,25	128	4	65662,98	16415,74	7085,93	2,61
	9	824	2,28	92					
	9	556	2,44	62	$gl_{e(N-m)}$	SC_e	$CM_e=S^2_e$		
	9	343	2,36	38	40	92,67	2,32		
	9	189	2,25	21					

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

El valor de $Z_{\alpha=0,05}$ lo obtenemos del **Anexo 1**, el valor crítico de $F_{(95\%)}$ del **Anexo 2** y para el cálculo del tamaño de muestra se admite un error de 1 minuto, ya que es la apreciación del cronometro.

Se observa que $F > F_{(95\%)}$, por lo tanto se concluye que las varianzas de la muestra son significativas, aceptando la hipótesis alternativa, los tratamientos no poseen la misma media.

También se quiere saber, si las condiciones experimentales se mantuvieron constantes durante los tratamientos, con un nivel significancia de $\alpha=0,05$. En la ecuación 4.14 se plantea que las condiciones experimentales se mantuvieron constantes durante los tratamientos y en la ecuación 4.15 se plantea lo contrario, es decir que no son estimaciones de una misma varianza.

$$H_0: S_{max}^2 = S_{min}^2 \quad (4.14)$$

$$H_A: S_{max}^2 > S_{min}^2 \quad (4.15)$$

Se obtiene la relación entre la varianza más alta de los tratamientos con la más baja, la $S_{max}^2=2,44$ y la $S_{min}^2=2,25$; y se compara con el valor crítico $F_{(95\%)}$ del **Anexo 2**, que proviene del de los grados de libertad del numerador $n-1$ y del denominador $n-1$, donde n es el número de repeticiones, para ambos casos es 8.

Así, la razón F que calculamos es $F=1,09$ y $F_{(95\%)}=3,4381$; por lo tanto $F < F_{(95\%)}$ y se concluye que las varianzas pueden considerarse estimaciones de una misma varianza, apoyando así la hipótesis nula, que indica que las condiciones en las que se llevaron a cabo los ensayos fueron similares, con un coeficiente de confianza de $Z_{(1-\alpha)}=95\%$.

4.2.2.4. Prueba en el cilindro estándar de la briqueta con cisco

Al comparar dos muestras de briquetas de carbón vegetal; la muestra que contiene únicamente CCPA y la del tratamiento con cisco al 50%, en la **Figura 34** se muestra una grafica de durabilidad con las dos curvas que describen el comportamiento de ambas muestras de carbón vegetal en el cilindro estándar.

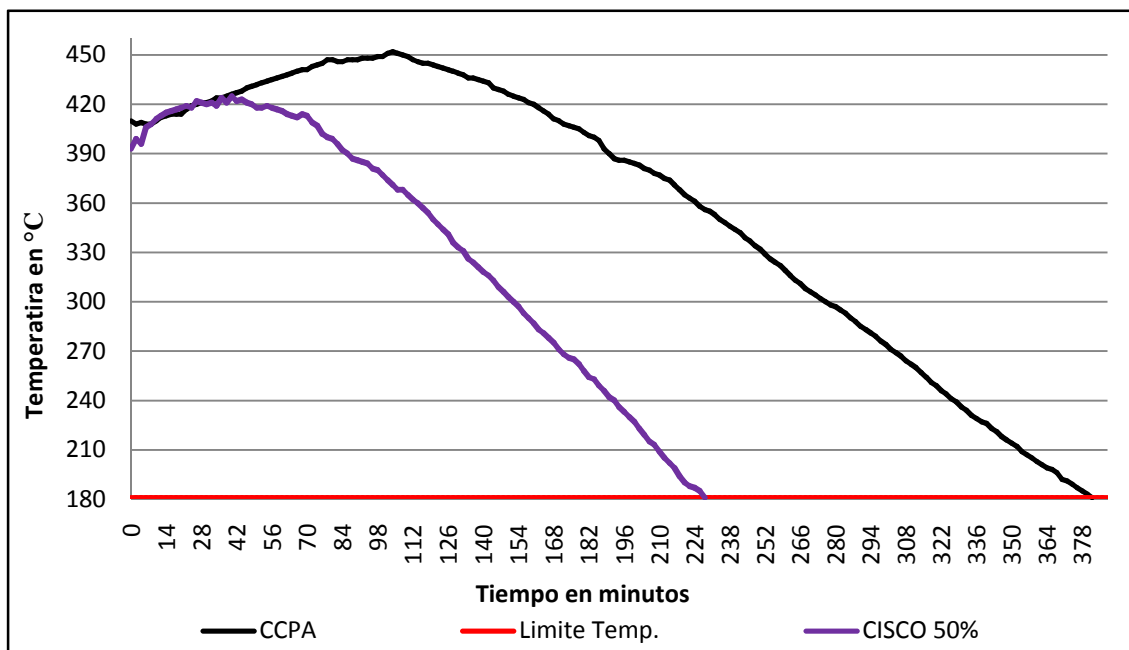


Figura 34: Briqueta de cico al 50% y la briqueta CCPA en el cilindro estándar

Para realizar la determinación del tiempo de calentamiento en el cilindro estándar se eligió el tratamiento de cisco 50%, porque alcanzó un tiempo de *ash-over* menor a los 30 minutos en la prueba de fácil encendido y los porcentajes de carbono fijo y ceniza se encuentran dentro de los límites de requerimiento para el carbón vegetal en briquetas.

Los resultados estadísticos de las cinco determinaciones se encuentran en la **Tabla 4.2.2.4.**, así como el cuestionario que describe las circunstancias especiales observadas durante la prueba.

Tabla 4.2.2.4.: Resultados del cilindro estándar para las briquetas con cisco 50%

PRODUCTOS, BRIQUETA DE	TEMPERATURA MÁXIMA, t_{max}		TIEMPO DE TEMPERATURA ESTÁNDAR, T_{180}	
	Media, °C	Desviación estándar, °C	Media, minutos	Desviación estándar, minutos
CISCO	431	8	225	3
CCPA	453	5	358	6
CIRCUNSTANCIAS ESPECIALES				
La muestra probada tiene gran cantidad de finos?				
Se observó violentas llamas/chispas/generación de humo en el encendido?				
El producto fue difícil de encender; se mantuvo la antorcha por 50 segundos?				
El producto fue difícil de encender; el encendido inicial fue de 1 hora?				
El residuo de cenizas contenía grandes cantidades de producto sin quemar después de la prueba?				

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

La durabilidad de las briquetas con cisco al 50%, para mantener la temperatura sobre los 180°C en el cilindro estándar es menor al tiempo de temperatura estándar de las briquetas CCPA en un 62%, debido a la menor cantidad de carbono fijo que tiene las briquetas con cisco al 50%, por otro lado el olor de las briquetas es idéntico al del común carbón de madera y la cantidad de humo que emana no es excesivo.

CAPÍTULO V

5. COMPARACIÓN Y SELECCIÓN DEL MEJOR ADITIVO

Cada uno de los aditivos expuestos en el capítulo anterior presenta mejoras en la briqueta, al mismo tiempo, se ven particulares inconvenientes en determinados puntos de su desempeño. La finalidad de analizar cada uno de los aditivos por separado, es que se pueda constatar los beneficios que aportan individualmente al producto, así mismo podemos observar que desventajas ocasiona utilizar determinado aditivo.

La briqueta de puro CCPA será la referencia principal, ya que es la situación inicial del producto, es decir sufre del principal defecto que se intenta corregir, su encendido es muy difícil y lento por la naturaleza misma del material.

5.1. Comparación de la prueba de fácil encendido

Con los resultados de las pruebas de fácil encendido del capítulo anterior, se pueden identificar los tratamientos que evidenciaron una mejora en el encendido, en la **Tabla 5.1.**, también se anota las características de constitución, olor fuerte y humo excesivo observadas durante la prueba.

Tabla 5.1.: Comparación de la prueba de fácil encendido

BRIQUETA DE	ASH-OVER		CONSTITUCIÓN		
	Media(min)	Repeticiones	Defectos	Olor	Humo
KNO₃ 18%	8	8	Conforme	Picante Fuerte	No excesivo
NaNO₃ 18%	11	8	Conforme	Picante Fuerte	No excesivo
ASERRÍN 8%	19	10	No conforme	A madera	No excesivo
CISCO 50%	21	9	Conforme	A carbón de madera	No excesivo

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

Para el KNO_3 y NaNO_3 se eligieron los tratamientos del 18% sobre los del 21%, debido a que los tratamientos al 21% mostraban un encendido muy violento y los tratamientos al 18% tiene un tiempo de *ash-over* de menos de 30 minutos. El tratamiento que muestra el mejor desenvolvimiento es el cisco al 50%, los tratamientos con los nitratos tiene un encendido muy fuerte y, al igual que las briquetas CCPA el olor es picante característico de la Palma Africana, en el tratamiento con aserrín las briquetas no son resistentes y se desmoronan.

5.2. Comparación del análisis inmediato

De los tratamientos en los que se observó un mejor desempeño, se debe analizar los porcentajes de ceniza, materia volátil y carbono fijo, expresado sobre materia seca de las briquetas de carbón vegetal, en la **Figura 35** se muestran los resultados para compararlos entre tratamientos.

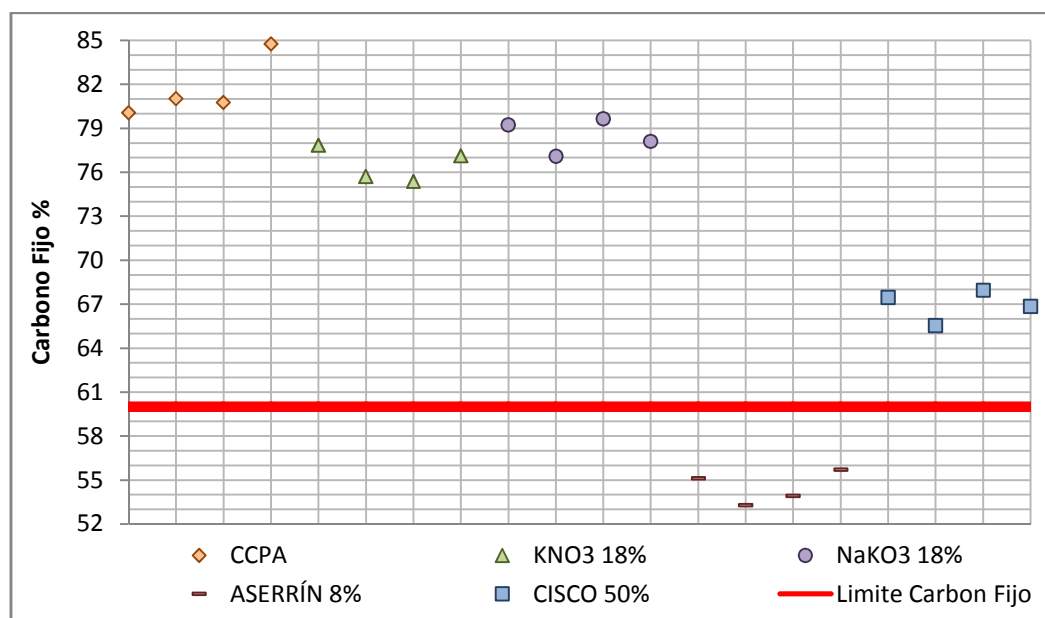


Figura 35: Comparación del porcentaje de carbono fijo de los tratamientos óptimos

Únicamente en el tratamiento con aserrín se obtuvo un porcentaje de carbono fijo menor al 60%, para el resto de tratamientos el carbono fijo se mantuvo sobre este límite, y solo tomaremos en cuenta estos tratamientos.

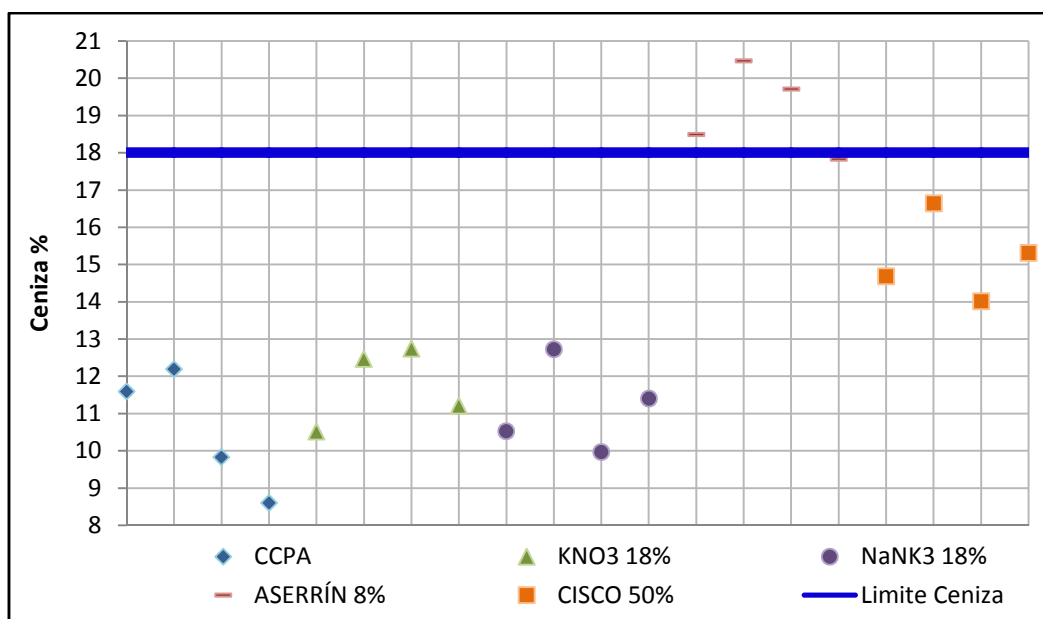


Figura 36: Comparación del porcentaje de ceniza de los tratamientos óptimos

El tratamiento con aserrín se encuentra sobre el límite permisible de ceniza, y debido a su alto contenido de materia volátil resulta con un bajo contenido de carbono fijo. En el tratamiento con los nitratos y el cisco se cumplen con los requisitos que se analiza en el análisis inmediato.

5.3. Comparación de los tratamientos en el cilindro estándar

Este método está diseñado específicamente para comparar muestras de carbón, y se enfoca en el tiempo que una muestra de carbón puede arder sobre los 180°C en el cilindro estándar, en **Figura 37** se muestra las curvas que definen al tiempo de temperatura estándar (T_{180}) para cada tratamiento.

Para cada tratamiento se realizaron cinco determinaciones en el cilindro estándar, de las cuales se muestra la quinta repetición en el gráfico a continuación, debido a que por ser la última repetición, se considera que el error experimental es menor.

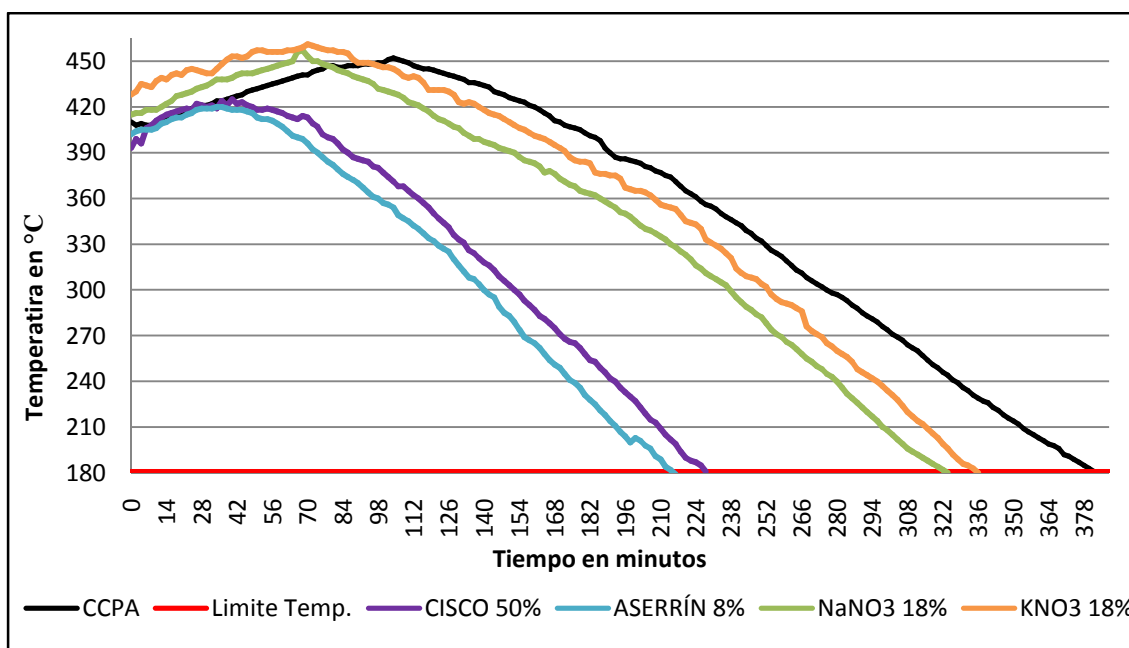


Figura 37: Comparación de los tratamientos óptimos en el cilindro estándar

Los tratamientos que alcanzaron el mayor tiempo de temperatura estándar (T_{180}), fueron los de los nitratos, el KNO_3 con 332 minutos y el NaNO_3 con 324 minutos, pero estos denotaron una combustión con chispas violentas y el desarrollo de llamas excesivas. El tratamiento con aserrín tuvo el menor T_{180} , de 212 minutos y se encontró residuos de carbón entre la ceniza, que llegaban hasta a los 15g en un ensayo. En el tratamiento con cisco se obtuvo un T_{180} de 225 minutos, que es bajo en relación al del las briquetas CCPA, con un T_{180} de 358 minutos, pero no se encontró ninguno de los defectos mencionados en los otros tratamientos.

5.4. Elección de la alternativa más eficiente y conveniente

El tratamiento que tiene un tiempo de *ash-over* menor a 30 minutos, no muestra un violento encendido, el humo que genera al arder no es excesivo, posee olor a carbón de madera, el aditivo no genera defectos en la forma de la briqueta, ni presenta productos sin quemar en la ceniza, y cumple con los requisitos de la NORMA UNE-EN 1860-2, es tratamiento del cisco al 50%.

5.5. Producción de las briquetas con cisco al 50%

Una vez que los silos de almacenamiento se encuentran abastecidos, se procede a hacer las pruebas de dosificación en los tornillos sinfín, estos son regulados manualmente hasta obtener una la cantidad de masa deseada, pesando previamente la masa de entrega por un minuto, y luego esta se va aumentando hasta encontrar la dosificación deseada.

Se obtuvo una briqueta, con porcentajes expresados en base seca, que posee 6% de almidón, un 46% de carbón de cascarilla de Palma Africana, un 48% de cisco, y con un 3% de humedad. El porcentaje del cisco disminuyó en un 2% de la formulación de laboratorio debido a ajustes en el proceso de conformado, es decir se redujo el cisco para que la briqueta hecha en planta compacte de manera apropiada. En la **Tabla 5.5.(A)**, se muestra los resultados de análisis inmediato este producto que llamaremos *Briqueta Mix*.

Tabla 5.5.(A): Análisis inmediato de la *Briqueta Mix*

PROMEDIO			
TRATAMIENTOS	Volátiles	Carbón Fijo	Ceniza
Briqueta Mix	16,14	68,71	15,15
	15,18	70,86	13,96
	17,02	68,24	14,74
	15,68	69,76	14,56
Precisión	Para Volátiles >10% debe ser 0,3% en valor absoluto	Diferencia máxima aceptada entre resultados	Para Ceniza \geq10% debe ser 2,0% del resultado medio

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

La media del carbono fijo se encuentra 69,39% y la del la ceniza en 14,60%, cumpliendo así con los requisitos del apartado 2.2.6.1. En la prueba de fácil encendido

se obtuvieron resultados muy similares a los de laboratorio, a continuación en la **Tabla 5.5.(B)** los resultados de esta prueba.

Tabla 5.5(B): Resultados de la prueba de fácil encendido, para la *Briqueta Mix*

Repetición	1	2	3	4	5
Constitución					
Defectos	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme
Olor	Carbón de madera	Carbón de madera	Carbón de madera	Carbón de madera	Carbón de madera
Humo	No excecivo	No excecivo	No excecivo	No excecivo	No excecivo
Rendimiento	(min)			Ahs-over	
Briqueta	22	20	21	20	20
Mix					

Fuente: Tysai-Técnica y Servicios Agro Industriales S.A.

Los resultados muestran mayor homogeneidad y aun que se disminuyó el cisco en 2% los resultados se mantiene cercanos, debido a que en el proceso de planta las briquetas son compactados por la briqueteadora Komarek, que posee un sistema de amortiguación que permite que el material se acumule de forma homogénea en la briqueta, permitiendo le a la briqueta aprovechar el oxígeno del medio.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Durante la fase inicial del Proceso de Diseño y Desarrollo del Producto (PDDP), solo se ha buscado darle un uso productivo a la cascarilla de Palma Africana, desviando la atención, de que el nuevo producto a obtener producto que se esperaba obtener debía cumplir con las expectativas, del mercado, de los medios utilizados para producirlo y de la calidad, por lo tanto las variaciones en diseño, procesos y más deben ser aplicados al iniciar el proceso de producción, caso contrario sus costos se verán incrementados significativamente.
- En varios textos se menciona el uso de nitritos y nitratos, como químicos de mantenimiento en las briquetas, pero tan solo con la combinación de diferentes residuos forestales carbonizados se puede competir con un producto de carbón de óptima calidad, cumpliendo las normativas del carbón vegetal en briquetas.
- La reformulación de la briqueta de fácil encendido, tuvo por una parte aditivos químicos y por otra aditivos vegetales, los primeros en todos sus tratamientos mostraron defectos únicamente en las características cualitativas o subjetivas, pero cumpliendo con las normativas, muy por encima de los aditivos vegetales, que se caracterizaron por tener un fácil encendido, olor agradable, ni violentas chispas y ni llamas excesivas, en el inicio de la combustión.

- En base al análisis comparativo de los tratamientos óptimos, fue el tratamiento con cisco al 50% el que alcanzó un tiempo de encendido menor a 30 minutos, y que sus características cualitativas o subjetivas eran las más apropiadas.
- La *Briqueta Mix* muestra resultados de los análisis y ensayos, donde se admite que es reproducible en planta, la producción de la briqueta con cisco, los cambios en los porcentajes son imperceptibles, en consideración al desempeño de las briquetas.

6.2. Recomendaciones

- La innovación es solo una parte del proceso de reformulación del producto, es necesario implementar un modelo de PDDP por ingeniería concurrente, que incorpora las necesidades procedentes del mercado y las que posibilitan la tecnología.
- La carbonización de residuos agroforestales constituye una alternativa sustentable para la obtención de productos con mayor valor agregado y simultáneamente una vía para disminuir los daños ambientales ocasionados por la acumulación de estos residuos o su incineración a cielo abierto,
- Dentro cada factor de estudio, hubo un tratamiento que presentaba mejor desempeño y características, en base al estudio técnico realizado, podría producirse diferentes productos de carbón vegetal en briquetas, y con esto mejorar el posicionamiento que tiene la marca *Pakemar*.
- Para mejorar el suministro de cisco, se vislumbra la posibilidad de adquirir residuos forestales y procesarlos para obtener cisco, de esta manera se puede llevar un mejor control del proceso y de la calidad del producto.
- Para el área de almacenaje se recomienda, que se aisle del medio ambiente, para evitar que las briquetas se humedezcan antes de su empaque.

BIBLIOGRAFÍA

Asociación Española de Normalización y Certificación 164 Biocombustibles Sólidos. UNE-EN 1860-2. Aparatos, Combustibles Sólidos y Sustancias de Encendido para el Asado en Barbacoas Parte 2: Carbón Vegetal y Briquetas de Carbón Vegetal para Barbacoas Requisitos y Métodos de Ensayo. Madrid: AENOR, 2005.

Leong, Kenneth. Fast Lighting Charcoal Briquet. US 2006/0143976 A. Sunrise Valley: Patent Application Publication. 2006.

Force Technology. Barbecue Coal and Barbecue Coal Briquette - Determination of Heating Time in Standard Cylinder. Västerås, Swenden: Force Technology Sweden A. 2005.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Dept. de Montes, Dirección de Industrias Forestales, Dirección de Productos de la Industria Mecánica de la Madera. Métodos Simples para Fabricar Carbón Vegetal. Italia: Roma. 1983.

Sánchez O., Julio. Introducción al Diseño Experimental. 2^{da} ed. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 2006.

Niebel, Benjamin. Ingeniería Industrial. 11^{va} ed. México: Alfaomega. 2004.

Webster, Allen. Estadística Aplicada a los Negocios y la Economía. 3^{ra} ed. Bogotá: McGraw-Hill. 2001.

Canavos, George C. Probabilidad y Estadística Aplicaciones y Métodos. 4^{ta} ed. México: McGraw-Hill, Interamericana de México. 2003.

Millar, J.C. Estadística para Química Analítica. 2^{da} ed. Londres: Addison-Wesley Iberoamericana. 1988.

LINKOGRAFÍA

Tysai S.A.

http://www.tysai.com/pakemar_espanol/index_espanol.html

2010-08-3

Censo Palmero 2005

http://www.ancupa.com/ancupa/docs/superficie_provincia.html

2008-11-03

Estadísticas del Censo Palmero

<http://www.ancupa.com/ancupa/docs/superficie1.html>

2009-04-07

Introducción a la Palma Africana

www.elchao.com/palma.htm

2010-06-04

Palma Africana

<http://www.lacabana.com.co/palma.php>

2010-05-26

Usos de los subproductos de la Palma Africana

[www.allbusiness.com/agriculture-forestry-fishing-](http://www.allbusiness.com/agriculture-forestry-fishing-hunting/771372-1.html)

[hunting/771372-1.html](http://www.allbusiness.com/agriculture-forestry-fishing-hunting/771372-1.html) 2008-12-14

Revista Agro Industrial sobre Palma Africana

www.mag.go.cr/rev_agr/v16n01_083.pdf

2009-08-19

Carbón Vegetal

<http://www.fao.org/docrep/x5595s/x5595s00.htm>

2010-03-18

ANEXOS