

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE  
DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**



**“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE  
CO y CO<sub>2</sub> EN LA COMBUSTIÓN DE RESIDUOS DE MADERA DE UN  
QUEMADOR PROTOTIPO EN LA CIUDAD DE PUERTO MALDONADO,  
MADRE DE DIOS”**

TESIS, PRESENTADO POR:  
Bachiller. NAVIO CHIPA JAVIER.

PARA OPTAR EL GRADO O  
TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO FORESTAL Y  
MEDIO AMBIENTE

ASESOR: Ph.D. ZEVALLOS POLLITO  
PERCY AMÍLCAR

CO-ASESOR: M.Sc. LOPEZ MESTANZA  
CARLOS ALFONSO

**PUERTO MALDONADO – PERU**

**2022**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE  
DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**



**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE  
CO y CO2 EN LA COMBUSTIÓN DE RESIDUOS DE MADERA DE UN  
QUEMADOR PROTOTIPO EN LA CIUDAD DE PUERTO MALDONADO,  
MADRE DE DIOS**

TESIS, PRESENTADO POR:  
Bachiller. NAVIO CHIPA JAVIER.

PARA OPTAR EL GRADO O  
TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO FORESTAL Y  
MEDIO AMBIENTE

ASESOR: Ph.D. ZEVALLOS POLLITO  
PERCY AMÍLCAR

CO-ASESOR: M.Sc. LOPEZ MESTANZA  
CARLOS ALFONSO

**PUERTO MALDONADO – PERU**

**2022**

## **Dedicatoria**

### **A DIOS**

*Por haberme dado el ser y permitirme terminar una de las metas más importante de mi vida, por darme la fortaleza y jamás vencer ante las adversidades que la vida me pone.*

### **A MIS PADRES.**

*A Virgilio Navio Ch. y Dora Chipa M. por haberme dado la vida, cuidarme, educarme y enseñarme los valores necesarios para afrontar cada uno de los obstáculos que se presentan en el camino. Y en especial por el gran esfuerzo incondicional que hicieron por mí.*

*A mi madre Dora Chipa M. por cuidarme, amarme y por haber estado conmigo en las buenas y en las malas, por enseñarme todo en la vida por darme tus consejos en los momentos más difíciles de mi vida, gracias por tu apoyo incondicional que me brindaste para que pudiera ser lo que ahora soy, gracias por todo mamá.*

### **A MIS HERMANOS.**

*Gina, Susy y Kevin por compartir momentos inolvidables de felicidad y tristeza a lo largo de nuestras vidas, por apoyarme incondicionalmente en mis estudios y lograme uno de mis grandes sueños, gracias a ustedes que me impulsaron a salir adelante a pesar de las dificultades de la vida y por la confianza que depositaron en mí, Los quiero mucho.*

## **Agradecimiento**

Ante todas las situaciones buenas y malas que he enfrentado en el desarrollo de mi carrera, siempre ha habido Alguien acompañándome en cada momento y a quien nunca voy a poder compensarle todo lo que me ha permitido vivir; ese alguien eres tu Diosito todo poderoso, gracias por todo.

### **❖ Mi familia**

 Gracias por: exigirme rigurosamente en mi etapa de desarrollo, aconsejarme en todo, animarme y sacrificarte trabajando; ahora mamita Dora Chipa M., eres la primera mujer que amo tanto en ésta tierra; te retribuyo con mi título por haber confiado en mi capacidad para llegar a ser ingeniero.

### **❖ Mi asesor y Co-asesor:**

 Mi asesor Ph.D. Percy Amilcar Pollito Zevallos, por su sencillez, habilidad y calidad humana por brindarme su apoyo, amistad y sus conocimientos para la culminación de este trabajo de tesis.

 Mi Co-asesor M.Sc. Ing. Alfonso López Mestanza, por el apoyo incondicional que me brindo, por la orientación, tutoría, paciencia, gracias por enseñarme algunos de sus conocimientos y el tiempo brindado para la realización de mi tesis y así cumplir con mi objetivo. Gracias por su ayuda.

 También agradecer a todos mis profesores que me formaron durante mis estudios en mi carrera profesional. Así mismo agradecer en especial a M.Sc. Leif Armando Portal Cahuana por su apoyo incondicional y motivación en la realización de trabajo de investigación.

## Presentación

El trabajo de investigación fue desarrollado como requisito para obtener el título profesional de ingeniero forestal y medio ambiente, después de culminar la formación académica y de investigación en la facultad de Ingeniería, escuela profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, de la UNAMAD. Este trabajo aporta mayor conocimiento en el tema de utilizar los residuos de madera aserrada producida en las pequeñas empresas carpinteras con fines de generación de energía calorífica limpia, con baja emisión de gases efecto invernadero principalmente CO y CO<sub>2</sub>, para su uso en procesos de secado tanto de madera en las pequeñas carpinterías, como de productos como el cacao, castaña (nuez) y copoazú y otros productos naturales en las pequeñas empresas agroindustriales. Además, este prototipo de quemador podría utilizarse para calentar viviendas en las zonas frías como la región de la sierra, usando la biomasa forestal como fuente de energía. En el Capítulo 1 se puntualiza el problema de la generación de los residuos de madera en las empresas carpinteras de Madre de Dios y el problema de contaminación del medio ambiente por la quema al aire libre de estos residuos; se formuló el problema de que si el prototipo de quemador cumpliría los objetivos planteados como solución al problema, los cuales fueron básicamente reducir las emisiones de CO y CO<sub>2</sub> y medir el calor generado. Se identifica las variables independientes y dependientes del trabajo de investigación, estableciéndose las hipótesis y consideraciones éticas pertinentes. En el Capítulo 2 se resume los antecedentes que sirvieron de base para direccionar el sentido del trabajo, dentro de estos enfoques se consideró trabajos similares en cuanto a la teoría de la combustión, la biomasa forestal y la caracterización de los principales contaminantes producidos por la combustión de la madera y biomasa en general. En los capítulos del 3, 4 y 5 se detallan la metodología seguida, los resultados obtenidos y la discusión de los resultados obtenidos. En el capítulo 6 se concluye los resultados del trabajo de investigación y se indica algunas recomendaciones sobre las conclusiones obtenidas.

## Resumen

La presente investigación contribuye con información pertinente sobre los resultados de la combustión dentro de un prototipo de quemador para residuos de madera producido en las carpinterías y pretender dar solución al problema de contaminación ambiental por monóxido y dióxido de carbono durante la quema de dichos residuos de madera al aire libre. Este quemador prototipo, además generó energía calorífica limpia capaz de ser aplicada en cámaras de secado de madera en las pequeñas carpinterías y de productos agro-industriales como el cacao, copoazú y otros productos deshidratables; además este prototipo de quemador puede ser utilizado para calentar ambientes fríos en las zonas frías como la región de la sierra. Para este proyecto se realizó una caracterización de residuos de madera generados en las carpinterías y se eligió las especies más usadas, luego se desarrolló la combustión al aire libre de residuos de madera al estado natural luego se obtuvo los datos de la temperatura y el porcentaje de gases de mono y dióxido de carbono emitidos, posterior a eso se realizó la combustión de residuos de madera con el prototipo quemador, y se tomó los datos como temperatura y porcentaje de gases contaminante. Adicionalmente se tomó información de un proceso de combustión al aire libre como referencia de un proceso de combustión con oxigenación natural, puntual y aislado. Esta investigación se realizó en las instalaciones de la UNAMAD en su fase inicial, en su fase de desarrollo y ejecución se realizó en una carpintera seleccionada por las condiciones que ofreció para la combustión de residuos de madera.

**Palabras claves:** residuos de madera, biomasa forestal, quemador de madera, contaminación ambiental, monóxido y dióxido de carbono, combustión oxigenada.

## **Abstract**

With the present investigation, the aim is to solve the problem of environmental pollution by carbon monoxide and dioxide during the burning of wood waste in the small carpentry, through the construction of a wood waste burner with low emission of greenhouse gases, (CO and CO<sub>2</sub>) that generates clean heat energy for use in wood drying rooms in small carpentry, in order to improve the quality of their products or eliminate by incineration, reducing CO and CO<sub>2</sub> pollution. Among other uses, this burner can be used to heat cold environments in cold areas such as the highland region. For this project, a characterization of wood residues generated in the carpenters was carried out and the most used species were chosen, then the outdoor combustion of wood residues was developed to the natural state. The temperature data and the percentage of carbon monoxide and dioxide gases emitted, after that the combustion of wood waste with the prototype burner was carried out, and the data was taken as temperature and percentage of polluting gases to later make the comparison with the method of combustion outdoors. This research was carried out in the UNAMAD facilities in its initial phase, in its development and execution phase it was carried out in a carpenter selected for the conditions it offered for the combustion of wood residues.

**Keywords:** wood waste, forest biomass, wood burner and carbon monoxide and dioxide.

## **Introducción**

En la región de Madre de Dios, la industria de carpintería que fabrica muebles, puertas, marcos, ventanas y entre otros productos derivados de la madera, el 100% son pequeñas empresas clasificadas dentro del grupo MIPYME, estas empresas MIPYME constituyen el 23 % de la industria manufacturera de Madre de Dios, (DIREPRO-GOREMAD, 2012); estas generan volúmenes importantes de residuos de madera en forma de aserrín, viruta y pequeños retazos estimado en 20Kg al día, por microempresa, que para eliminarlos lo queman al aire libre, generando contaminación atmosférica por las grandes cantidades de emisión de CO y CO<sub>2</sub>.

Frente a esta realidad es importante desarrollar un quemador de residuos de madera que sea pequeño, económico, fácil de manejar y que simultáneamente atenúe a niveles mínimos la producción de gases de efecto invernadero, principalmente CO y CO<sub>2</sub>, principales elementos contaminantes de la atmósfera.

Actualmente existen quemadores que utilizan leña, briquetas, pellets y otros residuos de madera con fines de calefacción, sobre todo en Europa, Canadá y Estados Unidos que, además de producir calor son de baja emisión de los gases mencionados.

En el Perú no existe un interés en el desarrollo y/o adopción de tecnologías para la producción de energía limpia usando residuos de madera, por tanto, esta investigación pionera busca promover el desarrollo y uso de tecnologías limpias en el sector de la madera.

## Índice

Contenido	pagina
<b>CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Descripción del problema.....	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problemas específicos.....	2
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Variables.....	3
1.4.1. Variables independientes.....	3
1.4.2. Variables dependientes.....	4
1.4.3. Indicadores:.....	4
1.5. Operacionalización de variables.....	4
1.6. Hipótesis.....	5
1.7. Justificación.....	5
1.8. Consideraciones éticas.....	6
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>7</b>
2.1. Antecedentes de estudio.....	7
2.2. Marco teórico.....	22
2.2.1. La biomasa.....	22
2.2.2. Características y Procesos en la quema de Biomasa.....	23
2.2.3. Residuo forestal como fuente de energía.....	25
2.2.4. Principales Contaminantes Producidos al Quemar Leña o Residuos de Madera.....	27
2.3. Definición de términos.....	30
<b>CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>31</b>
3.1. Tipo de estudio.....	31
3.2. Diseño de estudio.....	31
3.3. Población y muestra.....	31
3.3.1. Población:.....	31
3.3.2. Muestra de residuos de madera:.....	32
3.4. Métodos y técnicas.....	32
3.4.1. Área de investigación.....	32
3.4.2. Lugar de desarrollo de la investigación.....	32
3.4.3. Materiales, Equipos y Softwares.....	34

3.4.4. Alcances de los Equipos utilizados en la investigación: .....	35
3.4.5. Metodología y procedimientos.....	43
3.5. Diseño de la Experimentación.....	46
3.5.1. Caracterización de la experimentación.....	46
3.5.2. Tipo de diseños experimental. ....	46
3.5.3. Tratamientos considerados en la experimentación.....	46
3.5.4. Medidas de centralización y de dispersión.....	48
3.5.5. Análisis estadístico. ....	50
<b>CAPITULO IV.- RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACION ....</b>	<b>52</b>
4.1. Resultados sobre las especies del ensayo.....	52
4.1.1. Resultados de la encuesta y selección de especies de madera más utilizadas por los carpinteros.....	52
4.1.2. Características físicas de las cuatro especies más usadas en la muestra de carpinterías, en Tambopata. ....	53
4.1.3. Peso de las muestras y porcentajes mezcla de las cuatro especies utilizadas en los ensayos. ....	53
4.1.4. Resultados de la determinación del porcentaje de humedad (%) y registro del tiempo promedio de duración de la combustión del prototipo:.....	54
4.2. Resultados de los ensayos de combustión de la mezcla de especies en el quemador prototipo, por tratamiento. ....	55
4.3. Resultados de los ensayos de combustión al aire libre de la mezcla de especies, como referencia.....	76
4.4. Discusión de los resultados.....	80
4.4.1. Sobre las condiciones de las muestras durante los procesos de combustión en los tratamientos. ....	80
4.4.2. Evaluación de los polígonos de frecuencia dentro y entre los tratamientos, del CO, CO <sub>2</sub> y Temperatura. ....	81
4.4.3. Sobre el análisis de variancia de los tratamientos ensayados.....	89
4.4.3. Sobre los resultados obtenidos en otras investigaciones.....	94
4.5. Conclusiones.....	97
4.6. Recomendaciones.....	99
Referencias Bibliográficas .....	100
ANEXOS .....	103

## Índice de gráficos

<b>FIGURA 1. TAMAÑO DEL GRANO PARA COMBUSTIÓN..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	
<b>FIGURA 2. RECIPIENTES UTILIZADOS POR ACOSTA Y OTROS EN S INVESTIGACIÓN.....</b>	15
<b>FIGURA 3. ASERRÍN COMPACTADO DENTRO DEL RECIPIENTE; A. POSICIÓN DE CILINDROS DE MADERA PARA SER COMPACTADOS, B. ASERRÍN COMPACTADO DENTRO DEL DEPÓSITO.....</b>	16
<b>FIGURA 4. TEMPERATURA VS TIEMPO DE QUEMA DE LA MADERA.....</b>	20
<b>FIGURA 5. SISTEMA DE COMBUSTIÓN.....</b>	20
<b>FIGURA 6. EL CICLO DE LA BIOMASA.....</b>	22
<b>FIGURA 7. QUEMADO DE RESIDUOS DE CARPINTERÍA AL AIRE LIBRE.....</b>	26
<b>FIGURA 8. ÁREA DE LA INVESTIGACIÓN EN LA FIGURA A. EN ROJO UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS, B EN AMARILLO .LOCALIZACIÓN DE LA CARPINTERA PARA LOS ENSAYOS, C. AMARILLO LUGARES DE MUESTREO, REPRESENTA EL ÁREA DE LAS ENCUESTAS A LAS CARPINTERAS.....</b>	33
<b>FIGURA 9. VISTA GENERAL DEL QUEMADOR PROTOTIPO Y PARTES.....</b>	36
<b>FIGURA 10. A. DUCTO EL ENFRIAMIENTO DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN Y UBICACIÓN DEL MEDIDOR DE TEMPERATURA A LA SALIDA DE LA CHIMENEA; B. CONEXIONES ELÉCTRICAS ENTRE LOS MEDIDORES, MÓDULOS, TRANSFORMADORES Y LAPTOP PARA EL REGISTRO DE LOS DATOS; C. UBICACIÓN DE LOS MEDIDORES DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN CO Y CO<sub>2</sub>.....</b>	37
<b>FIGURA 11. A. EQUIPO DE COMPRESORA PARA EL SUMINISTRO DE AIRE FORZADO A LAS DIFERENTES CÁMARAS DEL PROTOTIPO DE COMBUSTIÓN; B. DISTRIBUCIÓN Y UBICACIÓN DE LOS TUBOS Y LLAVES DE PASO DE AIRE INSUFLADO EN LAS TRES CÁMARAS DE COMBUSTIÓN; C. LLAVE DE PASO PARA EL CONTROL DE ENTRADA DEL AIRE.....</b>	37
<b>FIGURA 12. EQUIPO DETECTOR DE HUMEDAD UTILIZADO EN LOS ENSAYOS.....</b>	38
<b>FIGURA 13. EQUIPO DE INYECCIÓN DE AIRE.....</b>	39
<b>FIGURA 14. EQUIPO MEDIDOR DE VELOCIDAD DE INSUFLADO DE AIRE.....</b>	39
<b>FIGURA 15. EQUIPO DETECTOR DE CO<sub>2</sub>.....</b>	40
<b>FIGURA 16. SENSOR DE CO MODELO MQ7.....</b>	40
<b>FIGURA 17. TERMOCUPLA TIPO K EMPLEADA EN LA INVESTIGACIÓN.....</b>	41
<b>FIGURA 18. CAMPANA O COLECTOR DE GASES DE COMBUSTIÓN AL AIRE LIBRE.....</b>	42
<b>FIGURA 19. A. MÓDULOS RECEPTOR Y EMISOR CON LOS SENSORES RESPECTIVOS; B. UBICACIÓN DE LOS MÓDULOS EN EL DUCTO DE ENFRIAMIENTO Y A LA SALIDA DE LOS GASES DEL QUEMADOR PROTOTIPO, TAMBIÉN EL USO DEL SOFTWARE LABVIEW EN LA LAPTOP.....</b>	42
<b>FIGURA 20. PATRONES DE COMPORTAMIENTO DE LAS REPETICIONES, PARA COMPARACIÓN VISUAL, DE LOS POLÍGONOS DE FRECUENCIA DEL MONÓXIDO DE CARBONO (CO) POR REPETICIÓN Y POR CADA TRATAMIENTO.....</b>	82
<b>FIGURA 21. PATRONES DE COMPORTAMIENTO DE LAS REPETICIONES, PARA COMPARACIÓN VISUAL, DE LOS POLÍGONOS DE FRECUENCIA DEL DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>) POR REPETICIÓN Y POR CADA TRATAMIENTO.....</b>	83
<b>FIGURA 22. PATRONES DE COMPORTAMIENTO DE LAS REPETICIONES, PARA COMPARACIÓN VISUAL, DE LOS POLÍGONOS DE FRECUENCIA DE LA TEMPERATURA POR REPETICIÓN Y POR CADA TRATAMIENTO.....</b>	84
<b>FIGURA 23. TENDENCIAS DE LOS ESTADÍSTICOS CONFORME AVANZA LA COMPLEJIDAD DEL QUEMADOR PROTOTIPO.....</b>	87
<b>FIGURA 24. CURVAS DE LA TENDENCIA DE LOS PORCENTAJES DE CAMBIO DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES CON EL AVANCE DE LA COMPLEJIDAD DEL QUEMADOR-PROTOTIPO.....</b>	88
<b>FIGURA 25. VISUALIZACIÓN GRÁFICA: COMPARACIÓN DE MEDIAS DE LOS TRATAMIENTOS, ANÁLISIS DEL CO.....</b>	90
<b>FIGURA 26. VISUALIZACIÓN GRÁFICA: COMPARACIÓN DE MEDIAS DE LOS TRATAMIENTOS. ANÁLISIS DEL CO<sub>2</sub>.....</b>	91
<b>FIGURA 27. VISUALIZACIÓN GRÁFICA: COMPARACIÓN DE MEDIAS DE LOS TRATAMIENTOS. ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA.....</b>	93

## Índice de Tablas

<b>TABLA 1.</b> MATRIZ DE OPERACIÓN DE VARIABLES .....	4
<b>TABLA 2.</b> RESULTADOS DE LAS EMISIONES EN ASTILLAS DE <3,2MM. ....	8
<b>TABLA 3.</b> RESULTADOS DE LAS EMISIONES EN ASTILLAS <180µM. ....	8
<b>TABLA 4.</b> RESULTADOS DE LAS EMISIONES EN PELLETS COMPLETOS. ....	9
<b>TABLA 5.</b> RESULTADOS DE LAS EMISIONES EN PELLETS<180 µM. ....	9
<b>TABLA 6.</b> PORCENTAJES DE TAMAÑO DE GRANO. ....	11
<b>TABLA 7.</b> DENSIDADES DE LOS TAMAÑOS DE GRANO. ....	11
<b>TABLA 8.</b> PESO DE LOS TAMAÑOS DE GRANO. ....	12
<b>TABLA 9.</b> RESULTADOS DE QUEMA AL AIRE LIBRE DE LOS GRANOS .....	12
<b>TABLA 10.</b> PROCESO DE CALIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS. ....	15
<b>TABLA 11.</b> DATOS DE LA PRUEBA N° 1 .....	17
<b>TABLA 12.</b> TRATAMIENTOS CONSIDERADOS EN EL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	47
<b>TABLA 13.</b> ESQUEMA DE LA TABLA DE ANOVA.....	51
<b>TABLA 14.</b> MADERAS MÁS UTILIZADAS EN LAS PEQUEÑAS CARPINTERÍAS MIPYME DE LA PROVINCIA DE TAMBOPATA, AÑO 2018.....	52
<b>TABLA 15.</b> CARACTERÍSTICAS FÍSICAS RELEVANTES PARA EL PROCESO DE COMBUSTIÓN DENTRO DEL PROTOTIPO DE LAS MADERAS MÁS UTILIZADAS EN LA MUESTRA DE PEQUEÑAS CARPINTERÍAS DE LA PROVINCIA DE TAMBOPATA, AÑO 2018.....	53
<b>TABLA 16.</b> PESO DE LAS MUESTRAS PARA LAS MESCLA DE LAS CUATRO ESPECIES.....	54
<b>TABLA 17.</b> RESULTADOS DE PROMEDIO DE PORCENTAJE DE HUMEDAD Y PROMEDIO DE REGISTRO DE TIEMPO DE LA COMBUSTIÓN DEL QUEMADOR PROTOTIPO.....	54
<b>TABLA 18.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 01.....	55
<b>TABLA 19.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO2 POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 01.....	56
<b>TABLA 20.</b> FRECUENCIA DE TEMPERATURA POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 01.....	56
<b>TABLA 21.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 02.....	57
<b>TABLA 22.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO2 POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 02.....	57
<b>TABLA 23.</b> FRECUENCIA DE TEMPERATURA POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 02.....	58
<b>TABLA 24.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 03.....	58
<b>TABLA 25.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO2 POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 03.....	59
<b>TABLA 26.</b> FRECUENCIA DE TEMPERATURA POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 03.....	59
<b>TABLA 27.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 04.....	60
<b>TABLA 28.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO2 POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 04.....	60
<b>TABLA 29.</b> FRECUENCIA DE TEMPERATURA POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 04.....	61
<b>TABLA 30.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 05.....	61
<b>TABLA 31.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO2 POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 05.....	62
<b>TABLA 32.</b> FRECUENCIA DE TEMPERATURA POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 05.....	62
<b>TABLA 33.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 06.....	63
<b>TABLA 34.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO2 POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 06.....	63
<b>TABLA 35.</b> FRECUENCIA DE TEMPERATURA POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 06.....	64
<b>TABLA 36.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 07.....	64
<b>TABLA 37.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO2 POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 07.....	65

<b>TABLA 38.</b> FRECUENCIA DE TEMPERATURA POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 07.....	65
<b>TABLA 39.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 08.....	66
<b>TABLA 40.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO <sub>2</sub> POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 08.....	66
<b>TABLA 41.</b> FRECUENCIA DE TEMPERATURA POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 08.....	67
<b>TABLA 42.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 09.....	67
<b>TABLA 43.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO <sub>2</sub> POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 09.....	68
<b>TABLA 44.</b> FRECUENCIA DE TEMPERATURA POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 09.....	68
<b>TABLA 45.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 10.....	69
<b>TABLA 46.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO <sub>2</sub> POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 10.....	69
<b>TABLA 47.</b> FRECUENCIA DE TEMPERATURA POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 10.....	70
<b>TABLA 48.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 11.....	70
<b>TABLA 49.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO <sub>2</sub> POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 11.....	71
<b>TABLA 50.</b> FRECUENCIA DE TEMPERATURA POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 11.....	71
<b>TABLA 51.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 12.....	72
<b>TABLA 52.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO <sub>2</sub> POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 12.....	72
<b>TABLA 53.</b> FRECUENCIA DE TEMPERATURA POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 12.....	73
<b>TABLA 54.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 13.....	73
<b>TABLA 55.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO <sub>2</sub> POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 13.....	74
<b>TABLA 56.</b> FRECUENCIA DE TEMPERATURA POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 13.....	74
<b>TABLA 57.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 14.....	75
<b>TABLA 58.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO <sub>2</sub> POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 14.....	75
<b>TABLA 59.</b> FRECUENCIA DE TEMPERATURA POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. TRATAMIENTO 14.....	76
<b>TABLA 60.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. COMBUSTIÓN AL AIRE LIBRE.....	77
<b>TABLA 61.</b> FRECUENCIA (PPM) DE CO <sub>2</sub> POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. COMBUSTIÓN AL AIRE LIBRE.....	78
<b>TABLA 62.</b> FRECUENCIA DE TEMPERATURA POR CLASE, POR REPETICIÓN Y ACUMULADA. COMBUSTIÓN AL AIRE LIBRE.....	79
<b>TABLA 63.</b> MEDIA, MEDIANA Y CLASE MODAL DEL MONÓXIDO DE CARBONO, DIÓXIDO DE CARBONO Y DE LA TEMPERATURA, COMO ESTADÍSTICOS DE CENTRALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	86
<b>TABLA 64.</b> VARIACIÓN PORCENTUAL DE LAS MEDIAS ESTADÍSTICAS DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES, POR VARIACIÓN DE LAS CÁMARAS DE COMBUSTIÓN, DE COMPLEJIDAD MENOR (T-01) A MAYOR (T-014). ....	88
<b>TABLA 65.</b> ANÁLISIS DE VARIANCIA DE LAS MEDIAS DE EMISIONES DE CO. ....	89
<b>TABLA 66.</b> PRUEBA DE TUKEY PARA LAS MEDIAS DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL QUEMADOR-PROTOTIPO PARA EL CO. ....	89
<b>TABLA 67.</b> ANÁLISIS DE VARIANCIA DE LAS MEDIAS DE EMISIONES PARA EL CO <sub>2</sub> . ....	90
<b>TABLA 68.</b> PRUEBA DE TUKEY PARA LAS MEDIAS DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL QUEMADOR-PROTOTIPO PARA EL CO <sub>2</sub> . ....	91
<b>TABLA 69.</b> ANÁLISIS DE VARIANCIA DE LAS MEDIAS DE EMISIONES DE TEMPERATURA.....	92
<b>TABLA 70.</b> PRUEBA DE TUKEY PARA LAS MEDIAS DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL QUEMADOR-PROTOTIPO PARA LA TEMPERATURA. ....	92

## **CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Descripción del problema**

En la región de Madre de Dios, la industria de carpintería que fabrica muebles, puertas, marcos, ventanas y entre otros productos derivados de la madera, el 100% son pequeñas empresas clasificadas dentro del grupo MIPYME, estas empresas MIPYME constituyen el 23 % de la industria manufacturera de Madre de Dios, (DIREPRO-GOREMAD, 2012) y en sus actividades productivas generan volúmenes importantes de residuos de madera en forma de aserrín, viruta y pequeños retazos cuyo volumen estimado es de 20Kg al día, por microempresa, Para eliminar los residuos mencionados las MIPYMES lo queman al aire libre, generando contaminación atmosférica por las grandes cantidades de emisión de CO y CO<sub>2</sub>. Frente a esta realidad es importante desarrollar un quemador de residuos de madera que sea pequeño, económico, fácil de manejar y que simultáneamente atenúe a niveles mínimos la producción de gases de efecto invernadero, principalmente CO y CO<sub>2</sub>, principales elementos contaminantes de la atmósfera. Actualmente existen quemadores que utilizan leña, briquetas, pellets y otros residuos de madera con fines de calefacción, sobre todo en Europa, Canadá y Estados Unidos que, además de producir calor son de baja emisión de los gases mencionados. En el Perú no existe un interés en el desarrollo y/o adopción de tecnologías para la producción de energía limpia usando residuos de madera, por tanto, esta investigación pionera busca promover el desarrollo y uso de tecnologías limpias en el sector de la madera, tratando de diseñar un quemador-prototipo que permita tal objetivo.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Puede un quemador prototipo reducir significativamente las emisiones de CO y CO<sub>2</sub> en la combustión de residuos de madera generados en una microempresa carpintera de Puerto Maldonado, Madre de Dios?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a) ¿El Quemador prototipo propuesto será óptimo para la reducción de CO y CO<sub>2</sub> en la combustión de residuos de madera generados en una microempresa carpintera de Puerto Maldonado, Madre de Dios?
- b) ¿Cuál es el número de cámaras requeridas para el funcionamiento óptimo del quemador prototipo?
- c) ¿Cuál es la tasa de emisiones de CO y CO<sub>2</sub> generados en la combustión al estado natural de residuos de madera en una microempresa carpintera de Puerto Maldonado, Madre de Dios?
- d) ¿Cuál es la tasa de emisiones de CO y CO<sub>2</sub> generados por la combustión de residuos de madera y mediante el uso en un quemador prototipo en una microempresa carpintera de Puerto Maldonado, Madre de Dios?
- e) ¿Cuál es la capacidad de reducción de emisiones de CO y CO<sub>2</sub> del quemador prototipo en la combustión de residuos de madera generados en una microempresa carpintera de Puerto Maldonado, Madre de Dios?
- f) ¿Cuál será la Temperatura máxima del flujo de aire a la salida del Quemador Prototipo?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar la capacidad de reducción de emisiones de CO y CO<sub>2</sub> de un quemador prototipo en la combustión de residuos de madera generados en una microempresa carpintera de Puerto Maldonado, Madre de Dios.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- a. Construir un quemador prototipo propuesto la para combustión de residuos de madera generados en una microempresa carpintera de Puerto Maldonado, de máximo tres cámaras superpuestas.
- b. Determinar el número de cámaras requeridas para la disminución óptima de los gases CO y CO<sub>2</sub> en proceso de combustión en el quemador prototipo.
- c. Determinar la tasa de emisiones de CO y CO<sub>2</sub> generados por la combustión natural, al aire libre, de residuos de madera en una microempresa carpintera de Puerto Maldonado, Madre de Dios.
- d. Determinar la tasa de emisiones de CO y CO<sub>2</sub> generados por la combustión de residuos de madera generados en el quemador prototipo, en una microempresa carpintera de Puerto Maldonado, Madre de Dios.
- e. Determinar si existe capacidad de reducción de emisiones de CO y CO<sub>2</sub> del quemador prototipo en cada uno de los tratamientos aplicados en la combustión de residuos de madera generados en una microempresa carpintera de Puerto Maldonado, Madre de Dios.
- f. Determinar la Temperatura máxima del flujo de aire a la salida cada uno de los tratamientos del quemador.

### **1.4. Variables**

Las variables consideradas en la presente investigación fueron:

#### **1.4.1. Variables independientes**

- a. Flujo de aire que ingresa a la cámara.  
Sin insuflado de aire y con insuflado de aire, a cada tratamiento aplicado en el quemador prototipo.
- b. Número de cámaras utilizadas por el quemador prototipo  
Se utilizó tres (03) cámaras: una inferior, de combustión propiamente dicha, y dos cámaras de aireación secundaria, sucesivamente soldadas sobre la de combustión, una sobre la otra.

El número de cámaras representan las cámara de combustión del quemador prototipo (se utilizó tres (03) cámaras de combustión)

### 1.4.2. Variables dependientes

- Volumen de emisión de CO. expresado en ppm.
- Volumen de emisión de CO<sub>2</sub>. Expresado en ppm.
- Temperatura del flujo de aire a la salida del quemador prototipo. En °C.

### 1.4.3. Indicadores:

- Cantidad (ppm) de emisiones de monóxido de carbono del quemador.
- Cantidad (ppm) de dióxido de carbono en la salida del quemador.
- Grado de Temperatura (°C) en la salida del quemador prototipo

## 1.5. Operacionalización de variables

**Tabla 1.** Matriz de Operación de Variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidades
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>			
a) Flujo de Aire que ingresa a las cámaras. El ingreso de aire fue al natural unas veces, otras veces insuflado y otras, combinando los dos tipos de ingreso de aire.	. Aberturas de ingreso de aire a las cámaras: 40 x 7cm. . Tubería de ingreso de aire a las cámaras: 40 cm largo x15mm de diámetro, con 6 pares de huecos de 3mm (a lo largo del tubo de insuflado).	Velocidad de ingreso del aire. (medido con Anemómetro)	m/s
b) Número de cámaras utilizadas por el quemador prototipo (se utilizó tres cámaras de combustión )	tres unidades (03): - Una Cámara de combustión. - Dos Cámaras para aire secundario.	Dimensiones: 40x40x60cm (=96000cm <sup>3</sup> ) y 40x40x8cm (=12800cm <sup>3</sup> )	Número de Cámaras por tratamiento
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>			
A) Emisión de CO, monóxido de carbono.	Concentración de gas CO	proporción de CO	partes por millón (ppm)
b) tasa de emisión de dióxido de carbono CO <sub>2</sub>	Concentración de gas CO <sub>2</sub>	proporción de CO <sub>2</sub>	partes por millón (ppm)
c) Temperatura máxima del flujo de aire a la salida del quemador prototipo	Temperatura de los gases a la salida de la última cámara quemador prototipo	Grados de Temperatura (°C)	grados Celcius (°C)

Fuente: Elaboración Propia

## 1.6. Hipótesis

### 1.6.1. Hipótesis alternativa (Ha)

- H-A1= El quemador prototipo reduce significativamente la emisión de CO en la combustión de residuos de madera generados en una microempresa carpintera de Puerto Maldonado, Madre de Dios.
- H-A2= El quemador prototipo reduce significativamente la emisión de CO<sub>2</sub> en la combustión de residuos de madera generados en una microempresa carpintera de Puerto Maldonado, Madre de Dios.

### 1.6.2. Hipótesis nula (Ho)

- H-01= El quemador prototipo no reduce significativamente la emisión de CO en la combustión de residuos de madera generados en una microempresa carpintera de Puerto Maldonado, Madre de Dios.
- H-02= El quemador prototipo no reduce significativamente la emisión de CO<sub>2</sub> en la combustión de residuos de madera generados en una microempresa carpintera de Puerto Maldonado, Madre de Dios.

## 1.7. Justificación

Esta investigación se justifica porque este equipo tiene doble propósito principal, por un lado promover el desarrollo de tecnologías limpias para tratar de evitar la contaminación atmosférica en la región, generada por la quema al aire libre de los residuos de madera de las carpinterías y por otro lado el posible uso de este prototipo en la generación de calor que permita a las micro, pequeñas y medianas empresas carpinteras desarrollar un pequeño horno para secar madera, así como a otras empresas para eliminar la humedad, controlada de semillas de “castaña” (*Bertholletia excelsa*), de semillas del “cacao” (*Theobroma cacao*) y de “copoazú” (*Theobroma grandiflorum*). Otra posible aplicación amigable con el medio ambiente sería de potencial aplicación en la calefacción de viviendas en la sierra andina.

## **1.8. Consideraciones éticas**

Combatir la contaminación atmosférica es una responsabilidad ética de alcance global. La contaminación atmosférica, proveniente de diversas fuentes, entre ellas por la quema de madera, va en aumento, el Perú es suscriptor de diversos compromisos y acuerdos internacionales para detener o disminuir la contaminación ambiental, por lo tanto en su legislación, desde la constitución política hasta las legislaciones locales de distritos, pasando por los ministerios de gobierno incluyen planes y legislan las acciones para combatir la mencionada contaminación, una de ellas por la quema de bosque y madera (Ley Forestal del Perú Nro. Ley. 29703 y Ley del medio ambiente Nro. Ley 28611). Al mismo tiempo la UNAMAD y su Facultad de Ingeniería y Medio Ambiente prepara profesionales y desarrolla investigación para asumir la responsabilidad ética de evitar y/o mitigar el calentamiento global debido a la emisión de gases efecto invernadero.

La contaminación ambiental tiene un fuerte impacto en la vida de las personas, animales y el ecosistema en general, sobre todo cuando está involucrado los gases efecto invernadero, principalmente el CO<sub>2</sub> y el CO, por lo tanto, es ético tratar de mitigar o eliminar las fuentes de contaminantes ambientales, por su efecto de producir el calentamiento global de la atmósfera. Desde el punto de vista bioético se debe considerar que la producción de contaminantes atmosféricos, aun cuando se producen en una pequeña localidad, una vez que alcanza la atmósfera se esparce por todo el mundo. Por lo tanto el presente trabajo de investigación en tecnologías limpias puede contribuir a la responsabilidad ética de disminuir la producción de gases contaminantes por la quema de residuos de madera y propender a su uso responsable con el medio ambiente.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes de estudio**

Fredes (2014), en su investigación: “Evaluación Técnica y Económica de una Planta de Producción de Combustible Sólido a partir de Biomasa Forestal en la Región de los Lagos (Santiago, Chile)”. Efectuó una evaluación técnica y económica de los residuos de madera en un aserradero, tratando de disminuir las emisiones de partículas causantes de la contaminación atmosférica, también comparo y caracterizo los combustibles: aserrín, leña, briquetas y pellets, con los siguientes parámetros: poder calorífico, humedad, porcentaje de cenizas y emisión de contaminantes; cabe mencionar que de acuerdo al análisis comparativo.

El autor menciona “las ventajas ambientales y energéticas que entrega el uso de los pellets madereros, ya que estos son elaborados principalmente por desechos, poseen un bajo contenido de humedad y emisión de contaminantes, por lo cual su uso favorece de manera directa la mejora de la calidad del aire. Respecto a la utilización de materia prima diferentes en el proceso.

El autor observo “la principal diferencia entre ellas es que, para el caso del aserrín, se requiere el uso intensivo de secado sin molienda, mientras que la viruta solo requiere de disminución granulométrica debido a que posee de manera intrínseca la humedad requerida por el proceso”.

Garbajosa (2013), en su investigación: “Diseño de un Equipo Experimental para el Estudio de Emisiones Producidas Durante Procesos de Auto-Combustión de Sólidos (Madrid, España)”, estudio las emisiones de gases que se producen durante el proceso de auto combustión y las temperaturas de inflamación en capa a diferentes tamaños de grano y grosores de capa; de astillas de madera en un tamaño de 3,2 mm a 180  $\mu$ m y los pellets de madera

en torno a 5 mm a 180  $\mu\text{m}$ . En el estudio los gases que se midieron durante el proceso de estudio de auto combustión fueron: dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), óxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ); para la realización de los ensayos se utilizó los siguientes equipos: recipiente cerrado herméticamente, estufa, termopar, medidor de temperatura, bomba de vacío, temporizador y bolsas para gases; durante los ensayos se obtuvo los resultados que se muestran en las tablas 2,3,4, y 5.

**Tabla 2.** Resultados de las emisiones en astillas de <3,2mm.

Temperatura( $^{\circ}\text{C}$ )	$\text{SO}_2(\text{ppm})$	CO(ppm)	$\text{CO}_2(\%\text{vol.})$	NO(ppm)	$\text{NO}_2(\text{ppm})$
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
60	0,00	7,60	0,00	0,00	0,00
80	1,00	18,00	0,00	0,00	0,00
100	6,00	50,30	0,06	0,00	0,70
120	8,00	133,00	0,10	0,00	1,41
140	51,00	310,00	0,10	0,00	4,24
160	70,00	371,00	0,32	0,00	4,95
180	106,00	1506,00	0,50	0,00	2,12
200	118,00	1570,00	1,02	0,00	2,82

Fuente: (Garbajosa, 2013).

**Tabla 3.** Resultados de las emisiones en astillas <180 $\mu\text{m}$ .

Temperatura( $^{\circ}\text{C}$ )	$\text{SO}_2(\text{ppm})$	CO(ppm)	$\text{CO}_2(\%\text{vol.})$	NO(ppm)	$\text{NO}_2(\text{ppm})$
20	0,00	4,80	0,00	0,00	0,00
40	0,00	5,80	0,00	0,00	0,00
60	1,00	9,50	0,00	0,00	0,70
80	2,00	30,40	0,00	0,00	0,70
100	6,00	83,90	0,04	0,00	0,70
120	9,00	238,00	0,08	0,00	0,70
140	23,00	781,00	0,24	0,24	4,24
160	43,00	1277,00	0,34	0,24	12,72
180	62,00	2053,00	0,61	2,11	21,92
200	112,00	3510,00	1,12	4,23	26,16

Fuente: (Garbajosa, 2013)

**Tabla 4.** Resultados de las emisiones en pellets completos.

Temperatura(°C)	SO <sub>2</sub> (ppm)	CO(ppm)	CO <sub>2</sub> (%vol)	NO(ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)
20	0,00	4,40	0,04	0,00	0,70
40	0,00	4,60	0,05	0,00	0,70
60	0,00	4,10	0,04	0,00	0,70
80	0,00	5,60	0,04	0,00	0,70
100	1,00	16,40	0,07	0,37	0,70
120	1,00	28,70	0,05	0,62	0,70
140	4,00	89,90	0,14	1,12	0,70
160	13,00	266,00	0,39	1,99	3,53
180	26,00	604,00	0,79	2,86	13,43
200	70,00	1641,00	1,83	4,72	37,48

Fuente: (Garbajosa, 2013)

**Tabla 5.** Resultados de las emisiones en pellets <180 µm.

Temperatura(°C)	SO <sub>2</sub> (ppm)	CO(ppm)	CO <sub>2</sub> (%vol)	NO(ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)
20	0,00	3,60	0,00	0,00	0,00
40	0,00	3,90	0,00	0,00	0,00
60	0,00	9,20	0,00	0,00	0,70
80	1,00	13,40	0,01	0,12	0,70
100	1,00	28,50	0,02	0,12	1,41
120	2,00	42,60	0,06	1,74	1,41
140	6,00	136,00	0,20	4,23	2,82
160	17,00	551,00	0,76	6,96	3,53
180	34,00	665,00	1,00	7,96	17,68
200	81,00	2558,00	2,86	10,95	49,50

Fuente: (Garbajosa, 2013)

Garbajosa también menciona que el objetivo de este estudio fue el diseño de un equipo para mejorar la realización del ensayo de extracción de gases, sin embargo, señalo que, pese a que el método utilizado en el proyecto fue el ideal, está muy próximo a él y los resultados que se obtuvieron con el fueron son muy consientes.

Las conclusiones a las que llegaron fueron hasta una temperatura de 60-80 grados centígrados prácticamente no se produce gas alguno al calentar este tipo de biomasa. La temperatura en la cual se produce la inflexión en la emisión de gases, y que es cuando comienzan a emitirse gases en grandes cantidades, varía con cada tipo de gas.

Enriquez Rosero y otros (2012), Los autores en su investigación titulada: “Diseño y construcción de un prototipo de quemador de lecho estacionario que se use como combustible cáscara de *Jatropha curca* L. (Medellín, Colombia)”, presentaron un diseño y la construcción de un prototipo de quemador especialmente para la cascara del fruto de *Jatropha curca* L., para ser usado como combustible. Para esta investigación los investigadores determinaron algunas propiedades fisicoquímicas de esta especie, como el poder calorífico, porcentaje de humedad, densidad aparente, porosidad, análisis elemental (contenido de nitrógeno, de fosforo y carbón orgánico y cuantificación de cenizas); siguiendo esta metodología planteada por los investigadores caracterizaron detalladamente el fruto de dicha especie, lo que permitió establecer condiciones requeridas para una combustión apropiada de dicha cascara, determinándose un poder calorífico de 17 298 kJ/kg valor superior, uno de los más altos como biomasa. Indicaron que en plantas de producción en calderas que usan combustibles sólidos, son diferentes a los quemadores a los que queman madera y los de carbón. En las calderas que utilizan combustibles sólidos, el 80% del aire de combustión se utiliza para el proceso de la combustión y el 20% alimenta a los gases residuales que se producen durante la combustión, garantizando una combustión completa. Así mismo determinaron con el ensayo de la granulometría, con el objetivo de obtener el tamaño de grano que presente un mejor comportamiento para la combustión, de esa forma obtuvieron la clasificación de la muestra esto con el fin obtener el peso que se tiene de cada tamaño de grano de la muestra de 2400 g. estas se resumen en: grande, mediano, pequeño y pulverizado, como se visualizan en la figura 1



**Figura 1.** Tamaño del Grano para combustión  
Fuente: (Enriquez Rosero, y otros, 2012)

En la tabla N° 6. Se muestra los distintos porcentajes obtenidos luego de realizar el tamizado, los investigadores indican que se observa el mayor porcentaje en el tamaño de muestra pequeño con casi el 47%.

**Tabla 6.** Porcentajes de tamaño de grano

Tamaño de Grano	Porcentaje (%)
Grande	9.06
Mediano	18.26
Pequeño	46.47
Pulverizado	26.21
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fuente: (Enriquez Rosero, y otros, 2012)

Del mismo modo determinaron la densidad aparente de la cascara de *Jatropha curca L.*, ya que conociendo esta magnitud los investigadores indican que se puede definir algunas dificultades que no permiten el desarrollo de una combustión efectiva, y del mismo modo establecer condiciones que generen una buena combustión. en la tabla N°7, se muestran los resultados de las densidades donde se observa que el grano pequeño posee mayor densidad Aparente.

**Tabla 7.** Densidades de los tamaños de grano.

Tamaño de Grano	Peso (Cilindro + cascara) (g.)	Densidad Aparente (g/ml)
Grande	982.9	0.2167
Mediano	1017.3	0.3027
Pequeño	1042.5	0.3657

Fuente: (Enriquez Rosero, y otros, 2012).

Del mismo modo indicaron que el contenido de Nitrógeno de la cáscara de *Jatropha curca* es de 0,87 %, el que comparado con el contenido de nitrógeno de la madera de "pino" (0.07%), es muy alto, quiere decir entonces que al hacer la combustión con la cáscara del "piñon" se formaran más óxidos de nitrógeno (NOx). En los ensayos de combustión se realizaron con aire atmosférico, sin ningún tipo de encerramiento, para dicha combustión se

realizaron diferentes métodos como, la separación de la cascara y el albumen de *Jatropha curca L.*, triturado de la cascara, clasificación de la cascara, en dicho método de clasificación, utilizaron el método granulométrico ya mencionado líneas arriba, para obtener distintos tamaños de muestra, se utilizaron una columna de tamices, y un tamizador. Para este proceso se utilizó una masa de 2400 g., Los resultados se muestra en la tabla 8.

**Tabla 8.** Peso de los tamaños de grano.

Tamiz Numero	Tamaño de Grano	Peso (g)	Porcentaje
1/4"	Grande	217.5	9.06
4	Mediano	438.2	18.26
8	Pequeño	1115.2	46.47
16	Pulverizado	629.1	26.21
	<b>Total</b>	<b>2400</b>	<b>100</b>

Fuente: (Enriquez Rosero, y otros, 2012))

Los resultados que tuvo de la quema al aire libre o “quema atmosférica” se muestran en la tabla 9.

**Tabla 9.** Resultados de quema al aire libre de los granos

TAMAÑO DE CÁSCARA	TEMPERATURA RESISTENCIA		DURACION DE LLAMA	PESO INICIAL (g)	PORCENTAJE DE CENIZA (%)
Grande	ALTO	(535°c)	1:05 min	10	30.73
	MEDIO	(450°c)	2:13 min	10	20.71
	BAJO	(212°c)	5.21 sg	10 gr	40.48
Mediano	ALTO	(535°c)	1:39 min	10	30.4
	MEDIO	(450°c)	50:21sg	10	20.88
	BAJO	(212°c)	No se sostiene	10	60.19
Pequeño	ALTO	(535°c)	No se sostiene	10	No se obtiene
	MEDIO	(450°c)	No se sostiene	10	No se obtiene
	BAJO	(212°c)	No se sostiene	10	No se obtiene
Pulverizado	ALTO	(535°c)	No se sostiene	10	No se obtiene
	MEDIO	(450°c)	No se sostiene	10	No se obtiene
	BAJO	(212°c)	No se sostiene	5	No se obtiene

Fuente: Enríquez y Jaramillo (2012)

Con los resultados se deduce que el tamaño de grano que más tiempo mantiene la llama es la grande, llega a una temperatura de 450° C., ahora un

tamaño menor del grano la temperatura será menor en porcentaje, en la quema atmosférica o sea al aire libre.

Luego de estas pruebas, los granos fueron sometidos a unas condiciones más parecidas a la combustión dentro de un hogar, observándose que la llama duró por más de 12 segundos al estar cerca a la entrada del combustible o sea con aire, en cambio dentro de la cámara de combustión duro solo 5 segundos; así, se observó que hay muchos factores que se deben tener en cuenta para el diseño del prototipo final, el diseño debe tener una cámara de combustión más grande, para que la cáscara pueda estar bien distribuida y no quedar saturada, debe incluirse un sistema de ventilación que permita un flujo constante de aire, así también un sistema alimentador de combustible, con flujo de entrada de constante.

Finalmente, el autor concluye que la cascara del "PIÑON" posee una porosidad alta (89%), una baja densidad aparente (0.22 g/ml para el grano grande) y una humedad moderada (9-10%). La alta porosidad y la baja densidad aparente hace que el combustible tenga poco empaquetamiento, requiriéndose una mayor cantidad de volumen para garantizar la alimentación de masa, también la porosidad favorece la absorción de humedad lo cual tiene efectos negativos para la combustión.

El porcentaje de cenizas, está por el orden de 8% que comparado con otras maderas es alto, las cenizas dificultan la combustión dentro de la cámara absorbiendo calor. El prototipo llegó alcanzar temperaturas máximas de 640°C, en el interior del hogar y de 474.4°C con los gases de combustión; el porcentaje de cenizas fue de 17%. Por consiguiente, el utilizar la cascara de *Jatropha curca* "piñon" como combustible es un tema aún en desarrollo y existen muchos aspectos por determinar, por lo cual el diseño y optimización aún está muy atado a más investigación.

**Acosta y otros (2010)**, Los autores en su investigación titulada "Diseño y Construcción de un Prototipo de Cocina que utilice Biomasa como Combustible" desarrollado en el Salvador –Centro América 2010, tuvo, como objetivos específicos indicaron la realización de pruebas experimentales de combustión, variando las dimensiones de la altura y el diámetro de la brecha

de aire y, luego, seleccionar las dimensiones optimas; también fue objetivo el aplicar metodológicas sobre el desarrollo de nuevos productos aprendidos en la carrera de Ing. Industrial y por ultimo elaborar una guía de usuario para la cocina.

En la investigación los autores afirmaron lo siguiente: que el proceso de combustión es un fenómeno químico que surge cuando un combustible inicia un proceso de oxidación al entrar en contacto con oxígeno, iniciándose este proceso con una fuente inicial de energía en forma de calor, que permita excitar a las moléculas del combustible para que éstas se muevan con mayor libertad y puedan combinarse con los átomos de oxígeno.

También, mencionaron que para que se produzca la llama se necesita de la presencia de gas, ya que solos los gases pueden arder y presentar flama, indican también que los sólidos y los líquidos presentan fuego cuando se gasifican, siendo el mejor ejemplo la leña, que cuando está seca, al calentarla se gasifica e inicia la llama, una vez que el fuego está presente, éste se encarga de gasificar las partes que todavía no estén ardiendo (oxidándose) y que cuando la leña se encuentra verde o mojada es más difícil iniciar la combustión porque se necesita más energía, primero para evaporar el agua o la sabia, y después para gasificarla e iniciar la combustión de esos gases.

La metodología que se siguió en la investigación fue: la elección de la biomasa, determinación de las dimensiones del contenedor biomásico, verificación de las pruebas a realizar, determinación del diseño del prototipo, construcción del prototipo preliminar, pruebas del prototipo preliminar, construcción del prototipo, prueba final y elaboración del manual usuario. Cabe mencionar que para la medición de concentración de gases como el monóxido de carbono (CO) y Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), utilizaron un equipo tecnológico llamado **Pocket PCs. IPAQ modelo 2210**, este aparato se conecta a un tipo de sonda (**DirectSense™ IAQ PPC modelo IQ-410**) la que posee en su interior posee una placa con dispositivos electrónico con cuatro sensores que se encargan de captar el valor en partes por millón (ppm), para la medición de la temperatura se utilizó el instrumento llamado **TERMOPAR** (pirómetro eléctrico).

Para la elección del combustible los investigadores presentaron los posibles combustibles como: aserrín, hojas secas, granza de arroz y bagazo de caña; y estos fueron sometidos a evaluación teniendo los siguientes criterios como: cercanía, presentación, costo, disponibilidad y cantidad; a estos a la vez se les asignó una ponderación cuyo resumen se presenta en la tabla 10, con este contexto los investigadores eligieron el valor más alto que corresponde al aserrín y por este motivo se realizaron 99 pruebas utilizando esta biomasa.

**Tabla 10.** Proceso de calificación de los criterios.

Criterios	Ponderación	Aserrín	Hojas secas	Granza de arroz	Bagazo de caña
Cercanía	20%	1.60	1.80	0.40	0.40
Presentación	15%	1.05	0.90	1.05	0.90
Costo	25%	2.25	2.50	1.75	1.75
Disponibilidad	20%	2.00	1.00	1.40	0.80
Cantidad	20%	1.60	1.40	1.80	1.40
<b>Total</b>	<b>1.0</b>	<b>8.50</b>	<b>7.60</b>	<b>6.40</b>	<b>5.25</b>

Fuente: (Acosta, y otros, 2010)

Los autores mencionados, Acosta y otros, indican que para la realización de las pruebas se recolectaron 35 recipientes de lata, cuyas dimensiones fueron de 18 cm. de diámetro y 22 cm. de altura, de estos se seleccionaron 11 recipientes de las mejores condiciones; éstos fueron perforados en el costado de recipiente, haciendo un agujero con diámetros comprendidos entre 2 a 7 cm, a una distancia de 1 cm. del fondo del recipiente. Para completar las alturas e 26 cm. se recortaron con algunos depósitos y se añadieron 5 cm. en la parte superior de cada uno de ellos. Las alturas que se utilizaron fueron: 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24 y 26. Ver figura 2.



**Figura 2.** Recipientes utilizados por acosta y otros en su investigación.

Fuente: (Acosta, y otros, 2010)

Del mismo modo, los autores indican que fabricaron 11 piezas de madera en forma de cilindro y 11 piezas en forma cónica (30 cm. de largo para los conos y 25 cm para los cilindros). Estas piezas se instalaron formando una "L" al interior de los recipientes, estos fueron llenados y compactados con aserrín, tal como se puede ver en la figura 3.



**Figura 3.** Aserrín compactado dentro del recipiente; A. Posición de cilindros de madera para ser compactados, B. Aserrín compactado dentro del depósito.  
Fuente: (Acosta, y otros, 2010).

Una vez iniciada la combustión se dejó un intervalo de tiempo de seis minutos para empezar a realizar las medidas de temperatura, CO, CO<sub>2</sub>, hollín y Humo. En su documento presentan una tabla con los datos obtenidos de la prueba realizada en los experimentos de combustión (prueba N° 1). en la tabla 11, se presenta los datos de la prueba N° 1.

**Tabla 11.** Datos de la prueba N° 1

Prueba N°1							
N° de datos	Día	Hora	CO (ppm)	CO2 (ppm)	Temperatura (°C)	Humo	Hollín
1	28-jun-10	15:35:04	6,7	998	75	1	1
2	28-jun-10	15:41:04	25,9	1343	30	2	2
3	28-jun-10	15:47:04	225,4	1130	221	3	3
4	28-jun-10	15:53:04	80,9	793	53	2	2
5	28-jun-10	15:59:04	51,6	611	55	2	0
6	28-jun-10	16:05:04	290,8	1319	100	2	0
7	28-jun-10	16:11:04	590,8	888	120	2	1
8	28-jun-10	16:17:04	300,8	1298	130	2	1
9	28-jun-10	16:23:04	659,9	2341	150	2	1
<b>Promedio</b>			<b>248,1</b>	<b>1191,2</b>	<b>103,8</b>	<b>2,0</b>	<b>1,2</b>
<b>Duración en horas</b>							

Fuente: (Acosta, y otros, 2010).

Las conclusiones que llegaron los investigadores (Acosta y otros) después de realizar todas las pruebas fueron:

- El recipiente con una altura de 20 cm. de aserrín compactado y una brecha de aire de 4 cm. de diámetro, constituyó la mejor configuración para la combustión del prototipo, según los criterios analizados,
- Para un diámetro de recipiente constante, el tiempo de duración dependió del diámetro de la brecha de aire en el aserrín y de la altura del recipiente.
- Al agregar una capa de ceniza sobre la parte superior del aserrín, disminuye las emanaciones de humo en la combustión,
- Al disminuir la altura de columna de aserrín, la compactación tiene menos adhesión, cuando se realiza de forma tradicional (golpear un trozo de madera con un objeto cualquiera sobre el aserrín),
- Un depósito de 20 cm. de altura, 18 cm. de diámetro y 4 cm. de diámetro de brecha de aire dura cerca de 3.5 horas y Entre más alta es la temperatura, hay menos emanaciones de humo y hollín.

**Toscano (2009)**, en su investigación titulada “Análisis de los parámetros y Selección de hornos para la Combustión de biomasa, desarrollado en Guayaquil-Ecuador 2009; considero como objetivo general fue el análisis del comportamiento general de estos residuos, para poder utilizarlos como un combustible alternativo en los hornos de combustión; al mismo tiempo considero como objetivo específico considero el análisis y optimización de los parámetros y la selección del tipo de horno para cada biomasa.

El autor enfatizó su investigación sobre la problemática de la generación energética en el país de Ecuador, en el cual indica que es insuficiente y que incrementan a diario los problemas técnicos, económicos, sociales, ambientales, y que afectan el desarrollo sostenido del país; existe una demanda insatisfecha porque no se desarrollan proyectos energéticos en forma periódica existiendo déficit de energía; en ese sentido, técnica y económicamente se justifica la implementación de proyectos energéticos alternos y sobre todo con fuentes energéticas renovables. También el mismo autor define biomasa como el conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma, dentro de las cuales se encuentran los residuos de industria agrícolas, que se producen en gran cantidad y por ende siempre va a existir una considerable cantidad de residuos agrícolas y esto son: Bagazo de caña, cascarilla de arroz y cascarilla de café.

La metodología consistió: primero en seleccionar la biomasa por región, describiendo el proceso de conversión de energía, tomando datos de parámetros de combustión completa, para su análisis y lograr optimizar la combustión, para luego seleccionar el tipo de horno para cada tipo de residuo. Indica el autor que, durante el proceso de combustión de la madera, tiene que ocurrir una cadena compleja de procesos de conversión termoquímicos como son: el calentamiento, secado, descomposición pirolítica, gasificación del combustible sin agua, gasificación del carbón sólido y la oxidación de los gases combustibles.

De la misma manera, se describió el proceso de conversión completa de combustibles sólidos en las siguientes fases:

Fase (0-1): Calentamiento del combustible, esta se da en menos de 100°C esto es generalmente para que los combustibles se calienten a temperaturas óptimas ya que se encuentran a temperaturas del ambiente entre 10°C y 25°C.

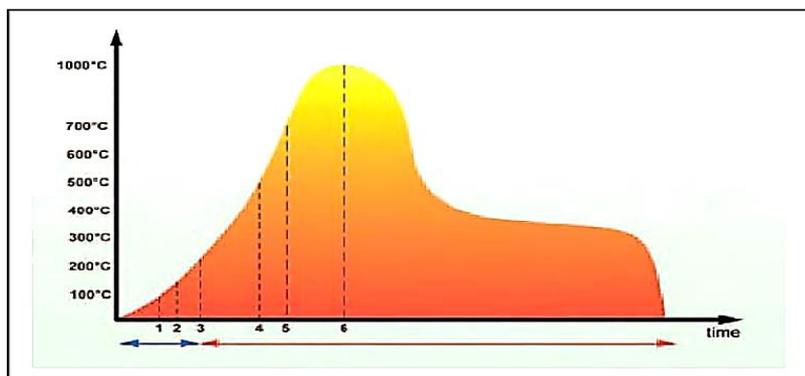
Fase (1-2): Secado de combustible, esta fase se da entre los 100-150°C. Por encima de los 100°C comienza la vaporización principal del agua que el combustible contiene en su interior.

Fase (2-3): descomposición pirolítica de los componentes de la madera, se da entre 150-230°C, empezando por encima de los 150°C. Fase en que las largas cadenas de componentes que se rompen en cortas cadenas de compuestos. En esta fase se deriva los compuestos líquidos de alquitrán y gases como monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos gaseosos (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>), en esta fase no requiere nada de oxígeno. El autor indica que en su estudio se hace un énfasis en las fases (1-3), ya que estas son reacciones endotérmicas o de calor absorbido, que ocurre en cualquier quema automáticamente, y estas sirven para preparar al combustible para la oxidación.

Fase (3-4): gasificación del combustible sin agua, entre 230-500°C, fase que ocurre en el Lecho del combustible sólido, el oxígeno es suministrado como aire primario. Se emite suficiente calor en la reacción de los productos gaseosos (C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>) de la pirolisis para poder afectar a los sólidos y a los productos líquidos de la pirolisis, tales como el carbón y alquitrán.

Fase (4-5): gasificación del carbón sólido, entre 500-700°C, fase bajo influencia del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), se genera disponibilidad del vapor de agua y el oxígeno (O<sub>2</sub>), La gasificación del carbón sólido es exotérmica y emite los rayos de luz y de calor toma la forma de una llama visible.

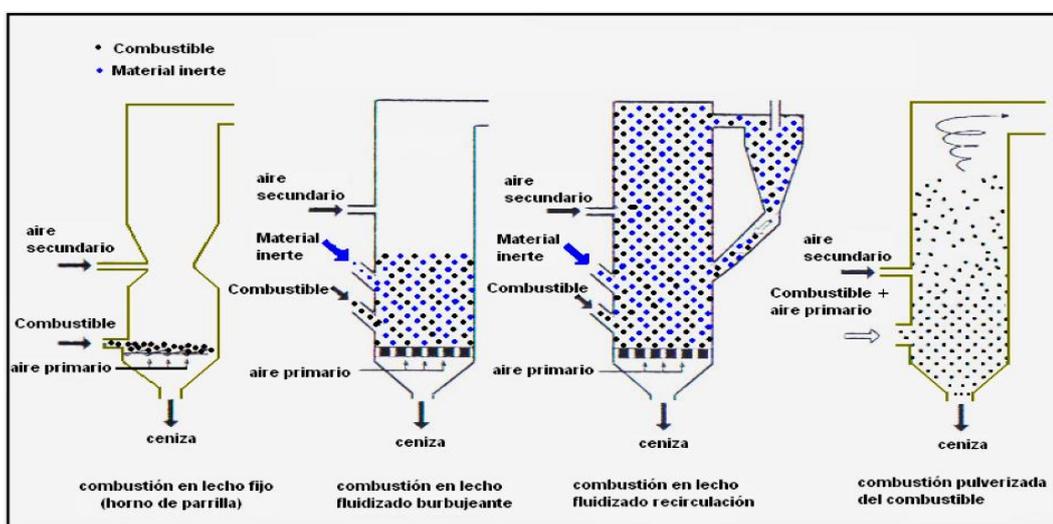
Fase (5-6): oxidación de gases combustibles, entre 700°-1400°C aproximadamente, la oxidación de todos los gases que resultan de las etapas de los procesos precedentes representa el final de la reacción de la combustión, bajo influencia del aire secundario, considerada la combustión limpia y completa de la mezcla de gases. En la figura 4. Se muestra la curva temperatura tiempo, indicada en el estudio del autor.



**Figura 4.** Temperatura Vs tiempo de Quema de la Madera

Fuente: (Toscano, 2009)

Toscano indica que, para realizar los cálculos de la investigación se utilizó un conjunto de ecuaciones termodinámicas de combustión, pues la combustión es extremadamente compleja, y existe un número de cálculos básicos de la ingeniería, cálculos que se centran en la reacción de la conversión total del combustible que ocurre y en el rendimiento térmico y que el estudio consideró los parámetros más importantes: flujo de humos y su composición, flujo de aire y la proporción de su exceso, poder calorífico del combustible, temperaturas de combustión factibles y eficiencia de combustión y eficiencia térmica. En cuanto a la tecnología de la combustión industrial, Toscano describió los sistemas de combustión en una capacidad térmica nominal que excede a los 100 kw.; menciono que las tecnologías que se pueden distinguir son: combustión en lecho fijo, combustión en lecho fluidizado y combustión pulverizada del combustible. Para resumir los principios básicos el autor mostro mediante los esquemas que se muestran en la figura 5.



**Figura 5.** Sistema de Combustión

Fuente: (Toscano, 2009)

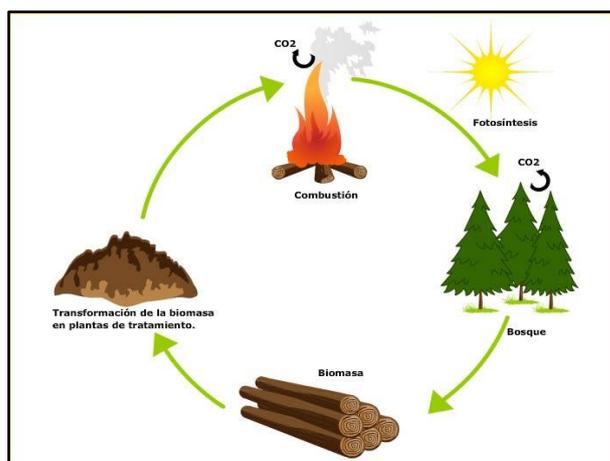
Respecto los aspectos medio ambientales Toscano indica que la combustión de la biomasa, influye principalmente en la atmósfera con las emisiones que surgen del sistema de combustión, y que el tipo de las emisiones dependen de las características del combustible como de su composición elemental, contenido de agua, densidad y comportamiento térmico; y también de las condiciones del proceso de la combustión, de las medidas de reducción de emisión primaria y secundaria y de la tecnología de combustión aplicada. Menciona que hoy en día existen diversos tipos de aplicaciones para la combustión de biomasa la que se ha desarrollado desde unidades a pequeña escala para la calefacción de habitaciones, hasta de gran escala, como las centrales eléctricas.

Toscano menciona, que dentro de los componentes que se emiten a la atmosfera, en la combustión completa, están los dióxidos de carbono  $\text{CO}_2$ , Óxidos de nitrógeno  $\text{NO}_x$ , Óxido nitroso  $\text{N}_2\text{O}$ , Óxidos de azufre  $\text{SO}_x$ , Cloruro de hidrógeno  $\text{HCL}$ , partículas y metales pesados; y en la combustión incompleta, que son principalmente el resultado de mezcla inadecuada de aire y del combustible en la cámara de combustión, que produce zonas locales de combustión, carencia total de oxígeno disponible, temperaturas demasiado bajas en la combustión, tiempos de residencia demasiado cortos, concentraciones radicales demasiado bajas en los estadios finales del proceso de la combustión de la fase de combustión del carbón de leña.

## 2.2. Marco teórico

### 2.2.1. La biomasa

Según CNE; GTZ, (2007) biomasa es el resultado de la transformación de materias orgánicas ya sea de origen animal o vegetal. Esta transformación puede ser de forma natural o artificial, para el caso de los vegetales al realizar la fotosíntesis, forman sustancias orgánicas, a partir de sustancias simples y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) presente en el aire, según el esquema que ve en la Ver figura 6.



**Figura 6.** El ciclo de la biomasa.

Fuente: (Centro de Interpretación de Energías Renovables, 2017) ([www.docenariosostenibles.com](http://www.docenariosostenibles.com))

Según la misma institución, existen diferentes tipos o fuentes de biomasa que pueden ser utilizados con fines energéticos:

- **Biomasa natural:** este tipo de biomasa se produce sin ninguna intervención de ser humano, es decir de manera espontánea que se da en la naturaleza, un ejemplo claro de este tipo de biomasa sería el recurso generado en un bosque por sus desechos naturales.
- **Biomasa residual seca:** dentro de este tipo de biomasa se encuentran los recursos generados por las actividades ganaderas, forestales, agrícolas y otras actividades, algunos ejemplos claros de este tipo de biomasa son el estiércol, aserrín, cascaras de almendras, la paja, el orujo, etc.
- **Biomasa residual húmeda:** este tipo de biomasa son llamados a los residuos “biodegradables”, por ejemplos residuos ganaderos, aguas

residuales industriales como urbanas, lodos de depuradora, residuos de fabricación de aceite, etc.

- **Biomasa producida por cultivos energéticos:** este tipo de biomasa son cultivados en el campo con el fin producir materia prima para la obtención de combustible. Algunos cultivos para tal fin son el girasol, maíz, caña de azúcar y plantaciones dendroenergéticas.

### **2.2.2. Características y Procesos en la quema de Biomasa**

- **Características térmicas de la biomasa**

Las biomásas poseen unas características específicas que permite determinar que funcioné como combustible en la quema. Las características más relevantes referentes a la conversión térmica de la biomasa son el poder calorífico, que según Covacevich C, (1979) indica que es la “medida de la energía desprendida por la oxidación completa de una unidad de combustible”, también Coavacevich C, manifiesta que “es importante señalar, que el poder calorífico de la biomasa depende en gran medida del contenido de humedad”. Según BUN-CA; FORCER. (2002), manifiesta que el contenido de humedad, es medida de la siguiente manera, agua contenida por kilogramo de materia seca, por lo que la mayoría de las biomásas poseen menor 30% de humedad; la Densidad es la cantidad de masa de un determinado volumen de materia en estado físico, dicho lo anterior, BUN-CA; FORCER, (2002) señala que los “combustibles con alta densidad aparente favorecen la relación de energía por unidad de volumen, requiriéndose menores tamaños de los equipos y aumentando los períodos entre cargas”. La cantidad de cenizas nos indica la cantidad de masa sólida no combustible por kilogramo de materia.

- **Procesos de Conversión Energética de la Biomasa**

La biomasa puede tratarse por medio de distintos procesos para producir electricidad o calor y dar espacios a diferentes productos energéticos de tipo gaseoso, sólido o líquido (García, 2007). Y en otra investigación según Gutiérrez. (2012) señala que la transformación depende de los microorganismos, temperatura del proceso y los productos químicos que se encuentran involucrados. El proceso para obtener la energía se clasifica por

biológicos, termoquímicos y extractivos, estos son los procesos básicos para la combustión, pirolisis, fermentación alcohólica, extracción físico química y gasificación.

- **Combustión**

La combustión es un proceso de descomposición termoquímica consistente en una reacción de oxidación de los componentes de la biomasa a alta temperatura en presencia de oxígeno, el cual consta de una serie de etapas. Primero ocurre el secado, en el cual se evapora el agua residual de biomasa a una temperatura de alrededor de 100°C., al mismo tiempo se inicia la descomposición térmica o pirolisis y la gasificación de la biomasa, alcanzándose un proceso rápidamente creciente a una temperatura entre los 150-200°C. Posteriormente comienza la combustión propiamente dicha, con la inflamación de los gases formados en la fase anterior a unos 225°C desprendiendo calor. Entre los 260-290°C la combustión continua en el núcleo sólido remanente del proceso de pirolisis, dando paso al consumo del carbón formado, que arde lentamente desarrollando una temperatura de 800°C, obteniéndose como productos finales de este mecanismo energía en forma de calor, dióxido de carbono, agua y cenizas como resultado de la reacción (García, 2007; Szarka y Llanos, (2009).

Todo el proceso es llevado a cabo en presencia de oxígeno en cantidades suficientes para producir la oxidación total del material y conseguir una combustión energéticamente óptima y de bajo impacto medioambiental, controlando de esta forma la emisión de humos, monóxido de carbono y cantidad de elementos no combustionados.

- **Gasificación**

En el proceso de gasificación se produce la descomposición térmica de la biomasa a altas temperaturas, sobre los 700°C, en presencia de pequeñas proporciones de un agente oxidante: aire, oxígeno o vapor, el cual permite una oxidación parcial de la materia orgánica, a partir de la reacción con los residuos carbonosos procedentes de la descomposición (Antolín, 2006). Durante el proceso aparece una gran variedad de reacciones, que dependen de las condiciones de operación, del equipo y del agente gasificante

utilizado, generando como producto principal gas de síntesis, compuesto fundamentalmente de monóxido de carbono e hidrógeno. Los principales equipos utilizados para este proceso son gasificadores del tipo lecho móvil y lecho fluidizado, siendo más común el empleo del primero.

- **Pirolisis**

La pirolisis es el proceso que consiste en la descomposición termoquímica de las materias celulósicas de la biomasa en ausencia de un medio oxidante a temperaturas entre 400-800 °C. En este proceso, se genera una serie de compuestos sólidos, líquidos y gaseosos cuyas concentraciones dependen de las propiedades de la especie maderera tratada, y de los parámetros de operación del equipo, principalmente temperatura y tiempo de residencia (García, 2007).

### **2.2.3. Residuo forestal como fuente de energía**

- **Características de los residuos forestales**

Camps y Marcos, 2008) dicen que los residuos forestales, procedentes de actividades silvícolas y/o industrias forestales están constituidos por ramas, tocones, corteza, astillas y aserrín, y que éstos comúnmente no se encuentran concentrados y son muy heterogéneos, por lo tanto la utilización de estos residuos hacen más caro las operaciones para la obtención y abastecimiento del recurso energético, teniendo además que homogeneizar el material utilizable (Askew y Holmes, 2001, Andersen et al., 2005). Esta concepción requiere realizar una valoración de la biomasa forestal existente que permita una adecuada utilización como fuente de energía.

Vásquez, (2007), menciona que “al aplicar las diferencias entre el volumen real y el aprovechable de una troza, dedujo que sólo el 52% es recuperable, como producto primario y que el 48% restante se convierte en aserrín, cantos y despuntes”. Además, señala que este 48% puede convertirse en abono orgánico, combustible, energía, y entre otros productos.

González et al. (2007) mencionan que “la problemática del uso de los desechos madereros depende principalmente de consideraciones económicas, y que, sin embargo, en la actualidad el escenario energético y el

potencial de los residuos madereros en esta materia, representan una alternativa atractiva de desarrollo energético”. Los autores indican que los aserraderos principalmente generan residuos con potencial uso energético corresponden a corteza, lampazos o cantoneras, aserrín, viruta y astillas.

- **Problemática de la acumulación y utilización de los residuos de madera**

Soto, et al (2000), señalan los aserraderos comúnmente votan los desperdicios de maderas en sus patios para su posterior quemado, dando lugar a la generación de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, sin considerar además otros materiales mezclados, que hacen el volumen y la calidad de residuos, en ese sentido los desechos de los aserríos son un problema a solucionar.

Ruíz, (2000) considera residuos de madera a los que “proceden de los procesos de primera y segunda transformación de la madera, y forman un conjunto de materiales heterogéneos entre los que se encuentran las astillas, corteza, aserrín, recortes, madera en rollo, entre otros”. Las observaciones realizadas durante la encuesta de residuos, por el autor de este trabajo, determinó que el destino de los residuos procedente de la segunda transformación de la madera de las carpinterías de Madre de Dios, es ser quemados al aire libre, tal como se observa en una vista mostrada en la figura 7,



**Figura 7.** Quemado de residuos de carpintería al aire libre

Fuente: (Elaboración propia).

#### **2.2.4. Principales Contaminantes Producidos al Quemar Leña o Residuos de Madera.**

Durante el proceso de quemado de la madera se producen materias y derivados contaminantes, los más relevantes se describen a continuación

- **Materia en partículas o partículas de materia-PM:**

Son partículas contaminantes adheridas a diminutos segmentos de cenizas y carbono. Estas partículas suelen ser minúsculos que pueden penetrarse hasta nuestros pulmones y causar problemas que pueden afectar al corazón. “Las PM se asocian a trastornos de irritación de las vías respiratorias, baja de la función pulmonar, agudización del asma, bronquitis crónica y muerte prematura de personas con enfermedades del corazón”. (CCA, 2014 pág. 2).

- **Monóxido de carbono (CO):**

Gil Pinzon y otros (2016) en su investigación “Evaluación de la eficiencia en la reducción de emisiones de CO y CO<sub>2</sub>, por medio del diseño experimental de un filtro de aluminio” describe el monóxido de carbono como un gas incoloro e inodoro, y se considera como el mayor contaminante de la atmósfera terrestre (gas de efecto invernadero-GEI), y de la calidad del aire en las grandes ciudades. El autor sostiene que el tiempo de residencia en la atmósfera de este GEI es de 65 días aproximadamente y su presencia causa diversos efectos tóxicos en la salud del ser humano y que, a temperatura ordinaria, el CO es un producto estable y se disocia en carbono y anhídrido carbónico entre 400°C y 800°C y que a partir de ahí la reacción se estabiliza; también sostienen que se quema en presencia de oxígeno con llama azul, dando anhídrido carbónico y con desprendimiento de calor, por ello es un combustible utilizado en la industria, y que se trata de un agente reductor, que reacciona con diversos óxidos metálicos (de cobre, hierro, cobalto, plomo, etc.) formándose anhídrido carbónico y el metal correspondiente y que puede combinarse con el cloro en presencia de catalizadores o por acción de la luz, formándose fosgeno.

Los mismos autores, Pinzón y otros, indican que el CO, puede llegar a ocasionar la muerte del ser humano cuando es respirada en altos niveles y el CO se origina cuando se realizan la quema de diferentes materiales combustibles como carbón, tabaco, gas, kerosene, gasolina, petróleo, o madera en espacios donde hay poca oxigenación como las calderas, chimeneas, los calentadores de agua y diversos *electrodomésticos* que queman combustible, como las estufas, hornillos o calentadores también pueden producirlo si no están funcionando correctamente. También dicen que emiten este GEI los vehículos parados con el motor encendido, la combustión incompleta de gas, petróleo, gasolina, carbón y aceites, el sector industrial metalúrgico, en la fundición de aceros, la industria de fabricación de papel y las plantas productoras de formaldehído.

Los riesgos a la salud del monóxido de carbono, también llamado “el asesino silencioso”, tiene efectos potencialmente altos en la salud humana, ya que este gas compite con el oxígeno dentro el organismo humano y altera la curva de disociación de la hemoglobina, una vez que penetra al organismo, el monóxido de carbono se une a las enzimas del grupo Hem de la hemoglobina, desplazando al oxígeno de la misma, formando en la sangre un complejo que se denomina carboxihemoglobina, el cual dificulta el transporte de oxígeno a las células y tejidos, lo que va a producir una hipoxia celular generalizada. Los síntomas y signos iniciales de la intoxicación aguda se presentan muy rápidamente y se han relacionado con niveles de carboxihemoglobina en sangre superiores a 10 %.

Los efectos sobre el ambiente del monóxido de carbono se manifiestan cuando éste se libera principalmente desde fuentes naturales y por la combustión de aceites combustibles (fueloiles), permanece en el aire aproximadamente 2 meses, se degrada en la atmosfera y se transforma en anhídrido carbónico; en el suelo es degradado por microorganismos a anhídrido carbónico. No se acumula en las plantas ni en los tejidos de los animales.

- **Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):**

Los mismos Gil Pinzon, y otros (2016) en la investigación mencionada anteriormente describen el dióxido de carbono, como otro gas de efecto invernadero (GEI) que no es inflamable y que, en condiciones atmosféricas, es químicamente estable e inerte. El CO<sub>2</sub>, tiene reacciones intensas en algunas sustancias como por ejemplo ácidos o amoníaco. Los autores indican que el CO<sub>2</sub>, al ser disuelta en H<sub>2</sub>O, produce un ácido carbónico, que posee un efecto corrosivo sobre algunos metales no ferrosos y el acero de carbono. El CO<sub>2</sub> tiene un peso de 1,5 más que el aire aproximadamente, en ese sentido el CO<sub>2</sub>, siempre tiende ir hacia abajo y se acumula en sótanos, pozos o en depresiones naturales, y si en estos lugares hay poca fluidez de aire el CO<sub>2</sub> puede permanecer ahí durante varias horas. También señalan que el CO<sub>2</sub>, se encuentra a una proporción de 325ppm, en la atmósfera y que adquiere por medio de fermentación, combustión, descomposición térmica. Hoy en día es de preocupación su incremento del CO<sub>2</sub>, en la atmósfera, es por ello que se da los cambios climáticos. Los autores mencionan que la fuente de emisión del CO<sub>2</sub>, son por ejemplo el proceso de respiración, el transporte porque quema combustible (gasolina, petróleo y otros derivados del gas), incendios forestales, las plantas industriales de cemento, incineración, químicas y metalúrgicas.

El CO<sub>2</sub>, genera varios problemas de salud al ser humano en un corto tiempo, y esto depende mucho de los niveles de concentración de gas. Como por ejemplo puede causar irritación y quemaduras de la piel y ojos; su contacto directo con el gas sólido y líquido, causa mareos, dolor de cabeza, congelamiento, temblores, dificultad para respirar, tintineo en los oídos y confusiones. La exposición a mayores niveles de CO<sub>2</sub>, puede generar daño al feto, al cerebro, visión y genera cambios en la personalidad.

El CO<sub>2</sub> que se concentra en la atmósfera, se elimina continuamente por los sumideros de carbono, que son mecanismo que absorben CO<sub>2</sub>, por ejemplo, unos los sumideros de carbono más grande son los bosques, por lo que su deforestación generaría más problemas para el ser humano ya que habría más concentración de dióxido de carbono en la atmósfera. El CO<sub>2</sub>

ayuda a que las crezcan más rápidas y a la vez se de en regiones más áridas. En ese sentido hace que el reino vegetal incremente su diversidad y a la vez el reino animal ya que ellos se alimentan de las plantas.

- **Otros compuestos contaminantes**

Según la CCA (2014) los otros compuestos contaminantes importantes lo constituyen los compuestos irritantes, como por ejemplo la acroleína que produce reacciones alérgicas e inflamación, otro de los compuestos irritantes son los hidrocarburos aromáticos poli cíclicos (HAP), que podemos encontrarlos en el hollín de la chimenea y el humo de los cigarrillos, estos producen cáncer a la persona. También tenemos a los compuestos volátiles, como por ejemplo las dioxinas y el benceno, que son carcinogénicas.

### **2.3. Definición de términos**

**Corteza:** Es la capa externa de los troncos de los árboles o plantas leñosas que protege la madera, estos son sacados mediante maquinas descortezadores y si no disponen de ellos es retirado a lampazos.

**Lampazos o cantoneras:** Comprende tener los laterales de la troza de madera libre de la corteza.

**Aserrín:** Es el conjunto de desperdicio de madera en partículas muy pequeñas que pueden ser entre 1 a 5mm de tamaño al ser aserrada la madera.

**Viruta:** Son fragmentos de madera en forma de cinta delgada y espiral que se obtiene al pulir la madera mediante la maquina cepillado u otras herramientas.

**Despuntes:** son desperdicios de diferentes tamaños que son resultados de acabado de dimensionamiento de la madera.

**Astillas:** Son fragmentos o trozos de maderas punzantes de tamaños pequeños de entre 5 y 100 mm.

## **CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1. Tipo de estudio**

El tipo estudio realizado es de investigación experimental aplicada, cualitativa y cuantitativa, en el cual se manipuló el número de cámaras y el suministro de aire a dichas cámaras, en un quemador-prototipo para quemar residuos de madera, fabricado para tales fines, y determinar cuál es el efecto sobre la emisión de CO, CO<sub>2</sub> y, adicionalmente la Temperatura de salida.

### **3.2. Diseño de estudio**

El estudio se diseñó como una investigación experimental, en donde existen dos variables independientes, número de cámaras y tipo de ingreso de aire, y tres variables dependientes, cantidad de emisión de monóxido de carbono, cantidad de emisión de dióxido de carbono y nivel de temperatura de salida del prototipo-quemador, además se diseñó para que los resultados fueran numéricos y fueran factibles de aplicar mediciones y deducciones estadísticas validadas. Se diseñó 14 tratamientos a ser ensayados en el prototipo de quemado y, adicionalmente, se realizó una medición al aire libre para fines de deducción de los tratamientos

### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población:**

La población de la presente investigación fueron los volúmenes de residuos de las especies maderables más utilizadas y generadas por las empresas MIPYME de la ciudad de Puerto Maldonado, región de Madre Dios, de esta población se determinó al azar un grupo de 24 empresas en las cuales se llevó a cabo una encuesta para establecer las especies de mayor uso volumétrico en sus trabajos, (ver formato de encuesta en anexo N°1).

### **3.3.2. Muestra de residuos de madera:**

De acuerdo a la metodología seguida la muestra de residuos de madera para el presente estudio fue una mezcla de las cuatro (04) especies de mayor uso por las carpinteras de la ciudad de Puerto Maldonado, se utilizó 3 kg de esta mezcla de residuos, como biomasa de combustión en el quemador prototipo.

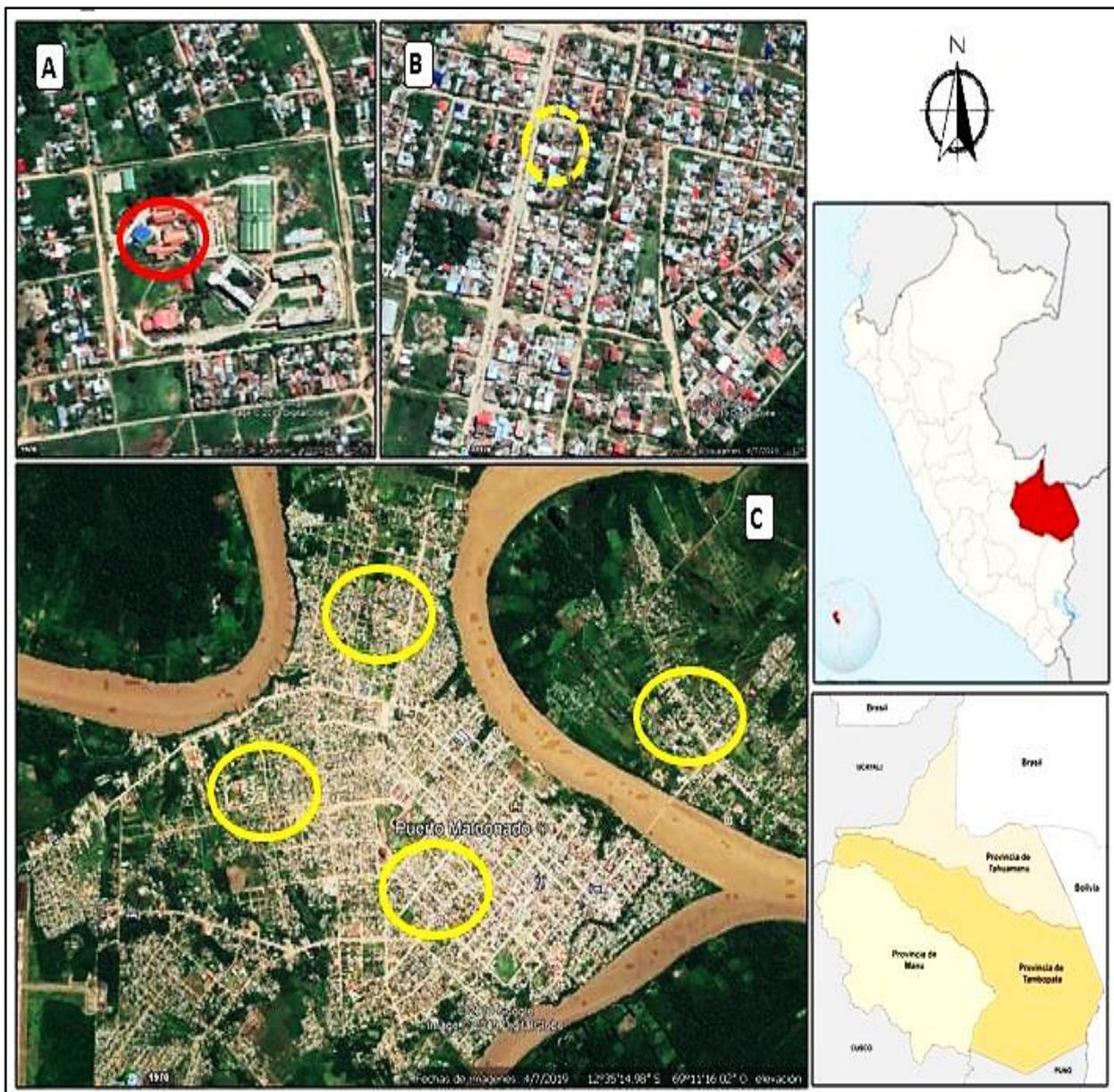
## **3.4. Métodos y técnicas**

### **3.4.1. Área de investigación**

El área de investigación dentro del cual se ha desarrollado la presente investigación está dentro del área recursos naturales y medio ambiente y considera que en la actualidad es necesario el uso eficiente de los recursos naturales dentro de los cuales se incluyen el uso eficiente de la madera y sus residuos, tratando en lo posible de tener los equipos adecuados evitar el calentamiento global sobre todo debido a las emisiones de gases efecto invernadero, que se emiten durante la combustión de la madera, ya sea como eliminación o para generar calor con fines domésticos e industriales. El conocimiento de los resultados de esta investigación puede ayudar a promover estrategias para el mencionado uso de la madera y sus derivados, incluyendo sus residuos, en evitar el deterioro del medio ambiente.

### **3.4.2. Lugar de desarrollo de la investigación**

La formulación del perfil del proyecto se realizó en la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios-UNAMAD, ubicada la Av. Jorge Chávez N° 1160, la ejecución del proyecto de investigación se realizó una carpintera acondicionada para la realización de los ensayos y la recolección de los residuos se realizó en el casco urbano de la ciudad de Puerto Maldonado, de capital del departamento de Madre de Dios. Ver figura 8.



**Figura 8.** Área de la investigación en la figura A. en rojo universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, B en amarillo. localización de la carpintera para los ensayos, C. amarillo lugares de muestreo, representa el área de las encuestas a las carpinteras. Fuentes y elaboración: (<http://www.googlemap.com>) marcado propio.

### 3.4.3. Materiales, Equipos y Softwares.

#### ➤ **Materiales y equipos de campo**

- Residuos de madera de las carpinterías (materia de estudio)
- Prototipo de quemador metálico, modificable.
- Campana elevada colectora de aire
- Balanza digital con 01 de precisión, etc.).
- Formato para toma de datos.
- Formatos para las encuestas.
- Estacas. Cinta métrica (wincha).

#### ➤ **Materiales y equipos de gabinete**

- Computadora de gabinete y laptop.
- Impresora.
- Útiles de Escritorio
- Calculadora Científica.
- Lupa de 10x
- Estereoscopio
- Tablas de características macro y microscópicas de especies maderables.
- Cuchillas para cortes en los planos de la madera.

#### ➤ **Equipos e instrumentos de medición.**

- Medidor portátil eléctrico de humedad, con pines
- Anemómetro digital manual.
- Medidor electrónico de CO y CO<sub>2</sub>
- Termocupla bimetálico

#### ➤ **Sistemas informáticos**

- Microsoft Excel.
- Paquete de software para el análisis estadístico.

### **3.4.4. Alcances de los Equipos utilizados en la investigación:**

#### **a. Quemador prototipo.**

El quemador prototipo, en su etapa final, fue una caja rectangular con una base de 40cm x 40cm y 90 cm de altura. El diseño incluyó una cámara-base principal donde se hizo la combustión de las muestras de los residuos de madera, sobre esta base se adicionaron sucesivamente la segunda y tercera cámara para poscombustión, formando sucesivamente una columna vertical de combustión y poscombustión. La primera cámara de combustión propiamente dicha, se incluyó una puerta en el frente para facilitar el ingreso y colocación de la muestra a ser quemada, esta puerta permaneció cerrada durante el proceso de quemado. Ver figura 9. También se incluyó en la parte inferior de la cámara una rejilla donde se colocó la muestra y permita la caída de la ceniza a la caja de recolección de cenizas, las dimensiones de esta caja fue de 40 X 40 cm y 20 cm de altura. Las dimensiones de la primera cámara o cámara de combustión fue 40 X 40 cm y 60 cm de alto, las dimensiones de cámaras adicionales fueron de 40 x 40 cm y altura de 10 cm. La adición de las cámaras fue mediante soldadura de tal manera que solo se permitió el ingreso del aire, natural o forzado, a través de una ranura de 40x4cm, estas aberturas no estuvieron superpuestas una sobre la otra, y así exigir que el aire proveniente de la cámara anterior recorra el espacio de toda la cámara y alcance la ranura de ingreso a la otra cámara o la abertura de salida al exterior de prototipo. La salida de los gases hacia el exterior fue mediante una abertura circular de 76mm de diámetro. Para evitar que las temperaturas de salida deterioren los equipos electrónicos de medición de CO y CO<sub>2</sub>, se instaló un ducto cuadrado de 2x3cm de sección por 12m de largo, con una inclinación de 15 grados sobre la horizontal, a fin de enfriar los gases que salían del quemador-prototipo, en el extremo de este ducto se instaló los medidores de CO y CO<sub>2</sub> y las conexiones al equipo de registro conformada por los cables, transductores y laptop. Ver Figura 10. El quemador-prototipo tuvo ingreso de aire libre natural desde la base de la cámara de combustión, sucesivamente para las tres cámaras; para forzar el ingreso de aire adicional a las cámaras de poscombustión se colocaron tubos de fierro galvanizado de 12mm de diámetrox40cm de largo, estos tubos llevaron una fila de huecos de 3mm para

facilitar la distribución del aire insuflado a las cámaras de poscombustión. Los tubos de insuflado estuvieron conectados al exterior con codos y tubos del mismo material a la compresora de suministro de aire forzado. Para controlar el correcto suministro del flujo de aire, desde la compresora, se instaló llaves de paso en las tuberías mencionadas justo antes del ingreso a cada cámara, tal como se puede ver en la Figura 11. El quemador prototipo se fabricó con planchas de 6 mm de espesor.

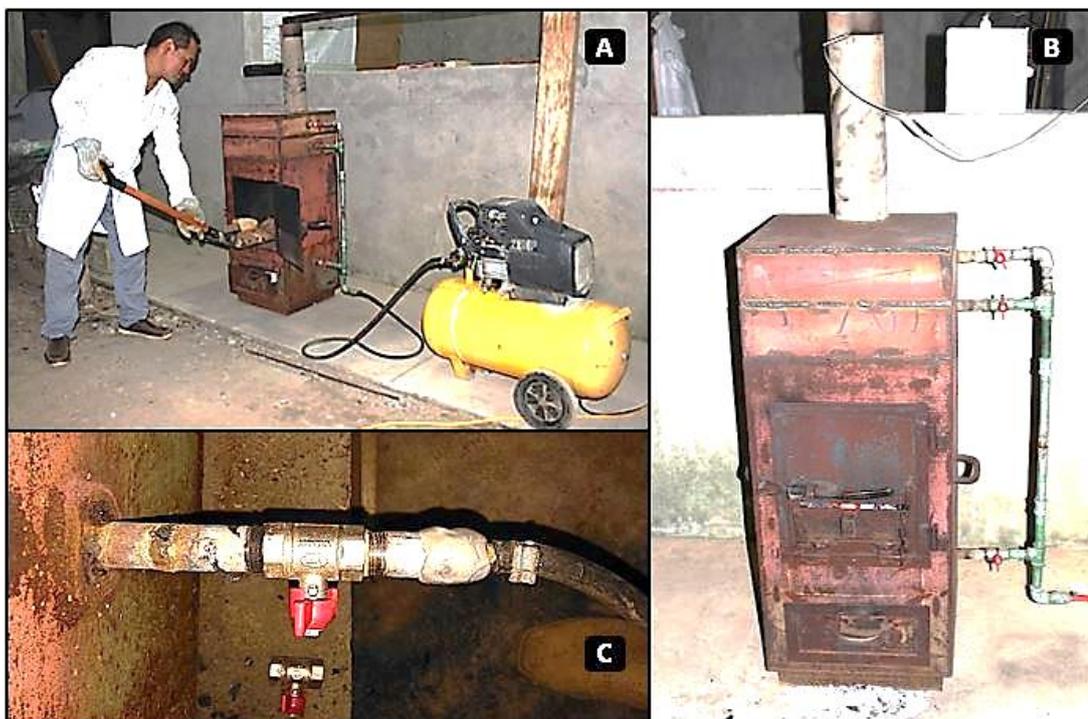


**Figura 9.** Vista General del Quemador Prototipo y partes.  
Fuente: (elaboración propia)



**Figura 10.** A. ducto el enfriamiento de los gases de combustión y ubicación del medidor de temperatura a la salida de la chimenea; B. conexiones eléctricas entre los medidores, módulos, transformadores y laptop para el registro delos datos; C. ubicación de los medidores de los gases de combustión CO y CO<sub>2</sub>.

Fuente: (elaboración propia).



**Figura 11.** A. equipo de compresora para el suministro de aire forzado a las diferentes cámaras del prototipo de combustión; B. distribución y ubicación de los tubos y llaves de paso de aire insuflado en las tres cámaras de combustión; C. llave de paso para el control de entrada del aire.

Fuente: (elaboración propia).

**b. Equipo para la determinación del porcentaje de humedad de los residuos de madera.**

Se utilizó un Medidor de humedad portátil RVD-904, este equipo, para fines de madera sólida, cuenta con un martillo con pines o clavos sensores adosados en uno de sus extremos, los cuales se introdujeron dentro de la madera de acuerdo a las técnicas establecidas por los fabricantes. Su rango de medición de humedad es 6% a 100%, y la resolución de medición 0.1. Las especificaciones técnicas se indican en el ANEXO N° 2. En la Figura 12 se muestra el equipo utilizado.



**Figura 12.** Equipo detector de humedad utilizado en los ensayos  
Fuente: (elaboración propia).

**c. Equipo de inyección de aire al quemador prototipo:**

Para la inyección de aire al quemador prototipo se usó una compresora de aire de 50 litros de capacidad de almacenamiento con motor de 2.5 HP, de doble salida de aire (alta – baja 120 Psi para uso continuo), regulador de presión y sistema automático de encendido y apagado. Las especificaciones técnicas se encuentran en el ANEXO N° 3. A la compresora de aire se le adiciono una manguera de alta presión de 3m de largo, la cual fue conectada a un sistema de tubos de fierro para poder conducir e inyectar el aire a las diferentes cámaras del prototipo quemador. En la Figura 13, se muestra el equipo utilizado.



**Figura 13.** Equipo de inyección de aire  
Fuente: (elaboración propia).

#### **d. Equipo medidor de la velocidad de insuflado de aire.**

La velocidad de salida de aire de la compresora y de ingreso del aire mediante la tubería hacia las cámaras de poscombustión se midió mediante un Mini Termo-Anemómetro cuyas características se presenta en el ANEXO N° 4, En la Figura 14 se muestra el equipo utilizado.



**Figura 14.** Equipo medidor de velocidad de insuflado de aire.  
Fuente: (elaboración propia).

#### **e. Equipo de detector de CO2.**

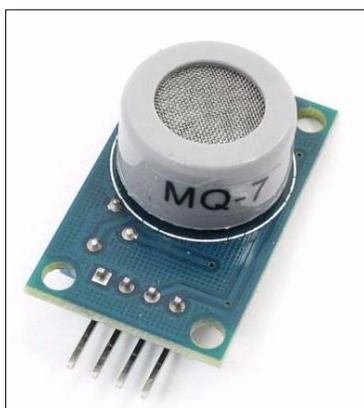
Se utilizó un detector de CO2 portátil 77535 AZ- Instrument. Corp. Este equipo puede medir la concentración de CO2, el nivel de CO2, la temperatura del aire, el punto de rocío, la temperatura del bulbo húmedo y la humedad. Los valores leídos de dióxido de carbono fueron enviados a una PC para el análisis en línea. El sensor de CO2 se puede calibrar fácilmente en el aire fresco. En el ANEXO N° 5 se presenta las características del equipo. En la FIGURA 15 se muestra el equipo utilizado en la investigación.



**Figura 15.** Equipo detector de CO2  
Fuente: (elaboración propia).

#### f. Sensor de monóxido de carbono (MQ7)

Se usó El MQ-7 para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire. Este sensor posee una sensibilidad alta lo que nos permite detectar 20 a 2000ppm de concentración de CO con una respuesta inmediata. El sensor para su funcionamiento en el equipo requiere de una fuente de 5v.



**Figura 16.** Sensor de CO modelo MQ7.  
Fuente: <http://www.filipeflop.com/pd-200f3c-sensor-de-gas-mq-7-monoxido-de-carbono.html>

#### g. Termocupla tipo K Sensor de temperatura.

Este sensor tomó la temperatura a la salida de los gases de cámara última cámara del prototipo. La termocupla está compuesta por 2 alambres de diferente tipo de material que están soldados en un extremo. Este sensor al al aplicarlo cierta temperatura produce un voltaje pequeño (efecto Seebeck) de milivoltios el cual se incrementa con la temperatura. La termocupla utilizada

fue de las siguientes características: composición química: Cromo (+), Aluminio (-), rango de aplicación usual 95°C-1260°C, que satisface en atmosferas oxidantes, calibre AWG (mm)= N° 8, diámetro 3.25 mm; límites de error (grado estándar) a Temperatura °C 0-1250=  $\pm 2.2^\circ \text{C}$  o  $\pm 0.75\%$ . Esta termocupla se usa comúnmente a nivel industrial



**Figura 17.** Termocupla tipo K empleada en la investigación  
Fuente: ([https://www.jmi.com.mx/catalogo\\_sensores/Tablas\\_Termopares.pdf](https://www.jmi.com.mx/catalogo_sensores/Tablas_Termopares.pdf)),  
Termokew, 2015

#### **h. Campana o colector de gases de combustión.**

Para coleccionar los gases provenientes de la quemazón de las rumas de residuos al aire libre se construyó y utilizó una campana cuadrada de latón de tipo piramidal, de un metro por lado y cuyas caras tuvieron una inclinación de 45° respecto al plano de la base; en el ápice tuvo una salida tubular cuadrada de 10 cm por lado, y 20cm de alto en cuyo centro se adecuó los sensores de CO, CO<sub>2</sub> y Temperatura de los equipos de medición. (Figura 18).

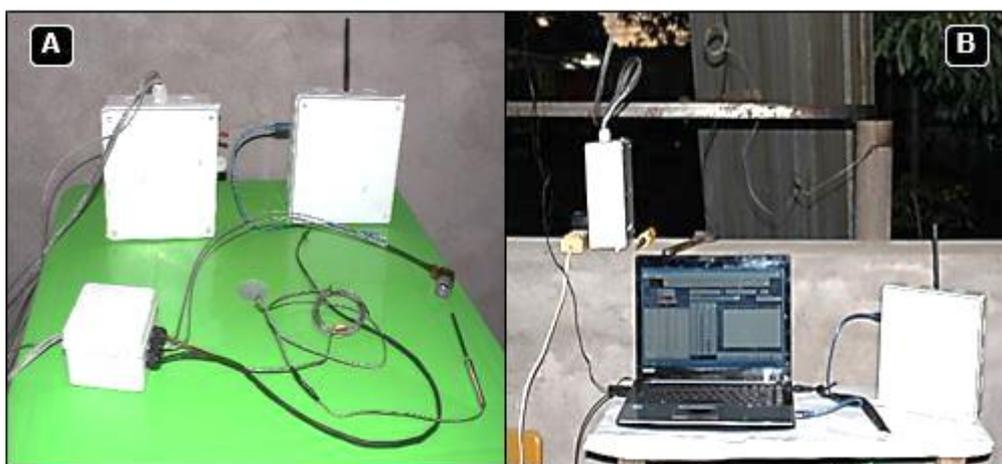


**Figura 18.** Campana o colector de gases de combustión al aire libre.  
Fuente:(elaboración propia).

La medición de los gases está constituida por dos módulos:

**El Módulo Emisor:** se encargó de medir las concentraciones de Monóxido de carbono (CO) y la temperatura de salida ( $^{\circ}\text{C}$ ) a la salida de los gases del quemador prototipo. Este módulo es el encargado de enviar los datos de monitoreo de los gases y temperatura. Ver figura 19.

**El Módulo receptor:** este equipo recibió los datos y los envió a una computadora mediante un cable USB, para ser mostrado mediante el software LabVIEW, y luego ser procesado. Ver figura 19



**Figura 19.** A. módulos receptor y emisor con los sensores respectivos; B. ubicación de los módulos en el ducto de enfriamiento y a la salida de los gases del quemador prototipo, también el uso del software LabVIEW en la Laptop.  
Fuente: (elaboración propia)

### **3.4.5. Metodología y procedimientos.**

#### **a. Colección de los Residuos de especies Maderables**

Para la colección de residuos de madera se siguió el siguiente procedimiento:

1. Se seleccionó al azar 24 MIPYMES carpinterías de la ciudad de Puerto Maldonado - Madre de Dios, equivalente al 12% de carpinterías en actividad. (ver lista de carpinterías en anexo N° 6)
2. Se estableció las especies de uso más frecuente, mensual y anual de cada carpintería entrevistada. Esto se determinó mediante una encuesta sobre el volumen de madera adquirida por los MIPYME en el año.
3. Luego se procedió a establecer las cuatro (04) especies más abundantes y frecuentes en el uso de las MIPYMES y por lo tanto las que se convierten en residuos más frecuentes, se tomó como seleccionables las especies que sumaran por lo menos el 70% del volumen de uso promedio por las MIPYME.
4. Se realizó la recolección a granel y al azar de las muestras de las especies más utilizadas en las diferentes carpinterías también seleccionadas al azar. (ver galería de fotos en anexo N° 8)
5. Los residuos se secaron al aire libre y se almacenaron dentro de un ambiente techado, por un periodo de 60 días para uniformizar el contenido de humedad de la madera de los residuos de las especies seleccionadas. (Ver anexos N° 9 y 10). Para la determinación del porcentaje de humedad de los residuos se utilizó un equipo portátil el medidor de humedad portátil RVD-904 (ver anexo N°11).
6. Se seleccionó los residuos alargados hasta 30 cm. a fin de que tengan cabida en la cámara de combustión del quemador prototipo. Y a partir de esa medida se consideró las mínimas como parte de las muestras para los ensayos de la combustión.
7. Mediante ensayos preliminares se determinó el peso máximo que puede entrar en la cámara de combustión para que tenga una duración

mínima de 30 minutos de duración del proceso de quemado de mezcla de especies.

8. Se acondiciono un área de pesado embolsado y codificado. El pesado se realizó con una balanza electrónica, se embolso y luego se le asignó un respectivo código para cada muestra y estas fueron utilizadas para la combustión de cada tratamiento. Las bolsas contenían la mezcla por igual de especies y de peso a ser combustionado.
9. Se preparó 5 muestras, correspondientes a cinco repeticiones, para cada tratamiento, en total se preparó 75 muestras para la combustión en el quemador prototipo.

#### **b. Construcción del quemador-prototipo:**

Para la construcción del quemador prototipo se siguió el siguiente procedimiento:

1. Se construyó una maqueta de madera y triplay para observar los tamaños y facilidades de manipuleo de los residuos durante el quemado y, mediante la adición de humo como indicador se pudo observar el movimiento de los humos de la combustión.
2. Por ser un prototipo económico se usó una plancha de fierro de 6mm de espesor por 1.22x2.44m
3. La cámara de combustión estuvo en la parte inferior y en la cual se instaló la parrilla de quemado con varilla de fierro corrugado de 12mm de diámetro, separados 1.5cm cada una, a fin de facilitar la caída de las cenizas al colector de cenizas situada inmediatamente debajo de la parrilla. El colector de cenizas fue una cajuela cerrada pero removible para eliminar las cenizas. Esta cámara tuvo una puerta situada en el frente del prototipo, la puerta se acondiciono otra sub puerta pequeña para el ingreso de oxígeno se mantuvo ligeramente abierta (3 cm. de abertura) durante todo el proceso de quemado de la mezcla de especies.

### **c. Construcción de la Campana o colector de gases de combustión**

1. Se utilizó latón de 1.5mm de espesor.
2. Se le dio la forma de una pirámide cuadrada de 1.0m de lado y 75cm de alto en la cúspide. Las paredes tuvieron una inclinación de 45° respecto a la horizontal. En la cúspide se colocó una salida de gases de 10 cm. de diámetro y 15 cm. de alto; en el centro de esta salida se colocaron los accesorios de medición de gases.
3. Para mantener la aireación normal de un quemado al medio ambiente la campana piramidal se elevó 30 cm del suelo, colocando un fierro de 12mm en cada vértice de la base de la campana.
4. La muestra a quemar fue colocada sobre una superficie de cemento.

### **d. Procedimiento para el quemado de las muestras.**

El proceso de quemado de la mezcla de especies siguió el siguiente procedimiento:

#### **En el quemador prototipo.**

1. Colocación al azar de la mezcla a quemar sobre la parrilla de la cámara de combustión.
2. Encendido de la muestra de maderas mediante una pequeña antorcha, la misma que estuvo humedecida con petróleo Diésel.
3. Se mantuvo ligeramente la puerta abierta con una abertura de 3 cm.

#### **Al aire libre, para usar la campana colectora.**

1. Se colocó la muestra debajo de la cúspide de la campana.
2. Se encendió la muestra mediante una pequeña antorcha humedecida en petróleo Diésel.

### **3.5. Diseño de la Experimentación**

#### **3.5.1. Caracterización de la experimentación.**

El diseño experimental se elaboró para establecer las relaciones causa-efecto de las modificaciones intencionales en el número de cámaras de un quemador prototipo y sus combinaciones incluyendo dos tipos de ingreso de aire, denominados TRATAMIENTOS, sobre dos variables dependientes la emisión de CO y de CO<sub>2</sub> y una tercera colateral, la temperatura de salida en el quemador prototipo.

La experimentación fue controlada y, en todos los casos, se tomó información cuantitativa para facilitar la evaluación de los efectos de los tratamientos sobre el efecto reductor o no de la emisión de gases efecto invernadero.

#### **3.5.2. Tipo de diseños experimental.**

El diseño experimental fue completamente al azar o aleatorizado, por el cual cualquier residuo de cualquier especie y de cualquier carpintería pudo estar dentro de cualquier bolsa de mezcla para ser destinada a quemarse en cualquier repetición de cualquier tratamiento. Se uniformizó el contenido de humedad al medio ambiente y se uniformizó el peso de cada especie en la mezcla de especies para tener un peso constante de 3.0Kg. Por muestra de ensayo.

#### **3.5.3. Tratamientos considerados en la experimentación.**

Los tratamientos considerados se derivaron de las siguientes condiciones:

- Número mínimo de cámaras: 1
- Número máximo de cámaras: 3
- Número de tipos de ingreso de aire: 2
- Total, de tratamientos: 14
- Quemado al aire libre (referencia): 1

Con esta información se determinó 14 tratamientos y uno de referencia mismos se resumen en el Tabla 12.

**Tabla 12.** Tratamientos considerados en el diseño experimental.

N° de tratamientos	Cámaras del Quemador-Prototipo		Ingreso de aire
	N°	tipo de Cámaras	
1	1	Cámara de combustión	Sin insuflado
2	1	Cámara de combustión	Con insuflado
3	1	Cámara de combustión	Sin insuflado
	2	Cámara de pos combustión	Sin insuflado
4	1	Cámara de combustión	Con insuflado
	2	Cámara de pos combustión	Sin insuflado
5	1	Cámara de combustión	Con insuflado
	2	Cámara de pos combustión	Con insuflado
6	1	Cámara de combustión	Sin insuflado
	2	Cámara de pos combustión	Con insuflado
7	1	Cámara de combustión	Sin insuflado
	2	Cámara de pos combustión	Sin insuflado
	3	Cámara de pos combustión	Sin insuflado
8	1	Cámara de combustión	Sin insuflado
	2	Cámara de pos combustión	Sin insuflado
	3	Cámara de pos combustión	Con insuflado
9	1	Cámara de combustión	Sin insuflado
	2	Cámara de pos combustión	Con insuflado
	3	Cámara de pos combustión	Sin insuflado
10	1	Cámara de combustión	Sin insuflado
	2	Cámara de pos combustión	Con insuflado
	3	Cámara de pos combustión	Con insuflado
11	1	Cámara de combustión	Con insuflado
	2	Cámara de pos combustión	Sin insuflado
	3	Cámara de pos combustión	Sin insuflado
12	1	Cámara de combustión	Con insuflado
	2	Cámara de pos combustión	Con insuflado
	3	Cámara de pos combustión	Sin insuflado
13	1	Cámara de combustión	Con insuflado
	2	Cámara de pos combustión	Con insuflado
	3	Cámara de pos combustión	Con insuflado
14	1	Cámara de combustión	Con insuflado
	2	Cámara de pos combustión	Sin insuflado
	3	Cámara de pos combustión	Con insuflado
15	1	Referencia: Quemado de la mezcla de residuos al aire libre.	Captura de Gases mediante una campana

Fuente: (elaboración propia)

### 3.5.4. Medidas de centralización y de dispersión.

Se determinó los principales parámetros estadísticos de los tratamientos desde dos enfoques de agrupación de los datos.

#### A. Medidas de centralización y de dispersión con datos NO AGRUPADOS.

Se determinó el promedio de medias y de coeficientes de variación del tratamiento, mediante las fórmulas que se mencionan a continuación:

##### a. Calculo de la media, datos No Agrupados:

a.1. Media dentro de cada repetición.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

a.2. Media promedio de las repeticiones, para el tratamiento

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^5 \bar{x}_i}{5}$$

##### b. Calculo de la variancia, desviación estándar y coeficiente de variación, datos no agrupados:

b.1. desviación estándar y coeficiente de variación, para cada repetición.

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

Variancia

$$s = \sqrt{s^2}$$

Desviación  
estándar

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100$$

Coficiente de  
variación (%)

b.2. coeficiente de variación promedio de las repeticiones, para el tratamiento.

$$\overline{CV} = \frac{\sum_{i=1}^5 CV_i}{5}$$

Simbología:

$n$  = Cantidad de observaciones.

$X$  = observaciones o datos elementales.

$\bar{X}$  = Promedio de una repetición.

$\overline{\bar{X}}$  = Promedio del tratamiento (promedio de promedios de las repeticiones).

$S^2$  = Variancia o dispersión de las observaciones.

$S$  = desviación estándar, raíz cuadrada de la variancia.

$CV$  = Coeficiente de variación de una repetición.

$\overline{CV}$  = Coeficiente de variación del Tratamiento (promedio de coeficientes de variación de las repeticiones).

## B. Medidas de centralización y de dispersión con DATOS AGRUPADOS.

Para este caso se procedió de la siguiente manera:

- Se ordenó la data de cada repetición de menor a mayor.
- Se determinó el intervalo de clase para cada variable dependiente: 200 para el CO, 500 para el CO2 y 50 para la temperatura.
- En cada intervalo de clase de cada tratamiento se sumó los valores de las cinco repeticiones y se obtuvo una frecuencia acumulada para cada intervalo de clase de cada variable en cada tratamiento.
- Con los valores agrupados del paso anterior se determinó, para cada tratamiento, las medidas de centralización y dispersión siguientes, mediante las fórmulas que se mencionan a continuación:

### a. Calculo de la media, datos agrupados:

#### a.1. Media dentro de cada repetición.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{Nc} X_i f_i}{n}$$

#### a.2. Media promedio de las repeticiones, para el tratamiento.

$$\overline{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^5 \bar{X}_i}{5}$$

**b. Calculo de la media, datos agrupados:**

$$M_e = L_{i-1} + c \frac{\frac{N}{2} - F_{i-1}}{f_i}$$

Donde:

$L_{i-1}$ : es el límite inferior del intervalo en cuestión.

$F_{i-1}$ : la frecuencia acumulada anterior a la clase mediana.

$C$ : amplitud de la clase mediana.

$f_i$ : frecuencia absoluta de la clase mediana.

**3.5.5. Análisis estadístico.**

**a. Diseño General.**

El diseño de la experimentación y estadístico es completamente aleatorizado, con el objetivo de comparar los tratamientos indicados en la sección 3.5.3., determinar las fuentes de la variabilidad total y contrastar las hipótesis planteadas. La expresión general es la siguiente:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + u_{ij}, \quad i = 1, \dots, I; \quad j = 1, \dots, n_i$$

Donde:

$y_{ij}$  : Variable aleatoria que representan la observación  $j$ -ésima del  $i$ -ésimo tratamiento (nivel  $i$ -ésimo del factor).

$\mu$  : Efecto constante, común a todos los niveles. Media global.

$\tau_i$  : Efecto del tratamiento  $i$ -ésimo. Es la parte de  $y_{ij}$  debida a la acción del nivel  $i$ -ésimo, que será común a todos los elementos sometidos a ese nivel del factor.

$u_{ij}$  : Variables aleatorias que engloban un conjunto de factores, cada uno de los cuales influye en la respuesta solo en pequeña magnitud pero que de forma conjunta debe tenerse en cuenta. Deben verificar las siguientes condiciones:

### b. Análisis de variancia.

Se utilizó el siguiente esquema

**Tabla 13.** Esquema de la Tabla de ANOVA

TABLA ANOVA				
Fuentes de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	$F_{exp}$
Entre grupos	$SCTr$	$l - 1$	$CMTr$	$\frac{CMTr}{CMR}$
Dentro de grupos	$SCR$	$n - l$	$CMR$	
<b>TOTAL</b>	$SCTr$	$n - 1$	$CMT$	

Fuente: (elaboración propia)

$$SCT = SCTr + SCR$$

$SCT$  : Suma de cuadrados total.

$SCTr$  : Suma de cuadrados entre tratamientos.

$SCR$  : Suma de cuadrados dentro de los tratamientos o residual.

1')  $CMT$ : Cuadrado medio total:  $CMT = SCT/(N-1)$ .

2')  $CMTr$ : Cuadrado medio entre tratamientos:  $CMTr = SCTr/(l - 1)$

3')  $CMR$ : Cuadrado medio residual:  $CMR = SCR/(N - l)$

Aceptar  $H_0$  si  $F_{exp} \leq F_{\alpha; l-1, N-l}$  ; Rechazar  $H_0$  si  $F_{exp} > F_{\alpha; l-1, N-l}$

La data de los tratamientos se procesó mediante el paquete estadístico para computadora denominado "**Software R**"

## CAPITULO IV.- RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACION

### 4.1. Resultados sobre las especies del ensayo.

#### 4.1.1. Resultados de la encuesta y selección de especies de madera más utilizadas por los carpinteros.

De acuerdo a la metodología seguida se realizó una encuesta en una muestra de 24 pequeños talleres de carpintería de la Provincia de Tambopata, equivalente al 12% de carpinterías activas.

En la tabla 14. Se presenta los resultados de la encuesta sobre el Volumen de madera más utilizada por las pequeñas carpinterías, expresada en porcentaje de mayor uso. Las cuatro especies indicadas en dicha tabla suman el 84.94% de volumen total de especies más utilizadas por las MIPYMES carpinteras de la provincia de Tambopata, de acuerdo a los resultados de la encuesta para este trabajo. La identificación se realizó mediante la determinación de las características macroscópicas y microscópicas de la madera de los residuos. (Ver anexos N° 12 y 13, el certificado de identificación de madera e imágenes); En el anexo N°14 se presentan el resultado total de la encuesta realizada.

**Tabla 14.** Maderas más utilizadas en las pequeñas carpinterías MIPYME de la provincia de Tambopata, año 2018.

N°	Nombre común	Nombre Científico	Porcentaje de uso anual (%)
1	Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	35.58
2	Ishpingo	<i>Amburana acreana</i> (Ducke) A.C. Sm.	18.66
3	Moena	<i>Ocotea sp.</i>	15.49
4	Quillobordon	<i>Aspidosperma parvifolium</i> A. DC.	15.21
5	Otros especies	<i>Siete (07) especies forestales</i>	15.06
<b>TOTAL</b>			<b>100.00</b>

Fuente: (elaboración propia)

#### 4.1.2. Características físicas de las cuatro especies más usadas en la muestra de carpinterías, en Tambopata.

Con la finalidad de tener el contexto de las características físicas de la madera de las cuatro especies de mayor uso por las pequeñas carpinterías de la provincia de Tambopata en la tabla N°15, se presenta las características físicas relevantes para el proceso de combustión dentro del prototipo.

**Tabla 15.** Características físicas relevantes para el proceso de combustión dentro del prototipo de las maderas más utilizadas en la muestra de pequeñas carpinterías de la Provincia de Tambopata, año 2018.

Especie		Característica física			
Nombre común	Nombre científico	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (clase)	Resinas (Presencia)	Aceites (Presencia)
Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	0.45	difusa	No	No
Ishpingo	<i>Amburana acreana</i> (Ducke) A.C. Sm.	0.43	difusa	No	No
Quillobordon	<i>Aspidosperma parvifolium</i> A. DC.	0.60	Difusa	No	No
Moena	<i>Ocotea sp.</i>	0.56	Difusa	Si	si

Fuente: (CITEmadera; Confederación Peruana de la Madera-CPM., 2008)

#### 4.1.3. Peso de las muestras y porcentajes mezcla de las cuatro especies utilizadas en los ensayos.

Mediante ensayos preliminares de pesos se determinó el peso adecuado de la mezcla de especies para que permitan un quemado de por lo menos 30 minutos de duración, estableciéndose en 3.0 kg. Con el cual se logró el peso estándar y duración mínima de combustión. Los pesos en Kilogramos con los cuales se hizo la mezcla de las cuatro especies, fueron 1,257 Kg. de Tornillo, 0,659 Kg. de Ishpingo, 0.547 de Moena 0.537 Kg. de Quillobordon, de acuerdo con la información de la tabla N° 16.

**Tabla 16.** Peso de las muestras para las mezcla de las cuatro especies

N°	Nombre común	Nombre Científico	Peso en Kilogramos (Kg)
1	Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	1.257
2	Ishpingo	<i>Amburana acreana</i> (Ducke) A.C. Sm.	0.659
3	Moena	<i>Ocotea sp.</i>	0.547
4	Quillobordon	<i>Aspidosperma parvifolium</i> A. DC.	0.537
<b>TOTAL</b>			<b>3.00</b>

Fuente (elaboración propia).

#### 4.1.4 Resultados de la determinación del porcentaje de humedad (%) y registro del tiempo promedio de duración de la combustión del prototipo:

De acuerdo a la metodología seguida se determinó el promedio del porcentaje de humedad de cada muestra, repetición y tratamiento de la combustión del prototipo, Del mismo modo se registró del promedio del tiempo de combustión de cada muestra, repetición y tratamiento en el quemador prototipo. En la tabla N° 17 se presenta los resultados de los promedios de porcentaje de humedad y del tiempo de combustión el quemador prototipo.

**Tabla 17.** Resultados de promedio de porcentaje de humedad y promedio de registro de tiempo de la combustión del quemador prototipo.

N°	N° de tratamientos	Humedad Promedio (%)	Tiempo de combustión del Quemador Prototipo (min)
1	Tratamiento N° 1	19.4	43
2	Tratamiento N° 2	20	41
3	Tratamiento N° 3	19.4	44
4	Tratamiento N° 4	19.3	34
5	Tratamiento N° 5	19	38
6	Tratamiento N° 6	16	40
7	Tratamiento N° 7	16	50
8	Tratamiento N° 8	15	41
9	Tratamiento N° 9	14	46
10	Tratamiento N° 10	14	46
11	Tratamiento N° 11	15	42
12	Tratamiento N° 12	15	41
13	Tratamiento N° 13	16	38
14	Tratamiento N° 14	17	39
15	Ensayo de Referencia N° 15	16	49
<b>Promedio Total</b>		<b>16.74</b>	<b>42</b>
<b>Coefficiente de Variacion</b>		<b>12.65</b>	<b>10.26</b>

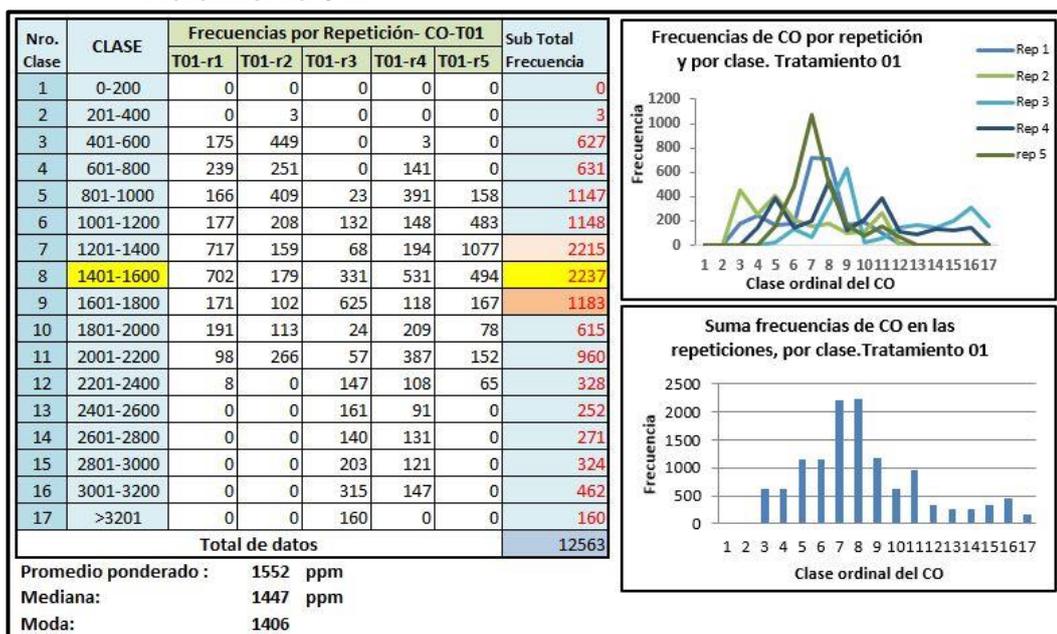
Fuente; (elaboración propia)

## 4.2. Resultados de los ensayos de combustión de la mezcla de especies en el quemador prototipo, por tratamiento.

En las tablas de la 18 a la 59, se presentan los resultados del proceso de combustión de las muestras de residuos de madera realizadas dentro del prototipo de quemador propuesto, estas tablas corresponden a los tratamientos del tratamiento 01 al tratamiento 14, En la Tabla 18 se presenta, a manera de referencia, los resultados de la combustión al aire libre. Para la construcción de las tablas de frecuencia y los cálculos de las medidas de centralización y dispersión se siguió los procedimientos explicados más arriba, En cada TABLA se muestra la frecuencia por clase, el promedio, la mediana y la moda resultante en cada repetición de cada tratamiento aplicado. Para facilitar las inferencias de las tablas también se muestra la figura del polígono de frecuencias de cada repetición en cada tratamiento y finalmente se muestra, también, el histograma de la suma de las frecuencias por cada clase en el tratamiento, denominada “acumulada”

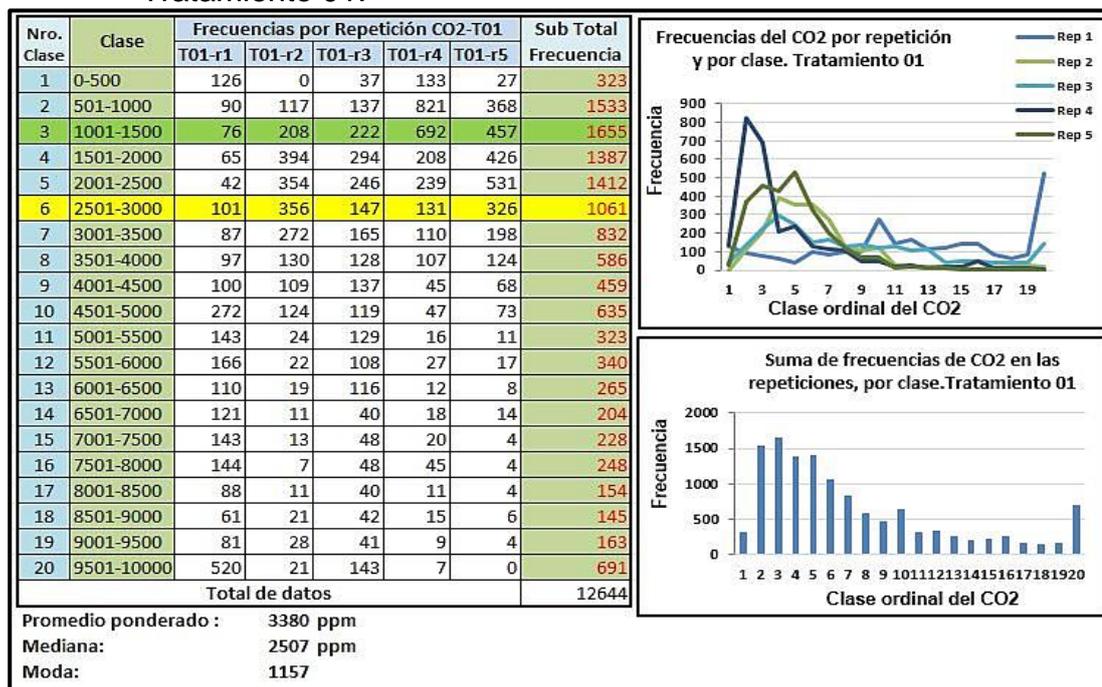
### 4.2.1. Tratamiento 01: prototipo quemador con una (01) cámara de combustión sin insuflado de aire.

**Tabla 18.** Frecuencia (ppm) de CO por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 01.



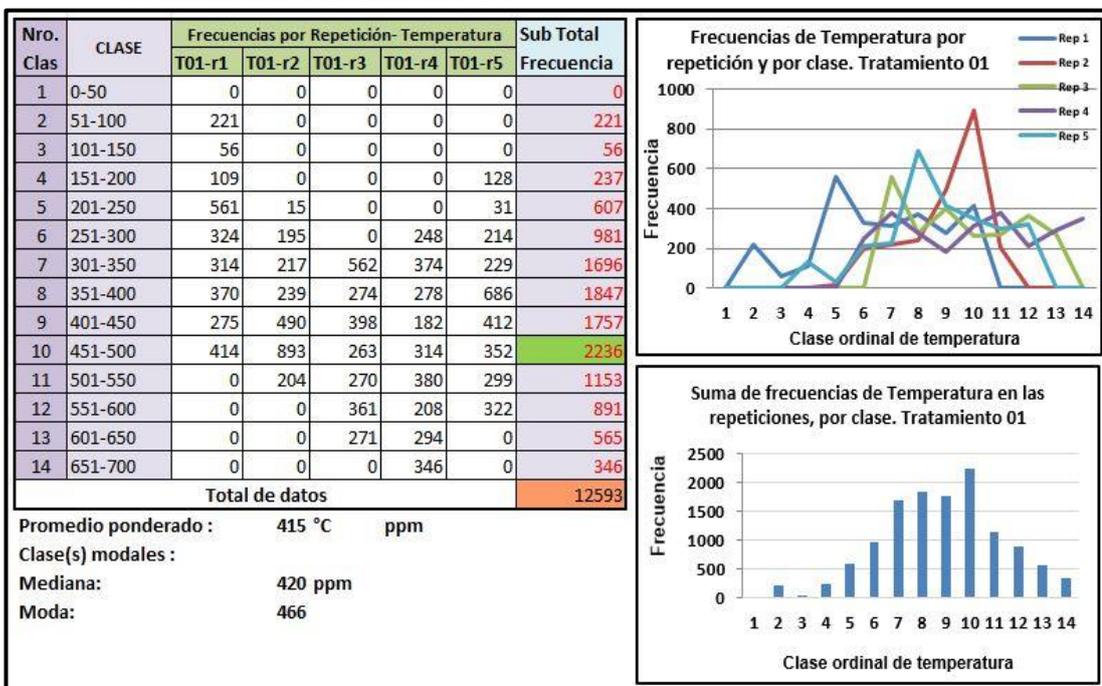
Fuente. (Elaboración propia)

**Tabla 19.** Frecuencia (ppm) de CO2 por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 01.



Fuente. (Elaboración propia).

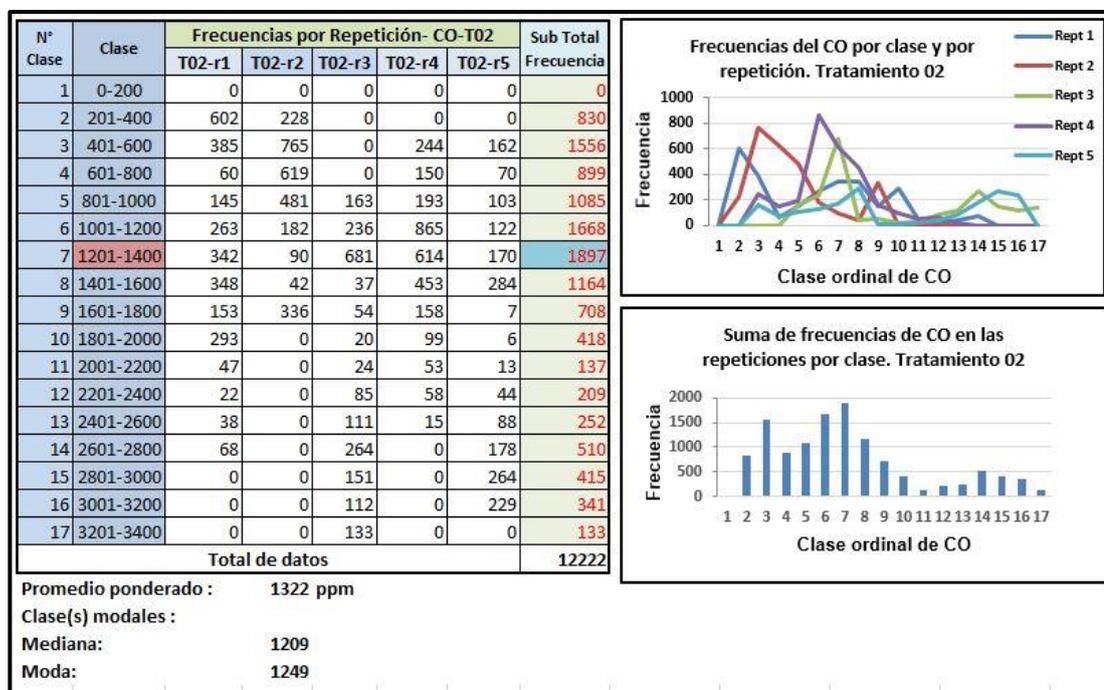
**Tabla 20.** Frecuencia de Temperatura por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 01



Fuente. (Elaboración propia)

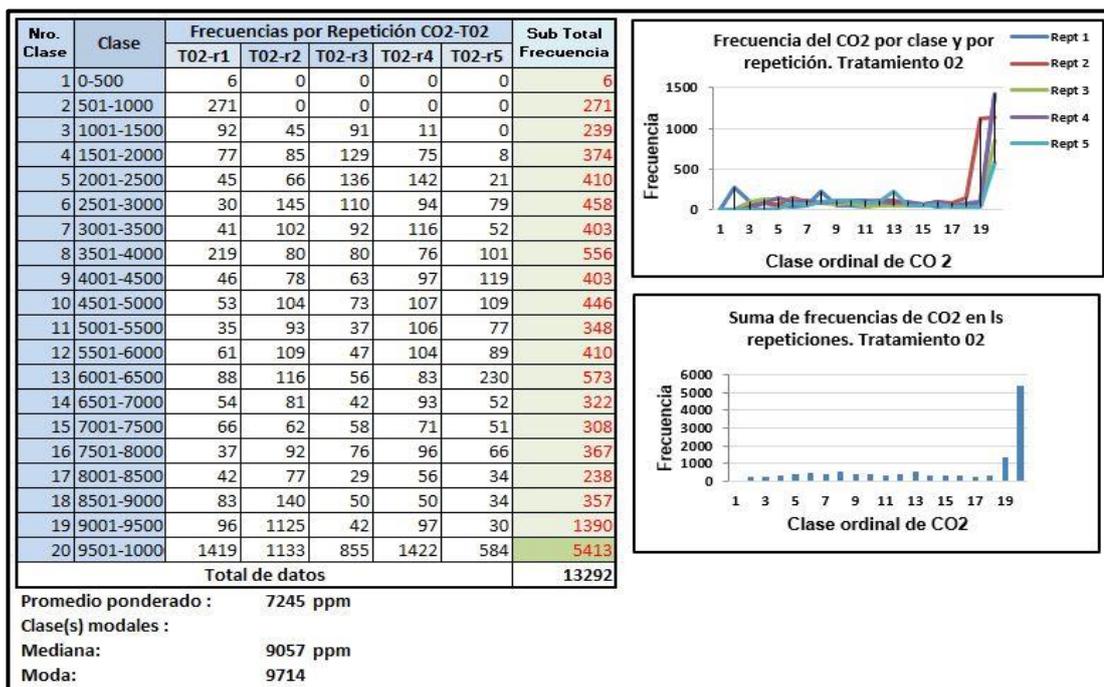
#### 4.2.2. Tratamiento 02: Prototipo quemador con una (01) cámara de combustión con insuflado de aire.

**Tabla 21.** Frecuencia (ppm) de CO por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 02.



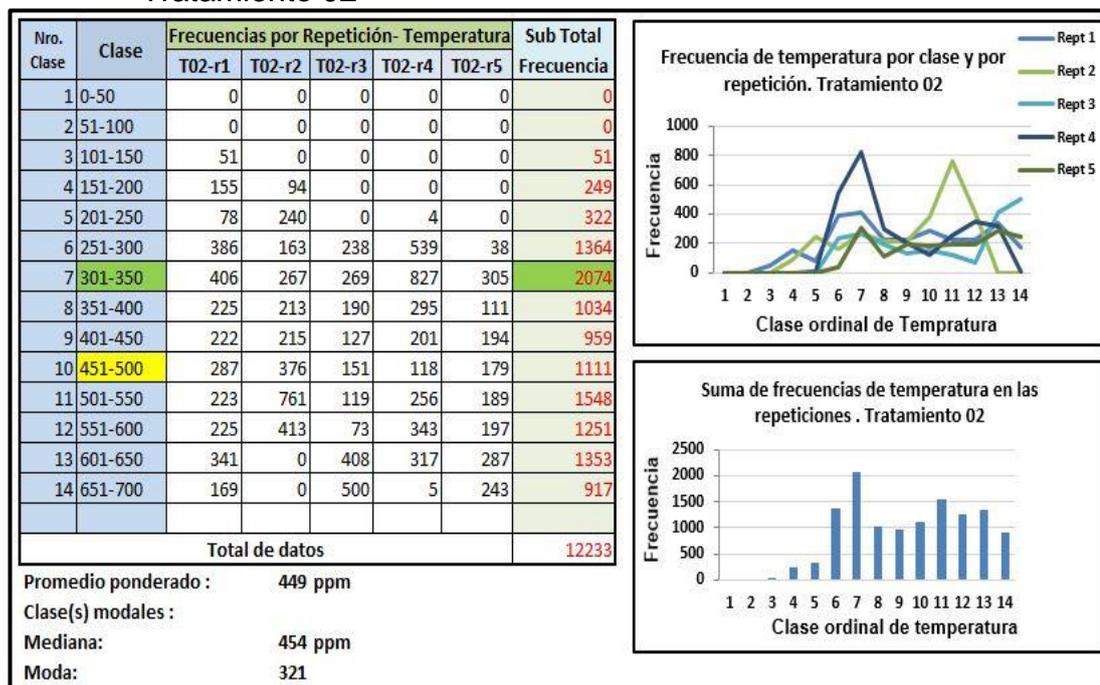
Fuente. (Elaboración propia).

**Tabla 22.** Frecuencia (ppm) de CO<sub>2</sub> por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 02.



Fuente. (Elaboración propia)

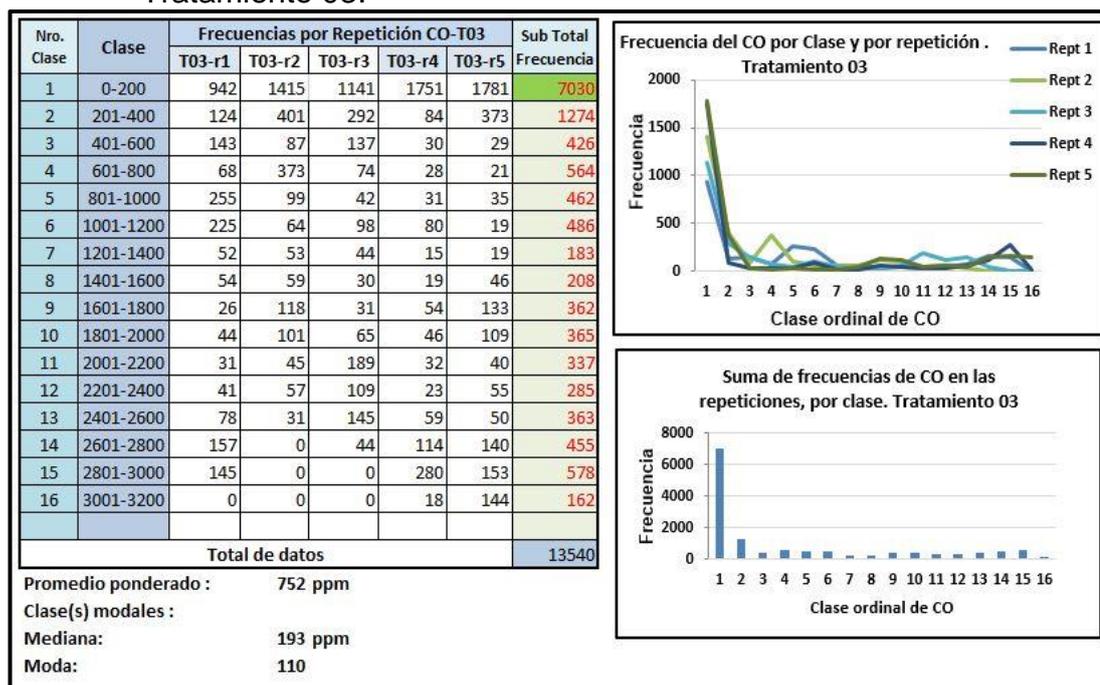
**Tabla 23.** Frecuencia de Temperatura por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 02



Fuente. (Elaboración propia)

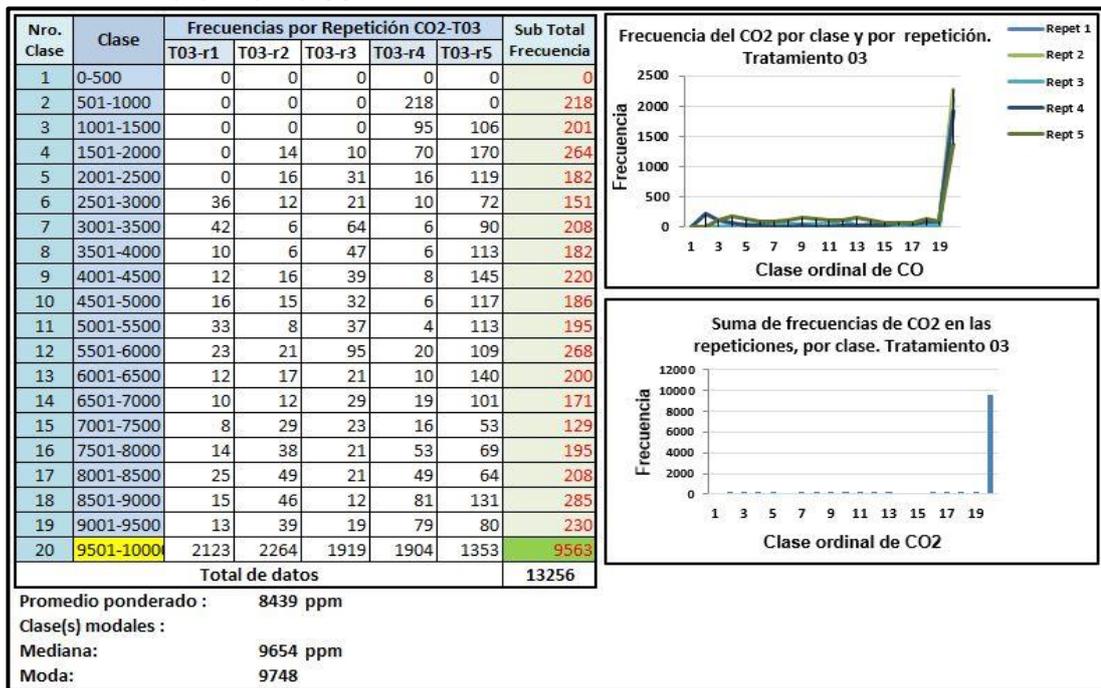
**4.2.3. Tratamiento 03:** Prototipo quemador con **dos (02) cámaras** de combustión **sin** insuflado de aire en la **primera** cámara y **sin** insuflado de aire en la **segunda** cámara.

**Tabla 24.** Frecuencia (ppm) de CO por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 03.



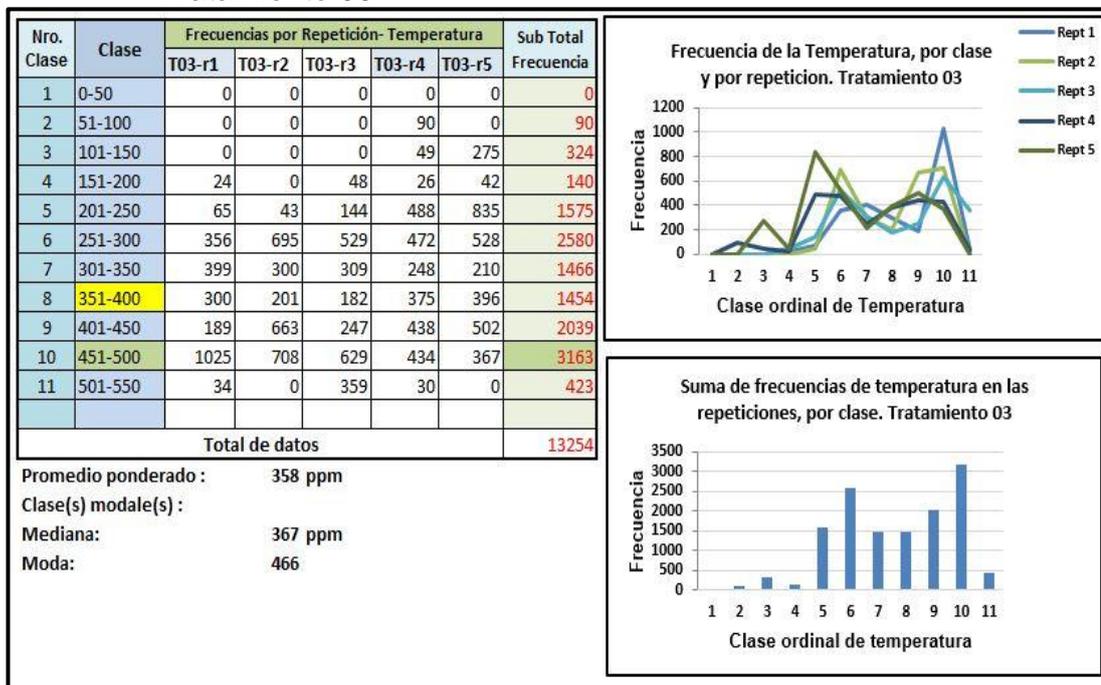
Fuente. (Elaboración propia)

**Tabla 25.** Frecuencia (ppm) de CO2 por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 03



Fuente. (Elaboración propia)

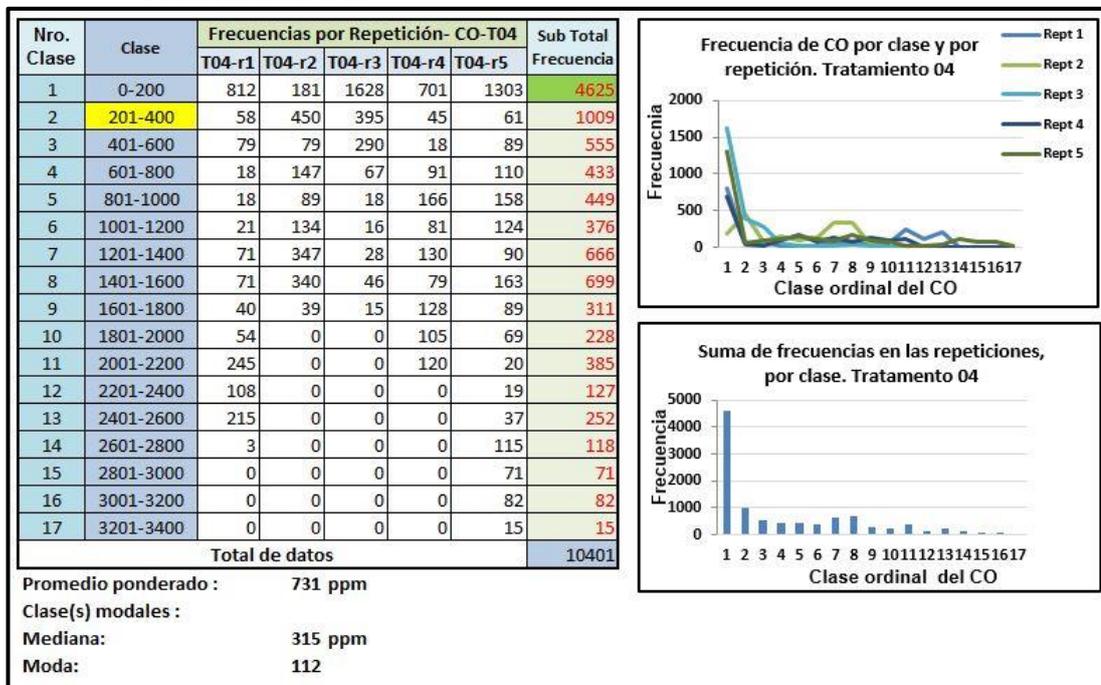
**Tabla 26.** Frecuencia de Temperatura por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 03



Fuente. (Elaboración propia)

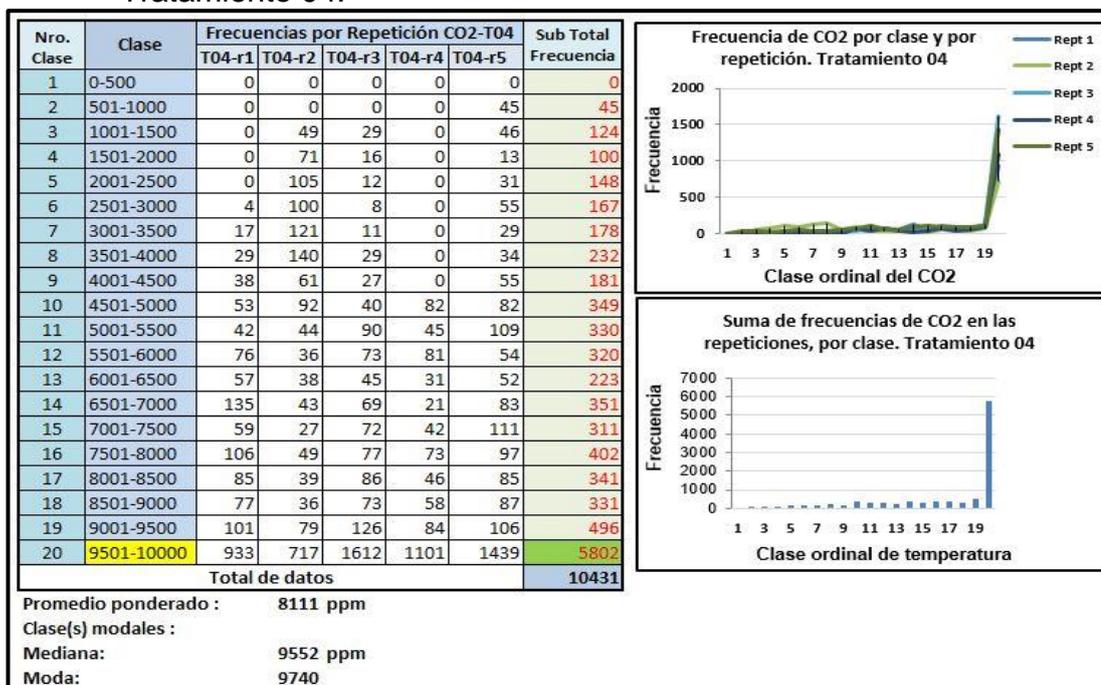
**4.2.4. Tratamiento 04:** Prototipo quemador con **dos (02) cámaras** de combustión **con** insuflado de aire en la **primera** cámara y **sin** insuflado de aire en la **segunda** cámara.

**Tabla 27.** Frecuencia (ppm) de CO por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 04.



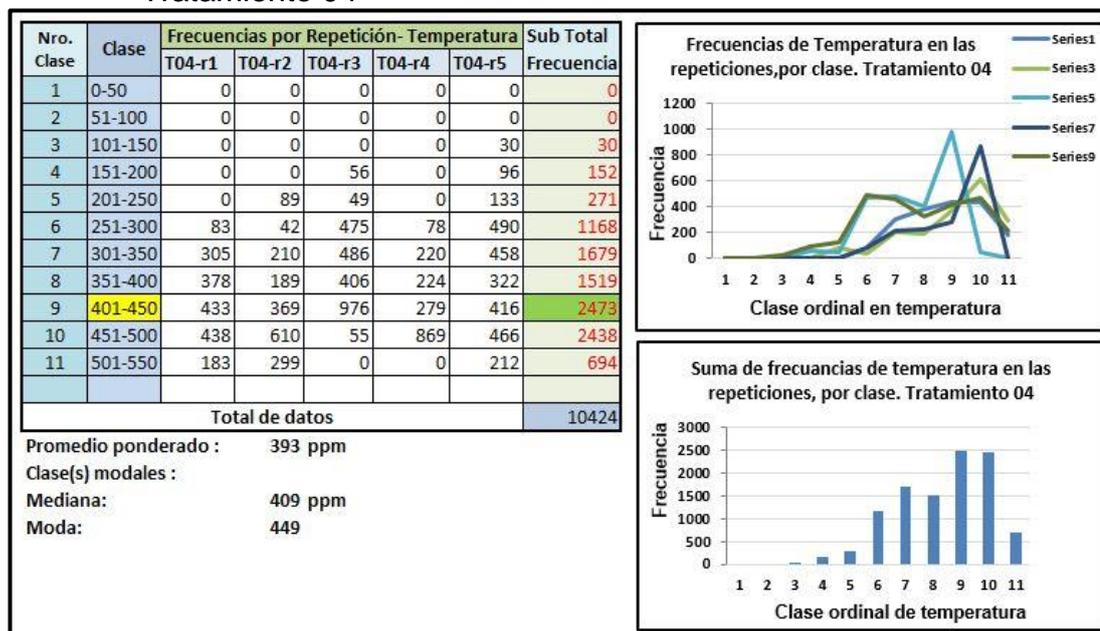
Fuente. (Elaboración propia)

**Tabla 28.** Frecuencia (ppm) de CO2 por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 04.



Fuente. (Elaboración propia)

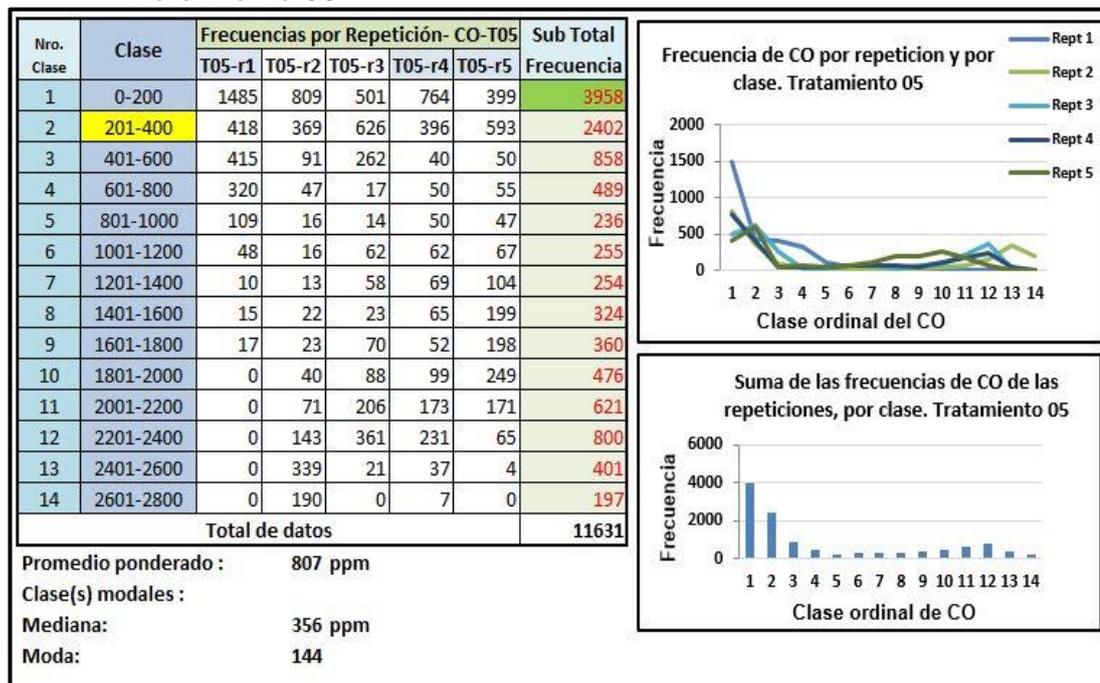
**Tabla 29.** Frecuencia de Temperatura por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 04



Fuente. (Elaboración propia)

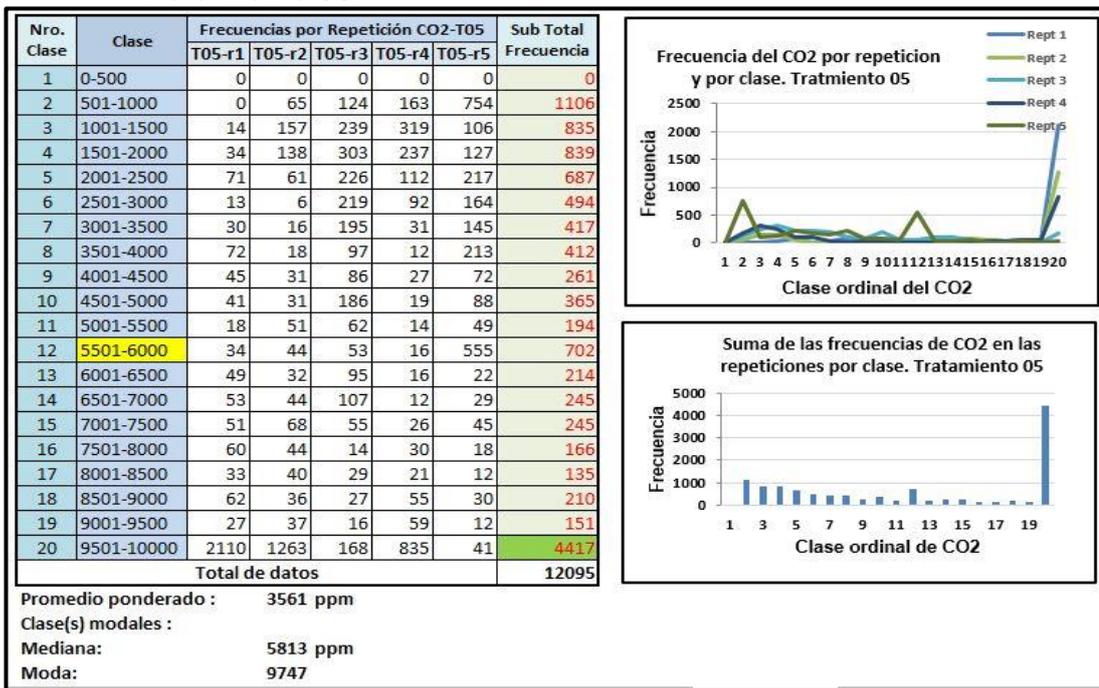
**4.2.5. Tratamiento 05:** Prototipo quemador con dos (02) cámaras de combustión con insuflado de aire en la primera cámara y con insuflado de aire en la segunda cámara.

**Tabla 30.** Frecuencia (ppm) de CO por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 05



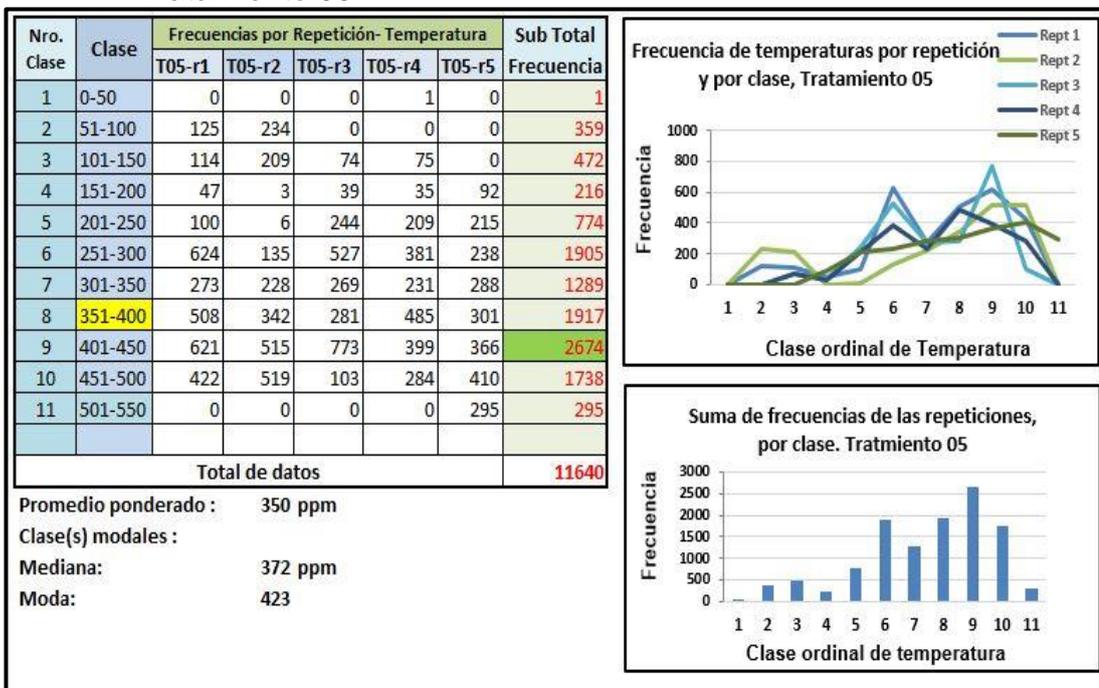
Fuente. (Elaboración propia)

**Tabla 31.** Frecuencia (ppm) de CO2 por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 05.



Fuente. (Elaboración propia)

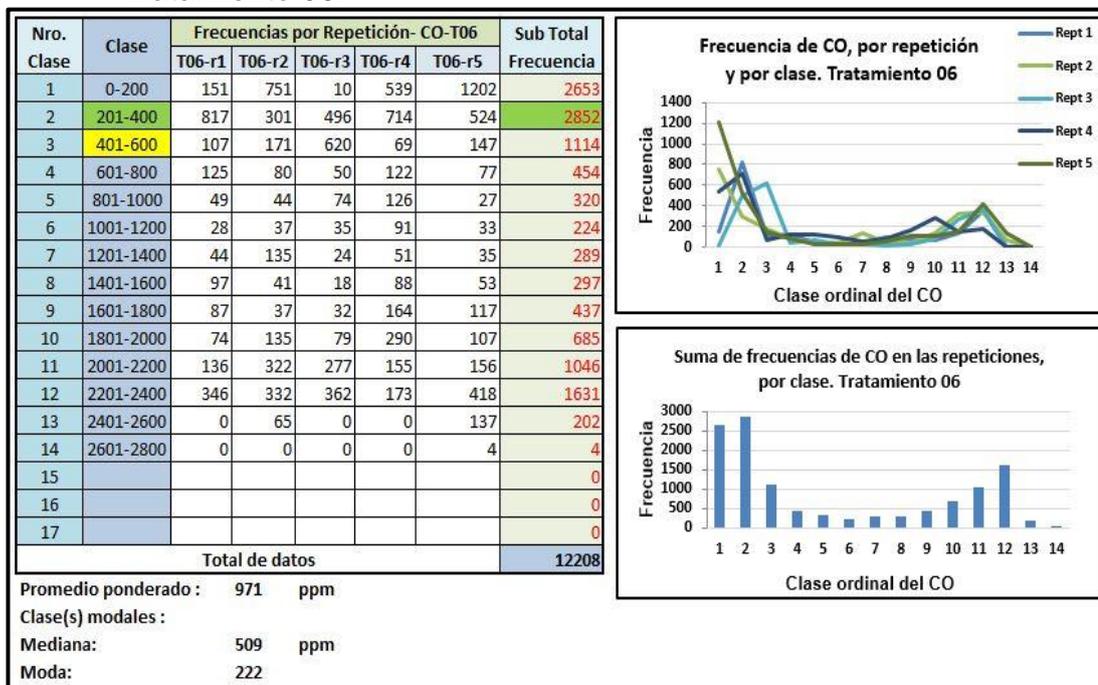
**Tabla 32.** Frecuencia de Temperatura por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 05



Fuente. (Elaboración propia)

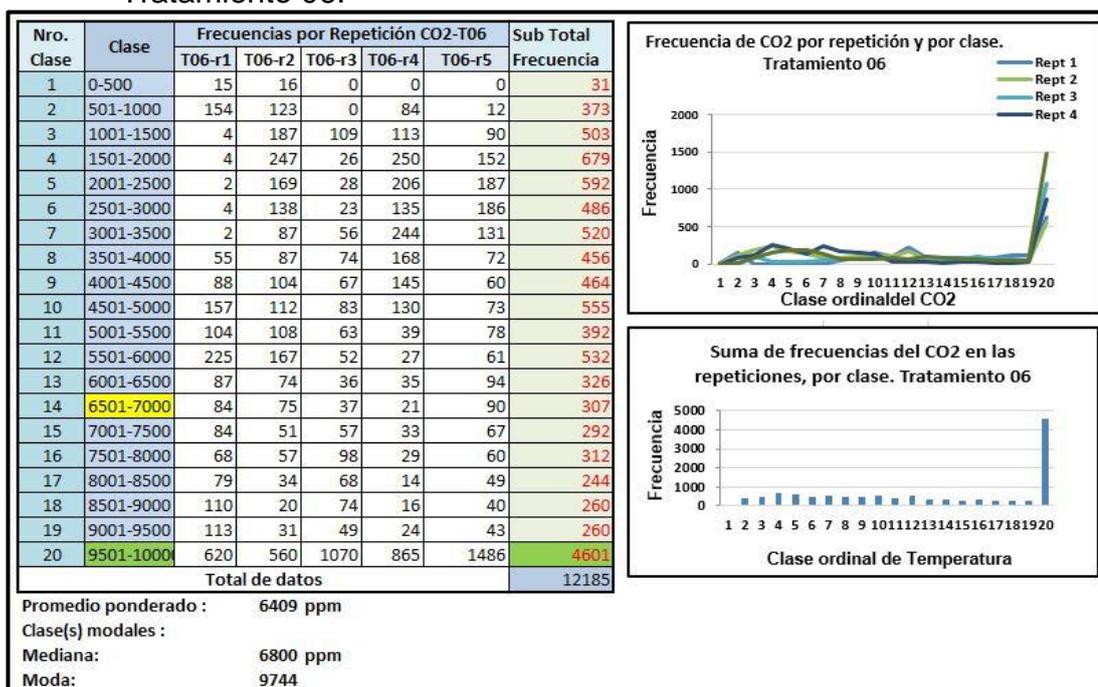
**4.2.6. Tratamiento 06:** Prototipo quemador con dos (02) cámaras de combustión **sin** insuflado de aire en la **primera** cámara y **con** insuflado de aire en la **segunda** cámara.

**Tabla 33.** Frecuencia (ppm) de CO por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 06.



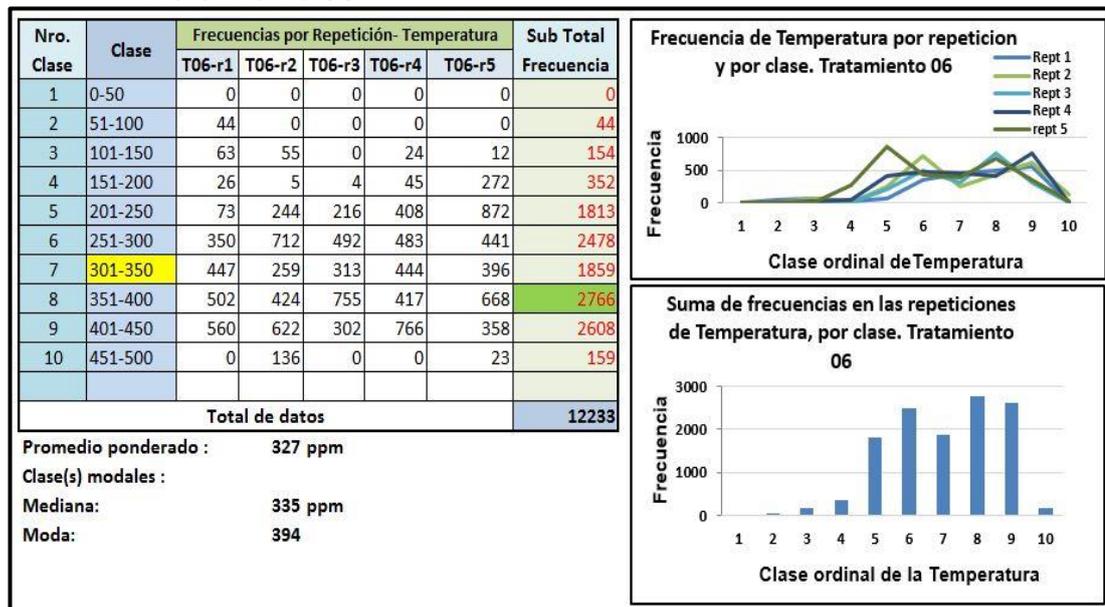
Fuente. (Elaboración propia)

**Tabla 34.** Frecuencia (ppm) de CO2 por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 06.



Fuente. (Elaboración propia)

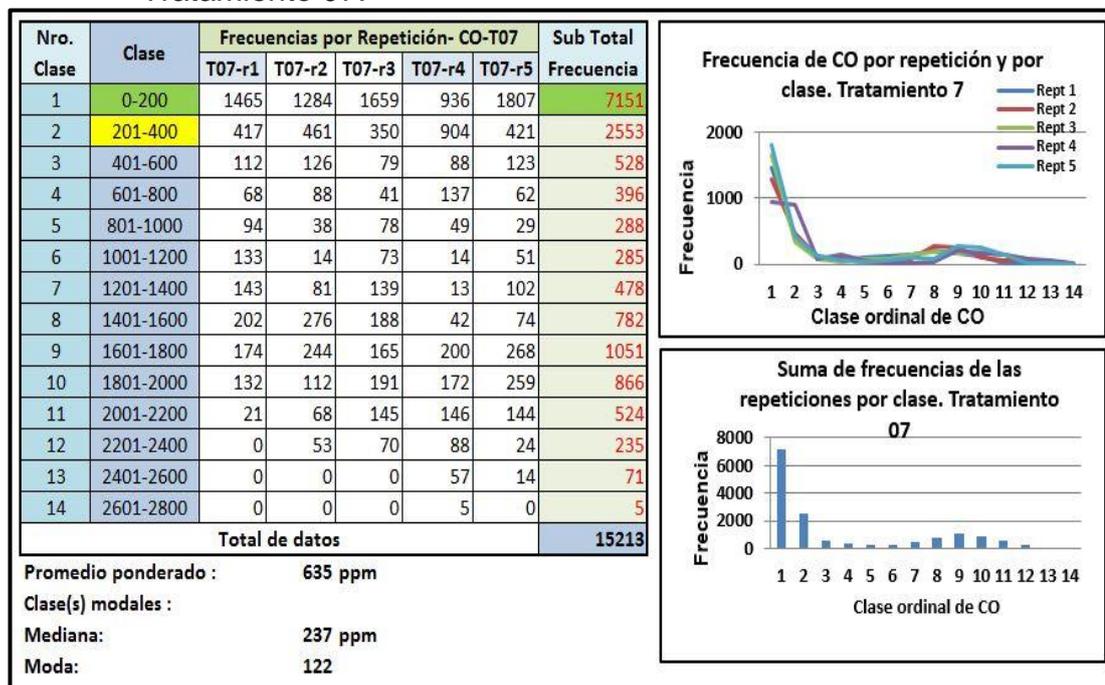
**Tabla 35.** Frecuencia de Temperatura por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 06



Fuente. (Elaboración propia)

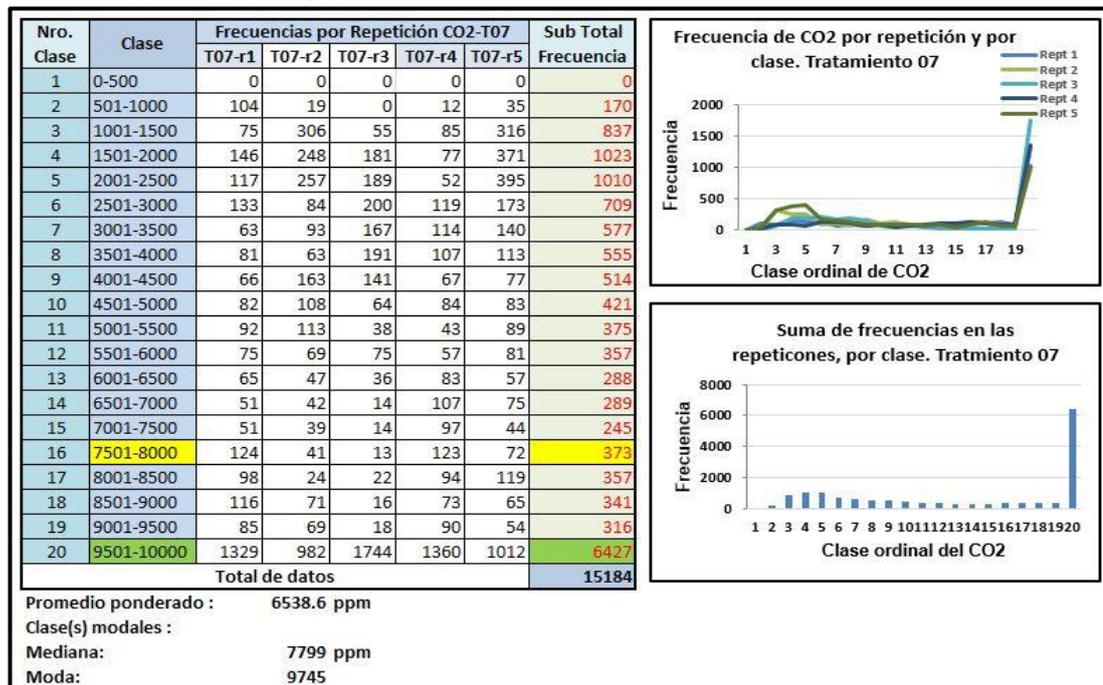
**4.2.7. Tratamiento 07:** Prototipo quemador con tres (03) cámaras de combustión **sin** insuflado de aire en la **primera** cámara, **sin** insuflado de aire en la **segunda** cámara y **sin** insuflado de aire en la **tercera** cámara.

**Tabla 36.** Frecuencia (ppm) de CO por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 07.



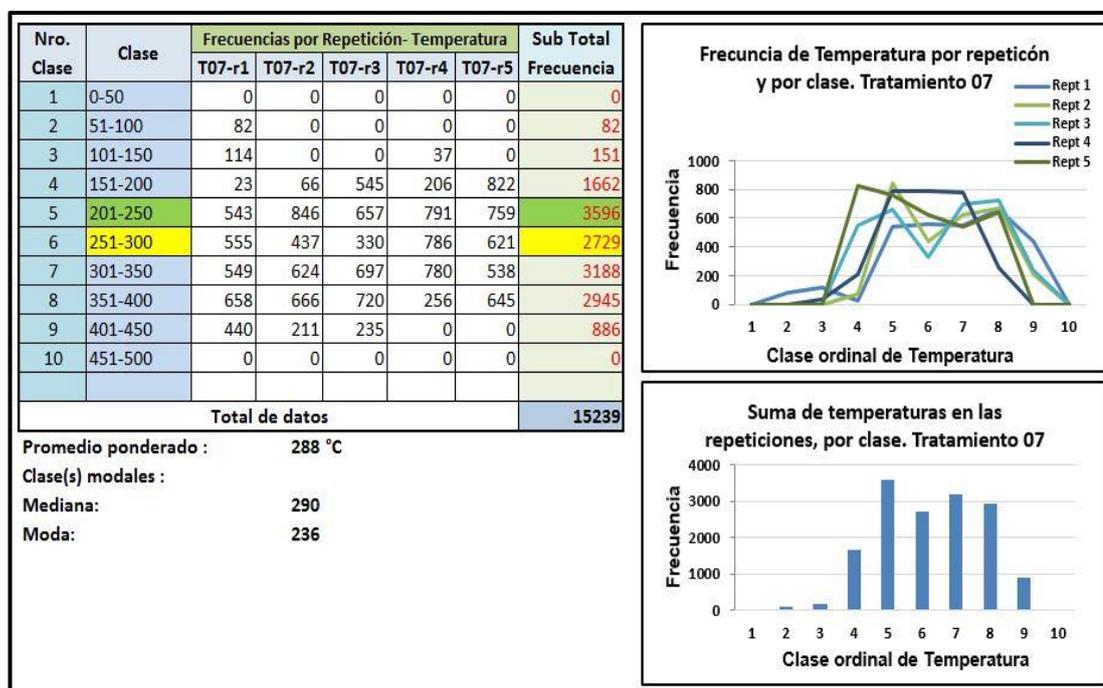
Fuente. (Elaboración propia)

**Tabla 37.** Frecuencia (ppm) de CO2 por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 07.



Fuente. (Elaboración propia)

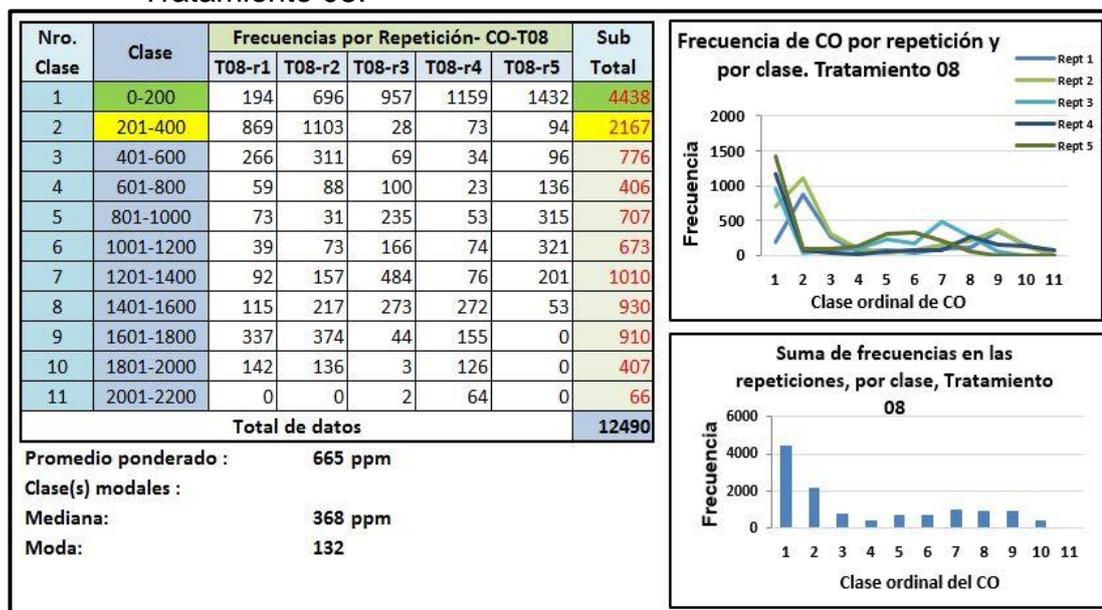
**Tabla 38.** Frecuencia de Temperatura por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 07



Fuente. (Elaboración propia)

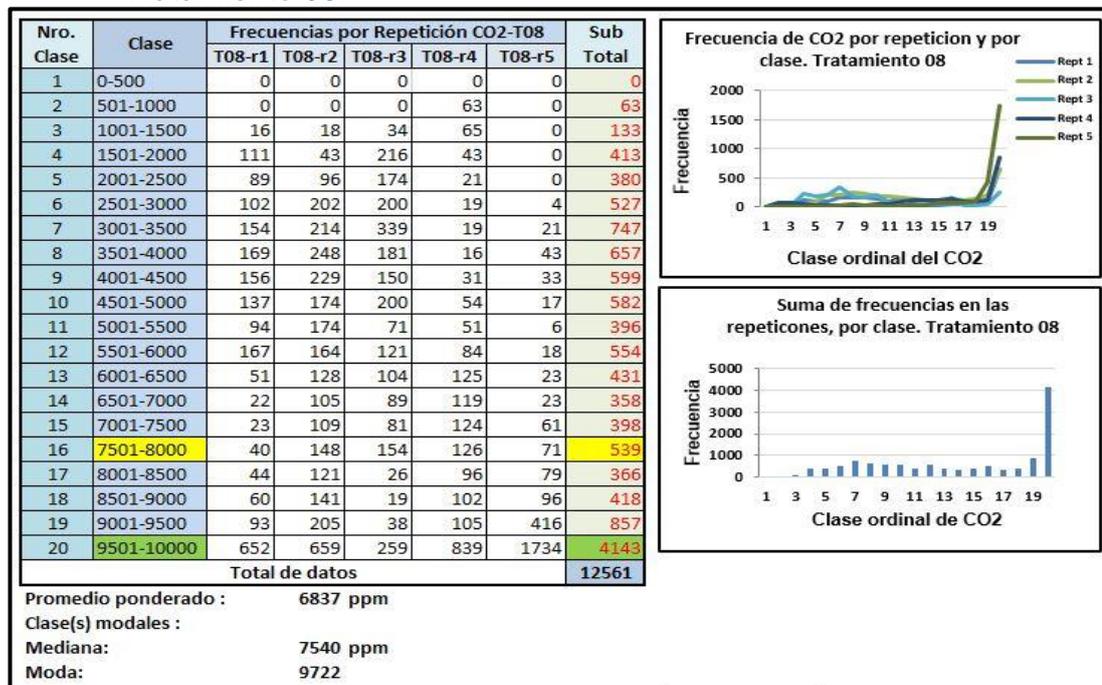
**4.2.8. Tratamiento 08:** Prototipo quemador con **tres (03) cámaras** de combustión **sin** insuflado de aire en la **primera** cámara, **sin** insuflado de aire en la **segunda** cámara y **con** insuflado de aire en la **tercera** cámara.

**Tabla 39.** Frecuencia (ppm) de CO por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 08.



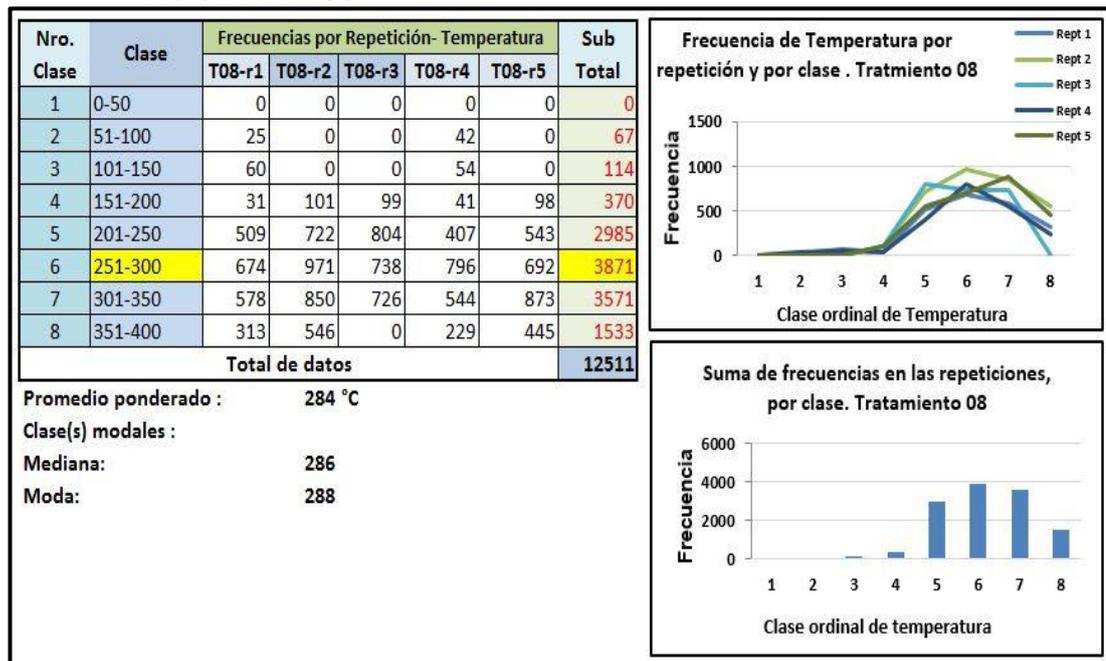
Fuente. (Elaboración propia)

**Tabla 40.** Frecuencia (ppm) de CO2 por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 08.



Fuente. (Elaboración propia)

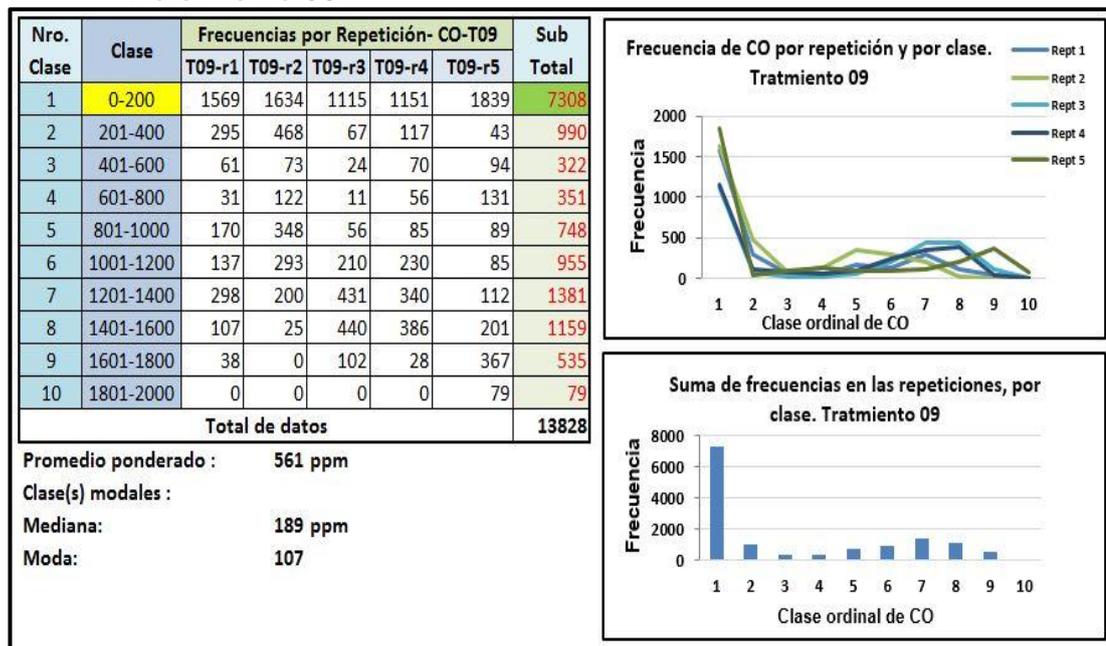
**Tabla 41.** Frecuencia de Temperatura por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 08



Fuente. (Elaboración propia)

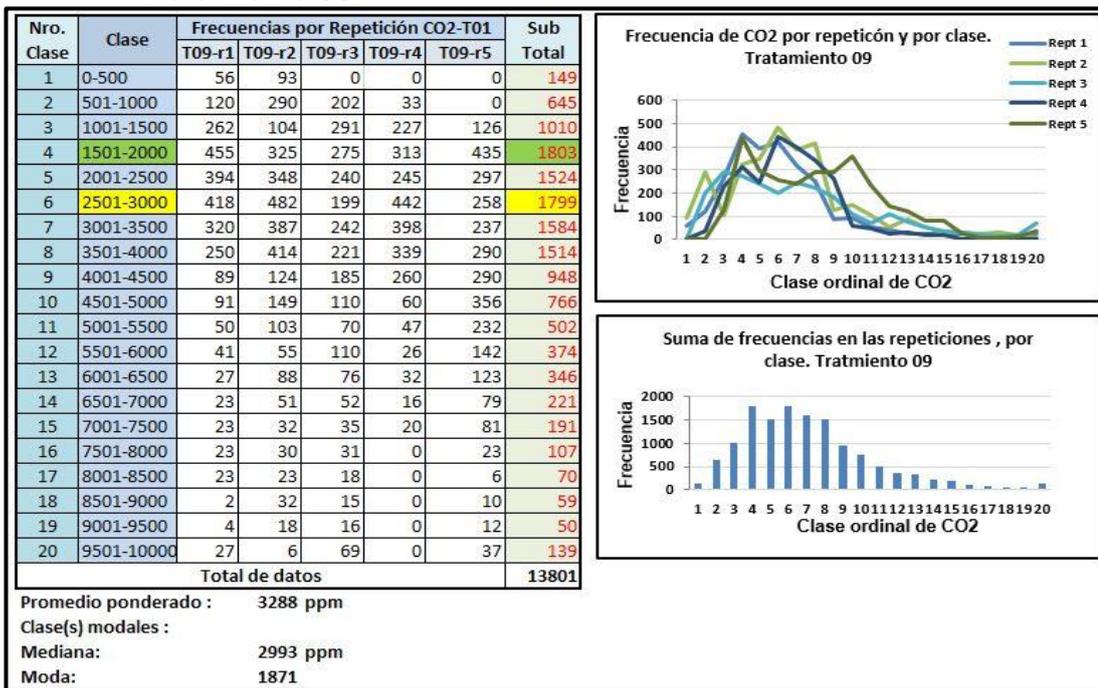
**4.2.9. Tratamiento 09:** Prototipo quemador **con tres (03) cámaras** de combustión **sin** insuflado de aire en la **primera** cámara, **con** insuflado de aire en la **segunda** cámara y **sin** insuflado de aire en la **tercera** cámara.

**Tabla 42.** Frecuencia (ppm) de CO por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 09.



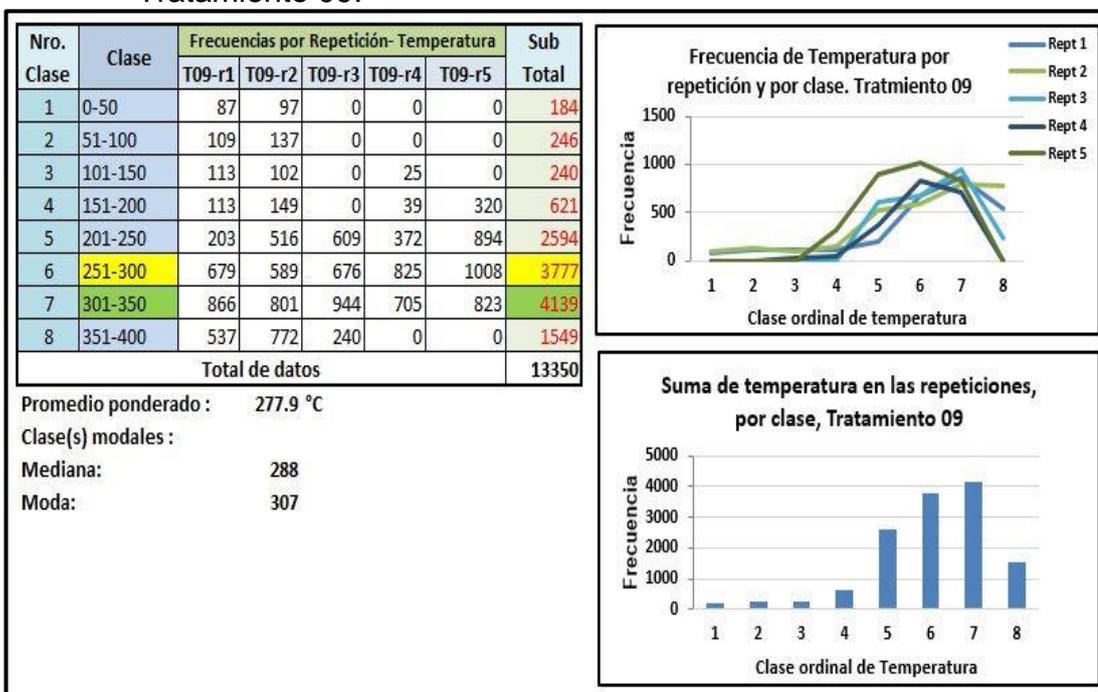
Fuente. (Elaboración propia)

**Tabla 43.** Frecuencia (ppm) de CO2 por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 09.



Fuente. (Elaboración propia)

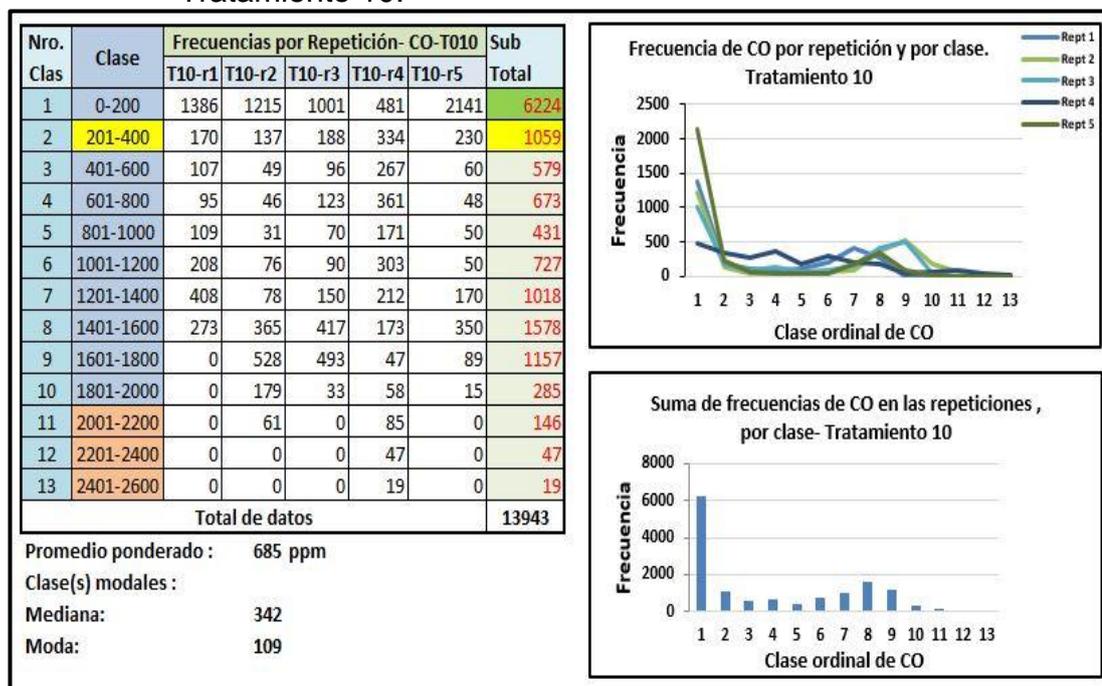
**Tabla 44.** Frecuencia de Temperatura por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 09.



Fuente. (Elaboración propia)

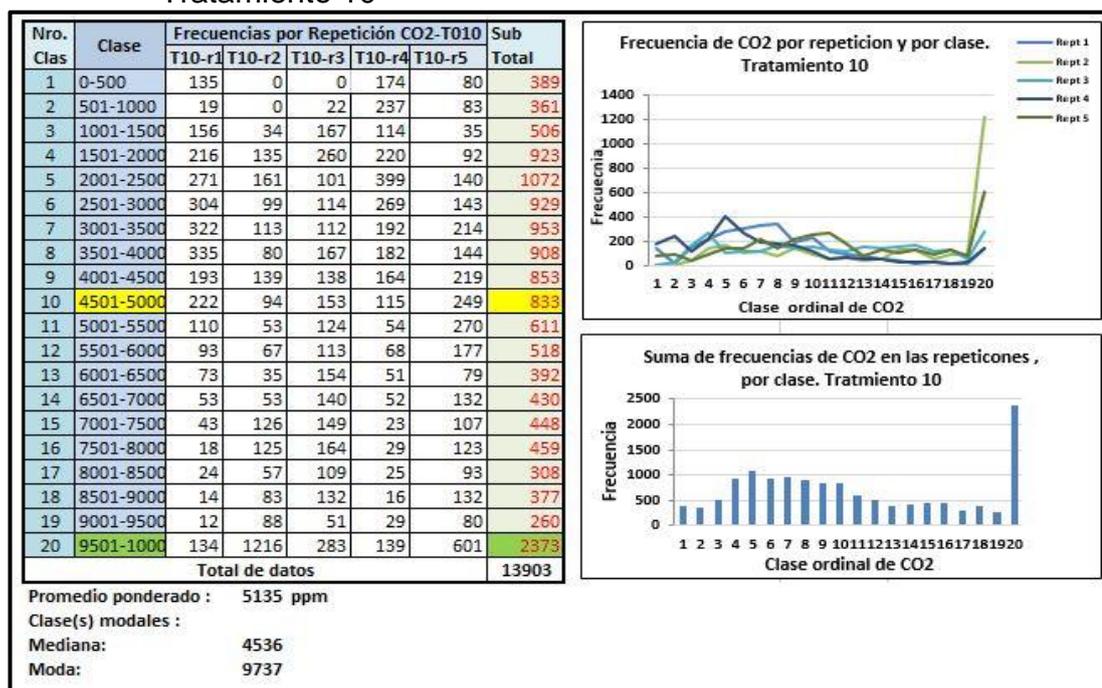
**4.2.10. Tratamiento 10:** Prototipo quemador con tres (03) cámaras de combustión **sin** insuflado de aire en la **primera** cámara, **con** insuflado de aire en la **segunda** cámara y **con** insuflado de aire en la **tercera** cámara

**Tabla 45.** Frecuencia (ppm) de CO por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 10.



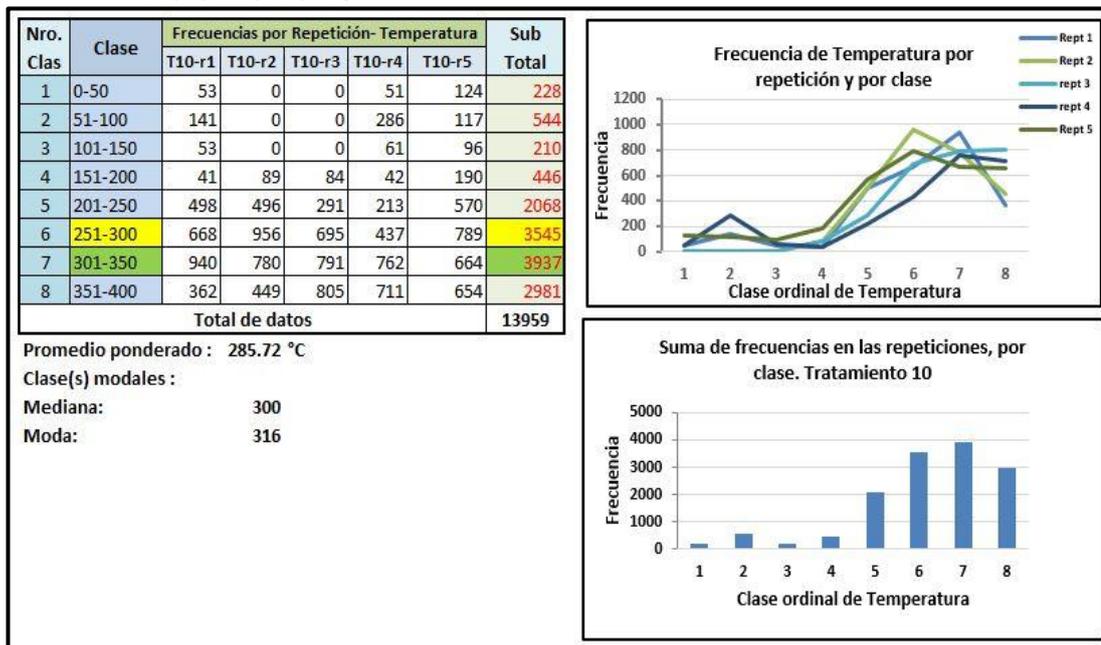
Fuente. (Elaboración propia)

**Tabla 46.** Frecuencia (ppm) de CO<sub>2</sub> por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 10



Fuente. (Elaboración propia)

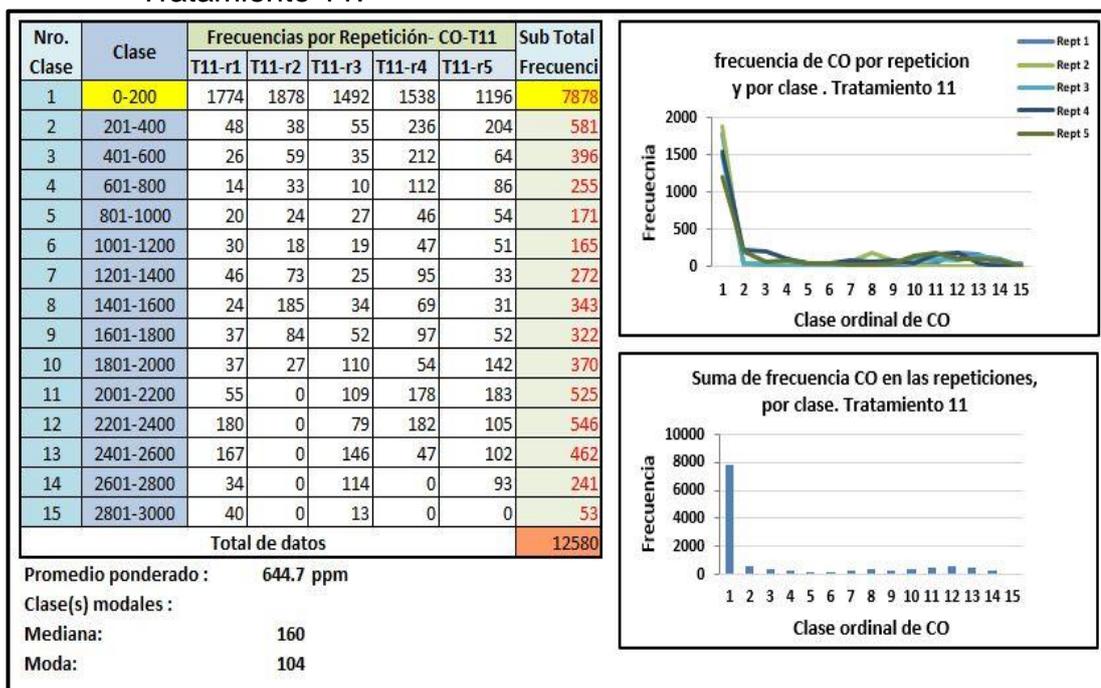
**Tabla 47.** Frecuencia de Temperatura por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 10



Fuente. (Elaboración propia)

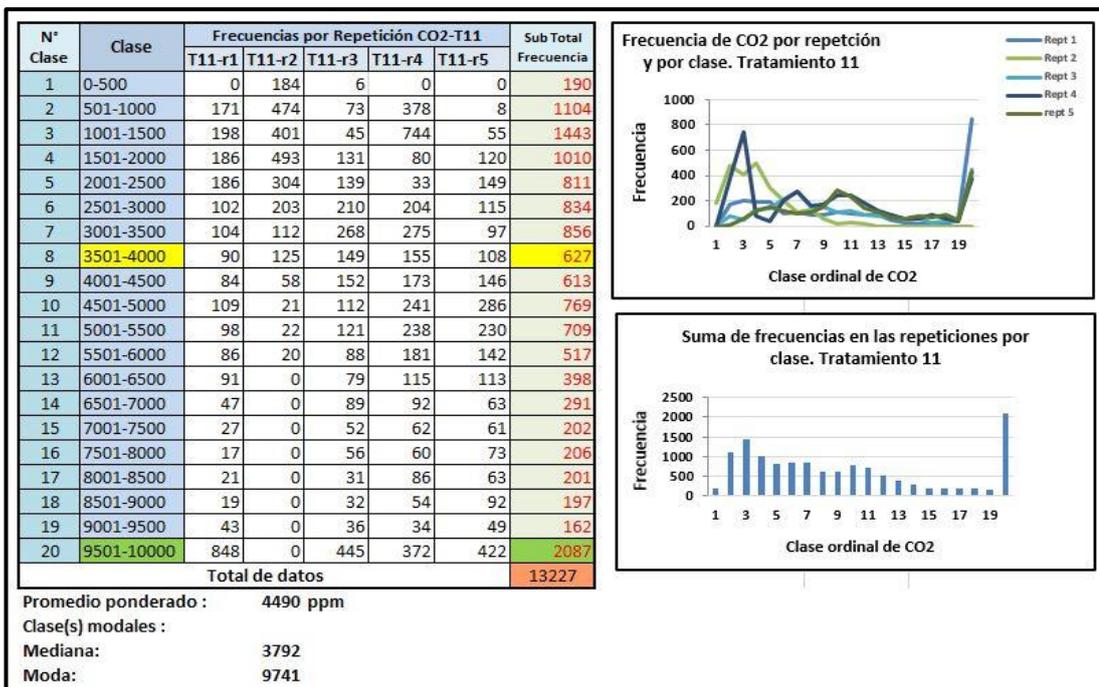
**4.2.11. Tratamiento 11:** Prototipo quemador **con tres (03) cámaras** de combustión **con** insuflado de aire en la **primera** cámara, **sin** insuflado de aire en la **segunda** cámara y **sin** insuflado de aire en la **tercera** cámara.

**Tabla 48.** Frecuencia (ppm) de CO por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 11.



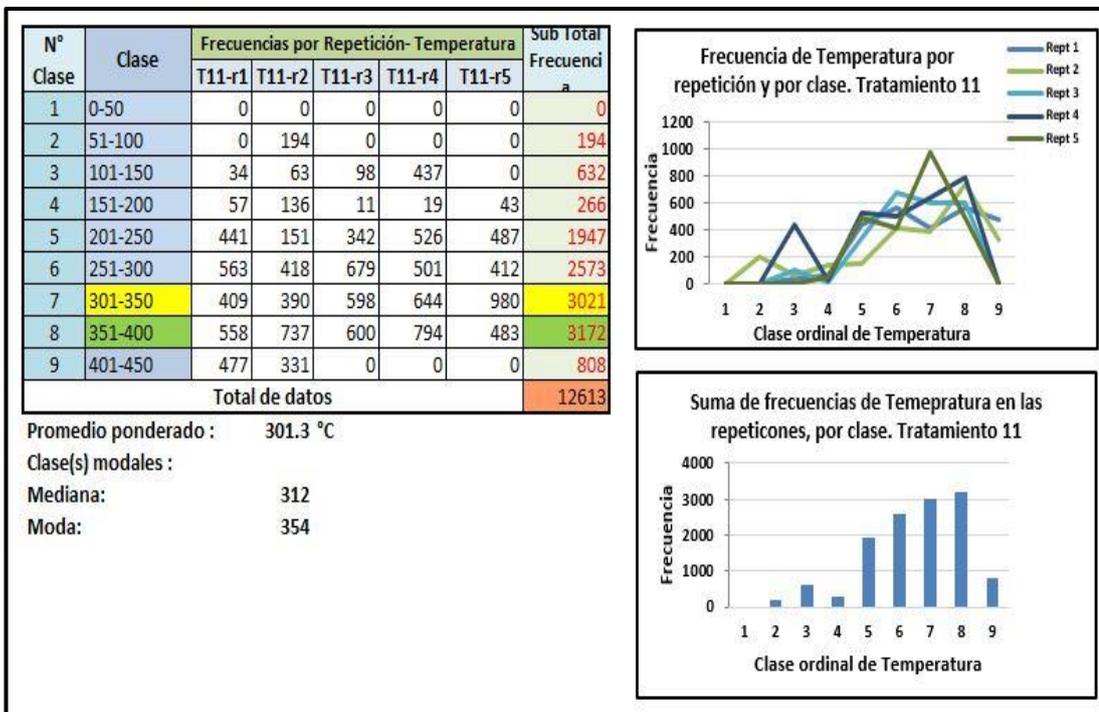
Fuente. (Elaboración propia)

**Tabla 49.** Frecuencia (ppm) de CO2 por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 11.



Fuente. (Elaboración propia)

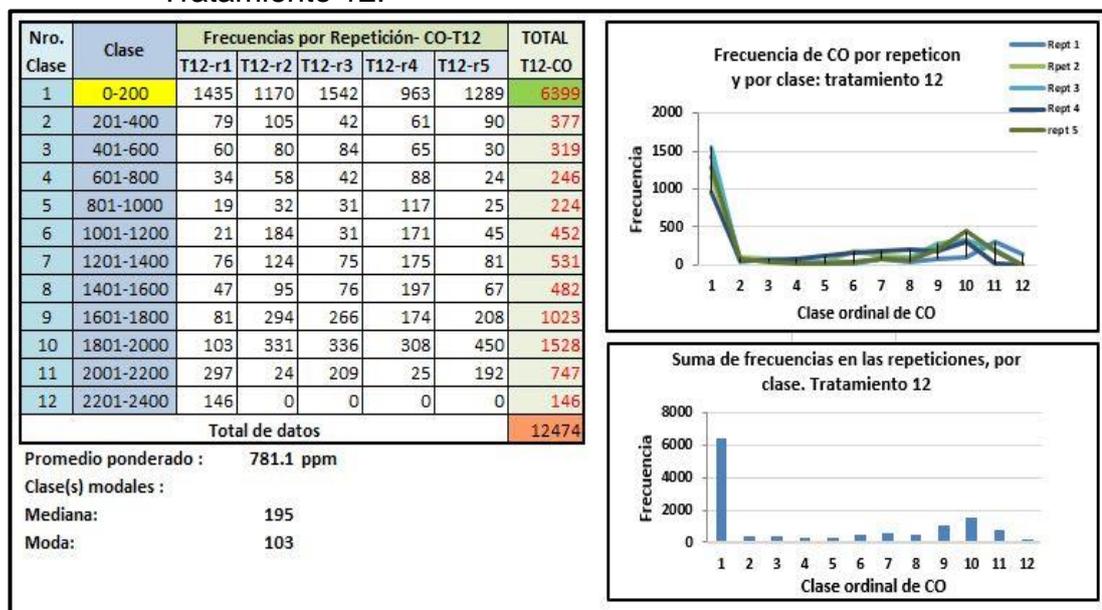
**Tabla 50.** Frecuencia de Temperatura por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 11.



Fuente. (Elaboración propia)

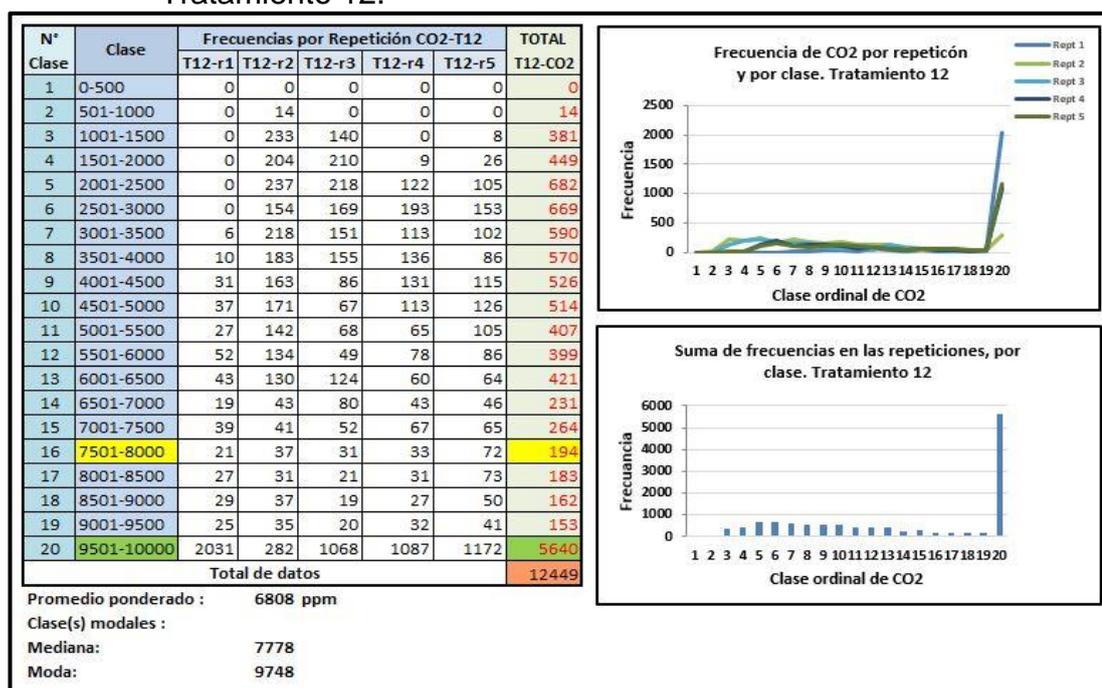
**4.2.12. Tratamiento 12:** Prototipo quemador con tres (03) cámaras de combustión con insuflado de aire en la primera cámara, con insuflado de aire en la segunda cámara y sin insuflado de aire en la tercera cámara.

**Tabla 51.** Frecuencia (ppm) de CO por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 12.



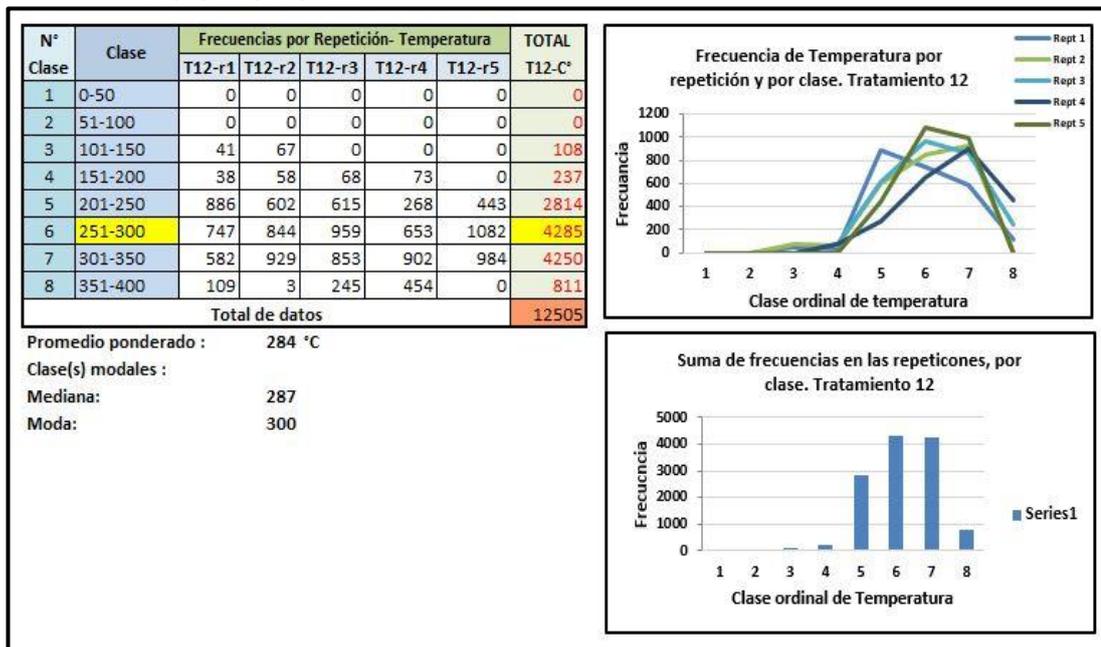
Fuente. (Elaboración propia)

**Tabla 52.** Frecuencia (ppm) de CO<sub>2</sub> por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 12.



Fuente. (Elaboración propia)

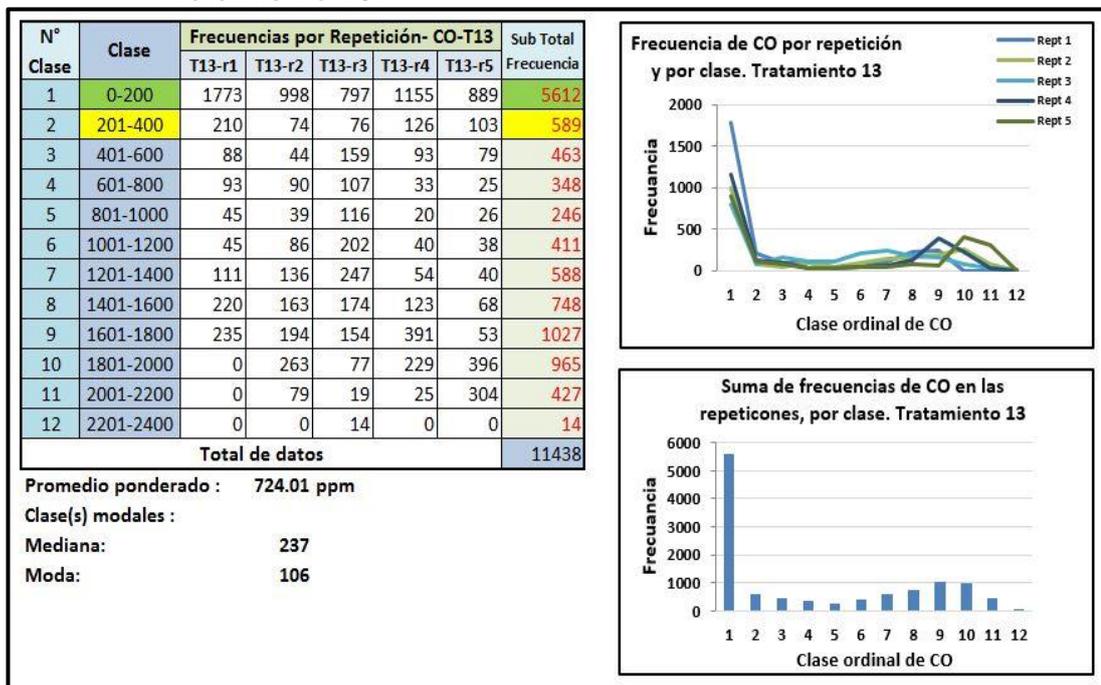
**Tabla 53.** Frecuencia de Temperatura por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 12.



Fuente. (Elaboración propia)

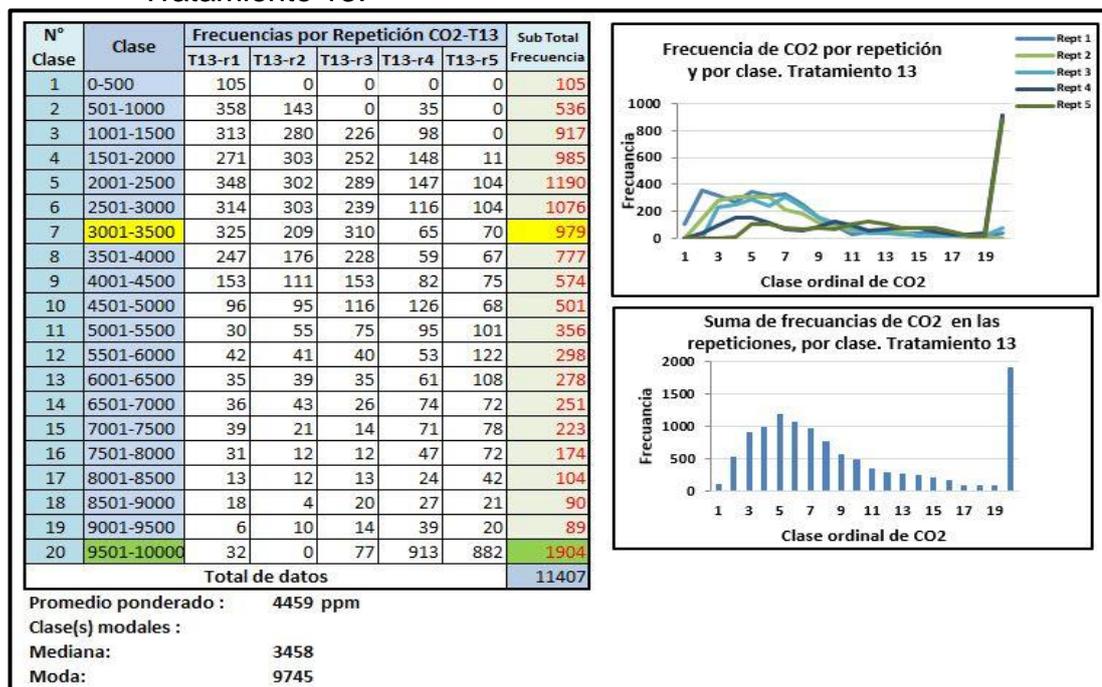
**4.2.13. Tratamiento 13:** Prototipo quemador **con tres (03) cámaras** de combustión **con** insuflado de aire en la **primera** cámara, **con** insuflado de aire en la **segunda** cámara y **con** insuflado de aire en la **tercera** cámara.

**Tabla 54.** Frecuencia (ppm) de CO por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 13.



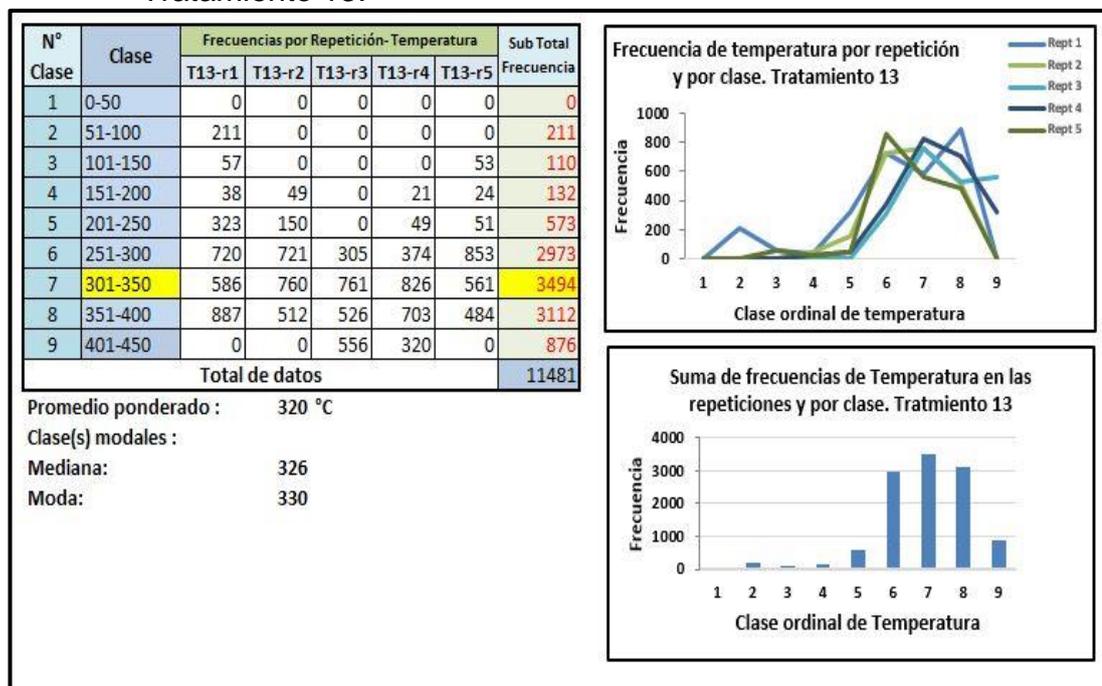
Fuente. (Elaboración propia)

**Tabla 55.** Frecuencia (ppm) de CO<sub>2</sub> por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 13.



Fuente. (Elaboración propia)

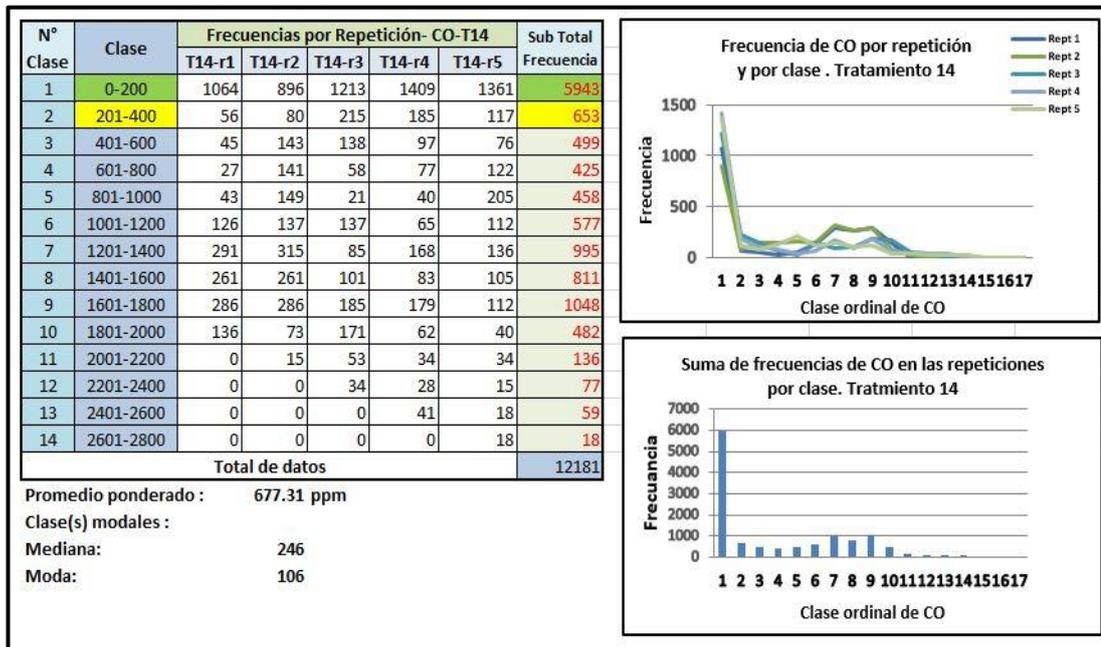
**Tabla 56.** Frecuencia de Temperatura por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 13.



Fuente. (Elaboración propia)

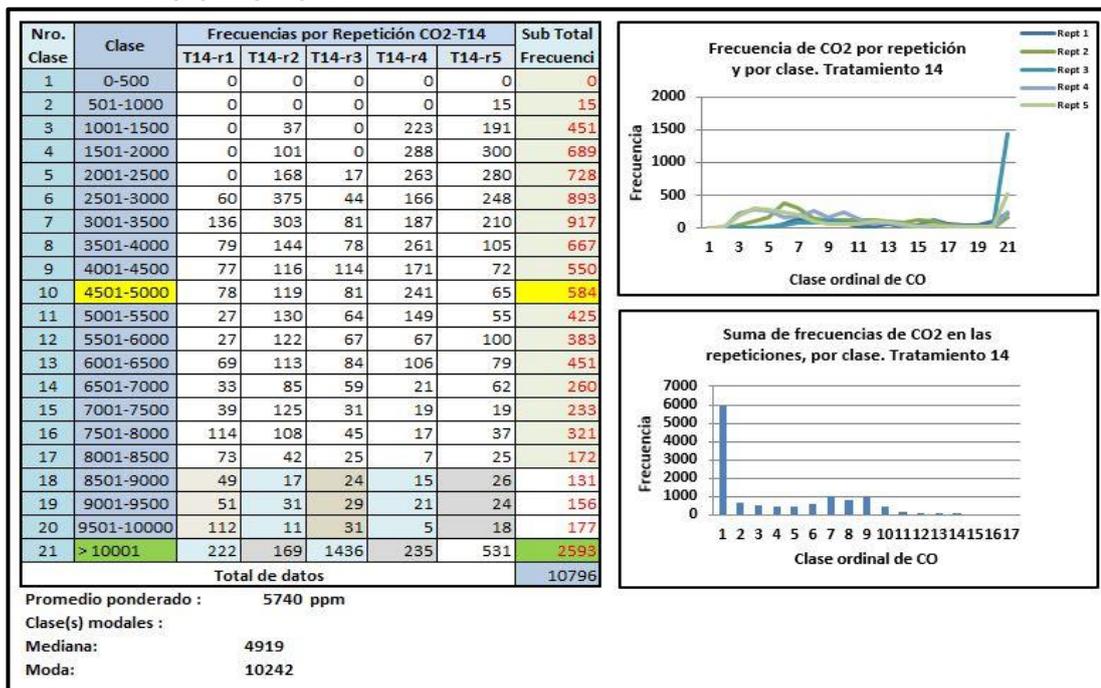
**4.2.14. Tratamiento 14:** Prototipo quemador con tres (03) cámaras de combustión con insuflado de aire en la primera cámara, sin insuflado de aire en la segunda cámara y con insuflado de aire en la tercera cámara.

**Tabla 57.** Frecuencia (ppm) de CO por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 14.



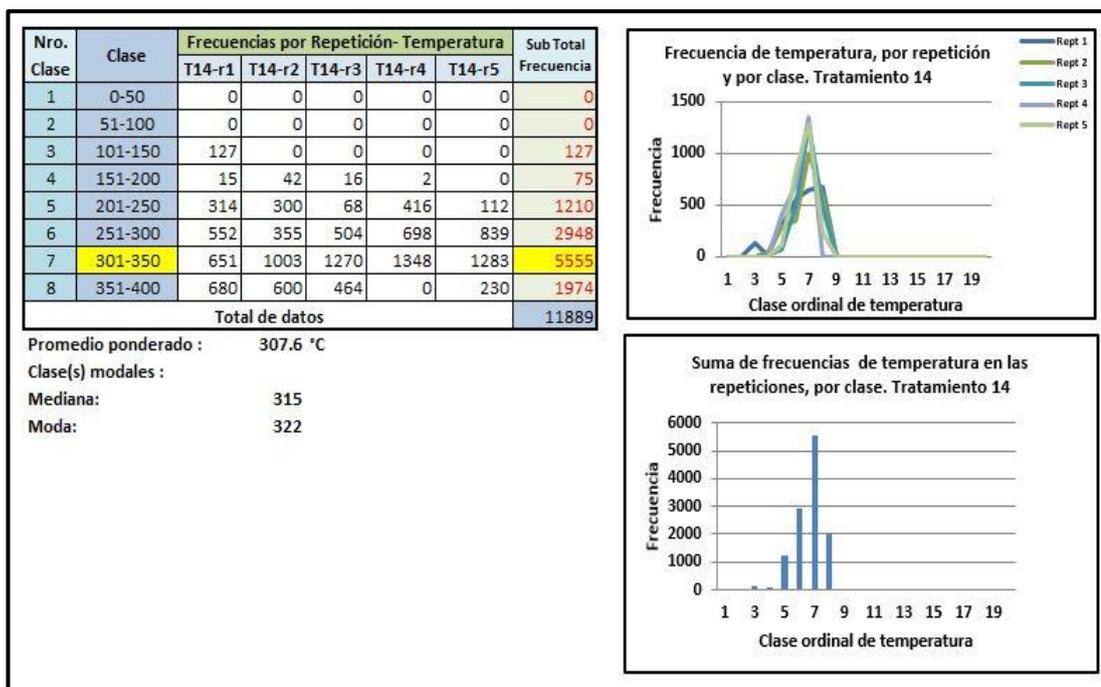
Fuente. (Elaboración propia)

**Tabla 58.** Frecuencia (ppm) de CO2 por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 14.



Fuente. (Elaboración propia)

**Tabla 59.** Frecuencia de Temperatura por clase, por repetición y acumulada. Tratamiento 14

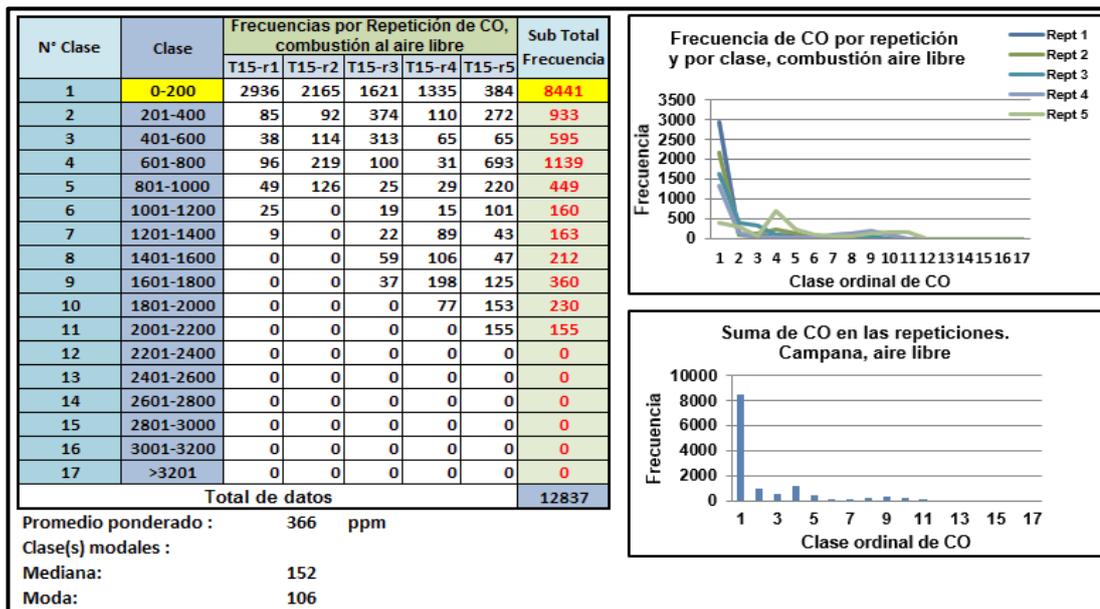


Fuente. (Elaboración propia)

#### 4.3. Resultados de los ensayos de combustión al aire libre de la mezcla de especies, como referencia.

Para observar el comportamiento de la combustión al aire libre de los residuos de madera se realizó la combustión de las muestras de madera al aire libre tal como se mencionó en la metodología. Este proceso de combustión se realizó para tener una referencia de La observación de los polígonos de frecuencia, en las condiciones de ensayo al aire libre se deduce que, para el caso del monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y temperatura (°C) se pueden se puede ver los siguientes aspectos importantes:

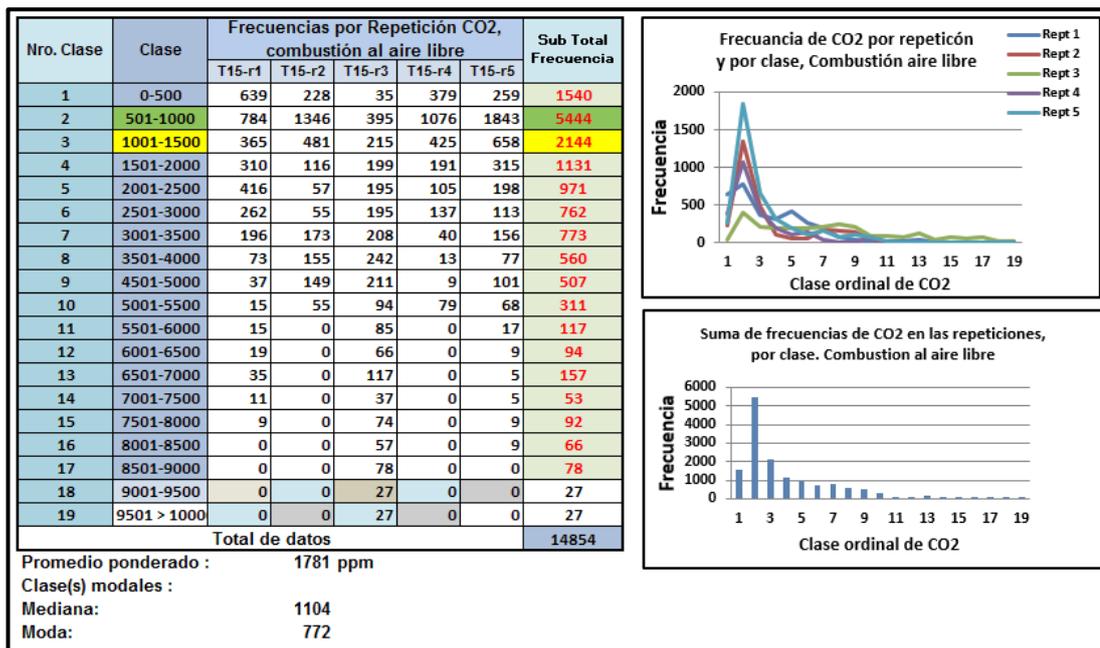
**Tabla 60.** Frecuencia (ppm) de CO por clase, por repetición y acumulada.  
Combustión al aire libre



Fuente: (elaboración propia)

En la FIGURA contenida en la Tabla 60, para el Monóxido de Carbono, se observa que las cinco poligonales de frecuencia, correspondientes a cada repetición, siguieron igual o muy similar patrón de línea poligonal, indicando que en cada repetición se emitió gases con frecuencias iguales o similares entre sí, a lo largo del proceso de combustión al aire libre. Los sesgos de los patrones en la poligonales de las repeticiones mencionadas son marcadamente sesgados a la izquierda, con una gran cola a la derecha, es decir con simetría positiva. Lo mencionado anteriormente, indica que la mayor frecuencia de emisiones de CO, medidos en ppm, están en las clases de baja emisión de CO.

**Tabla 61.** Frecuencia (ppm) de CO<sub>2</sub> por clase, por repetición y acumulada. Combustión al aire libre



Fuente: (elaboración propia).

En la FIGURA contenida en la Tabla 61, para el caso del Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), se observa que los patrones de comportamiento de los polígonos de frecuencias de emisiones son iguales en las repeticiones y son sesgados a la izquierda, con gran cola hacia la derecha, es decir simétricamente negativas. Esto indica que cada repetición dentro de un mismo tratamiento las emisiones de CO<sub>2</sub> se comportaron de igual forma durante todo el proceso de combustión dentro del quemador-prototipo, indica también que las menores emisiones de CO<sub>2</sub>, se ubican en las clases de menor emisión de CO<sub>2</sub>.

**Tabla 62.** Frecuencia de temperatura por clase, por repetición y acumulada.  
Combustión al aire libre

Nro. Clase	Clase	Frecuencias por Repetición- Temperatura, combustión al aire libre					Sub Total Frecuencia
		T15-r1	T15-r2	T15-r3	T15-r4	T15-r5	
1	0-50	0	0	0	0	0	0
2	51-100	784	1024	0	226	0	2034
3	101-150	3	223	155	190	318	889
4	151-200	8	2	20	3	395	428
5	201-250	353	3	271	154	842	1623
6	251-300	196	233	347	467	702	1945
7	301-350	48	194	170	73	63	548
8	351-400	134	80	82	824	44	1164
9	401-450	95	41	61	37	60	294
10	451-500	94	26	19	44	78	261
11	501-550	68	35	83	63	70	319
12	551-600	94	91	207	89	65	546
13	601-650	313	754	768	394	236	2465
14	651-700	390	87	321	568	599	1965
15	701-750	472	0	0	26	371	869
16	751-800	0	0	0	0	0	0
Total de datos							15350
Promedio ponderado :		396 °C					
Clase(s) modales :							
Mediana:		360					
Moda:		641					

Frecuencia de temperatura por repetición y por clase, combustión al aire libre.

Suma de frecuencias de Temperatura por repetición por clase, combustión al aire libre.

Fuente: (elaboración propia).

En la FIGURA contenida en Tabla 62, referente a la Temperatura, se observa que los patrones de frecuencia de temperatura a lo largo de todo el proceso de combustión, son muy erráticos.

#### **4.4. Discusión de los resultados.**

##### **4.4.1. Sobre las condiciones de las muestras durante los procesos de combustión en los tratamientos.**

###### **Sobre el contenido de Humedad durante los ensayos:**

El valor promedio de porcentaje de humedad determinado en esta investigación (16.74 %), coincide con el mapa de contenido de humedad de equilibrio encontrado por CITE madera de Perú (2017) donde indica que para la región de Madre de Dios el promedio de contenido de humedad en equilibrio para la madera es de 17 (%),

Por otro lado, si se toma como referencia la metodología seguida por Enríquez Rosero y otros (2012), en su investigación titulada: “Diseño y construcción de un prototipo de quemador de lecho estacionario que se use como combustible cáscara de *Jatropha curca* L. (Medellín, Colombia)”, donde determinaron el porcentaje de humedad y también realizaron un registro del tiempo de combustión, en la presente investigación se uniformizó la humedad de todas las muestras para evitar una fuente de variación debida a este factor, coincidiendo con los investigadores citados.

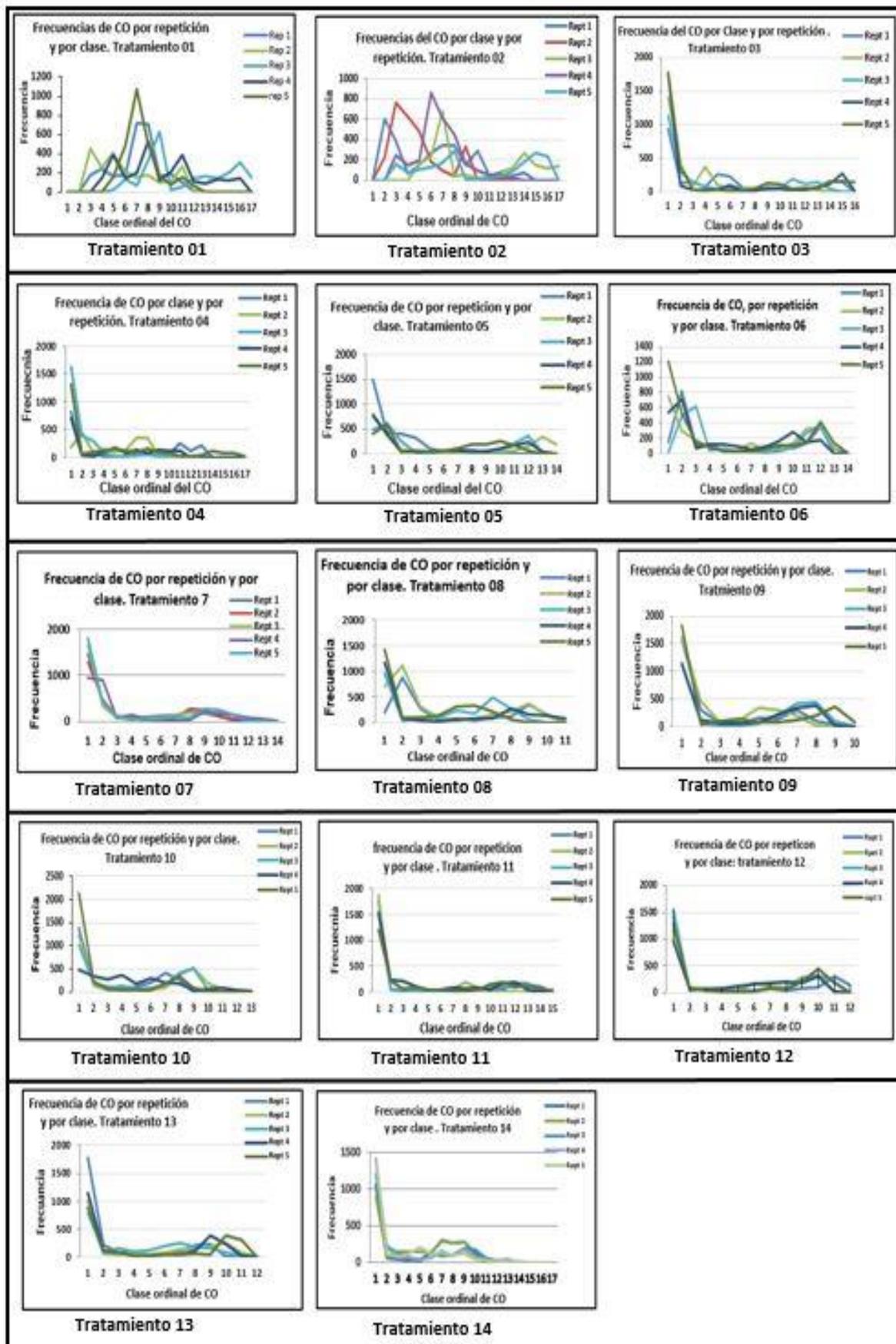
###### **Sobre las características físicas de las cuatro especies más usadas de la muestra de carpinterías en Tambopata:**

Si bien Enríquez Rosero y otros (2012), Los autores en su investigación titulada: “Diseño y construcción de un prototipo de quemador de lecho estacionario que se use como combustible cáscara de *Jatropha curca* L. (Medellín, Colombia)”, indican que conociendo la densidad se puede definir algunas dificultades que no permiten el desarrollo de una combustión efectiva, y sugieren establecer condiciones que propicien una buena combustión, en esta investigación no se encontró dificultades de combustión en las especies utilizadas.

#### **4.4.2. Evaluación de los polígonos de frecuencia dentro y entre los tratamientos, del CO, CO<sub>2</sub> y Temperatura.**

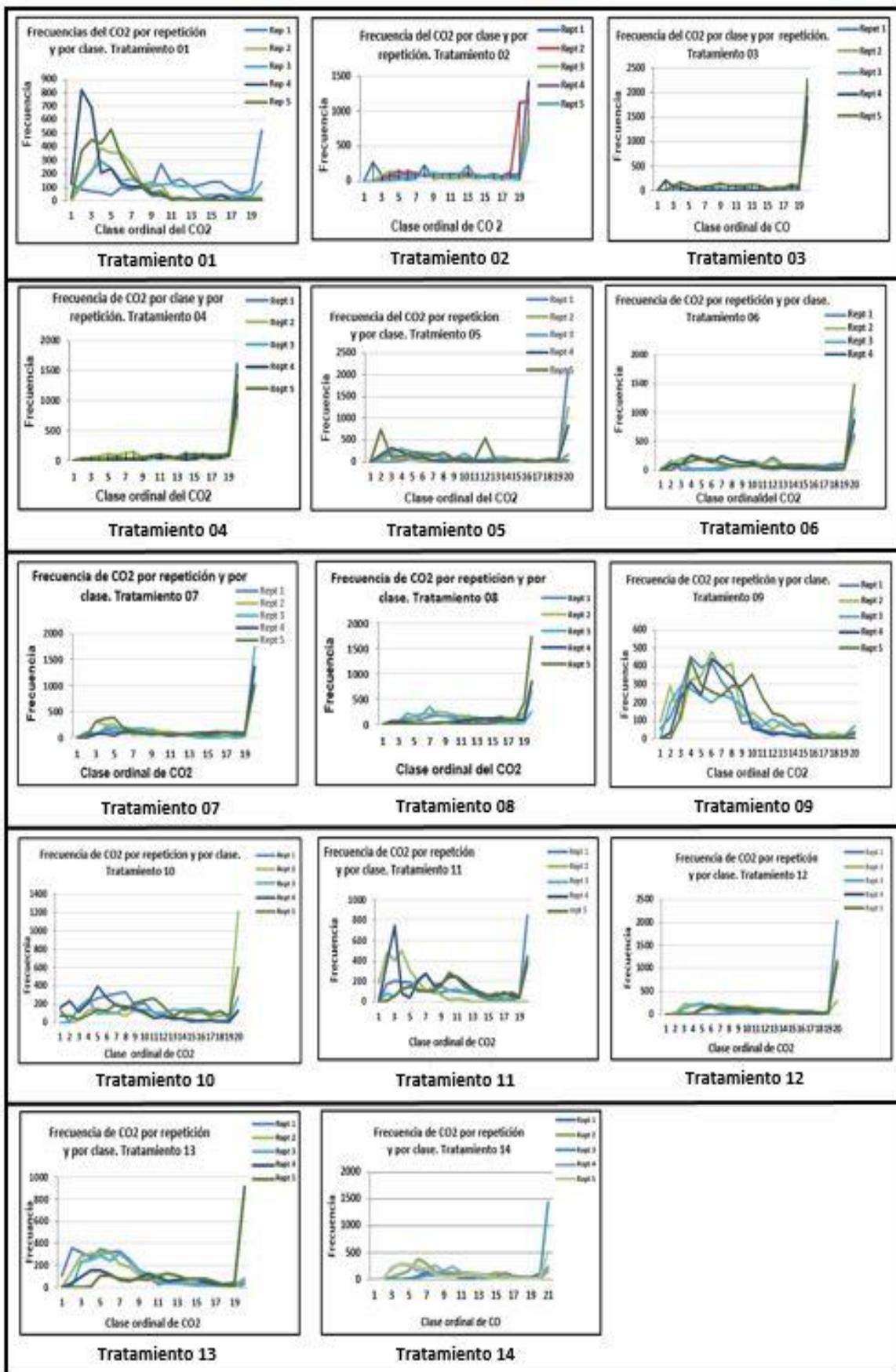
La observación de los polígonos de frecuencia, que se muestran más adelante, tiene la premisa de que las condiciones de ensayo y del quemador-prototipo se han mantenido invariables o estándares dentro de cada tratamiento y entre los tratamientos. La data y las figuras que se procesaron para este capítulo se derivan de las Tablas y Figuras contenidas desde la Tabla 18 hasta la tabla 59, respectivamente, mostradas anteriormente.

Con la finalidad de tener mejor visualización panorámica y observación comparativa para la discusión, en las FIGURAS 20, 21 y 22, se agrupa todos los catorce gráficos de los polígonos de frecuencias por cada repetición y por cada tratamiento, correspondientes a la variable dependiente del MONOXIDO DE CARBONO (CO), DIOXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>) Y TEMPERATURA, respectivamente, presentados en las Tablas 18 al 59, esto con la finalidad de tener, como ya se mencionó, un mejor efecto visual de los patrones de comportamiento de emisión de esas variables, en cuanto al centramiento y dispersión de los datos obtenidos en cada tratamiento y en cada variable dependiente.

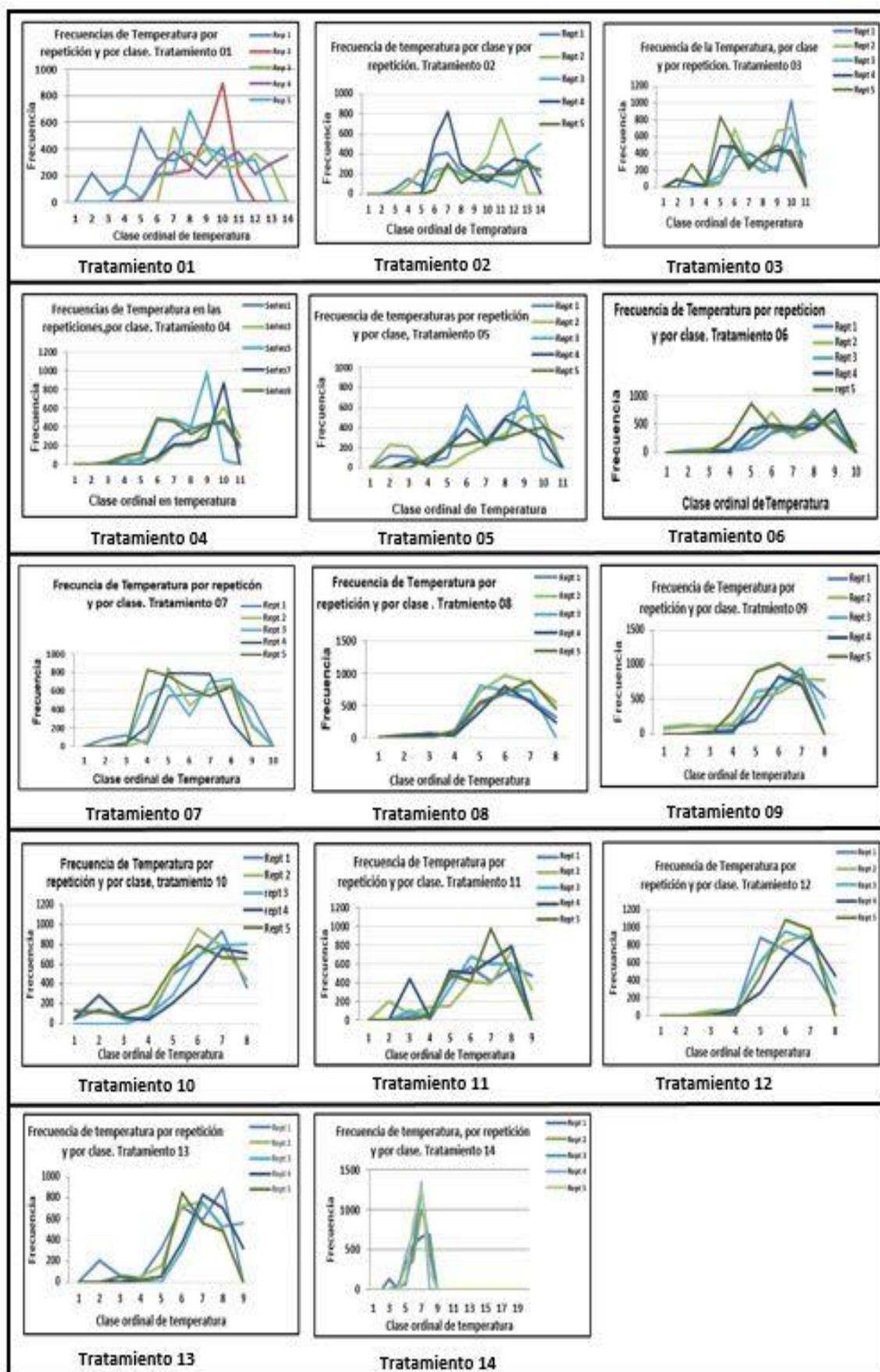


**Figura 20.** Patrones de comportamiento de las repeticiones, para comparación visual, de los Polígonos de frecuencia del MONÓXIDO DE CARBONO (CO) por repetición y por cada tratamiento.

Fuente: (elaboración propia)



**Figura 21.** Patrones de comportamiento de las repeticiones, para comparación visual, de los Polígonos de frecuencia del DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>) por repetición y por cada tratamiento. Fuente; (elaboración Propia).



**Figura 22.** Patrones de comportamiento de las repeticiones, para comparación visual, de los Polígonos de frecuencia de la TEMPERATURA por repetición y por cada tratamiento.

Fuente: (elaboración propia).

En la TABLA 63 se presenta las medidas de centralización media, mediana y moda de las variables dependientes (CO, CO<sub>2</sub> y Temperatura) calculadas tal como se muestran desde Tabla 18 a la Tabla 59, obtenidos durante el proceso de combustión de las muestras de madera en cada tratamiento, de acuerdo a la metodología explicada anteriormente.

En dicha Tabla 63, la **media** indica el promedio de la suma de frecuencias encontradas en cada variable dependiente (CO, CO<sub>2</sub> y temperatura) encontrada en cada tratamiento. La **mediana** indica el valor central de frecuencias a partir del cual el 50% de otras frecuencias se encuentran por arriba y el otro 50%, por debajo de ese valor de frecuencias en cada variable dependiente. La **moda** indica la marca de clase de la frecuencia que más se repite en cada variable dependiente de cada tratamiento.

En la FIGURA 23 se grafica la tendencia de los estadísticos de centralización de las frecuencias de emisión de CO, CO<sub>2</sub> y temperatura, indicados en la Tabla 63.

Para el caso del MONÓXIDO DE CARBONO (CO), se puede observar numéricamente y visualmente en la Tabla 63 y en la Figura 23, respectivamente, que la tendencia es hacia la disminución de la media, mediana y moda de frecuencias, conforme se aumenta la complejidad del quemador-prototipo. Se determinó que, para el caso de la media estadística, la emisión del gas en la combustión en el quemador-prototipo fue de 1552ppm en el Tratamiento 01 y disminuyó hasta 677ppm en el Tratamiento 14. Se observa, también, que a partir del Tratamiento 03 la disminución de la mediana y la clase modal de las frecuencias de emisión son similares y disminuyeron de 1446ppm a 246ppm y de 1406ppm a 106ppm, conforme avanza la complejidad de los tratamientos.

De igual forma, para el caso del DIÓXIDO DE CARBONO se observa (Tabla 63 y Figura 23) que los valores de la media de las frecuencias de emisión de CO<sub>2</sub> son erráticos. Los valores de la media de frecuencias de emisión de ese gas, obtenidos en los Tratamientos 01, 05 y 09 son similares, alrededor de 3300ppm y son los más bajos de los 14 Tratamientos; los demás tratamientos

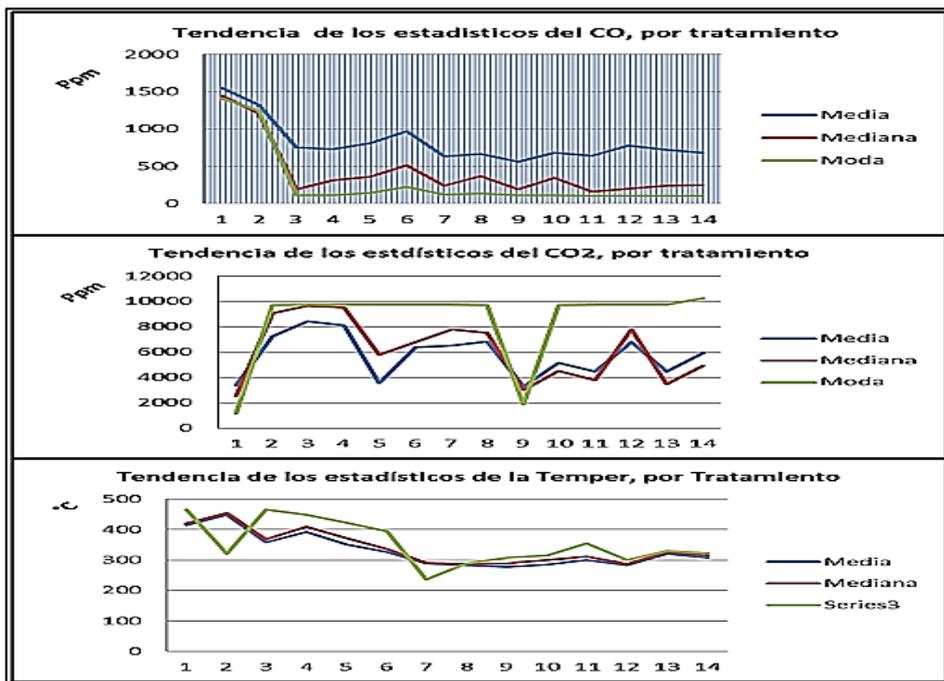
tuvieron valores de la media superiores en más entre 30% y 150%, respecto al Tratamiento 01, que es el de menor complejidad de los tratamientos. La mediana de las frecuencias de emisión de CO<sub>2</sub> tuvo igual comportamiento que la media, los tratamientos 01 y 09 tuvieron medianas similares, mientras que los valores de la mediana de los demás tratamientos fueron superiores entre 135% y 385%, también en forma errática, decir no se observa una constante de aumento del valor de la mediana de los tratamientos respecto a la mediana del tratamiento más simple o Tratamiento 01. La clase modal de frecuencias para el CO<sub>2</sub> es similar en los tratamientos 01 y 09, alrededor de 1500ppm, los demás valores indican que las clases modales de 12 Tratamientos está alrededor de 850% sobre la clase modal del Tratamiento 01, el más simple de los tratamientos.

Para el caso de la TEMPERATURA, se observa (Tabla 63 y Figura 23) que los valores de la media, la mediana y la moda muestran una tendencia de disminuir conforme avanza la complejidad del Tratamiento, lo que refleja el alejamiento desde la fuente principal en la cámara de combustión en el Tratamiento 01 hasta la segunda cámara de pos-combustión.

**Tabla 63.** Media, mediana y clase modal del Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono y de la Temperatura, como estadísticos de centralización de los resultados obtenidos

Trata- miento	CO			CO <sub>2</sub>			Temperatura		
	Media	Clase Mediana	Clase Modal	Media	Clase Mediana	Clase Modal	Media	Clase Mediana	Clase Modal
T-01	1552	1446	1406	3379	2506	1157	415	420	466
T-02	1322	1209	1249	7245	9057	9714	449	454	321
T-03	751	193	110	8439	9654	9748	358	367	466
T-04	731	315	112	8111	9552	9740	393	409	449
T-05	807	356	144	3561	5813	9747	350	372	423
T-06	971	509	222	6409	6800	9744	327	335	394
T-07	635	237	122	6538	7799	9745	288	290	236
T-08	665	368	132	6837	7540	9722	284	286	288
T-09	560	189	107	3288	2993	1871	278	288	307
T-10	685	342	109	5135	4536	9737	285	300	316
T-11	644	160	104	4490	3792	9741	301	312	354
T-12	781	195	103	6808	7778	9748	284	287	300
T-13	724	237	106	4459	3458	9745	320	326	330
T-14	677	246	106	5939	4919	10242	307	315	322

Fuente: (elaboración propia)



**Figura 23.** Tendencias de los estadísticos conforme avanza la complejidad del quemador prototipo  
Fuentes: (elaboración propia).

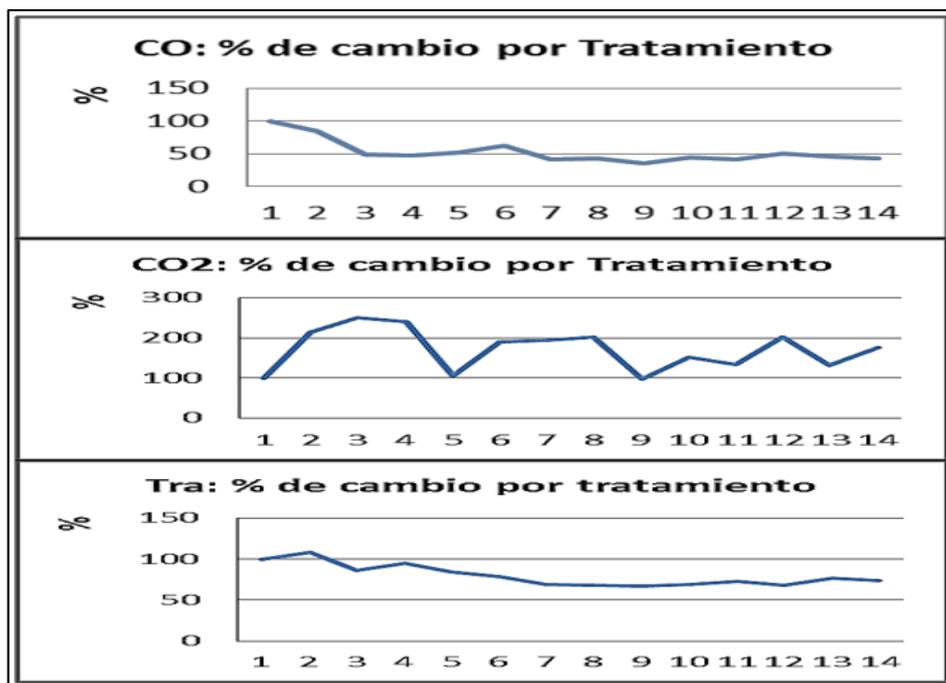
Para simplificar, a manera de compilación de lo observado en las figuras 20, 21 y 22, se muestra la Tabla 64 y la FIGURA 24 en las cuales se presenta la variación porcentual del valor de la media de los Tratamientos conforme avanza la complejidad del Tratamiento.

En dicha Tabla 64 y Figura 24 se observa que la media de las emisiones de CO disminuye en alrededor del 50% del valor inicial del Tratamiento 01, cuando la combustión solo es en la cámara de combustión, y se mantiene cercano a ese 50% en los demás Tratamientos, cuando se incrementa la complejidad del quemador-prototipo. Para el caso del CO2 se observa que la media de emisiones es errática y variable a medida que se aumenta la complejidad del quemador prototipo. Para el caso de la TEMPERATURA, la tabla 64 y Figura 24 muestra la disminución de los grados Celsius en alrededor de 25% del valor desde el Tratamiento 01 hasta el Tratamiento 14. La temperatura a la salida en el quemador prototipo, en el Tratamiento 14, es de alrededor de 300°C, un valor importante de calor.

**Tabla 64.** Variación porcentual de las medias estadísticas de las variables dependientes, por variación de las cámaras de combustión, de complejidad menor (T-01) a mayor (T-014).

Trata- miento	CO		CO2		Temperatura	
	Media	% relativo	Media	% relativo	Media	% relativo
T-01	1552	100	3379	100	415	100
T-02	1322	85	7245	214	449	108
T-03	751	48	8439	250	358	86
T-04	731	47	8111	240	393	95
T-05	807	52	3561	105	350	84
T-06	971	63	6409	190	327	79
T-07	635	41	6538	193	288	69
T-08	665	43	6837	202	284	68
T-09	560	36	3288	97	278	67
T-10	685	44	5135	152	285	69
T-11	644	41	4490	133	301	73
T-12	781	50	6808	201	284	68
T-13	724	47	4459	132	320	77
T-14	677	44	5939	176	307	74

Fuente: (elaboración propia)



**Figura 24.** Curvas de la tendencia de los porcentajes de cambio de las variables dependientes con el avance de la complejidad del quemador-prototipo.

Fuente: (elaboración propia)

#### 4.4.3. Sobre el análisis de variancia de los tratamientos ensayados

**Tabla 65.** Análisis de Variancia de las medias de emisiones de CO.

F.V	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F. calculado	F.t. 0.05%
Tratamiento	1	2549105	2549105	24,58	5,02e-06
Error	68	7053291	103725		
Toral	69	9602396	2652830		

Fuente: (elaboración propia)

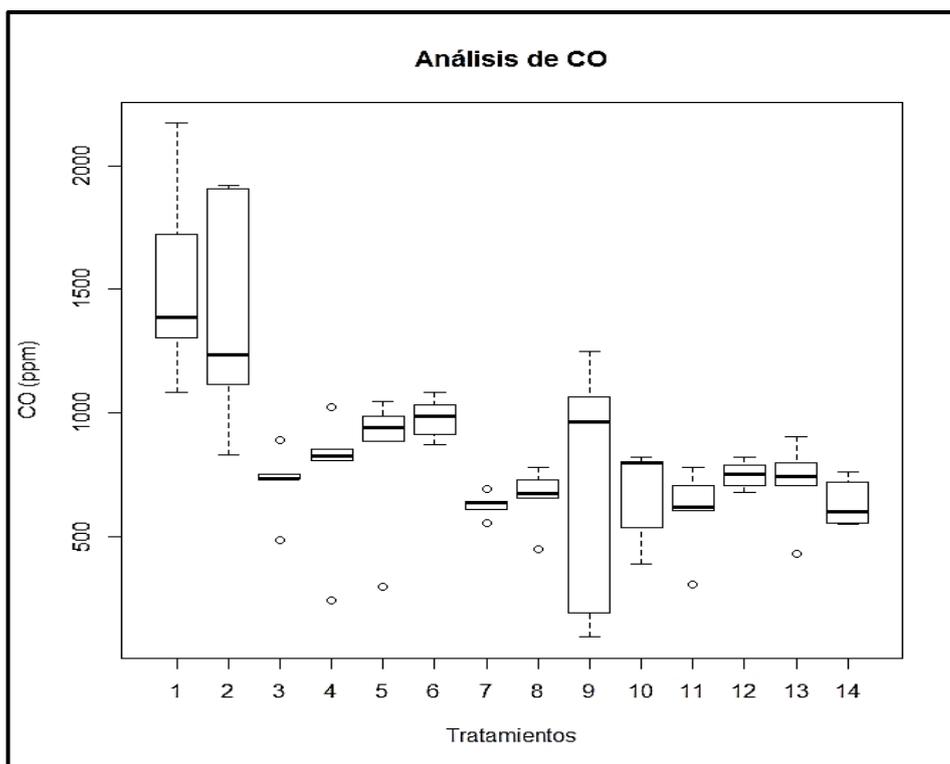
Analizando la Tabla 65, podemos mencionar que como “F” calculado es mayor a “F tabulado” al 5%, entonces se concluye que con un 95% de certeza podemos hallar diferencias altamente significativas entre las medias CO, en los 14 tratamientos del quemador prototipo.

**Tabla 66.** Prueba de Tukey para las medias de los Tratamientos aplicados en el Quemador-Prototipo para el CO.

Tratamientos	CO
Tratamiento1	1534,034±424,57 <sup>A</sup>
Tratamiento2	1401,666±491,43 <sup>AB</sup>
Tratamiento6	977,930±85,28 <sup>ABC</sup>
Tratamiento5	831,068±303,93 <sup>ABC</sup>
Tratamiento4	750,214±297,72 <sup>BC</sup>
Tratamiento12	749,716±58,32 <sup>BC</sup>
Tratamiento3	719,378±145,63591 <sup>BC</sup>
Tratamiento13	715,858±177,39594 <sup>BC</sup>
Tratamiento9	712,448±532,16 <sup>BC</sup>
Tratamiento10	669,432±195,56 <sup>C</sup>
Tratamiento8	656,596±125,10 <sup>C</sup>
Tratamiento14	636,762±98,02 <sup>C</sup>
Tratamiento7	627,402±49,90 <sup>C</sup>
Tratamiento11	603,302±181,78 <sup>C</sup>

Fuente: (elaboración propia)

En la Tabla 66, sobre el CO, según la prueba de Tukey, se puede afirmar que con un 95% de certeza que el CO, son estadísticamente diferentes (Figura 1), donde el tratamiento 1, 1534,034 (±424,57), presento la mayor emisión de CO.



**Figura 25.** Visualización gráfica: comparación de medias de los tratamientos, Análisis del CO.

Fuente: (Elaboración propia)

**Tabla 67.** Análisis de Variancia de las medias de emisiones para el CO<sub>2</sub>.

F.V	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F. calculado	F.t. 0,05%
Tratamiento	1	13010993	13010993	2,82	0,0977
Error	68	313759579	4614111		
Toral	69	326770572	17625104		

Fuente: (elaboración propia)

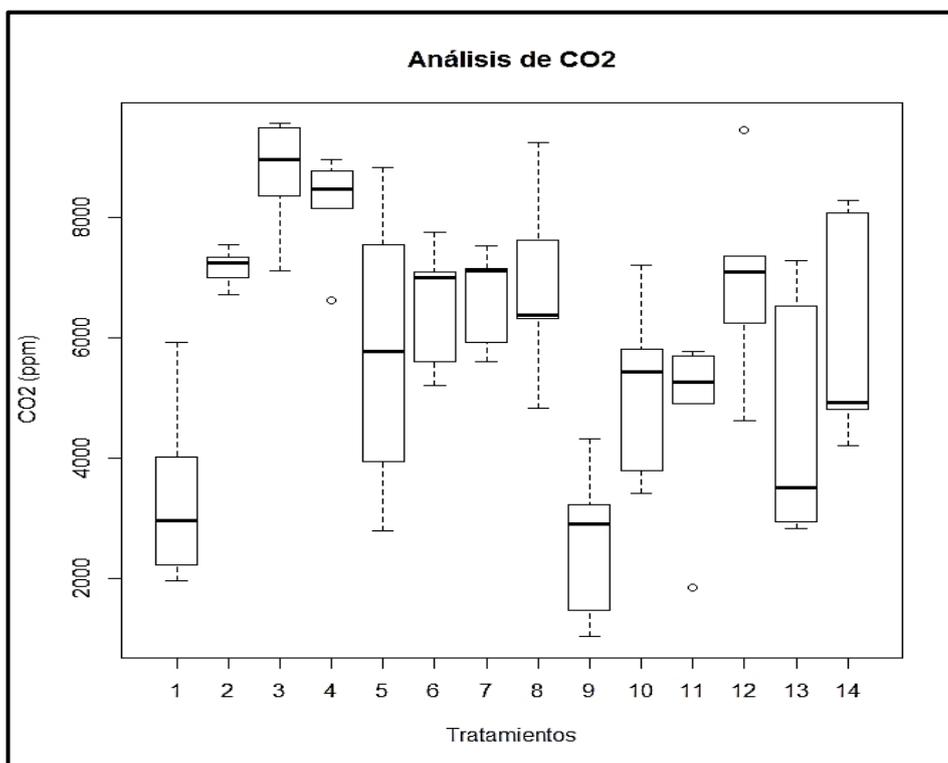
Analizando la Tabla 67, podemos mencionar que como "F" calculado es mayor a "F tabulado" al 5%, entonces se concluye que con un 95% de certeza podemos hallar diferencias altamente significativas entre CO<sub>2</sub>, en los 14 tratamientos del quemador prototipo.

**Tabla 68.** Prueba de Tukey para las medias de los Tratamientos aplicados en el Quemador-Prototipo para el CO<sub>2</sub>.

Tratamientos	CO <sub>2</sub>
Tratamiento3	8686,990±1004,67 <sup>A</sup>
Tratamiento4	8193,032±931,71 <sup>A</sup>
Tratamiento2	7164,610±321,58 <sup>AB</sup>
Tratamiento12	6948,840±1757,17 <sup>AB</sup>
Tratamiento8	6877,834±1650,79 <sup>AB</sup>
Tratamiento7	6656,874±842,9101 <sup>AB</sup>
Tratamiento6	6527,678±1076,42 <sup>AB</sup>
Tratamiento14	6055,620±1955,76 <sup>AB</sup>
Tratamiento5	5771,982±2487,56 <sup>AB</sup>
Tratamiento10	5131,274±1547,86 <sup>AB</sup>
Tratamiento11	4694,392±1629,45 <sup>AB</sup>
Tratamiento13	4616,804±2122,30 <sup>AB</sup>
Tratamiento1	3417,446±1613,05 <sup>B</sup>
Tratamiento9	2588,880±1332,64 <sup>B</sup>

Fuente: (elaboración propia)

En la Tabla 68, sobre el CO<sub>2</sub>, según la prueba de Tukey, se puede afirmar que con un 95% de certeza que el CO<sub>2</sub>, son estadísticamente diferentes (Figura 2), donde el tratamiento3 8686,990 (±1004,67), presenta la mayor emisión de CO<sub>2</sub>.



**Figura 26.** Visualización gráfica: comparación de medias de los tratamientos. Análisis del CO<sub>2</sub>  
Fuente: (elaboración propia)

**Tabla 69.** Análisis de Variancia de las medias de emisiones de Temperatura.

F.V	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	de Cuadrado Medio	F. calculado	F.t. 0.05%
Tratamiento	1	140706	140706	40,32	2,06e-08
Error	68	237320	3490		
Toral	69	378026	144196		

Fuente: (elaboración propia)

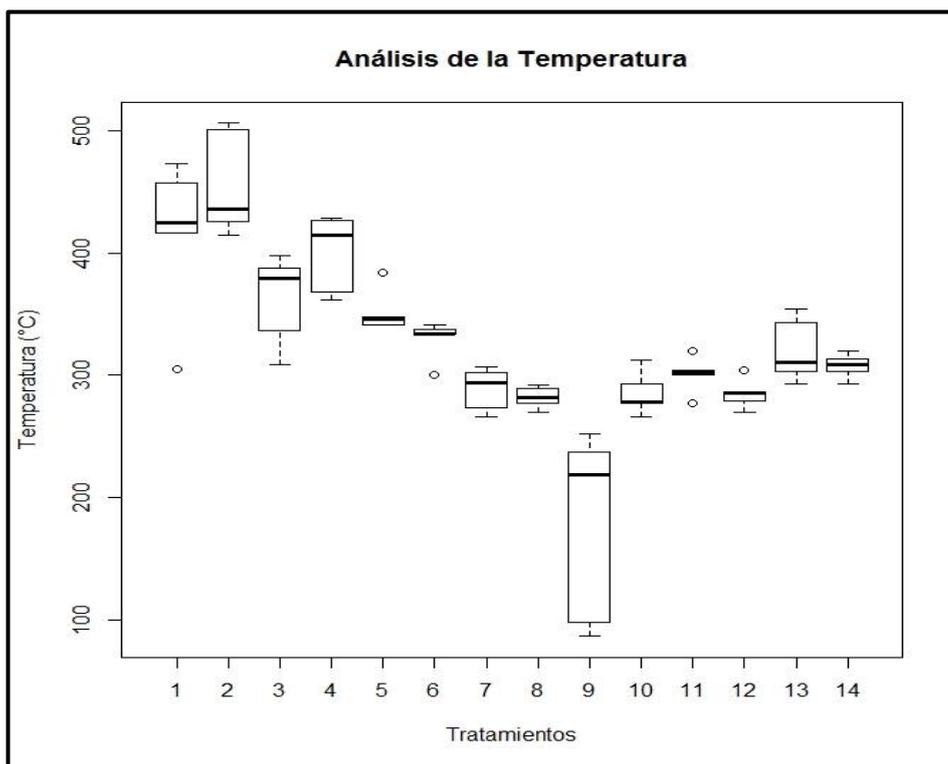
Analizando la Tabla 69, podemos mencionar que como “F” calculado es mayor a “F tabulado” al 5%, entonces se concluye que con un 95% de certeza podemos hallar diferencias altamente significativas entre la temperatura, en los 14 tratamientos del quemador prototipo.

**Tabla 70.** Prueba de Tukey para las medias de los Tratamientos aplicados en el Quemador-Prototipo para la Temperatura.

Tratamientos	Temperatura
Tratamiento2	456,254±43,40 <sup>A</sup>
Tratamiento1	415,180±65,72 <sup>AB</sup>
Tratamiento4	399,552±32,26 <sup>ABC</sup>
Tratamiento3	361,928±37,79 <sup>ABC</sup>
Tratamiento5	351,852±18,04 <sup>ABC</sup>
Tratamiento6	329,336±16,18 <sup>ABC</sup>
Tratamiento13	320,792±26,59 <sup>BC</sup>
Tratamiento14	307,748±10,16 <sup>BCD</sup>
Tratamiento11	300,876±15,17 <sup>BCD</sup>
Tratamiento7	288,678±17,74 <sup>BCD</sup>
Tratamiento10	285,492±17,70 <sup>BCD</sup>
Tratamiento12	284,886±12,61 <sup>CD</sup>
Tratamiento8	282,268±9,13 <sup>CD</sup>
Tratamiento9	178,846±79,74 <sup>D</sup>

Fuente: (elaboración propia)

En la Tabla 70, sobre la temperatura, según la prueba de Tukey, se puede afirmar que con un 95% de certeza que la temperatura, son estadísticamente diferentes (Figura 3), donde el tratamiento 2 456,254 (±43,40), presento el mayor Temperatura.



**Figura 27.** Visualización gráfica: comparación de medias de los tratamientos. Análisis de la temperatura. Fuente: (Elaboración propia).

De acuerdo a lo expuesto, existe diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, a un nivel de 95% de confianza, tanto en las mediciones de del monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono y la Temperatura de salida, por otro lado, la observación de los polígonos de frecuencias confirma que hubo un adecuado control del proceso de combustión, ya que los polígonos de emisiones son muy similares en forma y sesgo entre las cinco repeticiones en cada tratamiento.

Los resultados de la prueba de Tuckey nos muestran que los tratamientos 10, 8, 14, 7 y 11 son estadísticamente iguales lo que nos dice que cualquiera de estos tratamientos tendrá menor emisión de CO, y además el tratamiento 11 es el que presenta una menor emisión de CO en todos los tratamientos 603ppm ( $\pm 181,78$ ). De igual forma la observación de los polígonos, indica que la mayor frecuencia de emisiones de CO, medidos en ppm, están en las clases de baja emisión de CO, en 86% de los 14 tratamientos. Adicionalmente en la

gráfica de las tendencias, conforme avanza la complejidad del quemador prototipo, indica disminución de las emisiones de CO

Los resultados nos muestran que los tratamientos 1 y 9 son estadísticamente iguales, lo que nos dice que cualquiera de estos tratamientos tendrá menor emisión de CO<sub>2</sub>, y además el tratamiento 9 es el que presenta una menor emisión de CO<sub>2</sub> en todos los tratamientos 2588ppm ( $\pm 1332,64$ ). La observación de los polígonos de tendencia del comportamiento de las medias de los 14 tratamientos nos indica que hay una tendencia hacia la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>, aunque con altibajos, conforme aumenta la complejidad del quemador-prototipo.

Los resultados nos muestran que los tratamientos 9 presento menor temperatura, estadísticamente hablando los tratamientos 9, 8, 12, 10, 7, 11 y 14 son estadísticamente iguales produciendo menor temperatura. Sin embargo la observación de los grafico de tendencias de la disminución de temperatura es clara conforme avanza la complejidad del quemador prototipo, La mayor temperatura se obtuvo en el Tratamiento 02.

#### **4.4.3 Sobre los resultados obtenidos en otras investigaciones.**

Tomando como referencia a **Garbajosa (2013)** en su investigación “diseño de un equipo experimental para el estudio de emisiones producidas durante procesos de auto combustión de sólidos en Madrid-España, en la cual estudiaron las emisiones de gases dos tipos de muestras de madera (astillas de madera y pellets de madera), se puede mencionar lo siguiente:

##### **Para el caso del CO:**

El investigador indica en sus resultados que para las astillas de madera < 3.2 mm. a una temperatura máxima de 200 C° encontró 1570ppm de CO; en condiciones establecidas en la presente investigación (tabla N° 63 ) se puede observar que la temperatura promedio menor fue de 278°C, que corresponde al tratamiento N° 09, se obtuvo 560ppm de CO, cabe resaltar que son los

valores mínimos de dicho ensayo, esto valores al ser comparados difieren con la investigación de Garbajosa (2013) en datos mayores o menores porque las astillas de madera tiene una media de menor a 3.2 mm (partículas) y en cambio en esta investigación se usó muestras de residuos sólidos de madera de cuatro (4) especies forestales diferente con medidas no > de 30 cm. por ende también en el proceso de combustión tuvo diferentes tratamientos complejos con insuflado y sin insuflado de aire, que ayudaron a determinar estos valores. Para la otra medida de astilla < 180  $\mu\text{m}$ ., el investigador encontró a esa temperatura de 200 °C, 3510ppm de CO, sin embargo, la tendencia es que a mayor temperatura aumenta las partes por millón de emisión de gases de CO. Garbajosa (2013).

#### **Para el caso del CO<sub>2</sub>:**

El investigador Encontró el valor de 1.02 CO<sub>2</sub> (% vol), que equivale a 10200 (ppm), de CO<sub>2</sub> para las astillas de < 3.2 mm a la misma temperatura de 200 °C. Y el valor de 1.12 (% vol), que equivale a 11200 (ppm) de CO<sub>2</sub>, en esta presente investigación a ese promedio de temperatura de 278 °C, se encontró el valor de 3288 (ppm), estos datos indican cierta similitud de emisiones de gases de CO<sub>2</sub>, para la madera.

**Acosta y otros (2010)**, en su investigación titulada “Diseño y Construcción de un Prototipo de Cocina que utilice Biomasa como Combustible” desarrollado en el Salvador –Centro América 2010, el objetivo de la investigación fue realizar el diseño y construir un prototipo de cocina, en el cual utilizaron aserrín como combustible, también realizaron mediciones de concentración de gases como (CO y CO<sub>2</sub>) durante La combustión, también realizaron mediciones de la temperatura de la combustión. En los ensayos establecieron 99 pruebas para la cuales se obtuvieron los siguientes resultados.

**Para el caso CO:**

Los investigadores encontraron 644.2 (ppm) de CO, en la prueba N° 66, como se puede observar son los datos mayores de toda los ensayos en cambio en la presente investigación en la tabla N° 61 se puede observar el valor menor fue de 560 (ppm) de CO, que corresponde al tratamiento N° 09, el dato mayor de CO, es de 1552 (ppm), que corresponde al tratamiento N° 1, haciendo el análisis de las condiciones que establecidas en la presente investigación los ensayos se hacen complejos de acuerdo al avance del número de tratamientos, también se reduce el contenido de CO. En cambio, en su investigación de acosta y otros (2010) diseñaron una metodología muy diferente a la presente en el cual utilizaron aserrín como combustible para el prototipo de la cocina.

**Para el caso CO<sub>2</sub>:**

Acosta y otros (2010), obtuvieron 7014.0 (ppm) de CO<sub>2</sub>, y en la presente investigación se obtuvo dato máximo de 8439 (ppm) de CO<sub>2</sub> y un mínimo de 3288 (ppm) de CO<sub>2</sub>, estos datos difieren por las condiciones de los ensayos en el prototipo del quemador.

**Para la temperatura °C:**

Acosta y otros (2010), obtuvieron una temperatura de 793.3 T °C. Son consideraos datos mayores, y en la presente investigación su obtuvo una temperatura máxima de 415 °C, y una mínima de 278 °C. Estos datos difieren por la complejidad de los ensayos el quemador prototipo y del prototipo de la cocina.

Se puede deducir que la tendencia de emisiones es similar entre el trabajo de Acosta y otros (2010), con el presente trabajo.

## 4.5. Conclusiones

- En la presente investigación se acepta hipótesis alterna donde el quemador prototipo reduce significativamente la emisión de CO y CO<sub>2</sub> en la combustión de residuos de madera generados en una microempresa carpintera de Puerto Maldonado, Madre de Dios. y se rechaza la hipótesis nula.
- Se construyó un quemador prototipo propuesto y combinado con un método de quema para la combustión de residuos de madera generados en las microempresas carpinteras de Puerto Maldonado, la cual es considerado como desperdicio por mayoría de ellos; con el prototipo es posible obtener una combustión sostenida y completa, el proceso de desarrollo consistió de la adquisición de conocimiento general sobre combustión, identificación de propiedades del combustible, la construcción del prototipo y finalmente una evaluación experimental del prototipo resultante.
- el número requerido y necesario del quemador prototipo tiene que estar conformada por la cámara de combustión y dos cámaras de pos-combustión. Sin embargo, requiere de mayor estudio del efecto de las cámaras de combustión y de pos-combustión, para lograr la optimización en la reducción de CO y CO<sub>2</sub>.
- Respecto al CO, el Tratamiento 11, consistente en el Quemador-Prototipo con tres (03) cámaras de combustión con insuflado de aire en la primera cámara, sin insuflado de aire en la segunda cámara y sin insuflado de aire en la tercera cámara, es el que produjo menor emisión, con 603ppm de promedio, dentro de un rango de 422ppm y 784ppm.
- Respecto al CO<sub>2</sub>, el Tratamiento 9, consistente en el Quemador-Prototipo con tres (03) cámaras de combustión sin insuflado de aire en la primera cámara, con insuflado de aire en la segunda cámara y sin insuflado de aire en la tercera cámara, es el que produjo menor emisión de CO<sub>2</sub>, con 2588ppm, dentro de un rango de 1256ppm y 3920ppm.

- Respecto a la Temperatura, el Tratamiento 02, consistente en el Quemador-Prototipo con una (01) cámara de combustión con insuflado de aire, produjo la mayor temperatura equivalente a 456 °C, dentro de un rango de 413 °C a 499 °C
- La cantidad mayor de emisiones de CO generados en el prototipo se obtuvo en el tratamiento 01, prototipo quemador con **una (01) cámara** de combustión **sin** insuflado de aire, y la menor cantidad de CO, en el tratamiento 11, prototipo quemador con tres (03) cámaras de combustión con insuflado de aire en la primera cámara, sin insuflado de aire en la segunda cámara y sin insuflado de aire en la tercera cámara.
- La cantidad mayor de emisiones de CO<sub>2</sub> generados en el prototipo se obtuvo en el tratamiento 03, prototipo quemador con dos (02) cámaras de combustión sin insuflado de aire en la primera cámara y sin insuflado de aire en la segunda cámara, y la menor cantidad de CO<sub>2</sub>, en el tratamiento 09, prototipo quemador con tres (03) cámaras de combustión sin insuflado de aire en la primera cámara, con insuflado de aire en la segunda cámara y sin insuflado de aire en la tercera cámara.

#### 4.6. Recomendaciones

- Se recomienda continuar con este tipo de propuestas de quemador, sobre todo estudiando el proceso de pos-combustión, hasta encontrar la más baja emisión de gases invernadero durante la combustión de residuos, con fines utilitarios, como es la combustión limpia para fines de generar calor para procesos de secado y calefacción.
- Se recomienda realizar ensayos de combustión en las plantas de transformación primaria y secundaria, ya que estas empresas transforman especies de densidad alta y generan mayor cantidad de residuos de madera como aserrín y cortezas y retazos de mayor dimensión.
- Realizar ensayos de combustión utilizando otros tipos de biocombustibles como la cascara de la castaña (nuez), desperdicios de los cocos de la castaña y entre otro por identificar.
- Complementar este tipo de investigación con la determinación de las propiedades físicas y químicas de los diferentes residuos de madera u otros biocombustibles.
- Se recomienda profundizar este tipo de investigaciones para estudiar los subproductos de la combustión de la madera como el ácido piroleñoso y las cenizas.

## Referencias Bibliográficas

1. **Agencia Andaluza de Energía. 2017.** Natursolar Energia Solar. *Natursolar Energia Solar*. [Online] 26 de Enero de 2017. <http://natursolar.com/noticias/que-es-la-biomasa>.
2. **Acosta, Edwin, Arriaga, Jose e Trujillo, Carlos. 2010.** *Diseño y Construcción de un Prototipo de Cocina que utilice Biomasa como Combustible*. El Salvador-Centro América : Universidad de el Salvador-Departamento de Ingenieria y Arquitectura, 2010.
3. **Alvares, E., Diaz, S. e Alessandri, M. 2001.** *Utilizacion Racional de los Residuos Forestales*. Lima (Peru) : Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) - Unasyuva (Italia). (2001). v. 52(206)p, 2001.
4. **Andersen, R., Tower, W. e Smith, P. 2005.** *Assessing the potential for biomass energy to contribute to Scotland's renewable energy needs*. Oxfor- Escocia : Elsevier - Biomass and Bioenergy 2005 Vol. 29 No. 2 pp. 73-82p., 2005.
5. **Antolín, G. 2006.** *La Gestión y el Aprovechamiento de los Residuos en la Industria de la Madera*. Buenos Aires - Argentina : Instituto Nacional de Tecnologia Industrial (INTI), 2006.
6. **Arias, Pablo. 2010.** *Diseño de un Sistema de Secado de Madera para la Empresa Parquet "Los Pinos"*. Riobamba- Ecuador : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2010.
7. **Askew, M e Holmes, C. 2001.** *The potential for biomass and energy crops in agriculture in Europe, in land use, policy and rural economy terms*. Wellesbourne (Reino Unido) - Europa : Association of Applied Biologists (Bullard, M. J.; Christian, D. G.; Kmight, J. D.; Lainsbury, M. A.; Parker, S. R.) 2001 No. 65 pp. 365-374, 2001.
8. **BUN-CA; FORCER. 2002.** *Manual sobre energia renovable - Biomasa*. San Jose - Costa Rica : Asistencia Financiera para el Medio Ambiente Mundial (GEF) y Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo (PNUD) 1ra edicion 42p., 2002.
9. **Camps, Manuel e Marcos, Francisco. 2008.** *Los Biocombustibles*. Madrid (España) - Universidad Politécnica : Mundiprensa - Paraninfo S.A, 2da Edición-383 p., 2008.
10. *Características Fisico - Químicas de la Madera y Carbon de Once Especies Forestales de la Amazonia Peruana*. **Rivera, Pepe e Uceda, Manuel. 2008.** 2008, Revista Forestal del Peru, pp. 01-08.
11. **Carmona, hermán, et al. 1999.** *Diseño de un Proyecto Piloto Dendro Energetico y Formulación de Lineamientos de Política, Estrategias e Instrumentación para el Fomento de Sitemas Dendro energeticos en Colombia*. Santa Fe de Bogota : Ministerio De Minas y Energia - Unidad de Planeamiento Minero Energetico. 51 p, 1999.
12. **Castro, S., Hermoza, A. Y. e Silva, P.M. 2006.** *Utilización de los residuos de la industria forestal: aserrín, para la elaboración de compost*. Lima-Peru : Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Peru). Ciclo Optativo de Profesionalización en Gestión de Calidad y Auditoría Ambiental. 99 p., 2006.
13. **CCA. 2014.** Comisión para la Cooperación Ambiental. *Comisión para la Cooperación Ambiental*. [Online] 30 de enero de 2014. <http://www.cec.org/es>, <http://www3.cec.org/islandora/es/contaminantes>. <http://www3.cec.org/islandora/es/item/11474-wood-burning-es.pdf>.
14. **Centro de Interpretacion de Energias Renobables. 2017.** Docenario Sostenible. *Docenario Sostenible*. [Online] 20 de Enero de 2017. <http://www.docenariosostenible.com/>.

15. **Chapalbay, Yennyfer e Reinoso, Pablo. 2011.** *Diseño y Simulación del Funcionamiento de un Secador de Flujo Forzado para Madera permeable con capacidad de 43m<sup>3</sup>/Mes, Utilizando un Quemador con Biomasa.* Sangolquí-Ecuador : ESCUELA Escuela Politecnica del ejercito- Carrera de Ingeniería Macanica, 2011.
16. **CITEmadera; Confederación Peruana de la Madera-CPM. 2008.** *COMPENDIO DEINFORMACION DE 32 EPECIES FORESTALES TOMO I - II.* Lima : 2da Edición :CITEmadera, 2008. p. 74. 1500.
17. **CITEmadera-Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica de la Madera. 2017.** *Manual para Operadores de Secaderos Convencionales para Madera.* Lima-Peru : Cooperación alemana Implementado por GIZ, 2017.
18. **CNE; GTZ. 2007.** *Proyectos de Biomasa - Guía para la Evaluación Ambiental Energías Renovables no Convencionales.* Santiago de Chile : Comisión Nacional de energía (CNE); Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH; Comisión Nacional del Medio Ambiente., 2007.
19. **Covacevich C, R. 1979.** *Poder calorífico de pino insignis (Pinus radiata D. Don) y de otras especies forestales chilenas.* Santiago (Chile) : Universidad de Chile, Santiago Facultad de Ciencias Forestales, 72 p., 1979.
20. *Determinación del Poder Calorífico de 20 Especies Forestales de la Amazonía Peruana.* **Uceda, Manuel. 2008.** 2008, Revista Forestal del Perú, pp. 1-15.
21. **DIREPRO-GOREMAD. 2012.** *Diagnóstico Industrial de la Región Madre de Dios.* Puerto Maldonado : Dirección Regional de La Producción (DIREPRO)-GOREMAD, Dirección Ejecutiva de Industria y MYPE, 2012.
22. **Echari, Luis. 2007.** UNIVERSIDAD DE NAVARA. *OpenCourseWare-Universidad de Navarra.* [Online] 2007. [Citado em: 14 de noviembre de 2016.] <http://www.unav.es/ocw/>, file:///C:/Users/NAVIO\_PC/Downloads/Tema%207%20Contaminacion%20atmosferica%2007%20(3).pdf. [http://www.unav.es/ocw/ecologiaing0708/pagina\\_4.html](http://www.unav.es/ocw/ecologiaing0708/pagina_4.html).
23. **Enriquez Rosero, Sergio Antonio e Jaramillo Restrepo, Daniel. 2012.** *Diseño y Construcción de un Prototipo de Quemador de Lecho Estacionario que se use Como Combustible Cascara de Jatropha curca.”.* Medellín-Colombia : Universidad EAFIT-Departamento de Ingeniería Mecánica, 2012.
24. **Fernández, Jose. 2010.** *Guía Completa de la Biomasa y los Biocombustibles.* Málaga-España : Antonio Madrid Vicente - 1ra. Edición 336 p., 2010.
25. **Fernandoy, Miguel. 2007.** *Optimización del Sistema de Alimentación de Combustible a Caldera Nº 1 en Aserradero los Coigües.* Valdivia-Chile : Universidad Austral de Chile, 2007.
26. **Fredes, Natalia. 2014.** *Evaluación Técnica y Económica de una Planta de Producción De Combustible Sólido a partir de Biomasa Forestal en La Región de Los Lagos.* Santiago de Chile : Universidad de Chile, 2014.
27. **Garbajosa, Pablo. 2013.** *Diseño de un Equipo Experimental para el Estudio de Emisiones Producidas Durante Procesos de Autocombustión de Sólidos.* Madrid-España : Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía de Madrid UPM, 2013.
28. **García, Juan E. 2007.** *Combustión Directa de la Biomasa.* s.l. : Escuela de Negocios EOI- Modulo: Biomasa 30 p., 2007.
29. **Gil Pinzon, Camilo Andres e Caicedo Pulido, Oscar Javier. 2016.** *Evaluación de la Eficiencia en la reducción de emisiones de CO y CO<sub>2</sub>, por medio del diseño experimental de un filtro de aluminio.* Universidad Santos Tomás-Ingeniería Ambiental. BOGOTÁ D.C. : s.n., 2016. TESIS.

30. **González, P., et al. 2007.** *Disponibilidad de Residuos Madereros*. Santiago - Chile : Comision Nacional de Energia (CNE), Instituto Forestal (INFOR), Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 2007.
31. **IDAE. 2007.** *Manual de Energias Renovables N° 2 - Energia de la Biomasa*. Madrid - España : Instituto para la Diversificacion y Ahorro de la Energia (IDAE), 2007.
32. *Instalaciones termicas de biomasa*. **Marco Doninelli, Mario Doninelli. 2012.** 2012, Revista hidraulica, pp. pag. 8-14.
33. *Plan de fomento de la energías renovables en la industria forestal*. **Ruiz C, J. 2000.** 2000, Aitim - Boletín de Información Técnica-España-Jul-Ago 2000, pp. (no. 206) p. 55-60.
34. **Soto, J.A, et al. 2000.** *Evaluación económica y ambiental de residuos forestales en aserraderos de Costa Rica*. Cartago-Costa Rica : Revista Forestal Centroamericana. no. 30, p. 29-33. Año 2000., 2000.
35. **Termokew. 2015.** [www.termokew.mx](http://www.termokew.mx). [www.termokew.mx](http://www.termokew.mx). [Online] 02 de 06 de 2015. [www.termokew.mx/termopares.php](http://www.termokew.mx/termopares.php).
36. **Toscano, Luis. 2009.** *Análisis de los Parámetros y Selección de hornos para la Combustion de Biomasa (Aplicacion a Biomosas Locales Tipicas)*. Guayaquil-Ecuador : Escuelas Superiores Politecnicas del Litoral , 2009.
37. **Vásquez, W. 2007.** *Cubicacion de Madera en Trozas*. Pucallpa-Peru : Pe, Se. 10 p, 2007.
38. **Viscarra, S. 1998.** *Guia Para el Secado de la Madera en Hornos*. Santa Cruz-bolivia : Proyecto de Manejo Forestal Sostenible - BOLFOR, 1998.
39. **Yves, Jean. 2007.** *Manual de Estadística Energeticas*. Paris-Francia : Organizacion para la Cooperacion y el Desarrollo Economicas (OCDE)/Agencia Internacional de Energia (AIE) - 2, 208 p., 2007.

## ANEXOS

### 1. Formato de encuestas a las carpinterías.

	<p><b>UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS</b>  <b>VICERRECTORADO ACADÉMICO</b>          "Año del Buen Servicio al Ciudadano"          "Madre de Dios, Capital de la Biodiversidad del Perú"</p>		
<p><b>Encuesta del proyecto de tesis de investigación:</b>  <b>QUEMADOR PARA RESIDUOS DE CARPINTERÍA</b></p>			
Nombre de la empresa:	<input style="width: 100%;" type="text"/>		
Nombre del encuestado:	<input style="width: 100%;" type="text"/>		
N° de DNI:	<input style="width: 50%;" type="text"/>		
Teléfono:	<input style="width: 50%;" type="text"/>		
Dirección:	<input style="width: 100%;" type="text"/>		
Fecha:	<input style="width: 100%;" type="text"/>		
<p>1. ¿Cuál es el volumen Total aproximado que consume de madera mensualmente?</p> <p>200pt....., 500pt....., 700pt....., 1000pt....., 1300pt....., 1500pt..... otros:</p>			
<p>2. ¿Con qué especies de madera trabaja con más frecuencia, de mayor a menor, y cuantos Pt. de madera compra frecuentemente?</p> <p>Especie</p>			
a. <input style="width: 100%;" type="text"/>	Pt: <input style="width: 100%;" type="text"/>		
b. <input style="width: 100%;" type="text"/>	Pt: <input style="width: 100%;" type="text"/>		
c. <input style="width: 100%;" type="text"/>	Pt: <input style="width: 100%;" type="text"/>		
d. <input style="width: 100%;" type="text"/>	Pt: <input style="width: 100%;" type="text"/>		
e. <input style="width: 100%;" type="text"/>	Pt: <input style="width: 100%;" type="text"/>		
<p>3. ¿Cuánto de la madera que compra considera que se "va" como aserrín, viruta, lampazos?</p>			
a. Menos de la cuarta parte	<input style="width: 100%;" type="text"/>		
b. La cuarta parte	<input style="width: 100%;" type="text"/>		
c. La mitad	<input style="width: 100%;" type="text"/>		
d. Más de la mitad	<input style="width: 100%;" type="text"/>		
<p>4. ¿Qué acción realiza con los desperdicios de madera y cuanto de material se produce por día?</p>			
Residuos de Madera	Lo quema	Lo Vende	Lo bota o regala
Aserrín	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>
Viruta	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>
Astilla	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>
Retazos (lampazos y despuntes)	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>
<p>5. ¿Usted utiliza algún método de secado de madera para confeccionar su mueble? (si) o (no) y que método?</p>			
	SI	<input style="width: 100%;" type="text"/>	
	No	<input style="width: 100%;" type="text"/>	
<p>Que metodo: .....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>			
<p>.....</p> <p>Firma del encuestador</p> <p>Nombre</p> <p>DNI</p>		<p>.....</p> <p>Firma</p> <p>Nombre</p> <p>DNI</p>	

1. Especificaciones técnicas del Medidor de humedad portátil RVD-904



**NIGOS**  
ELEKTRONIK-NIS

**RVD-904**

Prenosni vlažomer  
Portable moisture meter

**2**

**1. QUICK REFERENCE GUIDE**

**1. Turning the meter ON**

- Press the button **ON/OFF** briefly
- Immediately after powering on, the device is ready for parameter setting and measurement

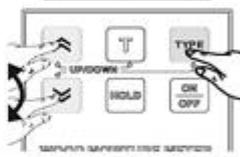




**2. Wood type adjustment**

- Press and hold button **TYPE**; use **UP** and **DOWN** to adjust parameter **WOOD TYPE**





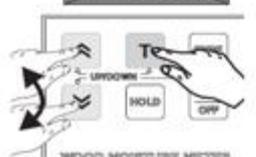
**RVD-904**

**3**

**3. Wood temperature adjustment**

- Press and hold button **T**; use **UP** and **DOWN** to adjust **WOOD TEMPERATURE**





**4. Probes setting and connection**

- place the probes (electrodes) perpendicularly to wood fibres and hammer them in timber board using action hammer to the depth of 1/3 of the timber board
- connect probes and moisture meter **RVD-904** using measurement cable

**RVD-904**

2. TECHNICAL SPECIFICATION
5



GENERAL CHARACTERISTICS	
Power supply	9V battery, Alkaline or NiCd Akku
Display	LCD, digital
Operating conditions	T: 5 + 50 °C; RH: 5 + 80%
Storage	T: - 40 + 50 °C; RH: 5 + 90%
Dimensions (W x H x D)	(80 x 150 x 40) (mm)
Weight	200 g

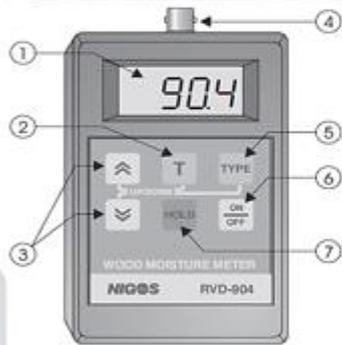
  

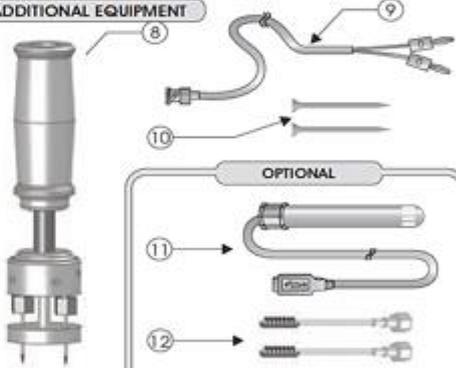
MEASUREMENT	
Measurement resolution	0.1 %
Measurement range	(4 + 100) (%)

RVD-904

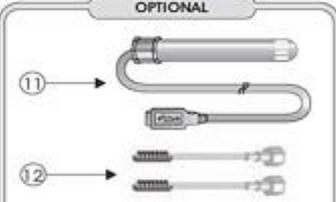
---

3. DESCRIPTION OF MOISTURE METER AND ADDITIONAL EQUIPMENT
6





OPTIONAL



RVD-904

---

**RVD-904 FRONT SIDE LAYOUT**

- LC DISPLAY** shows:
  - measured moisture content
  - parameter values
  - error notes during measurement
- Button **WOOD TEMPERATURE**
- Buttons **UP** and **DOWN** used for increasing and decreasing of value of selected parameter
- BNC** connector for measurement cable
- Button **WOOD TYPE**
- ON / OFF** button
- Button **HOLD**

**ADDITIONAL EQUIPMENT**

- Action hammer for probes inserting
- Measurement cable for probes connection
- Wood probes
- Temperature/Humidity probe **DSVT-03** (optional)
- Concrete probes (optional)

Universal portable moisture meter **RVD-904** is built for wood, concrete and other materials moisture content measurement. Device is placed in the plastic case with large display for indication of all measurement data and flat keyboard for device control.

Standard set of equipment consists of device itself, set of wood probes, action hammer for probes insertion and measurement cable for probes and meter inter-connection. BNC connector on the top side of meter is for measurement cable connection.

Optionally (on user request), air temperature/humidity probe **DSVT-03** and/or pair of concrete probes are delivered. In first case, additional connector (USB type) is installed on top side of portable meter **RVD-904** beside BNC connector. This connector is used for connection of air temperature/humidity probe **DSVT-03**.

7

RVD-904

## 2. Especificaciones técnicas el Equipo de inyección de aire.



**LA CASA STIHL** <sup>®</sup> **BRIGGS & STRATTON** **STIHL** <sup>®</sup>  
**COMPRESORA GALEAZZI DE 50 LITROS CON MOTOR DE 2.5 HP**

ESPECIFICACIONES TECNICAS	
Modelo	BM
POTENCIA KW / HP	1.8 / 2.5
Frecuencia Hz.	60
RPM	1750
Corriente	5.5 Amperios
Descarga	0.80 Mpa (Bar) /115 (PSI)
Reanudar	0.5 Mpa (Bar) /70 (PSI)
Tanque	50 LT.
Salida de Aire	1/4"
Uso	Profesional.
Peso	38 kg.
Dimensiones (L x A x H)	77x33x73 cm.



**LA CASA STIHL AV. MEXICO # 786 – LA VICTORIA TELEFONO 471-9302 NEXTEL 415\*9625 CEL. 998868486**

### 3. Características del equipo medidor de la velocidad de insuflado de aire.



Experience the ✓ Extech Advantage

PRODUCT DATASHEET

## Mini Thermo-Anemometer Series

✓ Pocket Air Velocity meters

With displays of Temperature, Relative Humidity and Dew Point

Features:

- Fold up protective housing extends to 9" for better reach
- Large dual display of air velocity and temperature
- Data Hold to freeze most recent display
- Auto shutoff 15 minutes after last key is pressed
- Water resistant housing floats and Drop tested to 6 feet
- Complete with CR2032 Lithium battery and lanyard

Windspeed:

- Measures ft/min, MPH, m/s, km/h, Knots and Beaufort Force
- Selectable averaging function of 5, 10, or 13 second intervals
- Replaceable non-corrosive plastic wind vane (impeller)

Temperature and Windchill:

- Measures from 0 to 122°F (-18 to 50°C)

Model 45158 Additional Features:

Relative Humidity and Dew Point:

- Dual display of air velocity and relative humidity
- Measures RH from 10% to 90%
- Measures Dew Point from 32°F to 122°F





Easily flips open with the stroke of the wrist!

Ordering Information:

45118 ..... Mini Thermo-Anemometer with Temperature  
 45158 ..... Mini Thermo-Anemometer with Temperature & Humidity  
 45116 ..... Spare Mini Impeller Assembly (2pk) for 45118  
 45156 ..... Spare Mini Impeller Assembly (2pk) for 45158  
 CA806 ..... Vinyl Pouch Carrying Case

Measurements	Range	Resolution	Basic Accuracy
ft/min (feet per minute)	100 to 1500 ft/min	200 ft/min	± (2%rdg + 400 ft/min)
m/s (meters per second)	0.5 to 25m/s	0.1 m/s	± (2%rdg + 0.2m/s)
knots (knots per hour)	1.8 to 100.0 knots	0.7knots	± (2%rdg + 1.4knots)
MPH (Miles per hour)	1.0 to 62.5 MPH	0.25MPH	± (2%rdg + 0.4MPH)
knots (nautical miles per hour)	1.8 to 34.0 knots	0.2knots	± (2%rdg + 0.4knots)
Beaufort Force	1 to 17 BF	1 BF	± 1
Temperature	0 to 122°F (-18 to 50°C)	0.1°F/0.2°C	±1.0%/±1°C
Relative Humidity (Model 45158)	10% to 90%	1%	± 4%
Dew Point (Model 45158)	32°F to 122°F	1°	± 2%
Power	CR2032 Lithium battery		
Dimensions	5.25 x 2.75 x 0.75" (133 x 70 x 19mm)		
Voice	1" (25mm) diameter		
Weight	3oz (85g)		



www.extech.com

Specifications subject to change without notice.  
 Copyright © 2011 EXTECH INSTRUMENTS. All rights reserved. Extech is a registered trademark of Extech Instruments Corporation.

200911 - 01

## 4. Características de equipo de detector de CO2.

INDOOR AIR QUALITY MONITOR



7752

### Combo CO2 & TEMP Portable Checker w/o humidity:7752/77532 w/ humidity:7755/77535

- Designed with NDIR (non-dispersive infrared) waveguide technology CO2 sensor, low drift and stable
- Data output to PC every 2 sec. for on-line analysis
- Display 8 hrs TWA value (time-weighted average) & 15 minutes STEL value (short-term exposure limit)
- Housing design surrounds with rails to help air ventilation for quick and accurate response
- Easy to calibrate CO2 at fresh air around 380-420ppm



Power Off



HOLD



MAX HOLD



AVO



Low Battery



MENU/Display



PC Link



Backlight



Buzzer Alarm



DC Jack

Model	7752	7755	77532	77535
<b>Measuring range</b>				
CO2	0-9999 ppm, (2001-9999 ppm out of scale range)	0-9999 ppm, (3001-9999 ppm out of scale range)		
Temperature	-10-60°C (14-140°F)			
Humidity	0.1-99.9% RH		0.1-99.9% RH	
Resolution	1ppm , 0.1°C/°F, 0.1%RH			
<b>Accuracy</b>				
CO2	±50ppm±5% of reading( 0-2000ppm) Other ranges are not specified		±30ppm±5% of reading( 0-5000ppm) Other ranges are not specified	
Temperature	±0.5°C/±0.5°F			
Humidity	±2.0% (with heating), ±2.0% (with no heat)		±2.0% (with heating), ±2.0% (with no heat)	
<b>Warm-up time</b>				
30 seconds				
<b>Response time</b>				
CO2	<30 seconds(90% step change)			
Temp	<2 mins (90% step change)			
Humidity	<10 minutes (90% step change)			
RELAY(HA 30VDC/5A 15ENAC)	NO			
LCD size (mm, HxW)	26x44			
Operating condition	0-50°C , 0-95% RH (avoid condensation)			
Storage condition	-20- 50°C,0-95%RH(avoid condensation)			
Power supply	AA x 4pcs			
Battery life	> 24 hours (Alkaline battery)			
Meter size (LxWxH,mm)	206x75x56			
Weight	200g			
Standard package	Meter, manual ,AA batteries ,hard carry case			

**Optional**



**CAL. BATTERIES**  
PIN:VZ033AZ1(33%)  
PIN:VZ0675AZ1(75%)  
FOR 7755/77535  
CALIBRATION USE



**9V UNIVERSAL ADAPTOR**  
PIN:VZ180AZ  
150-240VAC INPUT  
9V OUTPUT



**USB CABLE & SOFTWARE**  
PIN: VZ033AZM  
**SERIAL CABLE & SOFTWARE**  
PIN: VZ0330SM

**Ordering Code**

VZ7752AZ, 7752 meter  
VZ7755AZ, 7755 meter  
VZ77532AZ, 77532 meter  
VZ77535AZ, 77535 meter  
VZ1098AZ, 9V universal adaptor  
VZ033AZ1+VZ0675AZ1, RH calibration  
VZ033AZM, software kit

2017.08 V3 **30**  
G

### 5. Lista de carpinterías entrevistadas para la investigación.

N°	Razón Social de las Carpinterías Entrevistadas
1	Muebleria "PAULA"
2	Muebles "MADERAARTE"
3	Carpinteria Multiservicio "SNIEJDER"
4	Muebleria "ANAIHUA"
5	Muebleria "FLORES"
6	Muebles "CRISTIAN"
7	Muebleria "NAIDER"
8	Carpinteria "YUNSUN"
9	Muebleria Carpinteria "CARLITOS"
10	Muebleria Carpinteria "TAYLU"
11	Muebleria y Evanisteria "JMC"
12	Carpinteria "OJITOS"
13	Muebleria "TABLITAS"
14	"Mario Huaita Pizarro"
15	"Dario Sauña Gonzales"
16	Muebleria Carpinteria "SEÑOR COYLLORITY"
17	Muebleria "JORVAN"
18	Carpinteria "LAS GEMELAS"
19	Muebleria "SALOMON"
20	Carpinteria "TE INOVA MUEBLES"
21	Carpinteria Alexis "VILDOSO"
22	Muebleria "CONCHA CACIA CRUZ"
23	Muebleria "DIANA"
24	Muebleria ROKY

## 6. Galería de fotos de las entrevistas a las carpinterías



7. Galería de fotos de la recolección de los residuos de Madera en las diferentes carpinterías entrevistadas.



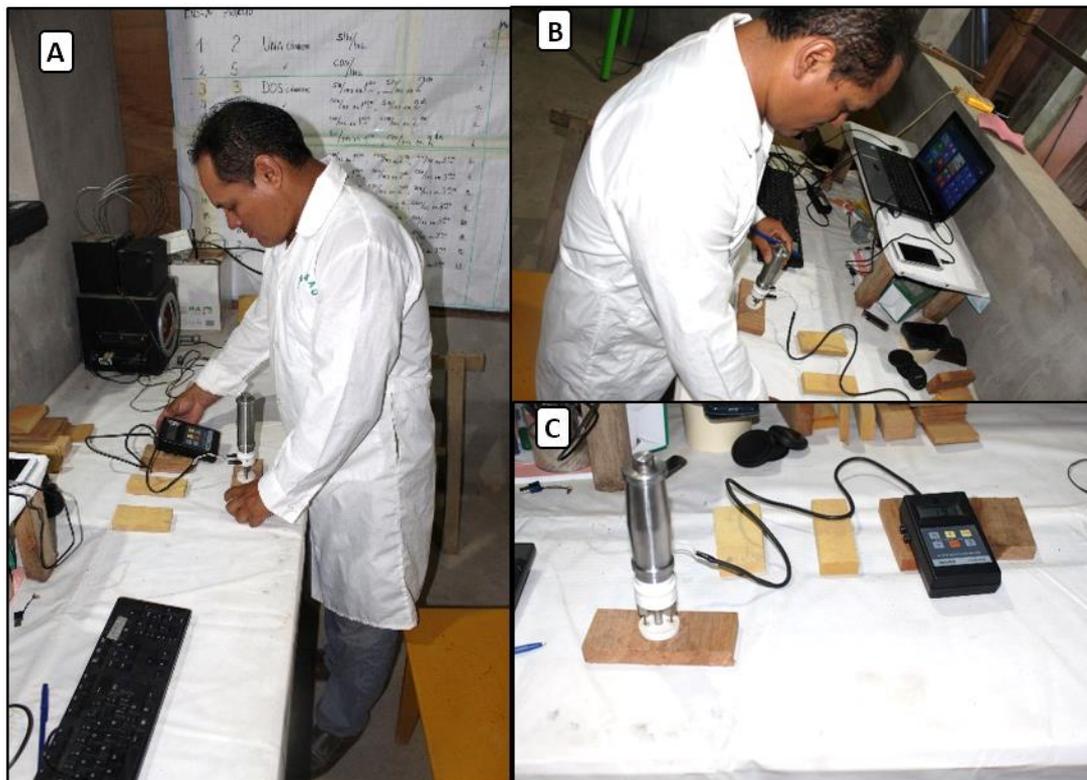
## 8. Galería de fotos del almacenado y selección de residuos de madera



9. Galería de fotos del proceso de secado y selección de residuos de madera.



## 10. Proceso de la determinación de la humedad con el equipo



## 11. Certificado de Identificación de madera.

"AÑO DEL DIÁLOGO Y LA RECONCILIACIÓN NACIONAL"  
"MADRE DE DIOS CAPITAL DE LA BIODIVERSIDAD DEL PERÚ"

### CERTIFICADO DE IDENTIFICACIÓN DE MADERA

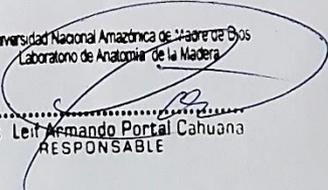
Mediante el presente documento se certifica que las muestras de maderas presentada por el señor: Javier Navio Chipa, identificado con DNI N°: 42128561. A pasado por un proceso de identificación organoléptico y macroscópico de sus características más resaltantes y analizadas en sus 03 planos de corte (Transversal, tangencial y radial). Y analizado con el microscópio portátil (Dino-Lite Digital Misroccope DinoCapture 2.0).

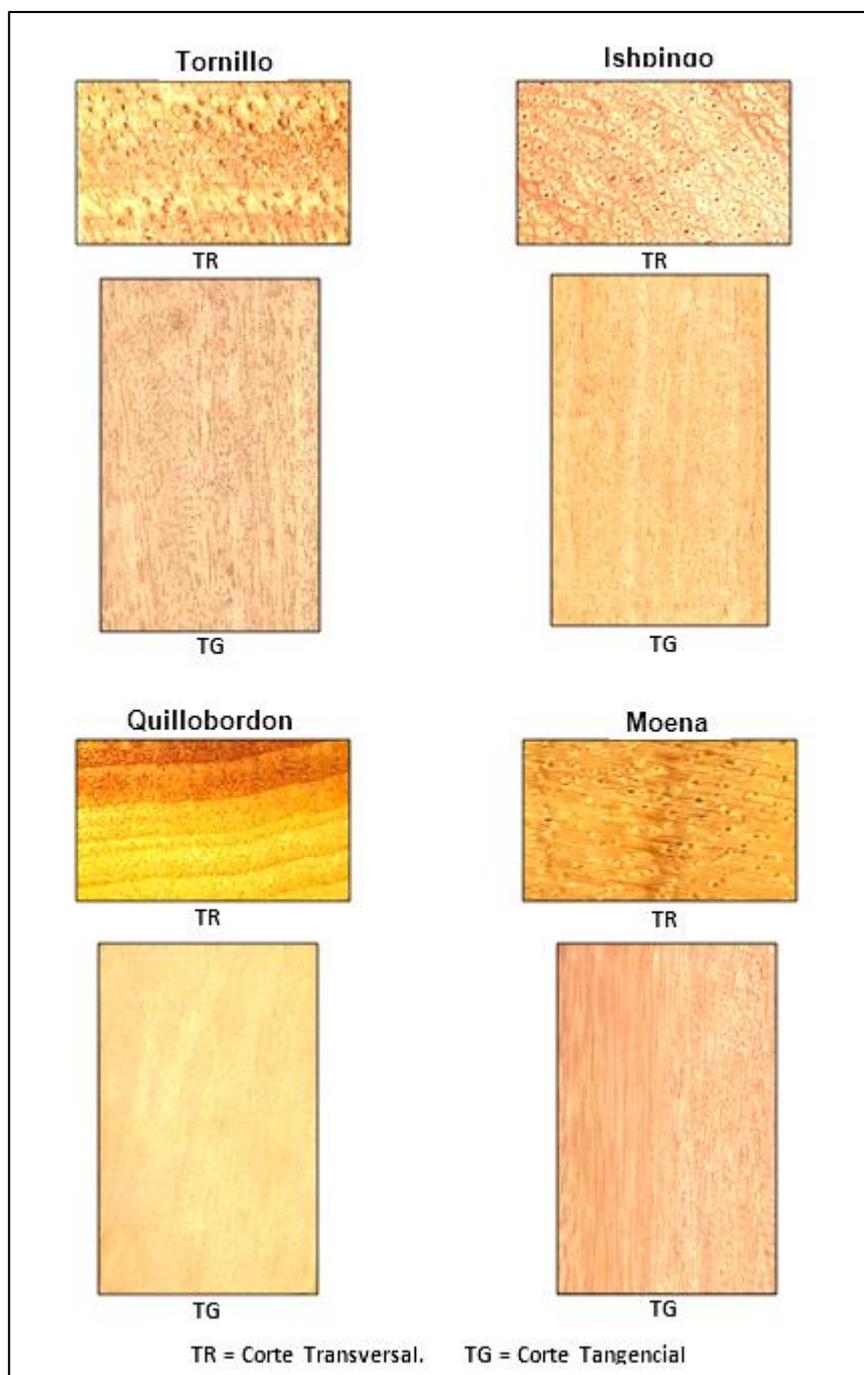
Después de verificar los diferentes cortes de las maderas y analizarlos con el microscopio con cámara incorporada, se llega a la conclusión que la muestras de maderas presentada por el señor Javier Navio Chipa, corresponden a las especies de:

1. *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke.
2. *Amburana cearensis* (Ducke) A.C. Sm.
3. *Aspidosperma parvifolium* A. DC.
4. *Ocotea* sp. Kunth

Se expide el presente certificado a solicitud del interesado para los fines que considere conveniente.

Puerto Maldonado 28 de marzo del 2018.

  
Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios  
Laboratorio de Anatomía de la Madera  
  
M.Sc. Leif Armando Portal Cahuana  
RESPONSABLE

**12. Imágenes de la identificación de las cuatro especies de maderas**

### 13. Resultados de las encuestas

#### Resultados de la encuesta y selección de especies de madera más utilizadas por los carpinteros

N°	Carpinterías Entrevistadas	Especies Forestales Obtenidas en las Encuestas (Nombre Común)										
		Tornillo	Quillobordon	Moena	Ishpingo	Cedro	Caraña	Pashaco	Caoba	Misa	Ana Caspi	Pumaquiroy
1	Mueblería "PAULA"	0	0	3200	9900	1200	0	0	0	0	0	0
2	Muebles "MADERAARTE"	3300	6000	4200	2200	0	0	0	0	0	0	0
3	Carpintería Multiservicio "SNIEJDER"	0	3000	4000	0	0	4800	0	0	0	0	0
4	Mueblería "ANAIHUA"	0	1800	1200	0	0	0	1500	0	0	0	400
5	Mueblería "FLORES"	0	1600	4800	0	0	1400	0	0	0	0	0
6	Muebles "CRISTIAN"	2400	2800	880	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Mueblería "NAIDER"	3200	1200	1600	0	2000	0	0	0	0	0	0
8	Carpintería "YUNSUN"	6000	0	0	0	1200	0	0	0	0	0	0
9	Mueblería Carpintería "CARLITOS"	2000	0	3150	2500	1000	0	0	0	0	0	0
10	Mueblería Carpintería "TAYLU"	1800	0	1200	4000	1000	0	0	0	0	0	0
11	Mueblería y Evanistería "JMC"	3000	0	1400	0	1000	0	0	0	0	0	0
12	Carpintería "OJITOS"	5000	0	2700	1600	600	0	0	0	0	0	0
13	Mueblería "TABLITAS"	2700	700	900	9600	0	0	0	1000	0	0	0
14	"Mario Huaita Pizarro"	5000	0	0	0	1000	0	2400	0	0	0	0
15	"Dario Sauña Gonzales"	0	12000	6000	0	0	0	0	0	0	0	0
16	Mueblería Carpintería "SENUK CAYLORIVI"	12000	0	900	900	2000	0	1200	0	0	0	0
17	Mueblería "JORVAN"	9600	0	0	16000	600	0	0	0	0	0	0
18	Carpintería "LAS GEMELAS"	0	3000	0	0	0	0	0	0	3000	2500	0
19	Mueblería "SALOMON"	5000	4000	4000	0	0	0	0	0	0	0	0
20	Carpintería "TEINOVA MUEBLES"	6000	0	2000	1050	0	0	0	0	0	0	0
21	Carpintería Alexis "VLDOSO"	12000	0	0	6400	3000	0	0	3000	0	0	0
22	Mueblería "CONCHA CACIA CRUZ"	3200	8000	2800	0	0	0	2100	0	0	0	0
23	Mueblería "DIANA"	5000	0	0	0	800	0	0	0	0	0	0
24	Mueblería "ROKY"	16000	0	0	0	5000	0	0	0	0	0	0
<b>Total (pt) x año</b>		<b>103200</b>	<b>44100</b>	<b>44930</b>	<b>54150</b>	<b>20400</b>	<b>6200</b>	<b>7200</b>	<b>4000</b>	<b>3000</b>	<b>2500</b>	<b>400</b>
<b>Promedio de Pies Tablares (pt)</b>		<b>4300</b>	<b>1838</b>	<b>1872</b>	<b>2256</b>	<b>850</b>	<b>258</b>	<b>300</b>	<b>167</b>	<b>125</b>	<b>104</b>	<b>17</b>