



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DESARROLLO DE LÍNEA BASE DE MATERIAL PARTICULADO Y GASES
ATMOSFÉRICOS GENERADOS EN COCINAS ARTESANALES Y MEJORADAS DE LA
COMUNIDAD TSÁCHILA EL POSTE, SANTO DOMINGO

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos
para optar por el título de Ingeniera Ambiental en Prevención y Remediación.

Profesor Guía

Ing. Yasser Alejandro González Romero, M.Sc.

Autor

Viviana Pavlova Sigcha Terán

Año

2014

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

Yasser Alejandro González Romero

Ingeniero M.Sc.

CI: 070373762-7

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Viviana Pavlova Sigcha Terán

CI: 172221616-3

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y hermanos, por su comprensión y apoyo incondicional; a la Ing. Paola Posligua, por su confianza y guía durante toda mi carrera; al Ing. Alejandro González, por su dedicación y motivación durante todo este proceso; al Ing. Carlos Banchón, por su amable y constante ayuda; a la Ing. Cristina Almeida, por su tiempo y valiosa colaboración; al Ing. Samuel Schlesinger, por su apoyo durante la realización de los monitoreos; al equipo de pasantes: Sebas, Gina, Diego y Soraya por su esfuerzo y compañía durante la realización de la fase de campo; al Ing. Roberto Buenaño, encargado del Laboratorio de Conversión y Energía de la ESPE; y, al Ing. Andrés Herrera, por darme una mano con mi talón de Aquiles, las matemáticas.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi Padre Celestial, la roca de mi salvación, la fuerza de mi vida, quien con su bendición e inmenso amor me ha permitido llegar hasta aquí; a mis padres, Pato y Jane, quienes con su ejemplo, amor y gran sacrificio han hecho de mí la persona que soy; a mis hermanos, Nico y Dani, quienes son la razón para ser cada día una mejor persona; a mis cuatachos del alma, mi Gremio y mi Gallada, quienes han crecido junto a mí y me han dado su apoyo en todo momento; y, finalmente, a mi Papito Nico, que desde el cielo me cuida y de quien estoy segura que sería la persona más feliz al verme convertida en una profesional.

RESUMEN

Ecuador, es un país cuyo uso de leña aún en nuestros días es representativo; y, el desarrollo de proyectos encaminados a combatir la problemática relacionada a la contaminación del aire interior es escaso.

El presente trabajo de titulación tiene como finalidad el desarrollar una línea base de material particulado y monóxido de carbono generados en cocinas artesanales y mejoradas de la comunidad Tsáchila de El Poste, ubicada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas; todo esto para evaluar las concentraciones obtenidas antes y después de la implementación de cocinas mejoradas y, a su vez, contrastar los resultados alcanzados con valores guías establecidos por organismos internacionales y valores referenciales encontrados en estudios similares.

La recolección de datos tuvo lugar en 17 viviendas de la zona, durante tres monitoreos atmosféricos efectuados de la siguiente manera: dos monitoreos puntuales de 1 hora, en cocinas artesanales (primer monitoreo) y cocinas mejoradas (tercer monitoreo) y, un monitoreo continuo con un periodo aproximado de 4 horas, realizado en seis casas con las mayores concentraciones registradas en la primera medición (segundo monitoreo). Los parámetros medidos fueron los citados a continuación: material particulado máximo (P_{max}), material particulado promedio (P_{prom}) y monóxido de carbono (CO).

Las concentraciones logradas en estufas artesanales se ubican dentro de los niveles de contaminación típica al interior de un “microambiente”; mientras que, las mediciones en estufas mejoradas mostraron una reducción del 38,14% en la presencia de P_{max} y de P_{prom} y, una disminución de cerca del 97% en la concentración de CO.

Con la realización de esta investigación se ha podido concluir que la implementación de cocinas mejoradas reduce la concentración de material particulado y monóxido de carbono al interior de los hogares intervenidos; además de otorgar un mayor aprovechamiento energético de los recursos empleados.

ABSTRACT

Ecuador is a country where the use of wood even today is representative; and projects developed to design strategies to tackle the problems related to indoor air pollution are low.

This paper aims to develop a base line of particulate matter and carbon monoxide generated in handmade and improved kitchens in the Tsáchila community called El Poste, located in the province of Santo Domingo de los Tsáchilas; this to assess the concentrations obtained before and after the implementation of improved stoves and also to compare the results achieved with guideline values established by international organizations and reference values found in similar studies.

Data collection took place in 17 homes of the area, with the develop of three atmospheric monitoring carried out as follows: two monitoring of 1 hour, in artisanal kitchens (first monitoring) and in improved stoves (third monitoring), and a continuous monitoring with a period of approximately 4 hours, done in six houses with the highest concentrations recorded in the first measurement (second monitoring). The parameters measured were: maximum particulate matter (P_{max}), particulate matter level (P_{prom}) and carbon monoxide (CO).

The concentrations obtained in artisanal stoves are situated within typical pollution levels into a "microenvironment"; while the measurements in improved stoves showed a reduction of 38.14% in the presence of P_{max} and P_{prom}, and a decrease of about 97% in the CO concentration.

As a conclusion of this research we have that the implementation of improved stoves reduces the concentrations of particulate matter and carbon monoxide inside the operated homes; in addition, this type of systems provides a better energy use of the used resources.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes	2
Planteamiento del Problema.....	4
Hipótesis de Investigación	5
Alcance	6
Justificación.....	6
Objetivos	7
Objetivo General.....	7
Objetivos Específicos	7
II. DESARROLLO DEL TEMA.....	8
Capítulo I: Marco Referencial.....	8
1.1. La leña	9
1.1.1. Utilización de leña a nivel mundial.....	9
1.1.2. La leña en el caso de Ecuador	11
1.1.3. La leña y el secuestro de carbono	14
1.1.4. La leña en el balance energético	17
1.2. Contaminación del Aire Interior.....	20
1.2.1. Monóxido de Carbono	21
1.2.2. Material Particulado	22
1.2.3. El efecto del humo de la cocina rural.....	24
1.3. Monitoreo de concentración de contaminantes atmosféricos...	26
1.4. Normativa Nacional e Internacional relacionada.....	30

1.5. Alternativas: Cocinas Mejoradas	35
Capítulo II: Metodología.....	38
2.1. Caracterización del Área de Estudio.....	39
2.1.1. Localización del área de estudio	39
2.1.2. Descripción general del área de experimental	40
2.1.3. Selección de la muestra	43
2.1.4. Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo	44
2.2. Monitoreo Atmosférico	45
2.2.1. Evaluación de la exposición	46
2.2.1.1. Primer Monitoreo	49
2.2.1.2. Segundo Monitoreo	51
2.2.1.3. Tercer Monitoreo	53
2.2.2. Aseguramiento de la calidad	55
2.2.2.1. Calibración	55
2.2.2.1.1. MICRODUST pro Aerosol Monitoring System	55
2.2.2.1.2. Monitor de gases múltiples MX6 iBrid.....	56
2.2.2.2. Registros	58
2.2.3. Creación de base de datos	58
2.2.4. Manejo de unidades y normativa legal relacionada	59
2.3. Combustible.....	59
2.3.1. Ensayos en laboratorio.....	60
2.3.1.1. Determinación del contenido de humedad	60
2.3.1.2. Determinación del poder calórico	62
2.3.2. Cálculos	66
2.3.2.1. Humedad.....	66
2.3.2.2. Poder calórico por especie	66
2.3.3. Balance energético.....	69
Capítulo III: Resultados.....	73
3.1. Monitoreo Atmosférico	74
3.1.1. Primer Monitoreo.....	75

3.1.2. Segundo Monitoreo	82
3.1.3. Tercer Monitoreo	89
3.1.4. Condiciones atmosféricas en monitoreo	96
3.2. Combustible	98
3.2.1. Contenido de Humedad	99
3.2.2. Poder Calorífico	99
3.2.2.1. Guabo.....	100
3.2.2.2. Naranja.....	101
3.2.3. Balance Energético	101
Capítulo IV: Análisis de Resultados.....	105
4.1. Monitoreo Atmosférico	106
4.1.1. Concentración de material particulado	106
4.1.1.1. Relación con estudios similares	106
4.1.2. Concentración de monóxido de carbono.....	113
4.1.2.1. Valores guías relacionados	113
4.1.3. Comparación de los sistemas estudiados	117
4.1.4. Diseño Experimental	128
4.1.5. Condiciones atmosféricas en monitoreo	148
4.2. Combustible	150
4.2.1. Contenido de humedad	151
4.2.2. Poder calórico	153
4.2.3. Balance Energético	154
II. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	157
Conclusiones	157
Recomendaciones.....	160
REFERENCIAS	162
ANEXOS	176

I. INTRODUCCIÓN

El pasado 15 de marzo de 2014, la Organización Mundial de la Salud - OMS reportó que para el año 2012 alrededor de 7 millones de personas murieron (representadas por 1 de cada 8 muertes del total a nivel mundial) como resultado de la exposición a la contaminación del aire; siendo aproximadamente 4,3 millones de muertes asociadas a la contaminación del aire en interiores, principalmente de los hogares que emplean carbón, madera y/u otro tipo de biomasa para cocinar en estufas artesanales.

La Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) estableció que para el año 2012 los usuarios de biomasa se encontraban distribuidos con casi tres cuartas partes en Asia y una cuarta parte en África, América Latina y el Medio Oriente; habiendo países como: Bangladesh, Etiopía, República Democrática del Congo, Tanzania y Uganda en los que más del 90% de la población depende de la utilización de este tipo de combustibles para cocinar.

Como se puede apreciar aún en nuestros días, la leña constituye un recurso energético importante. En función a estadísticas obtenidas en países que conforman la Confederación Andina de Naciones - CAN y el Mercado Común del Sur - MERCOSUR, para el año 2007 en la región se produjeron cerca de 435 miles de barriles equivalentes de petróleo [BEP] para satisfacer las necesidades energéticas de la población en relación al uso de este combustible (Sierra, Mejía y Guerrero, 2011, p. 32). Como sabemos, Ecuador forma parte de las organizaciones antes mencionadas, por lo tanto nos ubicamos dentro de los valores establecidos para la región. Es así que para el año 2007, Ecuador tuvo una producción total de 3.369,61 barriles equivalentes de petróleo [BEP] para consumo interno, en especial para las áreas rurales de nuestro país (OLADE, 2008, p. 54).

Sin duda, el consumo de este tipo de combustible es dominante en los poblados rurales; de manera que, la leña desempeña un rol significativo en el suministro de energía de los hogares, dado que las economías rurales son dependientes de la extracción y uso de los recursos naturales disponibles en

los territorios donde se insertan (Castillo y Valdés, 2011, p. 10). En Ecuador, el uso de leña representa un importante medio para la obtención de calor, ya que cerca del 77% de las viviendas rurales todavía utilizan madera para cocinar; ello a pesar de haber disminuido un 15% de participación en el abastecimiento energético durante los últimos 35 años (INEC, 2012, p. 8).

La búsqueda de alternativas que ahorren leña empleada como combustible, interviniendo así en la protección de los recursos naturales, la disminución de áreas degradadas y emisión de gases atmosféricos contaminantes; al igual que el mejoramiento de los procesos de combustión, disminución del tiempo empleado en la cocción de alimentos, reducción de la exposición a estos contaminantes y mejorar la salud de los actores involucrados (Aceituno, Arostegui y Zevallos, 2008, pp. 6 - 8), componen las motivaciones para el diseño, instalación y mantenimiento de las denominadas cocinas mejoradas (Naranjo, 2010, p. 3). Según, el Stockholm Environment Institute - SEI (2013, p. 3), se ha estimado que la reducción de las emisiones de gases contaminantes como resultado de la implementación de fogones mucho más eficientes puede ser de 1 gigatonelada [Gt] de dióxido de carbono por año.

Por todo lo antes mencionado, se ha considerado de vital importancia la generación de trabajos de investigación acerca de esta temática en nuestro país con el propósito de obtener resultados acordes a la realidad que vivimos, dado que existen escasas referencias de estudios de este tipo en Latinoamérica y en idioma español. La determinación de la concentración de gases de combustión y material particulado mediante la realización de monitoreos de calidad de aire interior de las inmisiones resultantes de la utilización cocinas artesanales y mejoradas, constituye una fuerte herramienta para lograr el fin antes mencionado y, así generar una base de datos libre y disponible para futuras investigaciones.

ANTECEDENTES

Según la Organización Latinoamericana de Energía - OLADE, la leña se define como:

“La fuente más antigua de calor utilizada por el hombre, lo que quizás se debe al hecho de que es mucho más accesible que otros combustibles ya que prende fácilmente. A esa accesibilidad se debe el que aún hoy día se siga quemando en hogares primitivos de acuerdo con métodos tradicionales” (Singer, s.f., p. 11).

Es así que una gran parte de la población mundial, continúa utilizando combustibles sólidos como la leña para cocinar y calentar sus hogares.

De acuerdo a estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud en el año 2011, cerca de 3.000 millones de personas, que en su mayoría poseen un nivel alto de pobreza y pertenecen a países en vías de desarrollo, empleaban este tipo de combustibles como materia prima de la combustión producida en fogones abiertos o cocinas artesanales; teniendo alrededor de 2.700 millones de personas que queman biomasa, como: madera, excrementos de animales o residuos agrícolas y, otros 400 millones de individuos que utilizan carbón.

Se estima que la cantidad de energía que se obtiene de la quema de los distintos tipos de biomasa, asciende a casi la décima parte del total de la demanda energética actual, que incluso supera los valores de requerimiento de energías hidráulica y nuclear juntas (Ezzati et al., 2002, p. 23). Esta forma de obtener energía es producida a través de una combustión incompleta que libera en el ambiente una gran concentración de gases contaminantes y pequeñas partículas que poseen un alto grado de nocividad para la salud humana (Smith, 2006, p. 45).

De manera que la presencia de gases de combustión y aerosoles es mucho más preocupante en los ambientes interiores de los hogares que aún utilizan leña como el principal material comburente para cocinar, calentar las habitaciones o ahuyentar insectos de las mismas. Es así que los niveles resultantes de contaminación de aire interior suelen ser casi 20 a 100 veces superiores a los límites máximos permisibles, indicados en las “Guías de Calidad del Aire” propuestas por la Organización Mundial de la Salud (2011), causando enfermedades graves del sistema respiratorio, tales como: asma,

neumonía, bronquitis crónica, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (mejor conocida como EPOC), e incluso cáncer pulmonar.

Asimismo, es importante destacar que la utilización de leña en cocinas artesanales contribuye a la generación de problemas medioambientales, tal es el caso del incremento de la deforestación y, con ello la disminución del número de especies arbóreas que intervienen directamente en el cambio climático global, dado que los principales sumideros de carbono son los árboles, cuya madera es empleada en procesos de combustión que liberan gases de efecto invernadero que agravan esta situación.

Como se puede observar, la utilización de leña en cocinas artesanales es muy común en nuestros días y en nuestro país. De manera que nuevas estrategias están siendo formuladas para la mitigación de los problemas generados, como la eliminación de gases contaminantes y material particulado al aire libre. Es así que alternativas como la implementación de cocinas mejoradas proponen una reducción significativa de este tipo de emisiones, además de limitar la exposición de los grupos vulnerables a este tipo de contaminantes. Según la Alianza Mundial para Cocinas Limpias de la Fundación de las Naciones Unidas (2013), las cocinas mejoradas tienen un uso mucho más eficiente de los combustibles sólidos dado que cumplen con la combustión completa de la biomasa empleada; con ello el nivel de contaminantes interiores puede disminuir hasta un 90%.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, cantón Santo Domingo, parroquia Puerto Limón se encuentra ubicada la comunidad de El Poste conformada por alrededor de 475 habitantes, con un promedio de 5 personas por familia. Esta comunidad forma parte del pueblo indígena Tsáchila y tiene como su principal actividad económica a la agricultura de productos como: el cacao, plátano, maracuyá y yuca, principalmente (Toapanta, 2011, pp. 1 - 2).

La comunidad habita en una zona rural que se encuentra desprovista de servicios básicos, tales como: energía eléctrica, agua potable, telefonía y red de alcantarillado. Además, carece de un sistema vial adecuado, con ausencia de medios de transporte por el mal estado de las vías, lo que dificulta la obtención de elementos empleados en las actividades diarias de los habitantes de esta comunidad, por ejemplo: la compra de tanques de GLP para cocinar (Yanapuma Foundation, 2011). Como consecuencia de ello, la utilización de biomasa para cocinar se hace indispensable; poniendo a hombres, mujeres y niños en la labor de recoger leña para poner en funcionamiento sus fogones artesanales.

La comunidad Tsáchila de El Poste se ha caracterizado por ser un pueblo ancestral que ha utilizado cocinas tradicionales artesanales durante varias generaciones; razón por la cual la mayoría de sus hogares contienen cocinas de fuego abierto en el piso, mismas que están conformadas por una malla o parrilla sobrepuesta sobre la leña colocada en el suelo que, por lo general se hallan ubicadas dentro de la cocina. Aquí, el humo producido por la combustión incompleta de la leña se demora en salir por los aleros y/o aguilonos que poseen estas habitaciones como medios de ventilación, incrementando así la exposición de las personas a los contaminantes emitidos. De igual manera, la costumbre de dejar el fogón encendido hasta que su llama se extinga por completo, representa una mayor concentración de gases contaminantes en el aire interior de las viviendas de esta comunidad (Fundación Ecuatoriana de Tecnología Apropriada [FEDETA], 2013, pp. 16 -18).

HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

La generación de monóxido de carbono y material particulado de cocinas artesanales de la comunidad Tsáchila de El Poste, es de significancia dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud para contaminantes que inciden en la calidad del aire interior.

ALCANCE

Desarrollar una línea base que comprenda la elaboración de una metodología de monitoreo de gases de combustión (monóxido de carbono) y material particulado, generados por la utilización de cocinas artesanales y mejoradas en una muestra representativa de hogares que habitan en la comunidad Tsáchila de El Poste y, mediante la información recopilada en campo establecer un análisis de los datos obtenidos a través de la elaboración de gráficas comparativas como herramienta para contrastar los valores obtenidos antes y después de la implementación de cocinas mejoradas en esta comunidad.

Todo esto con el fin de evaluar el impacto de este tipo de inmisiones en la salud de las personas expuestas, mediante la revisión de los estándares de calidad de aire interior establecidos por Organismos Internacionales y valores referenciales desarrollados por estudios similares, dado que en nuestro país no existe una regulación sobre ello; así como considerar las repercusiones que la quema de biomasa tiene sobre el ambiente.

JUSTIFICACIÓN

De acuerdo a los estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud, la contaminación del aire interior causada por la combustión de combustibles sólidos dentro del hogar es considerado el cuarto riesgo más importante para la salud de los habitantes de los países en vías de desarrollo (Cayetano y Meyer, 2005, p. 12).

Ante la ausencia de casos de estudio que proporcionen información nacional actualizada y específica al respecto, dado que en el Ecuador aún se cuenta con la presencia de una cantidad representativa de grupos rurales que continúan empleando leña con fines energéticos, se plantea la realización del presente trabajo de titulación. En función a las premisas previamente mencionadas, surge la necesidad de generar información completa, actual y recopilada directamente en campo.

La investigación propuesta busca comprobar la hipótesis de investigación planteada. Para demostrarlo, se hace necesaria la realización de monitoreos atmosféricos de gases de combustión (monóxido de carbono) y material particulado en la muestra seleccionada de viviendas que comprenden el área de estudio, con el fin de conocer lo que realmente ocurre en términos de contaminación interior.

OBJETIVOS

Objetivo General

Desarrollar una línea base en cocinas artesanales y mejoradas de la comunidad Tsáchila de El Poste, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, en función de los monitoreos de material particulado y gases atmosféricos realizados.

Objetivos Específicos

- Diseñar una metodología de monitoreo de gases contaminantes y material particulado para la evaluación de los niveles de contaminantes en ambientes interiores de las viviendas de la comunidad Tsáchila de El Poste.
- Analizar los resultados de material particulado con valores derivados de estudios similares y, los resultados de monóxido de carbono con valores guías establecidos por organismos internacionales.
- Evaluar la concentración de monóxido de carbono y material particulado generados por cocinas artesanales mediante un análisis comparativo frente a los valores obtenidos después de la implementación de cocinas mejoradas.
- Elaborar un balance energético a través de la determinación del poder calorífico contenida en las especies arbóreas empleadas como leña.

II. DESARROLLO DEL TEMA

CAPÍTULO I: MARCO REFERENCIAL

La figura 1 presenta un breve resumen de los puntos a ser tratados en el presente capítulo.

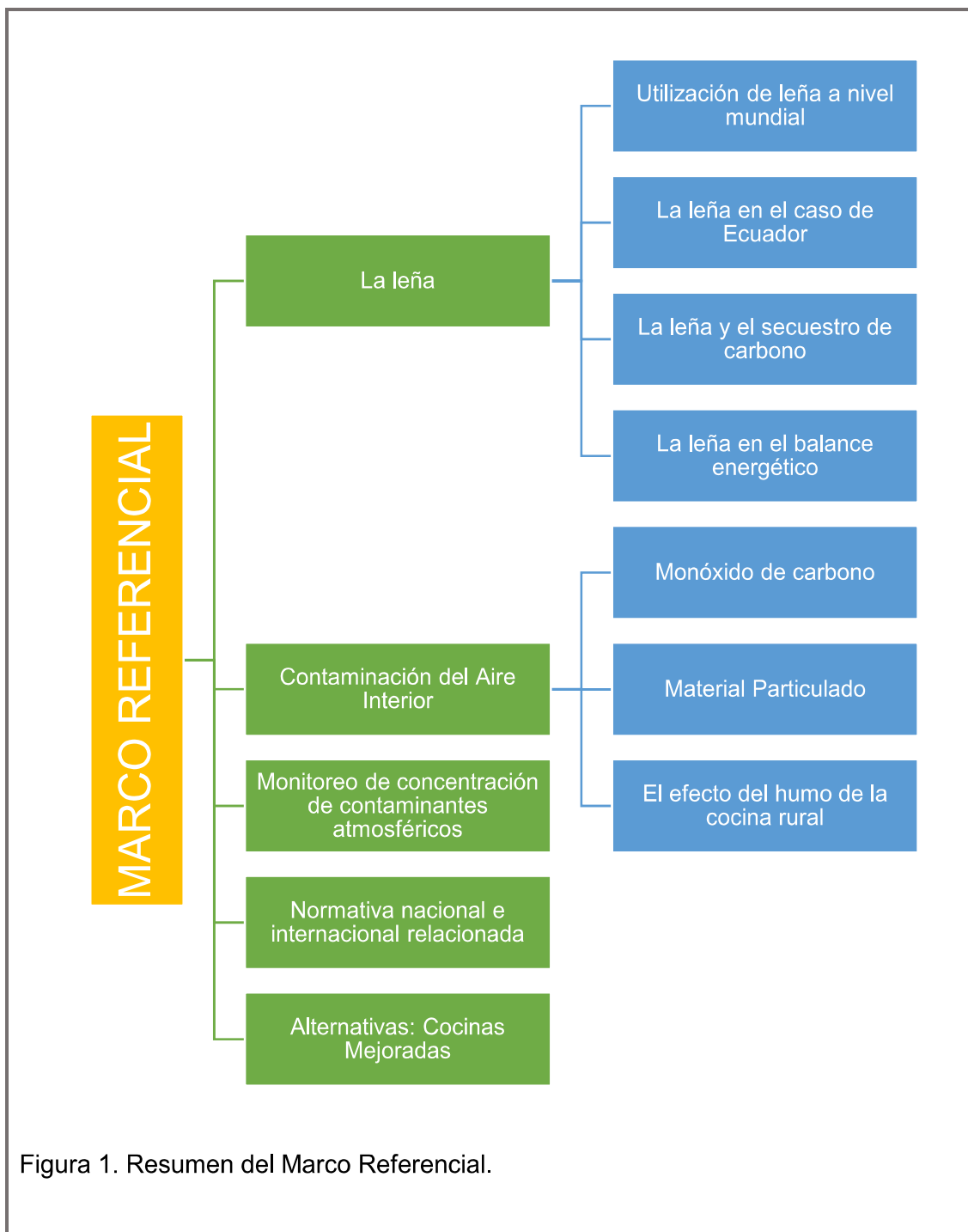


Figura 1. Resumen del Marco Referencial.

1.1. LA LEÑA

1.1.1. Utilización de leña a nivel mundial

Hasta nuestros días, la utilización de leña con fines energéticos es una práctica muy común entre los habitantes de las comunidades ubicadas especialmente en las zonas rurales a lo largo de nuestro planeta (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2005, p. 4). De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura - FAO (2009), la utilización de leña tiene una mayor incidencia en las zonas rurales que en los centros urbanos, ya que el alto consumo doméstico de este recurso para la producción de energía se debe principalmente a su fácil recolección, bajo costo y tradición.

Por lo antes mencionado y más, la leña es considerada como una fuente primaria de energía que se obtiene directamente de los recursos forestales disponibles, estos son: los troncos y ramas de árboles utilizados como combustible, excluyendo a los desechos generados de las actividades madereras (OLADE, 2008, p. 10). De manera que, la leña forma parte del grupo de recursos naturales que proporciona servicios de suministro al ser humano (González Martínez, 2007, p. 2).

En el trabajo de investigación "Looking ahead: energy, climate change and pro-poor responses" publicado en la revista Foresight, su autora Malyshev en el año 2009, estableció que aproximadamente 2.600 millones de personas utilizaron leña, carbón o residuos agrícolas para la cocción de alimentos y/o calefacción de sus hogares; además aseguró que se espera, en función de las proyecciones realizadas, que para el año 2030 esta cifra ascienda a 2.700 millones de habitantes que recurran al uso de este tipo de combustible sólido (Sierra et al., 2011, p. 32).

Es así que cerca de la tercera parte de la población mundial se halla utilizando este tipo de combustible sólido para preparar sus alimentos, calentar agua, ahuyentar insectos y/o calentar sus viviendas (Díaz Jiménez, 2010, p. 4).

Existen estudios que demuestran que cerca de la mitad de los hogares del mundo emplean estos combustibles en un rango desde casi el 0% en países desarrollados y hasta más del 80% en países como China, India y África Subsahariana (Smith, 2002, p. 198). Asimismo, en áreas rurales y desprovistas de servicios básicos de países como Ghana y Mongolia (por mencionar algunos ejemplos) todavía emplean leña en un 90% de manera tradicional para cocinar, principalmente; a pesar del malestar de sus usuarios por los gases y cenizas generados (Mejía, 2011, p. 14).

Autores como Legros, Havet, Bruce y Bonjour (2009, p. 13) mencionan que en los países en desarrollo más del 40% de las personas dependen de la utilización de combustibles limpios; sin embargo en países con menor progreso y en el África Subsahariana tan solo el 9% y el 17%, respectivamente, tienen acceso a combustibles limpios. En consecuencia en estas regiones su acceso es más limitado y combustibles de biomasa como: estiércol, leña y carbón son las elecciones prioritarias.

En función de los datos actuales disponibles, se estima que alrededor de 2.000 millones de personas que habitan en países en vías de desarrollo utilizan 1.000 millones de metros cúbicos de leña al año. Así se puede concluir que cada persona en promedio utiliza medio metro cubico o 250 kilogramos de leña al año para suplir sus necesidades energéticas. Con ello el impacto generado en los bosques y selvas es alarmante, dado el incremento de la deforestación, erosión, alteraciones climáticas y contaminación atmosférica, ya que la quema de estos 1.000 millones de metros cúbicos de leña consumidos en un año emite alrededor de 825 millones de toneladas de CO₂ (Cayetano y Meyer, 2005, p. 13).

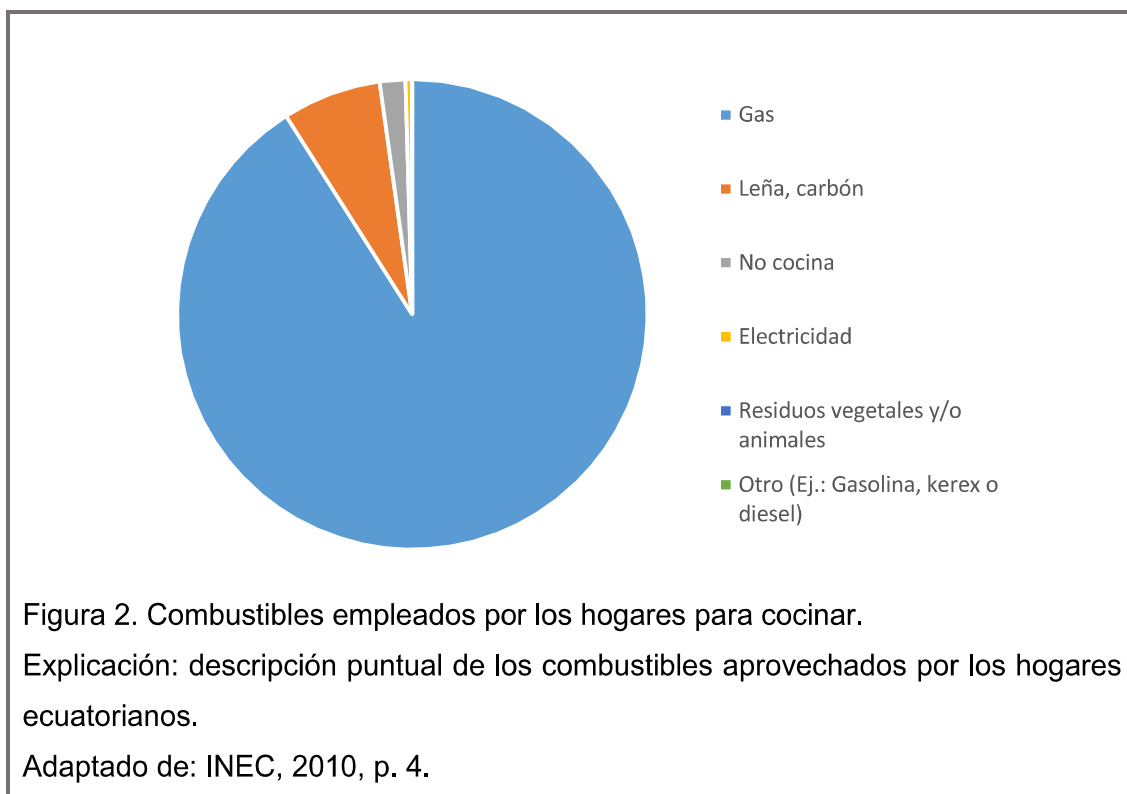
Ahora bien, de acuerdo al Informe de Estadísticas Energéticas 2012 (año base 2011), elaborado por la Organización Latinoamericana de Energía - OLADE; la leña, el bagazo de caña y otras fuentes renovables de energía mantuvieron una participación similar a la de años anteriores con respecto a la producción total de energía primaria así como en el consumo final energético, situación que involucra a América del Sur y Central. Destacando que para este año la leña

redujo de 35% a 34% su participación en el consumo final de energía en el sector residencial. Es así que la producción de leña por subregiones en kilotoneladas [kt] para el año 2011 fue de 25.787 [kt] para América Central, 7.849 [kt] para el Caribe, 16.471 [kt] para la Región Andina y 20.979 [kt] para el Cono Sur.

1.1.2. La leña en el caso de Ecuador

Pese a que en nuestro país son escasos los estudios en materia de consumo de leña, existen indicadores nacionales e información difundida por organismos internacionales que afirman que la leña es uno de los principales recursos utilizados, para fines energéticos, en los hogares rurales del Ecuador. Desafortunadamente, los resultados estimados disponibles de consumo de leña hoy en día se encuentran desactualizados y no se cuenta con metodologías específicas que permitan determinar la demanda y utilización real de este recurso forestal en el Ecuador (Corporación de Manejo Forestal Sustentable [COMAFORS], 2010, pp. 28 - 29).

El Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador - SIISE (2010) indica que el tipo de combustible empleado para cocinar dentro de una vivienda es un factor influyente en las condiciones de habitabilidad e higiene de los hogares, ya que la disponibilidad de un cuarto de cocina así como la utilización de combustibles seguros para cocinar son elementos determinantes de la calidad de vida y bienestar de la población. De igual forma, el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos - INEC, en su fascículo nacional de resultados del Censo de Población y Vivienda del 2010 presenta los combustibles utilizados para cocinar; cuyos resultados se reflejan en la figura 2.



En base a los datos nacionales antes mencionados se puede concluir que de 3.810.548 hogares el 6,8% de ellos se encontraba utilizando leña o carbón para cocinar en el año 2010, en contraste con el 91% registrado para los hogares que cocinan con gas doméstico o GLP.

De la misma forma, este Sistema expone los resultados de uso de leña o carbón para cocinar, exclusivamente, en función del área residencial y desglose territorial en nuestro país como se puede apreciar en las tablas 1 y 2 incluidas a continuación. Es oportuno mencionar que, la tabla 2 contiene el desglose territorial considerado para el presente estudio, esto significa la información relativa a la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, cantón Santo Domingo, parroquia Puerto Limón donde se encuentra localizada la comunidad Tsáchila de El Poste.

Tabla 1. Uso de leña o carbón para cocinar de acuerdo al área residencial considerada.

País - Área	Porcentaje (n/N) *100	N° de viviendas n	Total de viviendas N
Ecuador	6,8	259.216	3.810.548
Rural	17,6	241.292	1.371.186
Urbano	0,7	17.924	2.439.362

Tomado de: SIISE e INEC, 2010.

Nota explicativa: descripción de la utilización de leña o carbón para cocinar en las áreas rural y urbana del Ecuador, cuyos resultados han sido expresados como porcentaje del total de hogares encuestados.

Tabla 2. Uso de leña o carbón para cocinar en función al desglose territorial.

Provincia - Cantón - Parroquia	Porcentaje (n/N) *100	N° de viviendas n	Total de viviendas N
Santo Domingo de los Tsáchilas	1,8	1.715	95.221
Santo Domingo	1,8	1.715	95.221
Alluriquín	11,6	292	2.528
El Esfuerzo	5,3	79	1.493
Luz de América	2,5	68	2.724
Puerto Limón	5,8	131	2.277
San Jacinto del Búa	4,8	140	2.924
Santa María del Toachi	4,8	69	1.449
Santo Domingo de los Colorados	1,0	824	79.429
Valle Hermoso	4,7	112	2.397

Tomado de: SIISE e INEC, 2010.

Nota explicativa: se detalla el uso de leña o carbón para cocinar de los hogares de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, cantón y parroquias.

Es sencillo apreciar que el consumo de leña en viviendas ubicadas en áreas rurales es superior al área urbana. Precisamente, la parroquia rural Puerto Limón representa un uso del 5,8% de leña o carbón para cocinar; teniendo a 131 viviendas de las 2.277 registradas dentro de lo antes mencionado.

Finalmente, con respecto al consumo de leña per cápita en el Ecuador, las cifras se resumen de la siguiente manera: durante los últimos 10 años se ha registrado una media de 0,26 [BEP/hab] para consumo energético en el país, siendo 1999 el año con una mayor presencia de consumo de leña por habitante; y, el año 2005 el de menor consumo de biomasa de este tipo para los fines ya descritos (OLADE, 2008, p. 78). Así, la producción de leña en nuestro territorio, durante el período comprendido entre los años 2001 y 2010, no se ha mantenido constante. Es así que para el año 2001 se obtuvieron 1.483 kilotoneladas [kt] de leña; mientras que, en el año 2010 se extrajeron 1.298 [kt] de leña en nuestro país. (OLADE, 2011, p. 73).

1.1.3. La leña y el secuestro de carbono

Varios son los estudios que demuestran que los bosques contribuyen latentemente al cambio climático global debido a su influencia sobre el ciclo del carbono (C), dado su intervención en varias actividades que incluyen al almacenamiento de grandes cantidades de carbono tanto en su vegetación como en el suelo, al intercambio de carbono con la atmósfera por medio de la fotosíntesis y respiración; además de ser fuentes de C atmosférico al ser perturbados y sumideros de este mismo elemento si son conservados (Brown, s.f., p. 107). La preocupación radica al considerar a los bosques como una fuente de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y no como un receptor para la captura de carbono (Shand, s.f., p. 143).

Conforme al Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático - IPCC, la captación y almacenamiento de dióxido de carbono (CO₂) efectuados por plantaciones forestales es una opción de mitigación para la estabilización de las concentraciones de gases contaminantes en la atmósfera, ya que los ecosistemas forestales capturan el C atmosférico durante su crecimiento (Calderón y Lozada, 2010, pp. 1 y 15). De acuerdo con Dixon (1996), citado por Ortiz y Riascos (2006, p. 30) los sistemas agroforestales pueden ser tratados para equilibrar la emisión de gases a través del secuestro de CO₂ en las

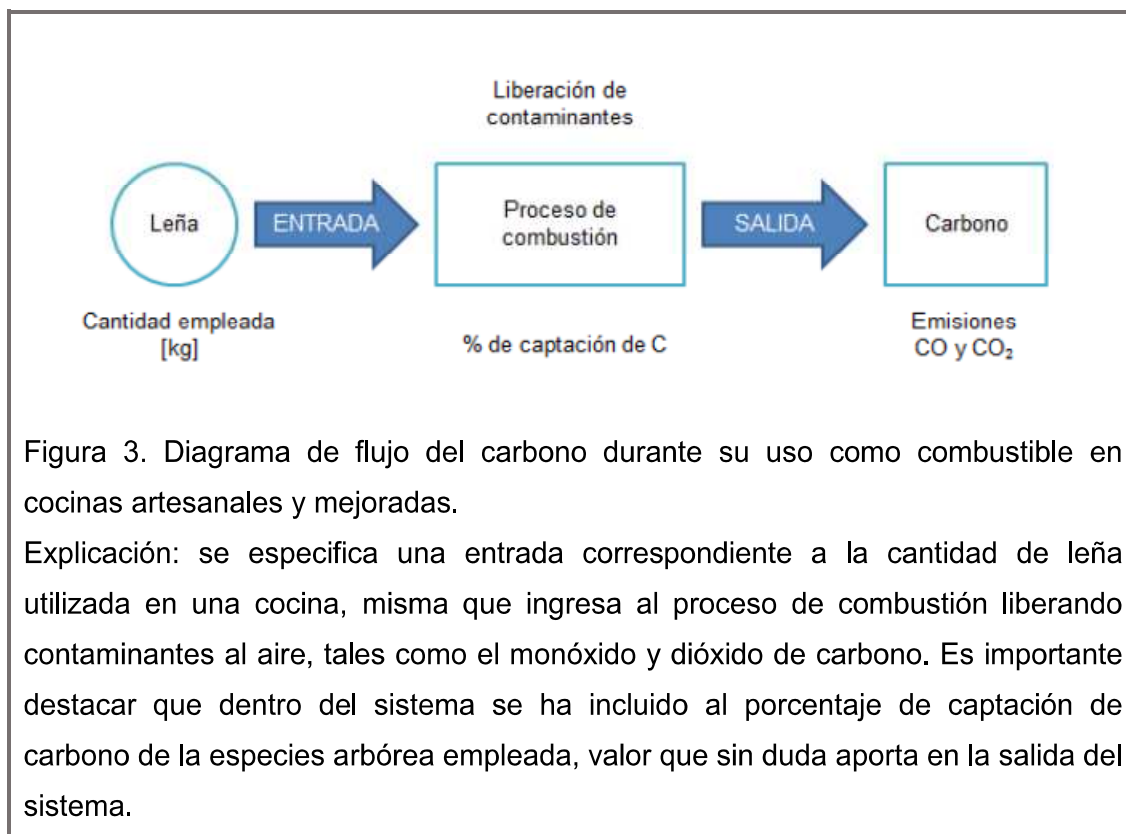
plantas y captura de carbono y nitrógeno en la vegetación perenne y suelo, la producción de alimentos para reducir la deforestación y degradación del suelo y, el aprovechamiento sostenible de la leña.

Al hablar de fijación de carbono por parte de plantaciones forestales, es muy importante establecer que dicha actividad se intensifica al promover actividades sostenibles en su utilización (Aguirre y Aguirre, 2004, p. 7); como sabemos, uno de los usos más importantes y habituales que tienen las plantas es como combustible (Palacios, 2008, p. 83). Por ello, es importante conocer que en una especie arbórea el carbono se encuentra contenido en dos reservas: parte aérea (toda estructura que se encuentra sobre la superficie del suelo) y la parte subterránea (raíces y materia orgánica alojada en el suelo) (Bonilla, 2009, p. 21); dicha reserva contenida se vería liberada durante un proceso de combustión, por ejemplo.

La parroquia Puerto Limón, área considerada para el presente estudio, se encuentra dentro de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas que se ha caracterizado por ser un territorio que cuenta con uno de los últimos remanentes de bosque húmedo tropical (Programa Socio Bosque, 2012). Por mucho que en nuestro país sean escasos y desactualizados los estudios referentes al secuestro de carbono por parte de las diferentes especies vegetales, se conoce de autores como Medina, Mena y Josse (1999, p. 8) que el bosque húmedo tropical tiene una biomasa contenida de un valor de hasta 500 toneladas [t] de materia seca por hectárea, lo que corresponde a 250 toneladas [t] de carbono. Durante su combustión se eliminarían 250 toneladas de carbono elemental que equivalen a 3,6 unidades de CO₂ (Hofstede, s.f., p. 8).

Se ha sobredicho que, las zonas rurales de nuestro país dependen de los recursos naturales disponibles para la obtención de alimentos, medicinas naturales, leña, entre otros; cuyo impacto ejerce presión sobre los ecosistemas forestales (Cordero, Cuenca y Viteri, 2004, p. 10). De este modo los habitantes de la comunidad Tsáchila de El Poste emplean en su mayoría dos especies de árboles para cocinar, calentar sus hogares y ahuyentar insectos de sus

viviendas que son: la guaba (*Inga edulis*) y el naranjo (*Citrus sinensis*). La figura 3 busca representar el flujo de carbono contenido en la leña durante su utilización como combustible.



De forma mucho más sencilla, el C de un combustible cualquiera se transforma (en una combustión completa) en CO₂. Atendiendo a las relaciones de masa establecidas para la combustión de la madera en general, es posible referir que la formación de 1 kilogramo [kg] de madera inmoviliza 1,63 kilogramo [kg] de CO₂ atmosférico. Asimismo, la combustión de 1 [m³] de madera emite 1 tonelada de CO₂ y viceversa en términos de captación. Por último, 1 tonelada de C retenido en cualquier combustible (renovable o fósil) es igual a 3,67 toneladas [t] de CO₂ emitidos a la atmósfera (Carazo, 2006, pp. 50 - 52).

En definitiva, el humo generado por el consumo de leña para actividades energéticas constituye un riesgo para la salud de las personas. De igual manera, el uso indiscriminado de especies forestales como combustible tiene repercusiones ambientales (SIISE, 2012). Como lo señala el Programa Socio

Bosque, para el período comprendido entre los años 2000 y 2008, Ecuador registró una tasa anual de cambio de cobertura boscosa de -0,66%; esto corresponde a una deforestación anual promedio de 77.647 [ha/año], requiriéndose aproximadamente 140 años para deforestar completamente el país (Ministerio del Ambiente [MAE], 2012, p. 30). De estas premisas, surge la necesidad de instaurar un aprovechamiento responsable de este tipo de recursos; de aquí la idea de potenciar el uso de estufas mejoradas que aprovechen el calor generado con una menor cantidad de leña.

1.1.4. La leña en el balance energético

Un balance energético es considerado como la contabilización de las etapas o actividades por los que una fuente de energía debe pasar desde su origen hasta su aprovechamiento (Irastorza y Fernández, 2010, pp. 55 - 56); esto significa realizar un análisis de la energía producida en función de su transformación y consumo, en un lugar y período determinado (García, 2011, p. 13). Para efectos de este estudio, se ha considerado a la leña utilizada en fogones artesanales y mejorados, como la fuente principal de energía.

Como punto de partida, es importante tomar en cuenta que la eficiencia de un combustible es “la relación entre la cantidad de combustible requerida para generar un determinado nivel de calor” (Junemann y Legarreta, 2007, p. 52); por ende, los combustibles más eficientes producirán mayor calor y menor nivel de polución en el ambiente. Reiche (1988, p. 92) enuncia que los combustibles de biomasa (leña, carbón, bagazo y otros) son considerados de baja eficiencia por su baja capacidad para producir calor y, generadores de altos niveles de contaminantes atmosféricos.

El poder calorífico de un combustible se entiende como la cantidad de calor que se consigue al combustionar un kilogramo del mismo (FAO, 2009). Este fenómeno se expresa habitualmente en megajulios [MJ/kg] o kilojulios [kJ/kg] (García y Pañi, 2013, p. 38) y puede verse afectado por factores como la composición química, la proporción de ceniza, la humedad (porcentaje de agua

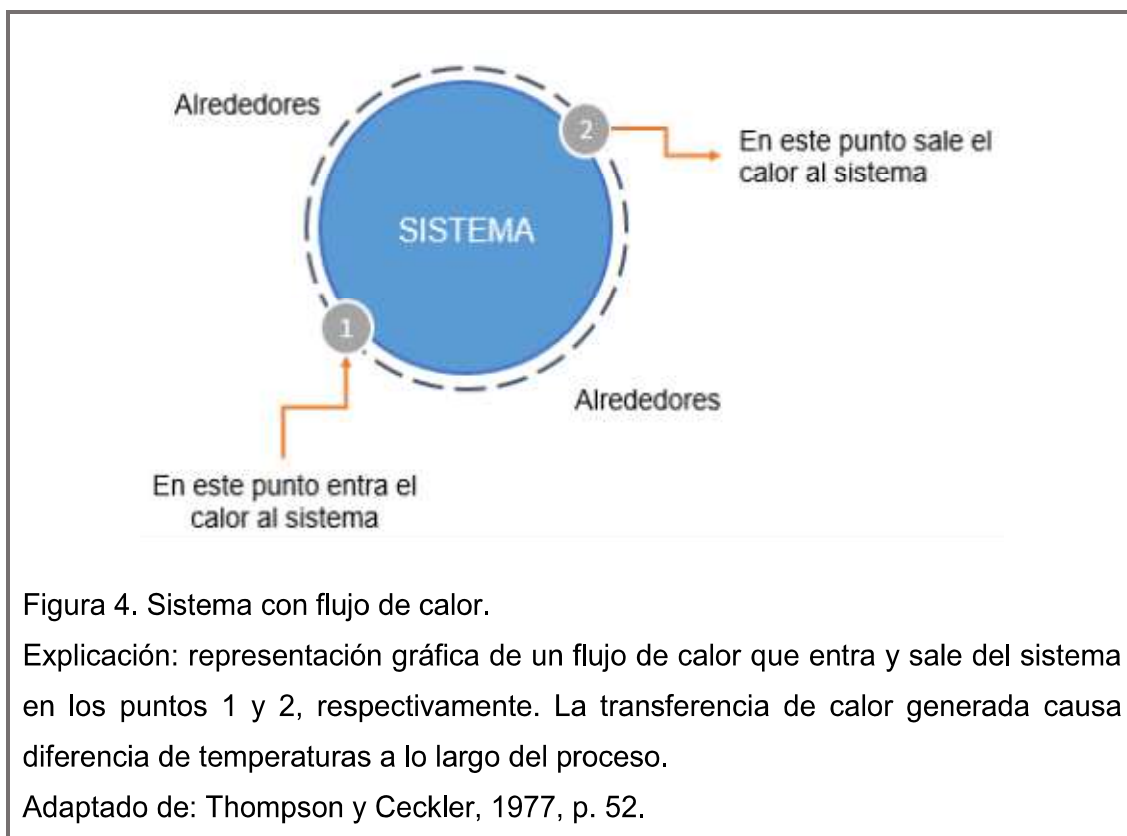
presente) y la densidad (a mayor densidad, mayor poder calorífico) del elemento combustible (Suárez, 2008, p. 10).

Como Aguayo (2011, pp. 5 - 12) también lo dijo, para aprovechar la cantidad de energía producida por la quema de leña es necesario introducir el término de “leña eficiente”, término que se halla relacionado estrechamente con la utilización de leña seca; esto significa, leña con un contenido de humedad menor o igual al 25%, cuyo uso sin duda incrementa el rendimiento energético, ahorra recursos y emite una menor cantidad de compuestos tóxicos. A diferencia de la leña verde o que ha sido recién cortada, cuyo rendimiento es inferior porque la mitad del calor generado es desperdiciado al evaporar el contenido de agua presente.

La selección del tipo de leña a utilizar radica en la facilidad de su recolección, tamaño, grosor, humedad, poder calórico y características relacionadas con la producción de fuego lento o de brasas (López Rodas, 1985, p. 15). La biomasa de madera (en kilogramos) puede llegar a tener un poder calorífico inferior o PCI (calor realmente aprovechable) de 4.100 [kcal/kg] (Carazo, 2006, p. 52); mientras que un fogón abierto puede llegar a tener una eficiencia energética muy baja, de entre el 5 y 17% (Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiable [GIRA], 2003, p. 6).

Ahora, con respecto a la eficiencia térmica lograda por las cocinas mejoradas se puede hacer referencia a los resultados obtenidos por pruebas realizadas por autores como Torres y Quino (2006, pp. 6 - 9) y González (2013, p. 78) en las que se ha determinado que los fogones mejorados cuentan con un rango de eficiencia que oscila entre el 47 y 50%. Esto se logra a través de la denominada “eficiencia energética”, cuyo conjunto de acciones (buenas prácticas e innovación tecnológica) permiten consumir una menor cantidad de energía y recursos con fines energéticos en los hogares (Zambrano, 2013, p. 26) y, con ello un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos y una reducción de las emisiones de contaminantes que afectan la calidad del aire interior.

El trabajo aquí postulado ha realizado un balance energético con la finalidad de obtener valores de eficiencia y ahorro energético de los sistemas estudiados. Para ello ha sido primordial considerar que la utilización de estufas artesanales y mejoradas de esta comunidad es un proceso irregular, ya que estas permanecen encendidas en momentos claves del día, por ejemplo: durante la preparación de los alimentos o mientras se ahuyenta a insectos del interior de las viviendas; de manera que su uso ha sido considerado como un sistema cerrado, en el que no existe transferencia de masa a través de sus fronteras mientras dura el proceso de combustión (Aguilar, 2012, pp. 4 - 5). Para comprender este fenómeno de mejor manera, se inserta en breve la figura 4.



Los ensayos experimentales para lograr el fin antes mencionado, así como su análisis han sido redactados a detalle en los siguientes capítulos de este trabajo de investigación.

1.2. CONTAMINACIÓN DEL AIRE INTERIOR

Una atmósfera contaminada contiene grandes cantidades de partículas y gases potencialmente dañinos que afectan la salud humana y al ambiente y, que a largo plazo alteran los recursos necesarios para el desarrollo sostenible de nuestro planeta (Echarri, 2007, p. 1), razón por la cual la contaminación atmosférica es en la actualidad un riesgo medioambiental inminente. Ahora, es importante diferenciar la contaminación del aire libre de la producida en espacios interiores; para ello se hace necesaria la introducción del término “microambiente” que comprende el espacio físico en el que se producen los procesos de combustión y, por lo tanto en el que se acumulan diferentes contaminantes liberados que perturban la calidad del aire presente (OMS, 2000, p. xiii).

La contaminación del aire interior ocupa el cuarto lugar en la lista de las amenazas más graves para la salud de las personas que habitan en los países menos desarrollados. Esta causa tan solo se ubica después de la mala nutrición, las relaciones sexuales sin protección y la falta de agua potable y saneamiento (Partnership for Clean Indoor Air [PCIA], 2012). Para la Organización Mundial de la Salud (2005), en la actualidad, casi la mitad de los hogares de nuestro planeta emplean diariamente combustibles de biomasa, cuya concentración en los espacios interiores afecta a los individuos que se encuentran expuestos, incrementando su incidencia por factores tales como: la mala ventilación o el tiempo de exposición.

Los contaminantes presentes en ambientes cerrados pueden ser un factor de riesgo importante para la salud humana, dado que las personas, en especial mujeres y niños, pasan en sus viviendas más del 60% del tiempo (Franco, Herrera, Pelayos, Pérez y Schlottfeldt, 2009). En base a datos publicados por el Banco Mundial, citados por Martínez y Zúñiga (2010, p. 4), alrededor de 700 millones de mujeres y niños viven expuestos a concentraciones críticas de contaminantes producidos por la quema de leña; como consecuencia de ello

alrededor de 1.2 millones de niños mueren a causa de enfermedades respiratorias agudas.

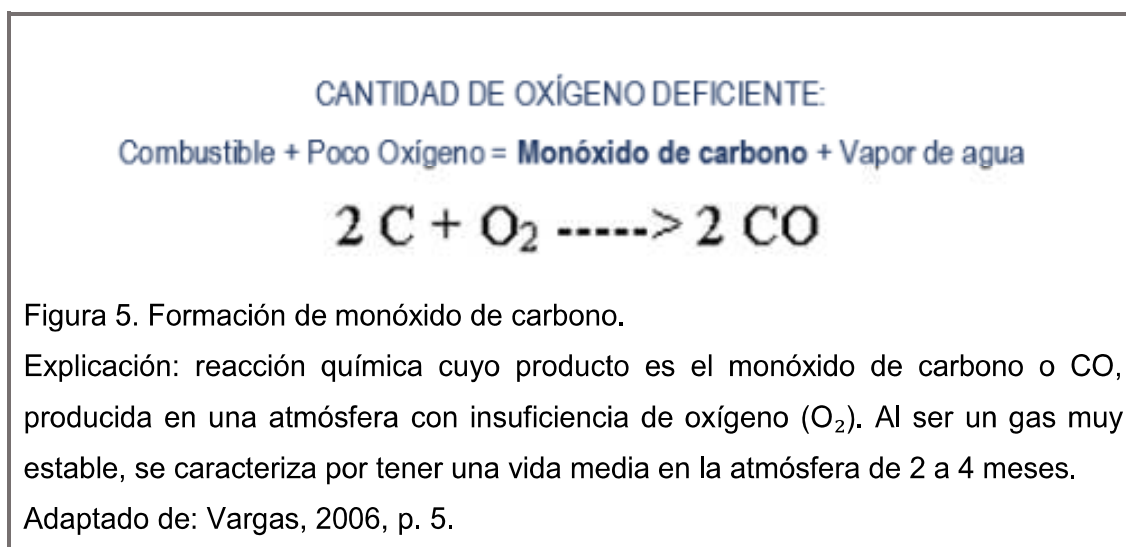
Si bien es cierto que la información relacionada al aire en interiores existente es aún limitada debido a los escasos resultados de monitoreo, estos estimados revelan que en los países en vías de desarrollo puede existir un grave problema de contaminación de aire interior (OMS, 2000, p. vi) por la quema de biomasa (madera, carbón, bagazo, etc.) para la cocción de alimentos y calefacción de viviendas, principalmente en zonas rurales; lo que puede representar un problema grave de salud pública (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], 2012).

Cuando la madera no se quema eficazmente, se crean muchos productos de la combustión incompleta, ese humo liberado está compuesto de una gran variedad de contaminantes que son perjudiciales para la salud (Korc y Quiñones, 2003, p. 11). Aproximadamente el 90% de los contaminantes emitidos a la atmósfera es monóxido de carbono (CO), siendo el resto una mezcla de compuestos orgánicos volátiles (COVs), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), metales y material particulado de dos tipos específicos: PM₁₀ (que penetra fácilmente las vías respiratorias) y PM_{2.5} (una fracción mucho más pequeña que logra llegar a los pulmones) (Adler, 2010). No obstante, nos centraremos primordialmente en el estudio detallado de dos de estos contaminantes: el monóxido de carbono y el material particulado.

1.2.1. Monóxido de Carbono

El monóxido de carbono, cuya fórmula química es CO, es un gas incoloro, inodoro, inflamable y altamente tóxico que puede causar la muerte de un individuo cuando este es respirado a niveles elevados (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [EPA], 2014). El mismo es producido por la quema de materiales combustibles como gas, petróleo, carbón o madera en ambientes desprovistos del oxígeno necesario, es decir que es el subproducto resultante de una combustión incompleta (Agencia para Sustancias Tóxicas y

el Registro de Enfermedades [ATSDR], 2009). En la figura 5 se puede apreciar la formación de este contaminante atmosférico.

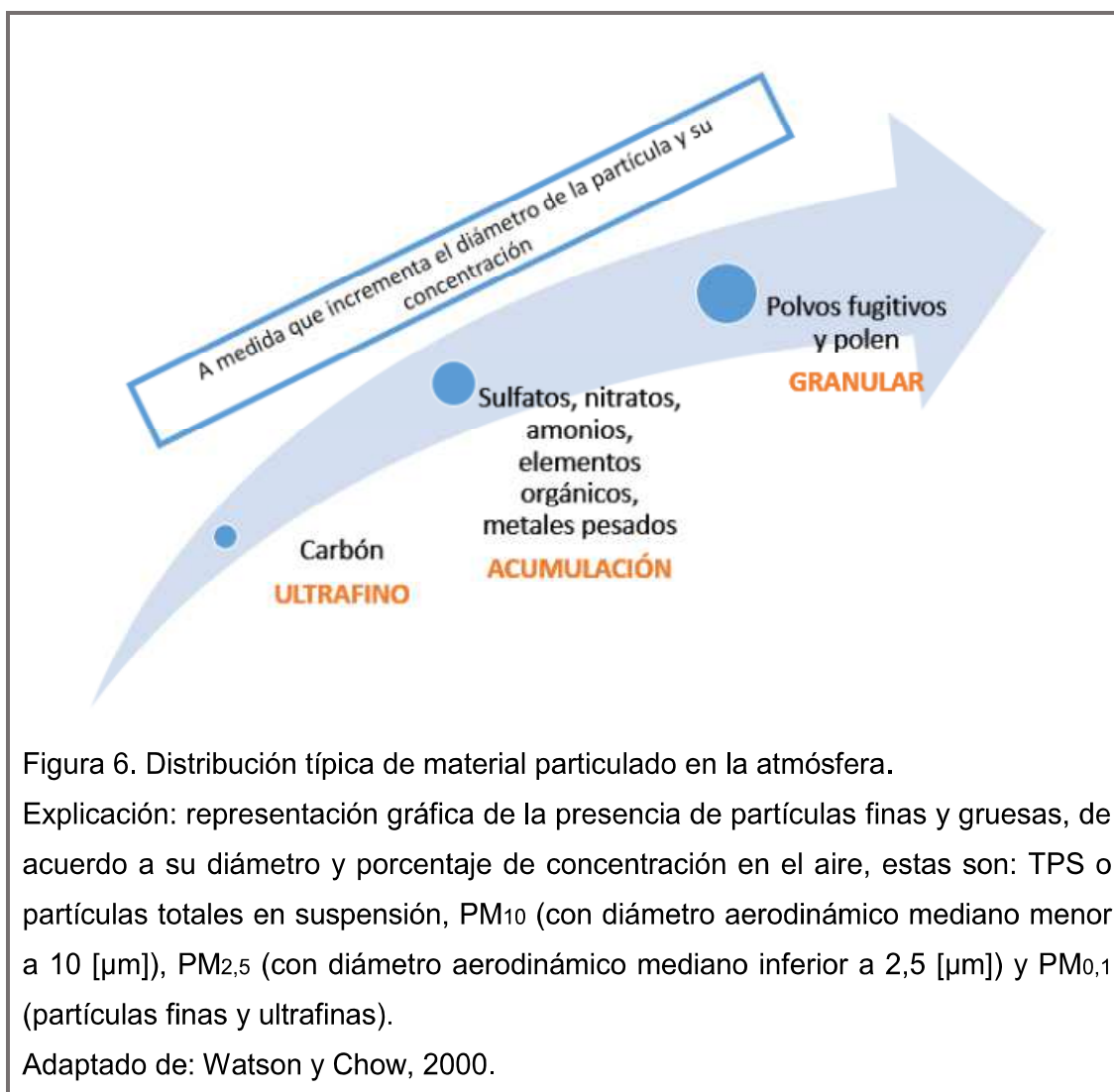


Al interior de una vivienda, el monóxido de carbono puede producirse por la quema de combustibles de biomasa empleados en estufas de fuego abierto, en las que se produce un proceso de oxidación incompleta, liberando concentraciones de este gas que pueden llegar a ser letales para los individuos expuestos, a menos que exista una adecuada ventilación dentro del microambiente (OMS, 2010, pp. 55 - 56). Ya lo dijo Boy (2000), mencionado por Bruce et al. (2004, pp. S26 - S27) los niveles de monóxido de carbono en viviendas que utilizan combustibles de biomasa, presentan en 24 horas un rango que oscila entre los 10 y 500 [ppm] durante la cocción de alimentos. Es por ello que su toxicidad incide principalmente en el ser humano por su ingreso en el organismo a través de la inhalación, ya que el CO inhalado se difunde rápidamente a través de la membrana capilar pulmonar en los alvéolos (Viqueira, 2008, pp. 28 - 29).

1.2.2. Material Particulado

El material particulado atmosférico es el resultado de una mezcla compleja de diferentes compuestos de naturaleza orgánica e inorgánica con diferentes

distribuciones granulométricas cuya forma de concentración se expresa en número de partículas por unidad de volumen de aire [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] (Arciniégas, 2012, p. 34). Debido a que estas partículas son de composición, formas y tamaños diferentes, se han clasificado en función de su diámetro aerodinámico que se relaciona con el “diámetro de una esfera de 1 [g] por [cm^3] de densidad con la misma velocidad terminal de la partícula, debido a la fuerza gravitacional en el aire en condiciones predominantes de temperatura, presión y humedad relativa” (Goldammer, Morawska, Schwela y Simpson, 1999, p. 54); por lo que pueden ser denominadas como: finas y gruesas (Bell, Dominici y Somet, 2004, pp. 247 - 280). Dicha clasificación puede ser observada en la figura 6 que muestra la distribución que estas tienen en la atmósfera



La Agencia Europea de Medio Ambiente (2013, p. 10), señala que las partículas en suspensión son el contaminante atmosférico más perjudicial para la salud de las personas. El humo liberado en interiores por la quema de combustibles sólidos forma el denominado “hollín negro” que en su composición arrastra partículas con un diámetro de hasta 10 micrones o PM_{10} (considerado como el mejor indicador de riesgo para la salud humana en referencia a la contaminación del aire en interiores) y partículas en suspensión con un diámetro de hasta 2,5 micrones o mejor conocido como $PM_{2.5}$ que pueden penetrar profundamente en los pulmones y afectar el sistema respiratorio en general (OMS, 2007, p. 10).

Investigaciones realizadas por autores como Grajeda, Leaderer, Mage, Naeher y Smith (2000, pp. 545 - 547), afirman que esta situación es particularmente alarmante para mujeres y niños. Este grupo es el más vulnerable, ya que al estar sometidos a niveles muy altos de contaminación en sus hogares, entre 3 y 7 horas de exposición por día, tienden a desarrollar problemas respiratorios. Según, Fuel for Life (OMS, 2007, p. 7) en los hogares que emplean combustibles sólidos, como la leña, en un día los niveles de PM_{10} pueden fluctuar entre los 300 a 3000 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] y pueden llegar hasta los 10.000 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] a lo largo del proceso de cocción.

1.2.3. El efecto del humo de la cocina rural

Respirar el humo de las cocinas tradicionales desde luego genera secuelas en los individuos expuestos (Adler, 2010). Estas encierran efectos agudos como el incremento de las tasas de mortalidad y de acogimiento hospitalario por causa del aumento de enfermedades respiratorias, del mismo modo efectos de tipo crónico que se encuentran asociados al incremento de casos de cáncer en la población (OMS, 2000, p. 47).

Para la United Nations Foundation - UN (2013), el simple hecho de cocinar una comida agrava afecciones respiratorias, oculares, cardiovasculares y de la piel; que pueden concluir en un cáncer. Asimismo, existe fuerte evidencia de que el

humos generados por la quema de combustibles sólidos se encuentran asociados a la incidencia de tres enfermedades: cáncer de pulmón, neumonía infantil, cataratas y la EPOC o enfermedad pulmonar obstructiva crónica (Clark et al., 2009, p. 46). De igual manera, se ha dado menor atención a daños como quemaduras y escaldaduras, peligros de incendio y problemas con los sistemas óseo y muscular por la ubicación de este tipo de estructuras que, usualmente son de construcción rústica e inestable (Bautista, 2009, p. 12). Para el Banco Mundial (2010, pp. 1 - 2), también existen problemas menos estudiados relacionados con la contaminación de interiores como la anemia y el retraso en el crecimiento de los niños expuestos. En la tabla 3, se han recopilado varios de los efectos asociados a la inhalación de humo de biomasa.

Tabla 3. Mecanismos que pueden aumentar el riesgo de enfermedades ocasionadas por el humo de biomasa.

Contaminante	Mecanismo	Efectos Potenciales
Partículas (interiores a 10 micras, en particular las menores a 2.5 micras)	Agudo: irritación bronquial, inflamación y mayor reactividad.	Sibilancias, exacerbación del asma.
	Reducción de la actividad de limpieza muco-ciliar.	Infecciones respiratorias.
	Reducción de la respuesta de macrófagos y posiblemente de inmunidad local.	Bronquitis crónica y enfermedad pulmonar obstructiva crónica.
	Posible reacción fibrótica.	Exacerbación de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica.
Monóxido de Carbono	Unión a la hemoglobina para producir carboxihemoglobina (reducción del transporte de oxígeno a órganos clave y al feto).	Insuficiencia ponderal del recién nacido (carboxihemoglobina fetal: 2 - 10% o mayor)
		Aumento de la mortalidad perinatal

Recopilado de: Bruce, Pérez-Padilla y Albalak, 2000, p. 43.

Nota Explicativa: se especifica los dos contaminantes considerados para este estudio, con su mecanismo de acción sobre el individuo expuesto y los efectos potenciales su organismo.

En referencia a la toxicidad producida por el monóxido de carbono se manifiesta que la carboxihemoglobina (COHb) constituye un marcador biológico específico de la exposición a este tipo de contaminante; su influencia radica en la reducción de la capacidad de transporte de oxígeno a los tejidos produciendo así la denominada: hipoxia tisular (falta de oxígeno en los tejidos del cuerpo), ocasionando así daños reversibles de corto plazo, daños neurológicos graves e, inclusive la muerte (Vargas, 2006, p. 41). En cuanto a la toxicidad asociada al material particulado se hace mención a su mecanismo de deposición selectiva, esto significa que a su paso por las vías respiratorias tiende a depositarse a lo largo de la superficie interna muscular del aparato respiratorio, llegando a los alvéolos donde su reacción desencadena en enfermedades pulmonares crónicas como las descritas en la tabla 3 (Moreno, 2003, p. 20).

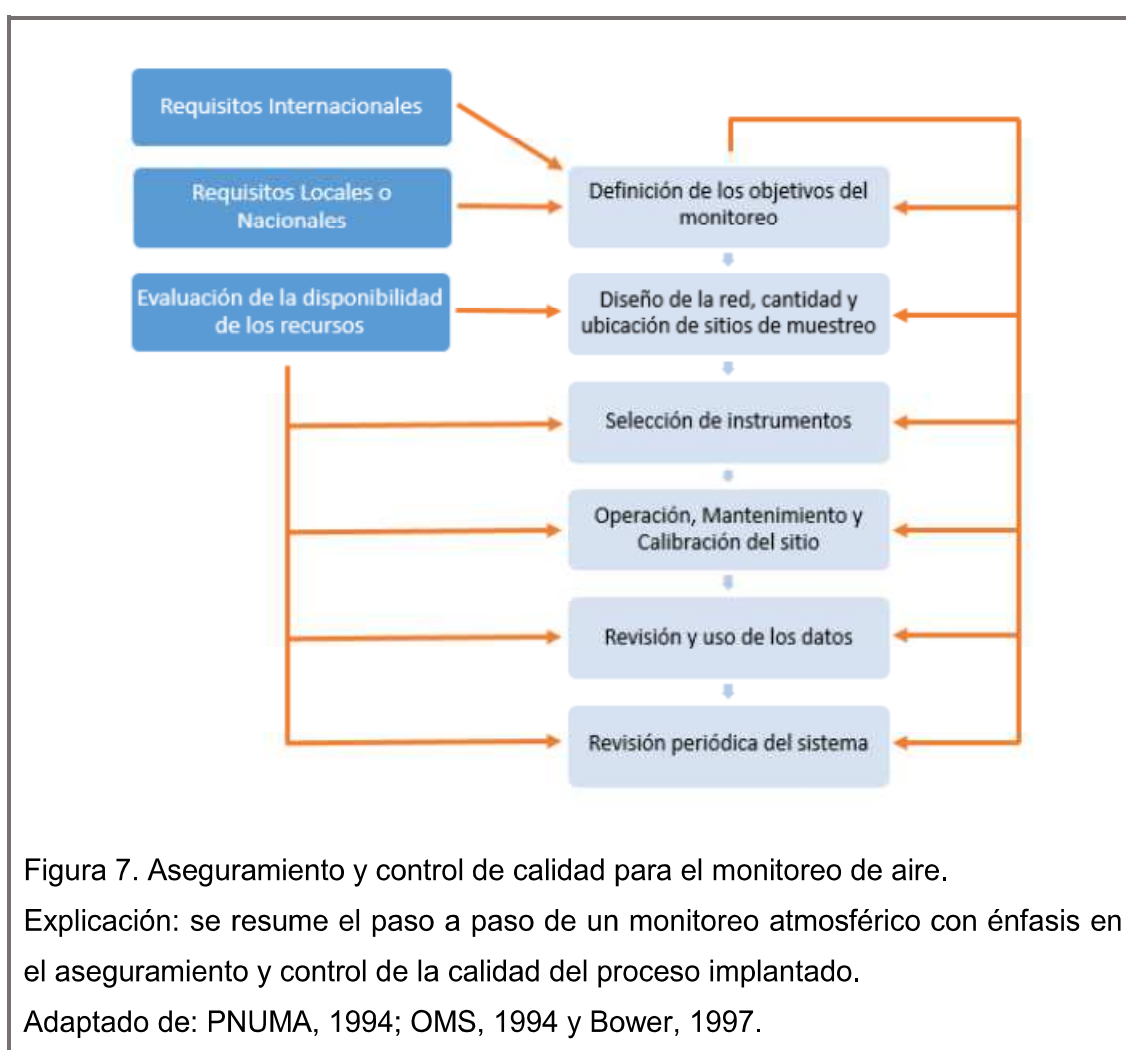
1.3. MONITOREO DE CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

La Organización Mundial de la Salud (2000), a través de la elaboración de las “Guías para la Calidad del Aire”, ha establecido que existen tres herramientas principales para la evaluación de la calidad del aire, interdependientes entre ellas en alcance y aplicación, y estas son:

- a. Monitoreo del ambiente;
- b. Modelos de dispersión de contaminantes, e;
- c. Inventarios o medición de emisiones.

Estas surgen ante la necesidad de evaluar la exposición de la población y, como alternativa para determinar el cumplimiento de las normas o guías formuladas para cada contaminante (PNUMA, 1994). El principal objetivo de un monitoreo atmosférico no es simplemente el recopilar datos, sino más bien proporcionar la información necesaria para la identificación de problemas, la formulación de políticas y la gestión adecuada de la calidad del aire para el mejoramiento del ambiente (Pearce, 1996, pp. 627 - 630). No obstante, se

debe considerar que cada herramienta de evaluación tiene sus limitaciones, por ello la importancia de subrayar su interdependencia. Se puede mencionar que tanto el monitoreo, como los modelos de simulación y las evaluaciones de las emisiones son componentes cuyo enfoque integral permite obtener una perspectiva mucho más completa de la exposición de la población, a través de datos conseguidos en tiempo real, siguiendo una metodología específica (Westman, s.f., pp. 119 - 120). La figura 7 muestra el modelo propuesto por la OMS y el PNUMA que compila los pasos para desarrollar e implementar de manera eficaz un monitoreo atmosférico.



Para arrancar con el monitoreo de concentración de contaminantes atmosféricos, es importante iniciar con la elaboración de un registro primario. El

mismo se basa en un documento de papel o archivo digital en el que se registra la recopilación de datos, con la finalidad de dar mayor trazabilidad a la medición realizada (Fondo Europeo de Desarrollo Regional, 2008, p. 5). Ahora, para cuantificar las emisiones de combustión de una determinada fuente será primordial establecer un protocolo (Jetter et al., 2012, p. 2); para la Dirección General de Salud Ambiental del Perú - DIGESA (2005, pp. 5 - 9) un protocolo debe contener el diseño y planificación del monitoreo en función de los objetivos que se quieren alcanzar y los recursos disponibles para conseguirlos.

El monitoreo del aire se lleva a cabo mediante procedimientos de muestreo (recolección de muestras) y el análisis de los datos de contaminantes atmosféricos conseguidos (Bravo y Sosa, s.f., p. 22). La Organización Internacional de Estandarización - ISO (2012, p. 9) a través de su International Workshop Agreement (IWA 11:2012), proporciona una guía metodológica para monitorear las concentraciones en aire interior de monóxido de carbono y material particulado de hasta 2.5 micras. Dicha sistemática propone dos métodos de obtención de datos, mismos que deben cumplir con los requisitos establecidos por esta norma en cuanto a equipos a utilizar y métodos de calibración. De la metodología de monitoreo empleada, se hablará a detalle en el siguiente capítulo de este trabajo de investigación. Por lo pronto, se realiza una breve introducción de las técnicas a utilizar para el monitoreo de material particulado y monóxido de carbono.

En el muestreo de partículas son mayormente empleados instrumentos de lectura directa que, suelen proporcionar un registro de datos continuo y ahorran una considerable cantidad de trabajo al investigador (Todd, 2003, p. 15). Los equipos de lectura directa más utilizados para el monitoreo de partículas son los dispositivos de dispersión de luz (también conocidos, como: fotómetros de aerosol), cuyo principio radica en la iluminación de las partículas a través de una cámara, en donde la luz es dispersada por el aerosol detectado y forma un ángulo determinado; mientras más alta sea la concentración, más luz llegará al detector o fotodiodo (Burge, Hoyer, Gunderson, Bobenhausen, 2003, p. 16). Para terminar, Johnson y Vincent (2003), manifiestan que existen otras

técnicas de muestreo de material particulado, por ejemplo: el análisis gravimétrico; sin embargo, este no proporciona datos de la variación de concentración del contaminante durante todo el periodo de monitoreo considerado.

Con respecto al monóxido de carbono, las herramientas de monitoreo principales son los equipos de lectura directa con sensores electroquímicos (Todd, 2003, p. 24). Estos dispositivos registran los datos de manera continua, son usualmente de campo (equipos portátiles) y emplean sistemas de difusión activa o pasiva del contaminante, que difieren en la manera de captura del mismo; ya sea mediante el uso de una bomba o la penetración física básica a través de una membrana al monitor, respectivamente (Dietrich, 2003, pp. 31 - 33). De igual manera, existen otros métodos como la manipulación de tubos detectores colorimétricos que permiten determinar la presencia del compuesto químico en una muestra de aire, mas no su variabilidad en el tiempo (Que Hee, 2003, p. 41).

Al tratarse de un monitoreo de monóxido de carbono y aerosoles menores a 10 micrones, generados por la combustión de leña en fogones abiertos y mejorados al interior de viviendas, la recolección de información acerca de factores que inciden en la concentración de los mismos, tales como: tamaño y cantidad de aleros y/o aguilones, número de paredes y ventanas, tipo de leña empleada, ubicación y área de la cocina, factores de comportamiento (por ejemplo, el tiempo de cocción y manera de encendido), temporal climático y, sobre todo, la existencia de microambientes cercanos a la ubicación de la cocina y el número de personas y tiempo de exposición en los ambientes contaminados; sin duda, servirán para conocer el comportamiento real y efectos de los contaminantes identificados (Bazemore, 2010, p. 2).

1.4. NORMATIVA NACIONAL E INTERNACIONAL RELACIONADA

Como ya se mencionó, cocinar con leña en fogones tradicionales es una práctica que puede concentrar niveles de contaminantes hasta 100 veces más de lo establecido por la OMS; liberando gases de efecto invernadero (GEI) y carbono negro al medio ambiente (ISO, 2012, p. 6). Valores de referencia para la exposición a contaminantes como material particulado y monóxido de carbono, han sido difundidos a través de las “Guías de Calidad del Aire” de la OMS, inicialmente publicadas en el año de 1987, siendo periódicamente revisadas y actualizadas hasta el año 2005.

Estas Guías fueron diseñadas con el propósito de proteger la salud de las personas ante los efectos de la contaminación del aire, así como presentar una base científica que brinde soporte a los gobiernos en la elaboración de su propia normativa de calidad del aire (OMS, 2000, p. i). Cabe recalcar que estas Guías no son el equivalente a una norma legal, más bien buscan reducir al mínimo la concentración presente de los contaminantes que resultan peligrosos para el bienestar del ser humano; de modo que, la formulación de normas que regulen la calidad del aire, es primordial. Ello, a través de la consideración de “los niveles prevalentes de exposición y las condiciones ambientales, sociales, económicas y culturales de cada nación o región” (OMS, 1987, pp. 18 -19).

Es evidente que la contaminación del aire ejerce efectos en la salud pública, no importa si el contaminante es inhalado en exteriores o interiores; sin embargo, su diferencia radica en la concentración y composición del agente (Smith, 1996). En las “Guías de la Calidad del Aire” se han considerado varias escalas de tiempo en la determinación de los efectos, en rangos que van desde los 10 minutos hasta el año de mediciones y experimentación. En base a los efectos conocidos sobre la salud de las personas, la OMS ha proporcionado valores referenciales (máximos permisibles) para material particulado y monóxido de carbono, mismos que se indican en las figuras 8 y 9, respectivamente.

PM₁₀: 10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] media anual, 25 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] media de 24 horas

PM_{2.5}: 20 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] media anual, 50 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] media de 24 horas

Figura 8. Guías de Calidad del Aire, material particulado.

Explicación: se han elaborado dos directrices tanto para la exposición breve (24 horas) como para la exposición prolongada (media anual) de los indicadores de la contaminación por aerosoles. Ambos valores indican una exposición crónica en referencia a sitios de monitoreo representativos para obtener niveles de exposición poblacional, dando lugar a concentraciones típicas calculadas como la media aritmética durante cada día del año.

Tomado de: OMS, 2005.

Los efectos del material particulado en la salud pública incrementan con la exposición y, existen escasas pruebas que revelen las concentraciones por debajo de las cuales puede existir una exposición continua sin ocasionar efectos adversos en la salud de los individuos expuestos (valor umbral) (Cohen, 2004, p. 1353). Uno de los niveles más bajos encontrados para los que se ha demostrado la aparición de efectos adversos se ha estimado en 3 a 5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] para las partículas con un diámetro inferior a 2,5 micras [μ] en los Estados Unidos y Europa Occidental (OMS, 2006, p. 9).

De acuerdo a estudios realizados por Smith (1993 y 1996), las concentraciones más altas de partículas en el aire de interiores pueden ocurrir mientras se cocina con combustibles sólidos en habitaciones que cuentan con poca ventilación, algunas veces en intervalos de corta duración; por esto se hace importante mencionar la concentración típica de partículas en microambientes como resultado de la quema de biomasa, cuyos valores se encuentran indicados en la tabla 4.

Tabla 4. Concentración de partículas en microambientes del mundo.

Región	Concentración	
	Interiores [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Exteriores [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Países desarrollados		
Urbano	100	70
Rural	80	40
Países en desarrollo		
Urbano	250	280
Rural	400	70

Tomado de: Smith, 1996 y OMS, 2000.

Nota Explicativa: se enuncian las concentraciones más comunes de material particulado, expresadas en [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], al interior y exterior de una vivienda de acuerdo a la región en donde se ubica. Estas fueron calculadas en 8 microambientes del mundo investigados por el autor; los países se clasificaron en función del índice de desarrollo humano del año 1990.

Además, en relación a la concentración de material particulado en nuestro país, el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - CEPIS/OPS (2011, p. 27), en su "Guía para la protección de la salud pública en América Latina, el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea"; indica que Ecuador tiene un valor límite de partículas totales suspendidas (PTS) igual a 250 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] para un tiempo promedio de muestreo de 24 horas y 80 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] para el periodo de un año.

CO: 35 [ppm] en una hora

CO: 10 [ppm] en más de ocho horas

Figura 9. Guías de Calidad del Aire, monóxido de carbono.

Explicación: valores redondeados presentados en [ppm], correspondientes a los promedios ponderados en el tiempo de exposición para el CO, considerando que las personas expuestas a estos niveles no sobrepasen más del 2,5% de carboxihemoglobina (COHb) en su sangre.

Tomado de: OMS, 2005.

Ahora, en relación al monóxido de carbono se puede manifestar que los valores indicados en la figura 9 corresponden a directrices agudas. Tanto, la exposición crónica como la exposición aguda al CO es diferente en muchos aspectos, por lo que se hace necesaria la presentación de valores referenciales que aborden ambos tipos de exposición. Según la OMS (2010, p. 86 - 87) se deben considerar los tiempos de exposición descritos en la tabla 5 para conseguir los valores guías que completen la gama de exposiciones a este contaminante.

Tabla 5. Directrices de calidad de aire interior, monóxido de carbono.

Tiempo Promedio	Concentración [ppm]
15 minutos	100
1 hora	35
8 horas	10
24 horas	7

Tomado de: OMS, 2010, p. 86.

Nota Explicativa: concentraciones de monóxido de carbono expresadas en [ppm], en relación a su tiempo de exposición.

Los valores previamente descritos deben orientarse a alcanzar concentraciones menores a las descritas para lograr una protección de la salud mucho más

eficaz. Asimismo, de acuerdo a los valores límite de monóxido de carbono (CO) para la protección de la salud pública en América Latina, el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea; difundidos por la CEPIS/OPS (2011, p. 18), Ecuador cuenta con un valor límite de 40.000 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] para un tiempo promedio de muestreo de 1 hora y 10.000 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] en 8 horas.

De igual manera, se debe mencionar que la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos - USEPA (2010), no cuenta con estándares para la calidad de aire interior referidos a material particulado y monóxido de carbono, sino que ha establecido valores para mantener una atmósfera equilibrada a nivel nacional. El estándar actual para partículas es de 35 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] para un promedio de 24 horas y de 15 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] para una media anual; mientras que, el estándar para CO es de 9 [ppm] para un promedio de 8 horas y 35 [ppm] en 24 horas.

La Constitución de la República del Ecuador (2008), claramente especifica en los artículos 14 y 414 el derecho de la población a “vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*”; así como, la adopción de medidas necesarias para la mitigación del cambio climático, “mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; (...) y protegerá a la población en riesgo”. En cumplimiento de esto, el país ha elaborado normativa nacional que regula las emisiones atmosféricas, pero únicamente a nivel de aire ambiente mas no en términos de calidad de aire interior; ejemplo de esta regulación es el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria - TULSMA, en su Libro VI, Anexo 4 (Romero y Vaca, 2012, p. 39).

Desde el año 2010, el Gobierno Nacional pone en marcha el “Plan Nacional de Calidad de Aire” que surge de la necesidad de cumplir lo estipulado por la Constitución de la República y el Plan Nacional del Buen Vivir. Lastimosamente, la gestión del ambiente en nuestro país es muy deficiente; pese a ello continúan los esfuerzos por alcanzar un desarrollo sostenible que indudablemente involucra a una correcta gestión del aire que garantice una

regulación, seguimiento, coordinación y control adecuado del mismo (MAE, 2010, pp. I - II). Programas como el antes mencionado pretenden crear directrices basadas en la realidad del país.

1.5. ALTERNATIVAS: COCINAS MEJORADAS

La Agenda 21 en su capítulo 6, sobre la protección y fomento de la salud humana, afirma que:

“(b) Contaminación del aire en interiores: (i) Apoyar la investigación y el desarrollo de programas para aplicar métodos de prevención y de control destinados a reducir la contaminación en interiores, incluida la provisión de incentivos económicos para la instalación de tecnología apropiada. (ii) Organizar campañas de educación sanitaria, especialmente en países en desarrollo, para disminuir el impacto del uso doméstico de biomasa y de carbón en la salud” (Helmer, 2000, p. ii).

Los planes de acción propuestos deben ser adoptados de manera prioritaria para el beneficio de la calidad de vida de los seres humanos y su medio ambiente, con miras a un desarrollo sostenible (UN, 2010). Si bien es cierto que el gas licuado de petróleo es uno de los combustibles más utilizados en las áreas rurales, no se debe dejar de lado que aún en nuestros días la leña sigue siendo un recurso importante para la generación de energía en muchos hogares campesinos (SIISE, 2010). Por consiguiente, el uso de tecnologías mucho más eficientes, como las cocinas mejoradas de leña, pueden generar impactos positivos en la salud de las personas y el ambiente, dados por la disminución del consumo y degradación de los recursos forestales disponibles; así como la reducción de emisiones y exposición a contaminantes nocivos (Blanco et al., 2009, p. 8).

Una estufa mejorada o limpia tiene como finalidad reducir la concentración de contaminantes contenida al interior de las viviendas, mediante una utilización racional de los combustibles sólidos empleados y/o eliminando el humo

producido hacia afuera de los hogares a través de chimeneas (Duflo, Greenstone y Hanna, 2010). En base a la información recolectada de la Alianza Global Para Estufas Limpias (2012), la implementación de cocinas mejoradas significa una solución viable para resolver la problemática previamente mencionada, pues la elaboración de estos sistemas puede resultar tan sencillo como construir una estructura en forma de caja con bloques de barro, con ductos para la salida de gases contaminantes y orificios para colocar las ollas y, si esta es utilizada correctamente, se puede llegar a tener un ahorro de energía del 50 hasta el 70% de la leña normalmente utilizada en una cocina artesanal.

Díaz Jiménez (2010, pp. 45 - 46), asegura que los primeros proyectos de cocinas mejoradas iniciaron en los años cincuenta en países como la India e Indonesia y, a finales de la década de los setenta en nuestro continente. América Latina, es uno de los continentes que se ha destacado por iniciar esfuerzos en la búsqueda de nuevas alternativas que combatan esta problemática social, ambiental y de salud; estufas mejoradas implementadas en proyectos pilotos han logrado una reducción en el consumo de combustibles sólidos de un 70% y, una disminución de hasta el 60% de las emisiones de CO y PM_{2.5} al interior de los hogares intervenidos (Zuk et al., 2007, pp. 224 - 227). Ecuador, es un país que no cuenta con una variedad de proyectos de cocinas mejoradas implementados; además la poca información que existe no se encuentra disponible (FEDETA, 2013, pp. 4 - 5).

Finalmente, es importante analizar que la introducción de este tipo de tecnología apropiada se encuentra asociada al cumplimiento de los denominados Objetivos del Milenio. La Organización Mundial de la Salud (2014) asevera que una mejora en las diversas maneras de consumo de los recursos energéticos en los hogares puede ser un gran aliado para combatir la pobreza, reducir la mortalidad de mujeres y niños; así como aportar a la sostenibilidad del medio ambiente. El II Informe Nacional de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, fascículo Ecuador, indica que dentro del "Objetivo 7: Garantizar la sostenibilidad del ambiente, Meta 8: Haber detenido y comenzado

a reducir, para el año 2015, la incidencia de paludismo y otras enfermedades graves” el porcentaje de viviendas que utilizan leña o carbón para cocinar ha disminuido del 13% registrado en 1995 al 9% reportado para el año 2006; siendo la lucha contra la tuberculosis una de las principales motivaciones que, en base a la información recopilada, no se encuentra relacionada con la implementación de cocinas mejoradas a manera de proyecto prioritario nacional (SENPLADES, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD] y Centro de Investigaciones Sociales del Milenio [CISMIL], 2007, p. 30).

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La figura 10 presenta un breve resumen de los puntos a ser tratados en el presente capítulo.

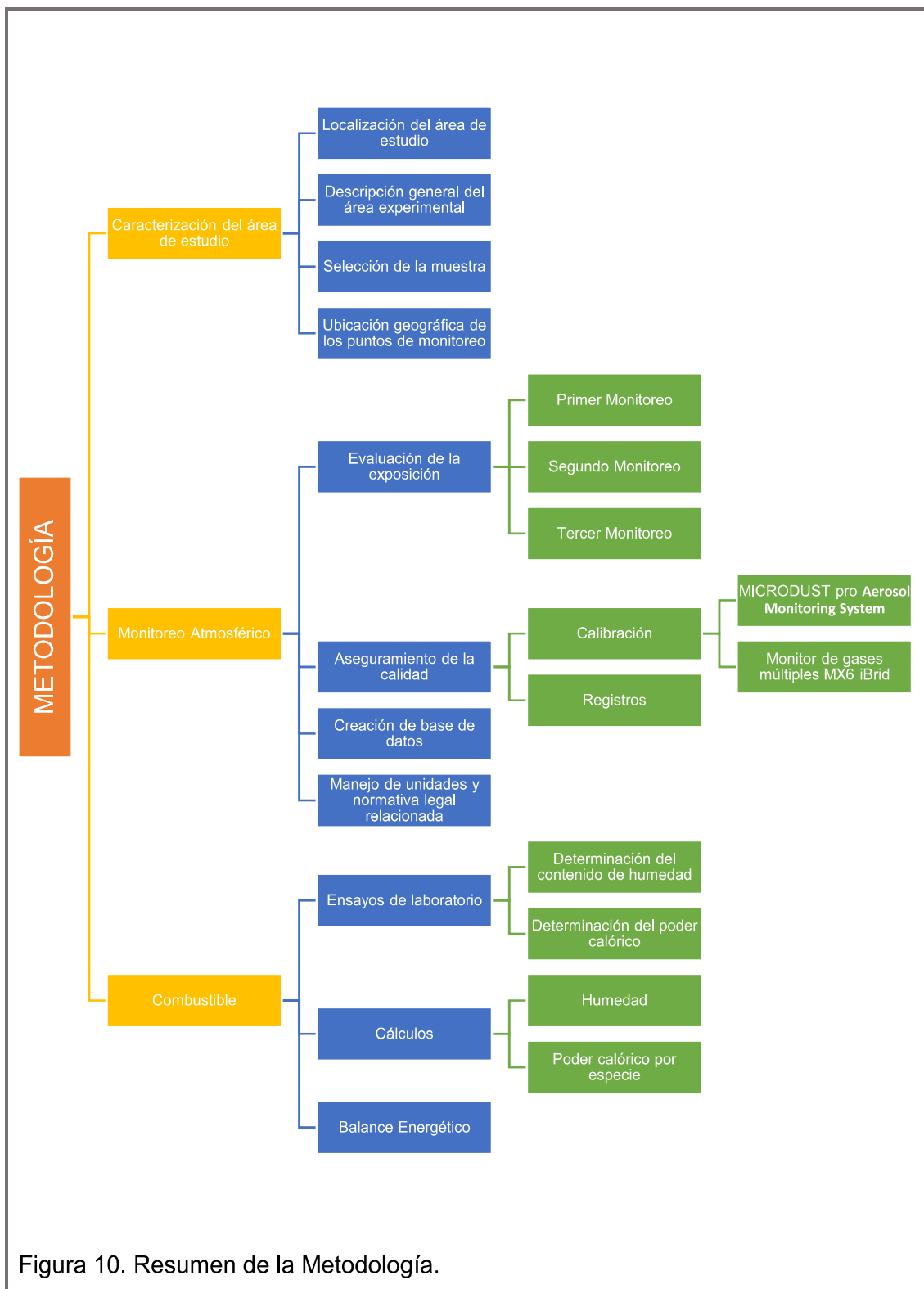


Figura 10. Resumen de la Metodología.

2.1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1.1. Localización del área de estudio

El presente estudio se realizó en la comunidad Tsáchila de El Poste, ubicada en la parroquia rural de Puerto Limón, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, cantón Santo Domingo, situado en la parte noroccidental de la cordillera de los Andes y con una extensión de 3.532 [km²] (GAD Municipal Santo Domingo, 2011, p. 4); misma que se encuentra a aproximadamente 11 kilómetros del centro urbano de la ciudad de Santo Domingo. En la figura 11 se muestra la ubicación del área de estudio seleccionada.



Figura 11. Ubicación geográfica de El Poste

Explicación: ubicación de la comunidad Tsáchila de El Poste referente al centro urbano de la ciudad de Santo Domingo.

Tomado de: GAD Municipal Santo Domingo, 2011, p. 15.

2.1.2. Descripción general del área de experimental

La comunidad Tsáchila de El Poste se encuentra conformada por 475 habitantes distribuidos a lo largo de su territorio en viviendas hechas de bloque o madera, cuya gran mayoría cuenta con techos de zinc o paja. Toda la comunidad cuenta con luz eléctrica; sin embargo, son escasos los hogares que cuentan con servicios de saneamiento básico como letrinas o baños y agua de buena calidad (el agua disponible es entubada, carente de tratamiento previo).

En referencia a las prácticas de cocina de esta comunidad, se puede mencionar que estas aún son bastante tradicionales, ya que los habitantes de El Poste conciben a su manera de cocinar como una forma de preservar su cultura e identidad. Es por esta razón que la mayoría de los hogares de esta zona cuentan con un fogón artesanal de leña. A pesar de ello, también se ha optado por la utilización de tecnologías modernas y, con ello la presencia de cocinas o cocinetas a gas en sus labores diarias. Ahora, es importante señalar que la ubicación de las cocinas es un factor que ha sido tomado en cuenta, dado que muchas familias cuentan con una cocina de gas licuado de petróleo y un fogón abierto en el mismo lugar, siendo su ubicación al interior del hogar o en un cuarto alejado de la vivienda. Ante dicha situación es oportuno indicar las diferentes ubicaciones de cocinas observadas durante las visitas realizadas, mismas que han sido determinadas en relación al lugar donde duermen los individuos expuestos, y son: en el mismo cuarto, con una pared divisoria, en una estructura aparte y al aire libre (sin paredes).

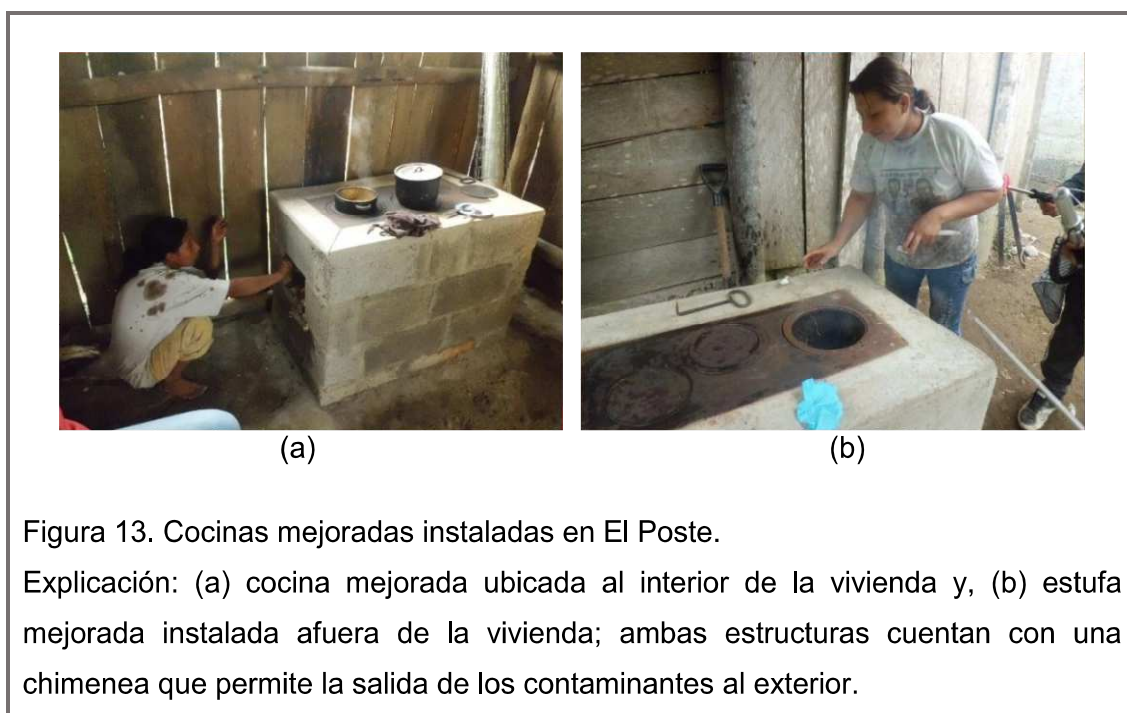
Las cocinas ubicadas en cuartos alejados de la casa tienden a ser estructuras de madera con techo de paja, mismo que permite filtrar en cierta manera el humo producido por la cocina artesanal. De igual manera, estos espacios cuentan con grandes aleros y aguilonos (espacios abiertos entre las paredes y techo) como medio de ventilación para el calor característico de la zona. La figura 12 nos proporciona una imagen de la variedad de formas y ubicaciones de los fogones encontrados en el área experimental.



Las mujeres, quienes son las encargadas de cocinar; así como los niños, niñas y adultos mayores que acompañan en estas labores a las madres son el grupo más vulnerable que se queja frecuentemente de ardor en sus ojos y tos continua, en especial durante la exposición al humo generado por la candela de las cocinas a leña. De acuerdo a la Dra. Katiusa Chávez, encargada del sub-centro de salud de la comunidad, la contaminación del aire interior de estos hogares ha sido la causa de muchos de los casos de enfermedad pulmonar obstructiva crónica o EPOC registrados en las mujeres Tsáchilas del lugar,

quienes han estado sometidas a la exposición del humo y contaminantes atmosféricos generados desde su niñez (FEDETA, 2013, p. 14).

Como ya se indicó, las cocinas mejoradas constituyen una alternativa para reducir la concentración de los contaminantes contenidos en el aire interior de las viviendas. La comunidad Tsáchila de El Poste cuenta con 30 estufas mejoradas que han sido implementadas por FEDETA dentro o fuera de los hogares. Con su instalación se prevé mejorar la salud de las personas expuestas, así como reducir los niveles de contaminantes en el aire interior de estas casas. La figura 13 exhibe dos fotografías de las cocinas mejoradas presentes en esta comunidad.



Es así que, para conocer la concentración de monóxido de carbono y material particulado presentes al interior de una muestra de las viviendas del área experimental, generados por cocinas artesanales y mejoradas; se han realizado tres monitoreos que nos han permitido generar una línea base de esta problemática en pequeñas comunidades de nuestro país.

2.1.3. Selección de la muestra

En primer lugar, es importante indicar que la población disponible para el presente estudio es de 95 casas que conforman la comunidad Tsáchila de El Poste. La instalación de las cocinas mejoradas generó el interés de participación de 30 hogares de esta comunidad que, comprende la muestra inicial.

Con la finalidad de reflejar en las mediciones a realizar una variación de un 30% a un nivel de confianza del 95%, se propone un estudio de muestras emparejadas sin control para comparar la evolución de los datos entre los valores obtenidos antes de la instalación de las cocinas mejoradas y después de las mismas, teniendo como resultado 28 muestras a ser monitoreadas de la siguiente manera: 14 casas antes (cocina artesanal) y 14 casas después (cocina mejorada).

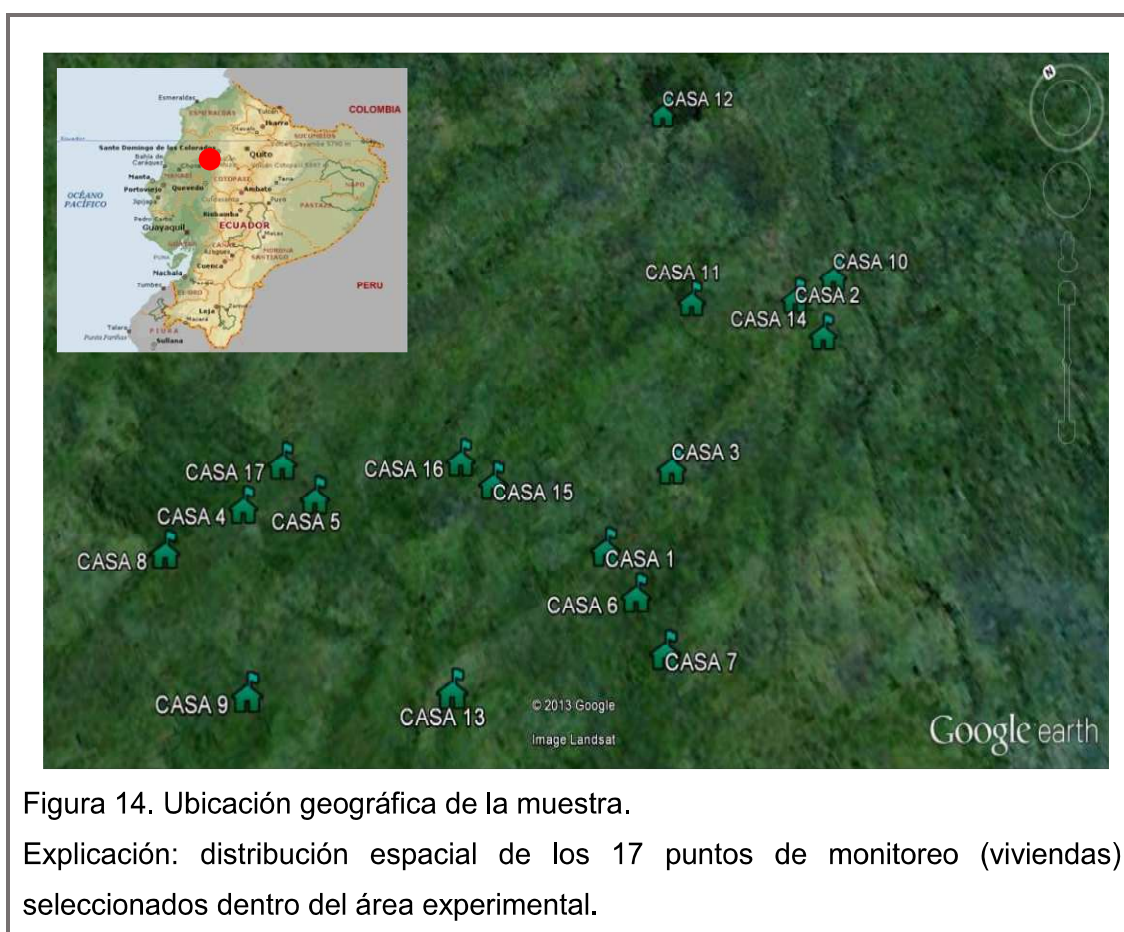
En base a esta premisa, el monitoreo inicial abarcó 17 casas con el fin de obtener los datos de una muestra representativa; 3 casas más de lo orientado por el cálculo previo realizado, para aprovechar la cercanía de estos 3 lugares a lo largo de la ruta planificada, dado que la dispersión de los hogares causó demoras por las dificultades de transporte y grandes distancias entre casa y casa. La ecuación 1 fue empleada para calcular el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{(z_{\alpha}Ns)^2}{E_T^2 + \frac{(z_{\alpha})^2}{2} Ns^2} \quad (\text{Ecuación 1})$$

En donde: n es el tamaño de la muestra; $\frac{z_{\alpha}}{2}$ es el coeficiente de la ley normal estándar; N es el número de elementos de la población; s es la desviación estándar de la muestra y, E_T es el error.

2.1.4. Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo

Durante la primera visita a la comunidad de El Poste, mediante la utilización de GPS, se levantaron las coordenadas geográficas de los 17 puntos de monitoreo y se las ingresó en el programa Google Maps con la finalidad de crear una distribución espacial palpable del área de estudio. A continuación se presenta la figura 14 con dicha representación.



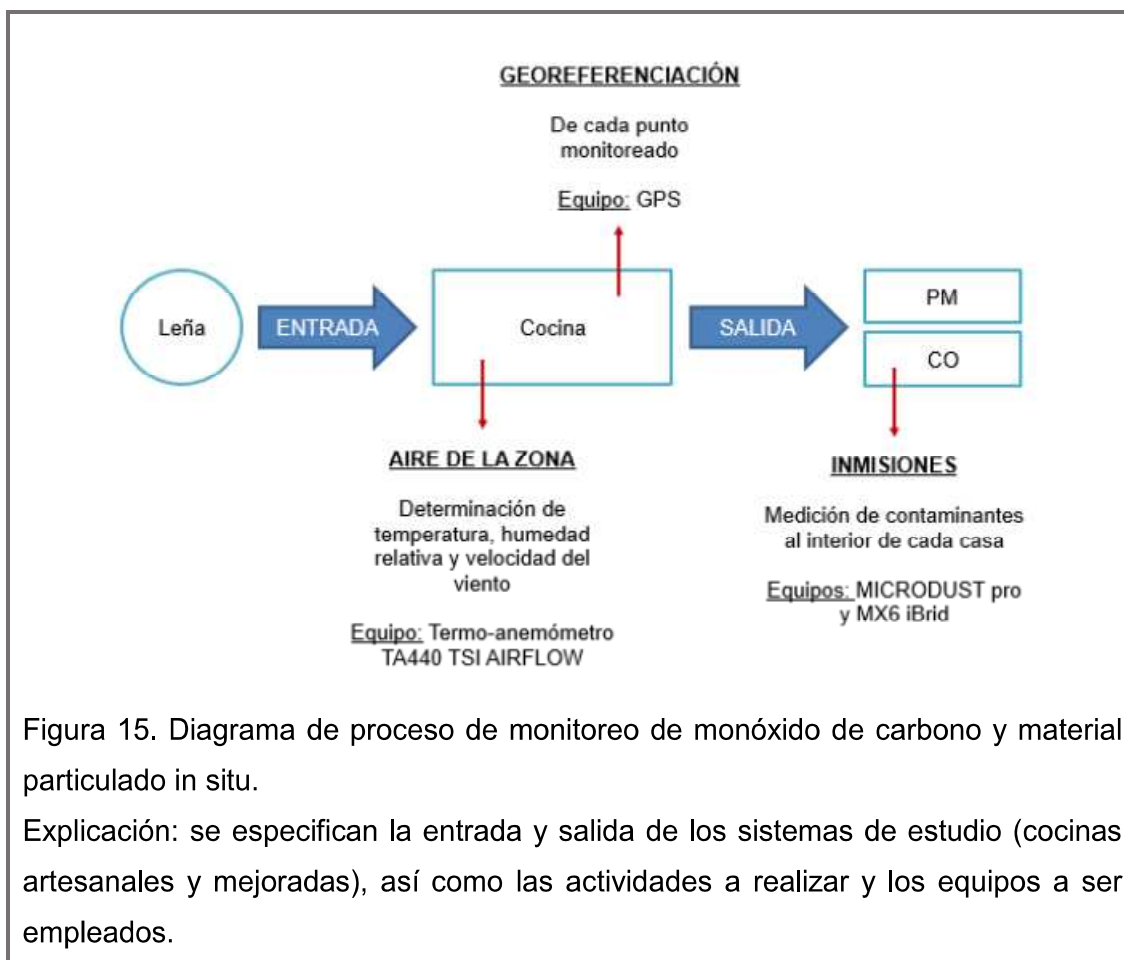
Se conformó una agrupación de cinco estudiantes, un docente y un guía comunitario para la ejecución de los tres monitoreos. Como se puede apreciar en la figura 14, las 17 viviendas monitoreadas tienen considerables distancias entre sí; por ello, se procedió a formar grupos de 5, 6 y 6 casas distribuidas para los tres días del primer monitoreo, dada la complejidad del estudio limitada por la movilización del grupo y equipos. Dicha configuración se mantuvo en la

primera y tercer visita a la comunidad; mientras que, para la segunda visita se consideraron únicamente 6 casas, cuyas concentraciones de contaminantes atmosféricos fueron las más altas registradas durante el primer monitoreo. Para culminar con la ubicación geográfica de los puntos de monitoreo, se incluyen los anexos 1, 2 y 3 que recopilan las coordenadas geográficas y códigos asignados de cada una de las casas monitoreadas durante las tres visitas de campo realizadas a la comunidad Tsáchila de El Poste.

Las actividades desarrolladas y sus observaciones han sido redactadas a detalle en el siguiente punto del presente capítulo.

2.2. MONITOREO ATMOSFÉRICO

Para la realización de los tres monitoreos programados se han empleado cuatro equipos de medición de gases de combustión, material particulado y condiciones atmosféricas que son propiedad del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Las Américas, y son: el termo-anemómetro TA440 TSI AIRFLOW para medir parámetros climatológicos como velocidad del viento, humedad relativa y temperatura del aire presente, el GPS GARMIN OREGON 550 para levantar las coordenadas geográficas de cada casa monitoreada, el MICRODUST pro para medir la concentración de material particulado y el monitor de gases múltiples MX6 iBrid para conocer la concentración de monóxido de carbono. La metodología del trabajo aquí presentado ha seguido la siguiente lógica:



2.2.1. Evaluación de la exposición

Los datos de este estudio fueron recogidos entre abril y julio de 2013, durante la finalización de la estación seca y el inicio de la temporada de invierno en la comunidad Tsáchila de El Poste. La recolección de datos tuvo lugar en 17 viviendas de la zona en las que se cumplieron con tres monitoreos atmosféricos, dos monitoreos puntuales de 1 hora y un monitoreo continuo con un período aproximado de 4 horas para cada hogar. Cada visita tuvo una duración de tres días para el desarrollo de la línea base de gases de combustión (material particulado y monóxido de carbono) emitidos en tres fases consideradas para esta investigación: antes del tratamiento (utilización de cocinas artesanales, primer monitoreo), durante el tratamiento (monitoreo continuo a casas con las mayores concentraciones registradas en la primera

medición, segundo monitoreo) y después del tratamiento (utilización de cocinas mejoradas, tercer monitoreo). Como se ha mencionado anteriormente, el trabajo aquí desarrollado se centra en el estudio particular de dos contaminantes gaseosos que inciden en la calidad del aire interior, su comportamiento ha sido analizado a través de la implementación de los siguientes métodos:

- **Monitoreo de concentración de material particulado:** las concentraciones con un diámetro aerodinámico menor a 10 micrómetros [μm] han sido medidas por un intervalo de tiempo en cada casa, utilizando el monitor de material particulado MICRODUST pro Aerosol Monitoring System. Los valores levantados corresponden a dos mediciones de datos útiles proporcionados por el equipo manipulado, que son: “P_{max}” o “Material Particulado Máximo” que es el valor que representa la concentración de aerosoles máxima que se ha registrado en un segundo desde que el instrumento fue encendido y, “P_{prom}” o “Material Particulado Promedio” correspondiente al valor medio del tiempo ponderado para las concentraciones de aerosoles promedio registradas desde que el instrumento fue encendido. Ambos valores fueron registrados en [mg/m^3] y forman la base de datos necesaria para la presentación y análisis de los resultados obtenidos.
- **Monitoreo de concentración de monóxido de carbono:** para este caso específico de estudio, con el monitoreo de concentración de monóxido de carbono se ha empleado el monitor de gases múltiples MX6 iBrid. En función del sensor instalado, el registro de datos facilitado por el equipo concierne a CO en [ppm] logrados en un determinado intervalo de tiempo en cada casa monitoreada, información que se verá reflejada en capítulos posteriores.

En este punto, es importante incluir la tabla 6, que otorga una visión mucho más abierta y sintetizada de los datos a obtener en cada visita al área experimental.

Tabla 6. Tabla de datos, monitoreos atmosféricos.

MONITOREOS ATMOSFÉRICOS					
N° Casas	t Exposición [min]	Fecha	Pmmax [mg/m ³]	Pmprom [mg/m ³]	CO [ppm]
1	60 minutos (primer y tercer monitoreo)	Abril - Julio 2013	X1	Y1	Z1
2			X2	Y2	Z2
3			X3	Y3	Z3
4			X4	Y4	Z4
5			X5	Y5	Z5
6			X6	Y6	Z6
7	X7		Y7	Z7	
8	240 minutos aproximadamente (segundo monitoreo, 6 casas)		X8	Y8	Z8
9			X9	Y9	Z9
10			X10	Y10	Z10
11			X11	Y11	Z11
12			X12	Y12	Z12
13			X13	Y13	Z13
14			X14	Y14	Z14
15			X15	Y15	Z15
16			X16	Y16	Z16
17			X17	Y17	Z17

Nota Explicativa: se presenta el listado de los datos a obtener: Pmmax, Pmprom y CO; durante la realización de los tres monitoreos atmosféricos en la muestra seleccionada.

Las mediciones han sido destinadas a caracterizar la exposición mientras las mujeres se encuentran en la cocina; mientras que las mediciones alejadas de la cocina, han sido designadas para medir la calidad del aire al interior de la casa donde se encuentran los restantes miembros de la familia.

Basados en la información recopilada, se estableció el criterio de microambientes con el fin de conocer los niveles de contaminación interior; para ello, los miembros del grupo de monitoreo se ubicaron con los equipos, aproximadamente a 1,40 [m] del suelo, en el interior del área considerada como cocina y en los lugares alrededor de la misma, cerca de las personas expuestas al humo producido por la cocina artesanal, para conseguir datos que

nos permitan evaluar la exposición de las personas sometidas a estos contaminantes.

Las condiciones climáticas del lugar fueron medidas en cada casa monitoreada (durante las tres visitas) en intervalos de 15 minutos a lo largo del periodo considerado para cada caso de monitoreo, con el propósito de conocer su influencia en la concentración de los gases contaminantes al interior de las viviendas.

También, es importante destacar que para mantener un apropiado control de la calidad de los datos conseguidos, la calibración en cero del equipo se realizó al inicio y al final de la jornada diaria de monitoreo, más adelante se hablará en detalle acerca de este proceso. En breve, se describe la metodología de recolección de datos aplicada mientras se efectuaron las mediciones, en las que se desarrollaron las siguientes actividades:

2.2.1.1. Primer Monitoreo

Este monitoreo trabajó con la totalidad de la muestra, 17 casas que fueron monitoreadas durante un periodo de tres días. El primer día se monitorearon 5 casas, el segundo día 6 casas y el tercer días 6 casas de igual manera, coincidiendo las mediciones con las horas en que las personas cocinan habitualmente, esto fue durante la preparación del desayuno, almuerzo o merienda.

De manera complementaria, durante el desarrollo del primer monitoreo en la comunidad, se recogió información relativa a cada vivienda, como: área de la cocina, tipo y volumen de combustible utilizado, medios de ventilación, número de ventanas, puertas y paredes; recopilados en dos registros preparados para el este monitoreo.

En los diferentes puntos de monitoreo, desde el inicio del proceso de cocción se realizaron 33 mediciones en 1 hora de monitoreo por casa con intervalos de 2 minutos entre cada medición, con el propósito de obtener un grupo de datos

consistentes. Estos datos fueron recopilados de manera manual en las hojas de registro antes descritas; de igual manera, el historial de mediciones fue guardado automáticamente en el equipo. La figura 16 resume el monitoreo ejecutado en la primera muestra seleccionada



Una vez compilados los primeros datos, se procedió a realizar un análisis de los mismos mediante la comparación de las gráficas elaboradas con los datos logrados. De manera que, para el segundo monitoreo se escogieron 6 casas de la muestra inicial que presentaron las concentraciones más altas de

contaminación interior para ser evaluadas por segunda vez a través de un monitoreo continuo de una duración aproximada de 4 horas.

2.2.1.2. Segundo Monitoreo

Para el segundo monitoreo se contó con una muestra inicial de 6 casas, mismas que presentaron las concentraciones más altas registradas en el primer monitoreo. Estas 6 viviendas fueron también escogidas por contar con la presencia de la cocina artesanal al interior de una habitación (2 casos con la cocina presente en una estructura separada de la casa y 4 casos con el fogón ubicado dentro de la vivienda), cuya concentración de gases y aerosoles contaminantes influye directamente en los microambientes presentes en las casas, donde usualmente pasan el tiempo niños y demás integrantes de la familia, mientras las mujeres cocinan.

Dicho monitoreo tuvo una duración de 3 días en los cuales se monitorearon 2 casas por fecha, coincidiendo de igual manera con los horarios de cocción de los alimentos. La figura 17 recopila varias fotografías del trabajo de campo llevado a cabo en esta ocasión.



Esta vez se efectuó un monitoreo continuo, con períodos de medición que oscilaron entre 3 y 4 horas aproximadamente, con intervalos de 2 minutos entre cada medición que fueron realizados durante las horas en que estas familias usualmente preparan sus alimentos, iniciando a las seis de la mañana y concluyendo esta labor entre las seis de la tarde, razón por la cual se monitorearon 2 casas por día para cubrir los horarios en cada casa visitada esta vez. Se lograron entre 93 y 124 datos por casa, que serán analizados más adelante.

2.2.1.3. Tercer Monitoreo

En este punto es significativo mencionar que durante la primera visita se monitorearon las cocinas artesanales de la muestra previamente seleccionada (antes del tratamiento). En función de ello y para contrastar los datos obtenidos, se realizó una tercera visita; esta vez con el interés de monitorear el monóxido de carbono y material particulado emitidos por las cocinas mejoradas instaladas (después del tratamiento) en la comunidad Tsáchila de El Poste.

En el monitoreo final, se trabajó nuevamente con la muestra inicial conformada por 17 casas; sin embargo 3 casas de las antes consideradas fueron cambiadas por tres casas nuevas dado que la instalación de la cocina mejorada aún no había sido finalizada, motivo por el cual no se encontraban en funcionamiento. De estas solo se incluirán los resultados conseguidos como evidencia de la eficiencia de la implementación de las cocinas mejoradas en la comunidad. La figura 18 muestra varias de las actividades realizadas durante este monitoreo.



Figura 18. Tercer monitoreo atmosférico realizado en la comunidad de El Poste. Explicación: (a) Monitoreo de cocina mejorada ubicada al exterior de la vivienda, (b) uso del MICRODUST pro para las mediciones de PM (c) equipo de monitoreo con cocina mejorada ubicada al interior de la vivienda y, (d) manipulación del MX6 iBrid para la toma de datos de CO.

Al igual que en los monitoreos anteriores, este tuvo una duración de tres días. El primer día se monitorearon 5 casas, el segundo día 6 casas y el tercer días 6 casas en horario de preparación de las comidas de cada familia. Nuevamente el período tomado para el monitoreo fue de 1 hora por casa con intervalos de 5 minutos entre cada medición, consiguiendo así un total de 13 mediciones que nos permiten contrastar los resultados obtenidos en las anteriores visitas.

2.2.2. Aseguramiento de la calidad

Para cumplir con los objetivos de medición, los equipos deben encontrarse en las óptimas condiciones de operación. Ello se logra a través de rutinas de mantenimiento preventivo y una correcta manipulación de los mismos. Asimismo, el proceso de calibración es fundamental para que los datos levantados se encuentren dentro del rango especificado por cada instrumento.

Como ya se mencionó, el proceso de calibración de los equipos empleados fue realizado de manera diaria, antes de iniciar las actividades de monitoreo y cuando estas finalizaron; además, cabe resaltar que estos equipos son prácticamente nuevos y fueron calibrados antes de iniciar las actividades de monitoreo a nivel laboratorio. A continuación, se detalla el proceso realizado de acuerdo a lo sugerido por la casa comercial de cada equipo. Además se insertan en los anexos 4, 5 y 6 los certificados de calibración de cada equipo utilizado con la intención de avalar la certidumbre de los datos levantados en este trabajo de investigación.

2.2.2.1. Calibración

2.2.2.1.1. MICRODUST pro Aerosol Monitoring System

CASELLA CEL, sugiere realizar la calibración del MICRODUST pro antes de utilizarlo en cualquier tipo de medición, comprobando que el mismo se encuentre calibrado a cero y que su control de sensibilidad este correctamente ajustado. En función de lo indicado por la casa comercial, el procedimiento de calibración ejecutado fue el siguiente:

Abrir el menú principal y escoger la opción de calibración y la opción SET - ZERO. Posterior a ello, se procedió a ingresar la sonda de aire limpio, presionando la bomba manual de 5 a 6 veces y se esperó la estabilización del valor en la pantalla que debe ser 0,001. Luego, se colocó el filtro de calibración

en la cámara de medición (con la flecha debe apuntando hacia la zona de mando), se presionó ENTER y se esperó unos segundos hasta que se estabilice la lectura que debe estar dentro de ± 1 . Finalmente, se registró el nombre de la partícula a medir para iniciar un nuevo monitoreo.



2.2.2.1.2. Monitor de gases múltiples MX6 iBrid

INDUSTRIAL SCIENTIFIC CORPORATION, recomienda la realización de la prueba funcional o prueba de impacto cada vez que se vaya a manipular el monitor de gases múltiples MX6 iBrid; exponiendo brevemente al monitor a una concentración de gases para probar el sensor y la alarma del equipo. Asimismo, en relación a lo indicado por la casa comercial, cuando el equipo no superó la prueba de impacto, el procedimiento de calibración efectuado fue el descrito a continuación:

Seleccionar la opción SENSOR del menú principal, escoger la opción TODOS CERO y pulsar el botón OK para iniciar la puesta en cero de los sensores. Posterior a ello, en el menú principal elegir la opción CALIBRAR (el monitor indica la aplicación de cada gas de calibración al instrumento); cada gas debe

ser aplicado con un caudal de 0,5 litros por minuto [lpm] en un máximo de 5 minutos. Al final de la calibración se mostrará en la pantalla los resultados de los 6 sensores. El primer gas de calibración cuenta con los siguientes componentes y sus concentraciones respectivamente: sulfuro de hidrógeno con 25 [ppm], monóxido de carbono con 100 [ppm], pentano con 25%, oxígeno con 19% y nitrógeno en equilibrio; mientras que el segundo gas de calibración está conformado por isobutileno con 100 [ppm] y aire en equilibrio. La figura 20 muestra los principales pasos seguidos durante la realización de este procedimiento.

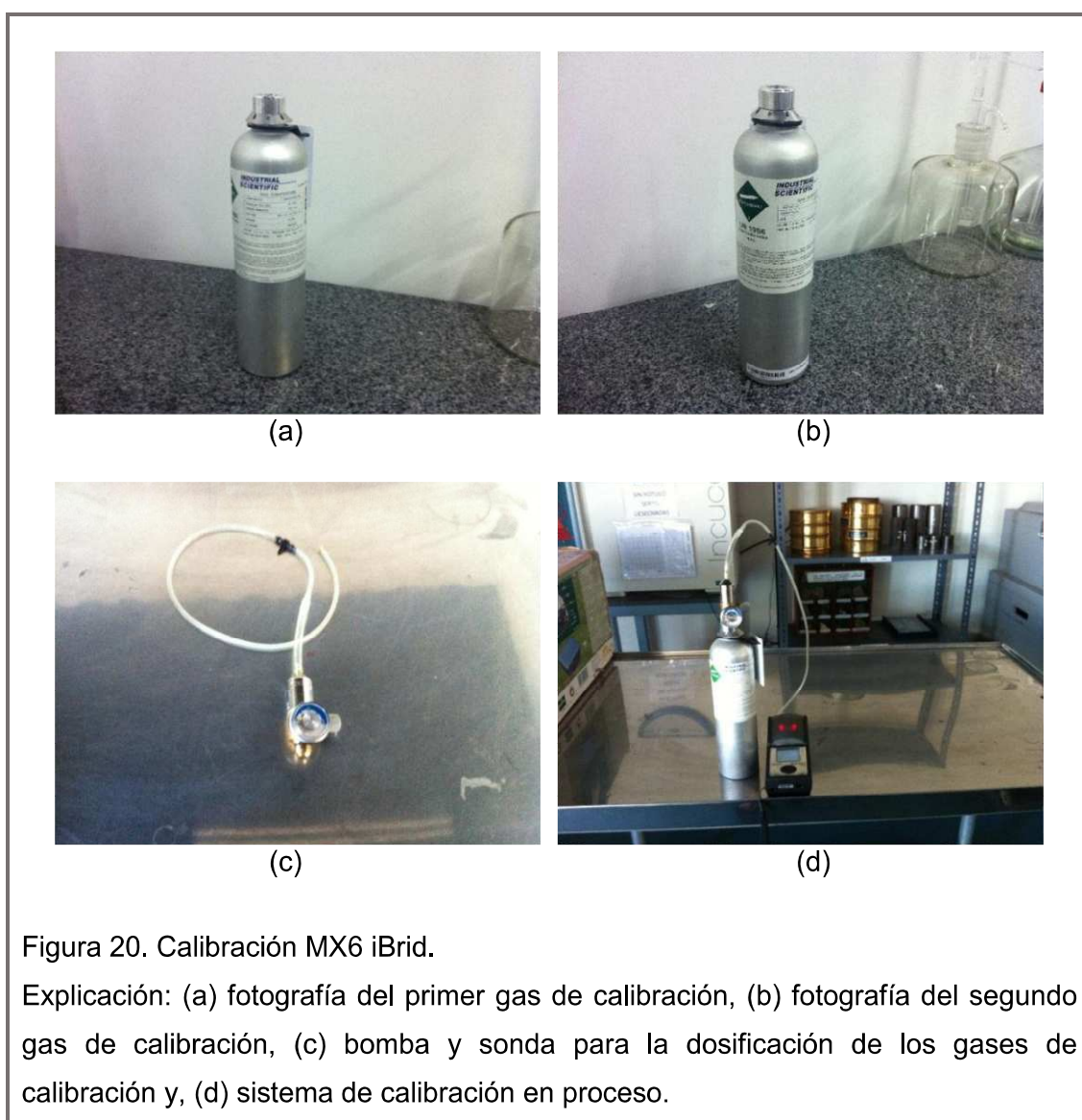


Figura 20. Calibración MX6 iBrid.

Explicación: (a) fotografía del primer gas de calibración, (b) fotografía del segundo gas de calibración, (c) bomba y sonda para la dosificación de los gases de calibración y, (d) sistema de calibración en proceso.

2.2.2.2. Registros

Como parte del monitoreo atmosférico se ha contemplado la elaboración de registros en los que se documente la recopilación de datos en campo, ya sean valores numéricos de la concentración de contaminantes, datos técnicos observados por el investigador o la información compartida por los habitantes de esta comunidad; con el fin de generar mayor conocimiento de la situación real y específica que la población vive. Toda la información levantada, posteriormente pasará a ser digitalizada por la facilidad de su manipulación a través de programas especializados.

2.2.3. Creación de base de datos

La información registrada, tanto la correspondiente a los monitoreos atmosféricos realizados como la relativa a las características propias de cada vivienda considerada para la fase experimental de este trabajo de investigación, fue asentada de manera manual durante el desarrollo de la etapa de monitoreos.

Para efecto de su análisis, dicha información ha sido compilada en hojas de cálculo de Excel. Estos registros serán importados al programa R Project® versión 3.0.1, programa de software libre muy utilizado en investigación de tipo estadística, que ha permitido la elaboración de gráficas para la presentación y análisis de los datos obtenidos. Las concentraciones de monóxido de carbono y material particulado han sido presentadas a través de representaciones creadas para mostrar todos los datos de exposición por intervalos recogidos en cada hogar (escala global); del mismo modo, existen gráficas comparativas que reflejan los niveles de concentración de contaminantes al interior de las viviendas con y sin la instalación de una cocina mejorada. Del mismo modo se empleó el software estadístico Design-Expert® versión 9, para la elaboración del diseño experimental.

2.2.4. Manejo de unidades y normativa legal relacionada

Los equipos empleados durante los monitoreos de material particulado y monóxido de carbono proporcionaron medidas en miligramos por metro cúbico [mg/m^3] y partes por millón [ppm], respectivamente. De acuerdo a las concentraciones de referencia señaladas en el apartado 1.4. Normativa Nacional e Internacional relacionada del capítulo 1 contenido en el presente trabajo de titulación; las unidades han sido modificadas en función a los valores establecidos por diferentes autores y organismos como la OMS y CEPIS/OPS. Es por esta razón que la unidad del material particulado ha sido transformada a microgramos por metro cúbico [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], aplicando el factor de conversión 1 miligramo es igual a 1.000 microgramos, con el objetivo de presentar, analizar y comparar los datos obtenidos con estudios afines en condiciones equivalentes.

Con respecto a la normativa legal relacionada se subraya la importancia de comparar los valores logrados durante los monitoreos atmosféricos con los valores referenciales citados en este marco referencial; atendiendo a los tiempos de exposición considerados por las “Guías de Calidad del Aire” elaboradas por la OMS, así como los valores de concentración de PM y CO de investigaciones similares.

2.3. COMBUSTIBLE

Para conocer a mayor profundidad al combustible sólido empleado por la comunidad Tsáchila de El Poste, se ha desarrollado el estudio del contenido de humedad y poder calorífico de las dos especies de árboles empleadas como leña, con el fin de evaluar su influencia durante el proceso de combustión y, la elaboración de un balance energético para obtener valores de aprovechamiento y de desperdicio de energía que poseen los sistemas estudiados; para conseguirlo se han realizado pruebas experimentales en campo y ensayos de laboratorio. Se utilizaron las instalaciones del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de las Américas y del Laboratorio de

Conversión y Energía del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército, quienes facilitaron el uso de la bomba calorimétrica adiabática que posee dicho centro. Esta vez, la metodología de trabajo siguió la siguiente lógica:

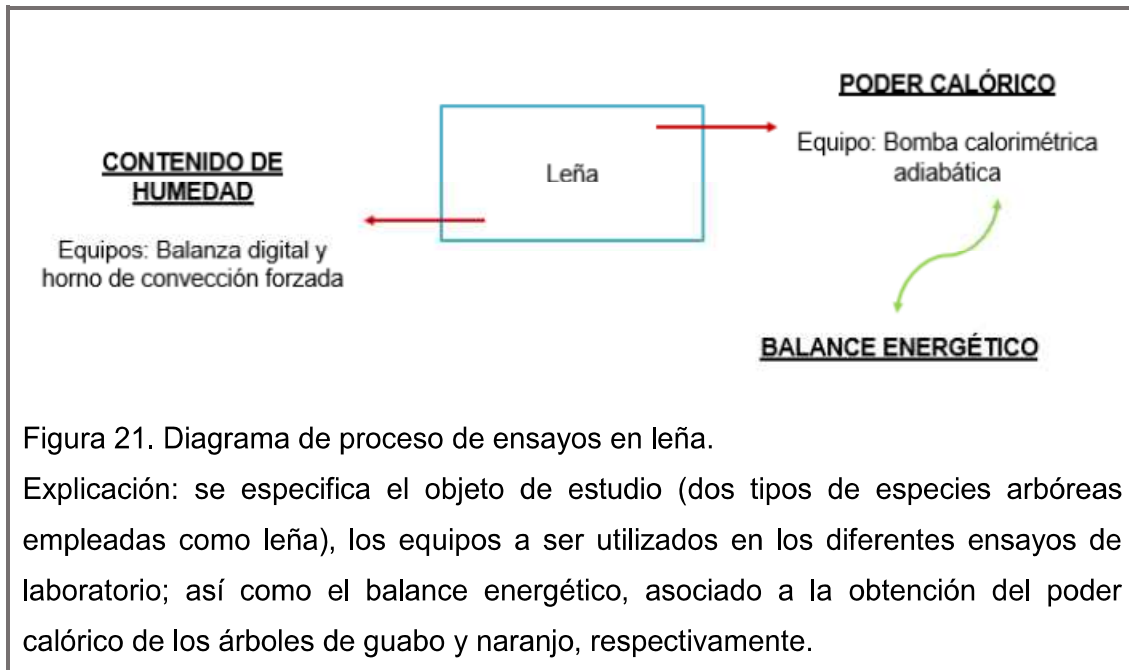


Figura 21. Diagrama de proceso de ensayos en leña.

Explicación: se especifica el objeto de estudio (dos tipos de especies arbóreas empleadas como leña), los equipos a ser utilizados en los diferentes ensayos de laboratorio; así como el balance energético, asociado a la obtención del poder calórico de los árboles de guabo y naranjo, respectivamente.

2.3.1. Ensayos en laboratorio

2.3.1.1. Determinación del contenido de humedad

En la determinación del contenido de humedad se utilizaron 6 muestras de leña que fueron recolectadas durante la realización del primer monitoreo atmosférico. Se trabajó con 3 muestras de leña de guabo y 3 muestras de leña de naranjo. Este ensayo involucró la utilización de dos equipos: balanza digital de laboratorio y horno de convección forzada marca WiseVen.

Los valores del contenido de humedad fueron obtenidos de manera experimental, para ello se empleó el método gravimétrico o por diferencia de peso citado por Córdoba (2005, pp. 2 - 3):

En primer lugar, se colocó cada caja Petri empleada (medio para alojar a las muestras en el horno) sobre la balanza digital y se procedió a encerarla. Ahora, para obtener el peso inicial de las muestras de leña, se cortaron las muestras de madera y se las pesó en una balanza digital. Luego, se colocaron las muestras sobre las 6 cajas Petri y, se procedió a ingresarlas en el horno de convección forzada a una temperatura de 105°C durante 48 horas; una vez concluido este tiempo, se dejó enfriar las muestras y se las pesó nuevamente.

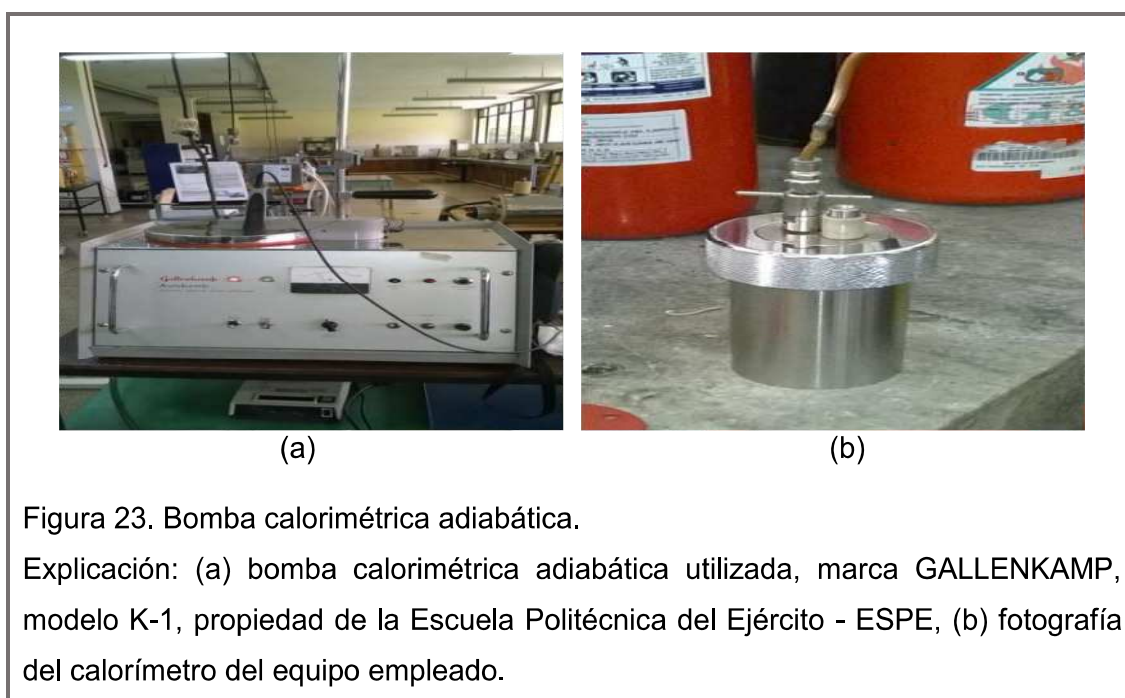


Figura 22. Ensayo de laboratorio para la obtención del contenido de humedad.
Explicación: (a) balanza encerada, luego de la colocación de cada caja Petri, (b) pesaje de las muestras de leña, (c) fotografía del horno de convección forzada y, (d) muestras de leña al interior de la estufa.

2.3.1.2. Determinación del poder calórico

Ya lo dijo Fernández (2013, p. 2), el poder calorífico se define como “la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse de forma completa”. Se ha determinado experimentalmente el poder calórico entregado por el combustible sólido empleado en la comunidad Tsáchila El Poste, leña de guabo y naranja, a través de ensayos de laboratorio en una bomba calorimétrica adiabática.

Brevemente, se explica que una bomba calorimétrica es un instrumento utilizado para realizar combustiones. Consiste en un recipiente de acero cerrado, en el que se inyecta oxígeno a presión para alimentar el proceso de combustión, producido por acción de una resistencia eléctrica. El calorímetro es el principal elemento de este equipo en la determinación del poder calorífico, ya que aquí es donde se realiza la combustión tanto de la pastilla de ácido benzoico (compuesto para el enceramamiento del equipo) como de las muestras de guabo y naranja (Buenaño, 2014). La figura 23 indica la bomba calorimétrica adiabática utilizada.



Cada dato a obtener, en referencia al combustible sólido analizado y al ácido benzoico (empleado para equilibrar y preparar a la bomba calorimétrica adiabática), se incluyen en las tablas 7 y 8.

Tabla 7. Tabla de datos, ácido benzoico.

ÁCIDO BENZOICO		
N°	Dato a encontrar	Unidad
1	Valor calórico del ácido benzoico	[J/g]
2	Peso del ácido benzoico quemado	[g]
3	Energía liberada por el ácido	[J]
4	Temperatura inicial	[°C]
5	Temperatura final	[°C]
6	Elevación de la temperatura	[°C]
7	Capacidad calórica total del aparato	[J/°C]

Nota Explicativa: se presenta el listado de los datos a obtener de las pastillas de ácido benzoico empleadas en la preparación del equipo para cada ensayo.

Tabla 8. Tabla de datos, briquetas de guabo y naranjo.

BRIQUETAS DE GUABO Y NARANJO		
N°	Dato a encontrar	Unidad
8	Peso de la porta muestras	[g]
9	Peso porta muestras incluida la briqueeta	[g]
10	Peso del combustible (briqueeta)	[g]
11	Temperatura inicial	[°C]
12	Temperatura final	[°C]
13	Elevación de la temperatura	[°C]
14	Energía total liberada	[J]
15	Valor calórico de la muestra	[J/g]

Nota Explicativa: se detalla el listado de datos a obtener por cada briqueeta de guabo y naranjo analizada. La temperatura de inicio corresponde al momento en que se equilibró el equipo, mientras que la temperatura final a la combustión de la muestra.

Se recogieron muestras de guabo y naranjo, que fue el tipo de leña empleada en las 17 casas monitoreadas. De ellas se analizaron 6 muestras de naranjo y 7 de guabo, completamente secas, siendo 13 un número de muestras representativas para este estudio.

El procedimiento a seguir en función de lo establecido por el protocolo de ensayos del Laboratorio de Conversión y Energía de la ESPE, fue el siguiente:

En primer lugar, se procedió a acondicionar el equipo, preparando una pastilla de ácido benzoico en condiciones normales y con un peso exacto de 1 gramo; se colocó el gramo de ácido en la prensa y se elaboró la pastilla. Luego, se preparó la balanza digital, encerándola y colocando la pastilla previamente preparada de ácido benzoico; asimismo, se preparó el porta muestra (limpiándolo de cualquier impureza) y se colocó sobre él la pastilla. Finalmente, se ubicó el porta muestras en el calorímetro, colgando un pedazo de piola en el alambre, con el fin de que tope la pastilla y/o muestra que vaya a ser experimentada.

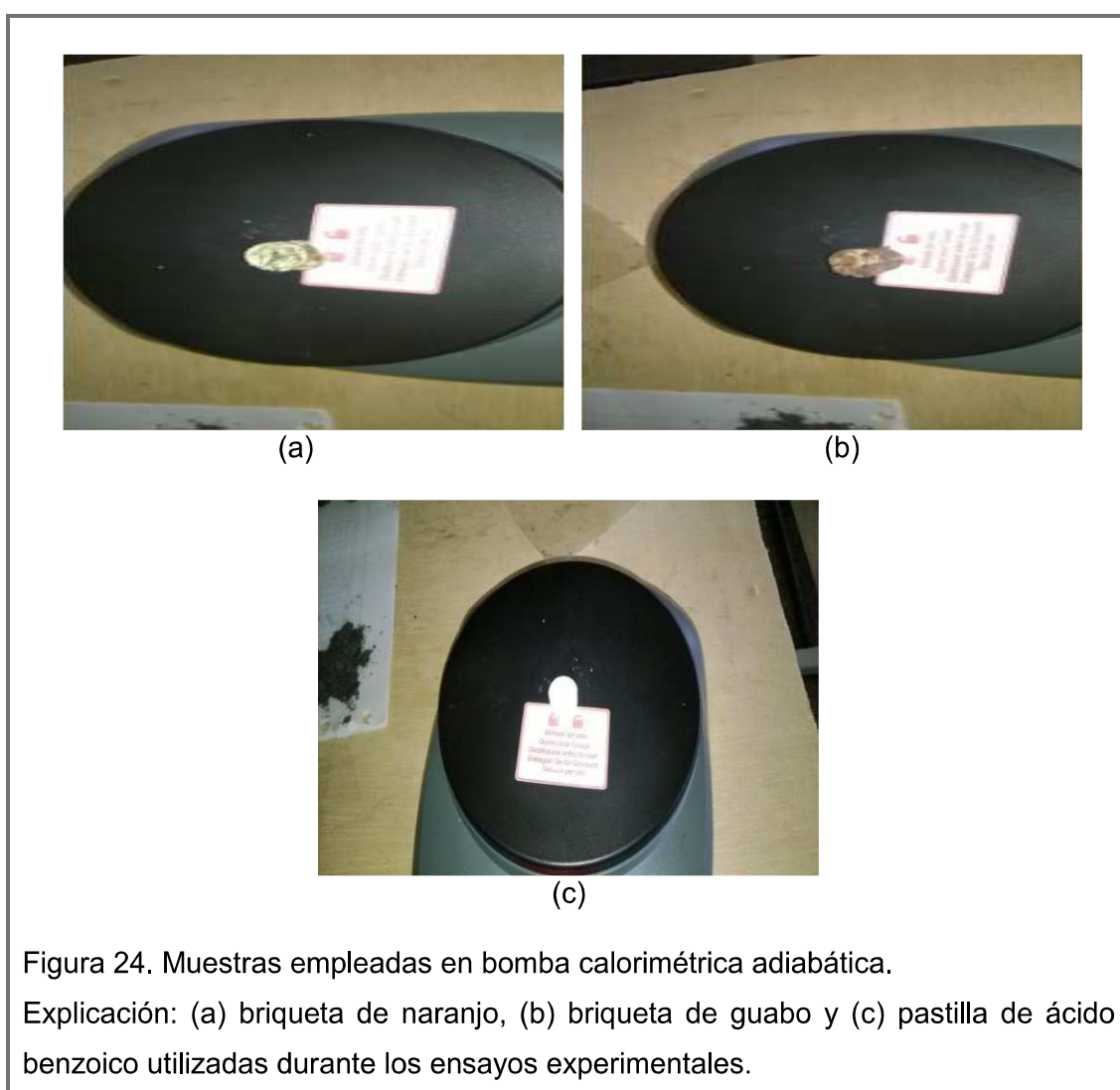
El siguiente paso consistió en colocar un alambre entre los dos terminales de los termistores de la tapa del cilindro de la bomba calorimétrica adiabática con el propósito de cerrar el circuito de la resistencia. Rápidamente, se limpió el cilindro adiabático para colocar una gota de agua; se cerró el equipo (procurando una forma hermética). Una vez cerrada, se inyectó 15 bares de oxígeno durante 40 segundos dentro del cilindro; inmediatamente, se introdujo el vaso calorimétrico en un recipiente porta muestras con agua a 21°C, de manera que se cubra en su totalidad hasta la tapa del cilindro.

Posterior a esto, se introdujo el mismo recipiente en una camisa que contiene agua destilada con bicarbonato (todo espacio que quede libre entre el recipiente y la camisa debió ser llenado con agua a 21°C); ahí, se colocaron dos termómetros, el primero en la camisa con agua destilada y el segundo sumergido en el agua junto al recipiente.

Se encendió el equipo y se esperó a que las temperaturas de ambos termómetros se nivelen y se cierra el circuito, mismo que hace que se realice la

combustión en el calorímetro. Una vez que la temperatura llegó a su punto más alto y comenzó a descender, se procedió a la toma de datos de cada muestra. El mismo procedimiento fue aplicado para el inicio del estudio del poder calórico de las muestras de guabo y naranjo (transformadas en briquetas o pastillas en la prensa para su combustión).

La figura 24 recopila fotografías de las muestras analizadas en la bomba calorimétrica adiabática, así como el modelo de pastilla de ácido benzoico empleada.



2.3.2. Cálculos

2.3.2.1. Humedad

El contenido de humedad (CH) se entiende como el peso de la cantidad de agua presente en una pieza de leña, esta puede ser definida como la relación porcentual del peso del agua contenida en una pieza de madera, respecto a su peso seco o desprovisto de agua; dicha concordancia puede verse reflejada en la ecuación 2 empleada por Viscarra (1998, p. II - 5) utilizada para obtener el CH de las muestras de árboles de guaba y naranjo recogidas durante la realización de los monitoreos.

$$CH = \frac{P_H - P_O}{P_O} \times 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

En donde: CH es el contenido de la humedad de la madera en [%]; P_H es el peso de la madera húmeda o peso inicial en [g] y, P_O es el peso de la madera seca o peso final en [g].

2.3.2.2. Poder calórico por especie

Una vez finalizado el ensayo de laboratorio en la bomba calorimétrica adiabática, se procedió a utilizar las fórmulas descritas en breve, para obtener los valores previamente descritos en las tablas 7 y 8, hasta llegar al valor calórico de cada muestra analizada. Para calcular la energía liberada por el ácido benzoico a ser utilizado en el proceso de calibración del equipo, se empleó la ecuación 3:

$$E_{AB} = VC_{AB} \times P_{ABQ} \quad (\text{Ecuación 3})$$

En donde: E_{AB} es la energía liberada por el ácido benzoico en [J]; VC_{AB} es el valor calórico del ácido benzoico en [J/g] y, P_{ABQ} es el peso del ácido benzoico quemado en [g].

Para obtener la variación de temperatura lograda durante el proceso de combustión de la pastilla se utilizó la ecuación 4:

$$\Delta T_{AB} = T_{f_{AB}} - T_{i_{AB}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

En donde: ΔT_{AB} es la variación de la temperatura en [°C]; $T_{f_{AB}}$ es la temperatura final de la combustión del ácido benzoico en [°C] y, $T_{i_{AB}}$ es la temperatura inicial de la combustión de la pastilla en [°C].

Por último, para calcular la capacidad calórica total del equipo se procedió a aplicar la ecuación 5:

$$Q_B = \frac{E_{AB}}{\Delta T_{AB}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

En donde: Q_B es la capacidad calórica total de la bomba calorimétrica adiabática en [J/°C]; E_{AB} es la energía liberada por el ácido benzoico en [J] y ΔT_{AB} es la variación de la temperatura en [°C].

Ahora bien, para obtener los datos de las briquetas de naranjo y guaba se calculó en primer lugar, el peso total del combustible; a través de la utilización de la ecuación 6:

$$m_C = m_{PB} - m_P \quad (\text{Ecuación 6})$$

En donde: m_C es el peso total del combustible en [g]; m_{PB} es el peso de la porta muestras más la briqueleta en [g] y, m_P es el peso de la porta muestras únicamente en [g].

Para obtener la variación de temperatura lograda durante el proceso de combustión de cada muestra de leña se utilizó la ecuación 7:

$$\Delta T_C = T_{f_C} - T_{i_C} \quad (\text{Ecuación 7})$$

En donde: ΔT_C es la variación de la temperatura en [°C]; T_{f_C} es la temperatura final de la combustión de la briqueta de guabo o naranja en [°C] y, T_{i_C} es la temperatura inicial de la combustión de la muestra de leña estudiada en [°C].

Para conocer la energía total liberada por la combustión de cada briqueta, se aplicó la ecuación 8:

$$E_C = \Delta T_C \times Q_B \quad (\text{Ecuación 8})$$

En donde: E_C es la energía total liberada por el combustible sólido en [J]; ΔT_C es la variación de la temperatura en [°C] y, Q_B es la capacidad calórica total de la bomba calorimétrica adiabática en [J/°C].

Al obtener el valor calórico de cada muestra de combustible sólido (briqueta de guabo o naranja) se empleó la ecuación 9:

$$Q_C = \frac{E_C}{m_C} \quad (\text{Ecuación 9})$$

En donde: Q_C es el calor calórico de la muestra de leña en [J/g]; E_C es la energía total liberada por el combustible sólido en [J] y, m_C es el peso total del combustible en [g].

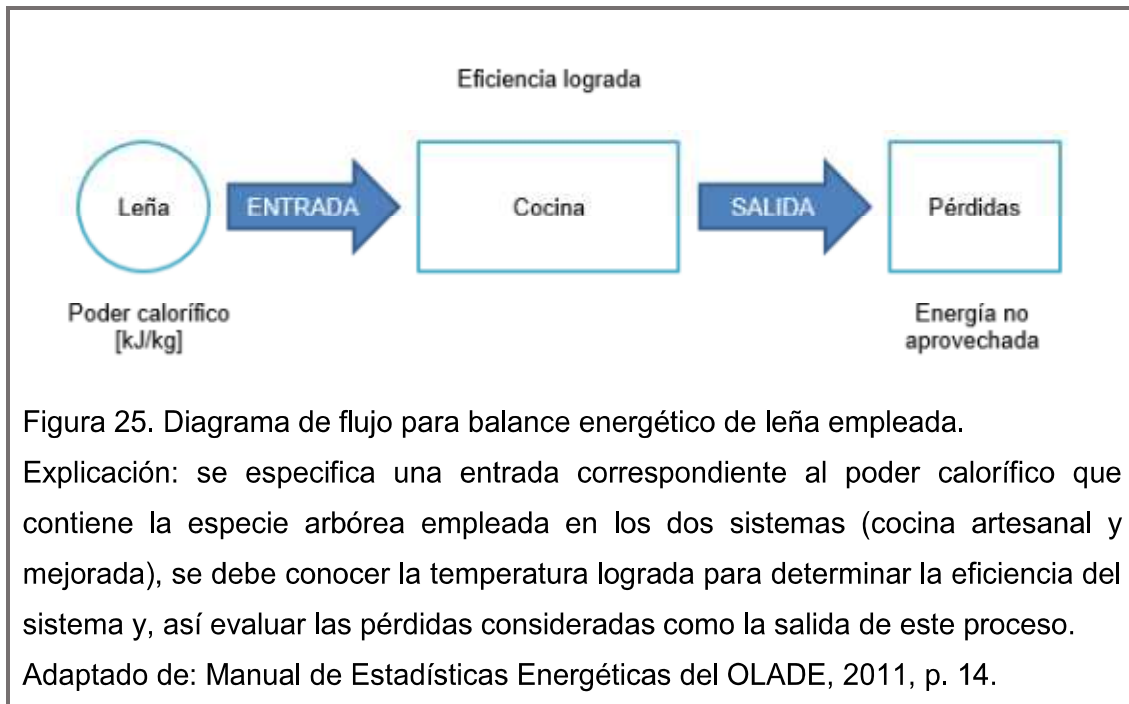
Para concluir, se tendrán seis valores correspondientes al valor calórico de las muestras de naranja y siete valores relacionados al poder calórico de las muestras de guabo. Para ello se utilizó la ecuación 10 para el cálculo de la media aritmética y, así conseguir el valor total promedio del poder calórico de cada especie de árbol utilizada como leña en el área de estudio.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N} \quad (\text{Ecuación 10})$$

En donde: \bar{X} es la media aritmética; $\sum_{i=1}^n X_i$ es la sumatoria de los datos obtenidos y, N es el número total de datos resultantes de la experimentación.

2.3.3. Balance energético

Al quemar un combustible sólido se libera calor que es aprovechado como energía térmica. Sin embargo, existen desperdicios de energía que no permiten al sistema alcanzar su máxima eficiencia. Para conocer el aprovechamiento energético de la leña empleada en cocinas artesanales y mejoradas de la comunidad Tsáchila de El Poste, se propone la elaboración de un balance energético. La figura 25 representa gráficamente el flujo energético considerado para la realización de un balance de energía del combustible sólido empleado; esto con el fin de conocer los valores propios de las cocinas del lugar de estudio correspondientes al poder calorífico de las dos especies de árboles empleadas, la eficiencia del sistema y la cantidad de energía no aprovechada durante el proceso de combustión.



Previamente, se fijaron ambos sistemas como cerrados, dado que no existe intercambio de masa a través de sus fronteras durante el proceso de combustión. Como la energía no se crea ni se destruye, en términos de generación y consumo de un balance general autores como Felder y Rousseau (2004, pp. 318 - 319) postulan la ecuación 11 para comprender este concepto de mejor manera:

$$E_{final} del sistema - E_{inicial} del sistema = E_{Neta} transferida al sistema \quad (Ecuación 11)$$

Aquí, el valor final es igual a la cantidad balanceada o energía del sistema, menos el valor inicial registrado para el proceso. Con esto, en términos un poco más específicos para el presente caso de estudio, se puede citar la ecuación 12 que ha permitido obtener la acumulación energética de ambos sistemas:

$$Q_A + Q_P = Q_C \quad (Ecuación 12)$$

En donde: Q_A es el calor aprovechable en [kJ]; Q_P es el calor perdido en [kJ] y, Q_C es el calor total o energía total del combustible empleado en [kJ].

Para determinar la energía entregada por el combustible sólido, se utilizó la ecuación 13 propuesta por Martínez y Álvarez (2006, p. 92):

$$Q_C = m_C \times P_C \quad (\text{Ecuación 13})$$

En donde: Q_C es la energía proporcionada por el combustible empleado en [kJ]; m_C es la masa total del combustible en [kg] y, P_C es el poder calorífico del combustible en [kJ/kg].

Al hablar de capacidad térmica aprovechable se hace referencia al potencial energético con el que cuentan los sistemas de estudio en la transferencia de calor a una determinada masa, por ejemplo: sustancias o alimentos cocidos en ellos. Para conseguirlo, se hizo necesaria la aplicación de una fase experimental en base a pruebas de ebullición propuestas por autores como Martínez y Álvarez (2006); Ramos, Ocupa, Saavedra y Espinoza (2012); y, González (2013). Con ello, se calentó una masa conocida de agua antes de llegar al punto de ebullición (punto considerado como la temperatura final del proceso) y se procedió a medir su variación de temperatura, tanto en una cocina artesanal como en una cocina mejorada. Una vez obtenidos los datos necesarios, para obtener la capacidad térmica aprovechable, se aplicó la ecuación 14, sugerida por Thompson y Ceckler (1977, p. 59):

$$Q_A = mC\Delta T \quad (\text{Ecuación 14})$$

En donde: Q_A es la capacidad térmica aprovechable en [kJ]; m es la masa de sustancia involucrada en la transferencia de calor en [kg]; C es la capacidad térmica de la sustancia y, ΔT es la variación de temperatura en [°C].

Para calcular la variación de temperatura, se efectuaron seis réplicas en las mismas condiciones para las dos especies de leña estudiadas. El número de mediciones tuvo como objetivo principal alcanzar resultados confiables para establecer una comparación con los modelos de cocinas estudiados; para este

cálculo no se han considerado las condiciones climáticas del lugar, suponiendo un modelo ideal. Para conseguir la variación de temperatura a ser aplicada en la ecuación 14, se utilizó la ecuación 15:

$$\Delta T = T_f - T_i \quad (\text{Ecuación 15})$$

En donde: ΔT es la variación de temperatura en [°C]; T_f es la temperatura final del agua después de 11 minutos de exposición al calor en [°C] y, T_i es la temperatura inicial de la masa de agua en [°C].

Finalmente, para obtener la eficiencia térmica lograda por cada uno de los sistemas estudiados, se aplicó la ecuación 16:

$$E_T = \frac{Q_A}{Q_P} \times 100 \quad (\text{Ecuación 16})$$

En donde: E_T es la eficiencia térmica en [%]; Q_A es la capacidad térmica aprovechable en [kJ] y, Q_P es el calor perdido en [kJ].

CAPÍTULO III: RESULTADOS

La figura 26 presenta un breve resumen de los puntos a ser tratados en el presente capítulo.

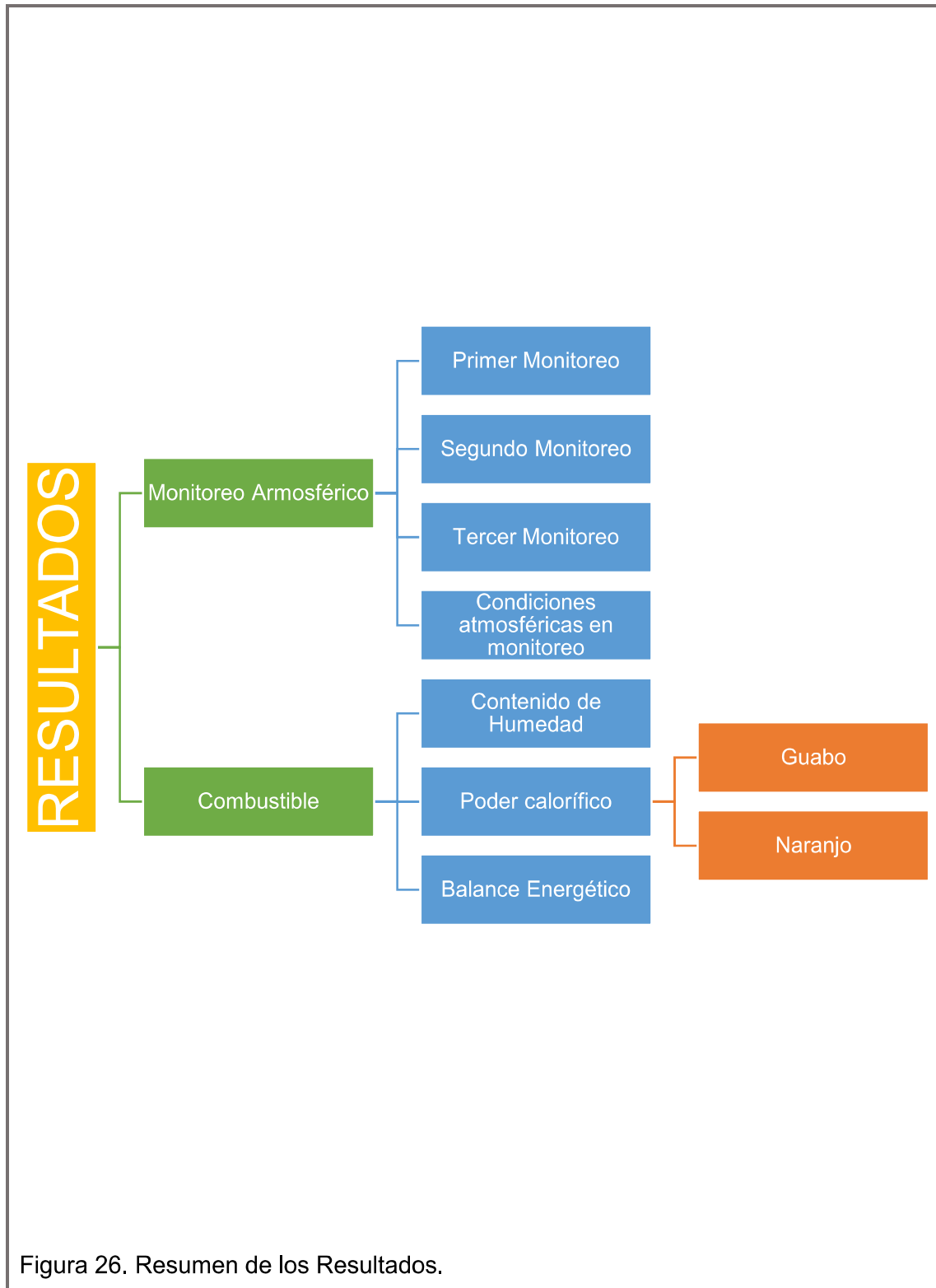


Figura 26. Resumen de los Resultados.

3.1. MONITOREO ATMOSFÉRICO

A continuación se presentan los datos logrados durante los monitoreos atmosféricos desarrollados en las 17 viviendas seleccionadas de la comunidad Tsáchila de El Poste. Los datos han sido recopilados en gráficas estadísticas de cada parámetro medido en el área experimental, y estos son: material particulado máximo (P_{max}), material particulado promedio (P_{prom}) y monóxido de carbono (CO). Los resultados obtenidos durante el primer monitoreo pueden ser observados desde la figura 27 hasta la figura 32 de manera global y separados por casa; mientras que, los resultados de los seis hogares estudiados durante el segundo monitoreo pueden ser visualizados desde la figura 33 hasta la figura 38, en las que se han compilado los tres parámetros de manera global; y finalmente, los resultados del tercer monitoreo atmosférico se encuentran desde la figura 39 hasta la figura 44 de manera global y separados por casa, nuevamente.

Las gráficas mostradas en este capítulo han sido elaboradas en base a los datos levantados durante las mediciones efectuadas, cabe mencionar que valores denominados como “atípicos” han sido omitidos para la presentación de los resultados dado que su origen se debió a diferentes acontecimientos suscitados a lo largo del proceso de monitoreo, entre los principales tenemos: reavivamiento de la candela a través de ventilación manual, reiterado encendido de la leña al no lograr una llama óptima para cocinar, adición de leña y movimiento de la misma. Estas observaciones serán discutidas en el análisis de resultados de la presente investigación.

3.1.1. Primer Monitoreo

Se presentan las figuras que recogen los datos alcanzados en el primer monitoreo, estudio de 1 hora realizado a 17 cocinas artesanales de la comunidad Tsáchila de El Poste. Se exhiben dos gráficas de cada parámetro medido (P_{max}, P_{prom} y CO); la primera, con los datos representados de manera global y la segunda, diferenciados por el lugar donde se llevó a cabo cada medición, en función de los códigos otorgados a cada casa monitoreada.

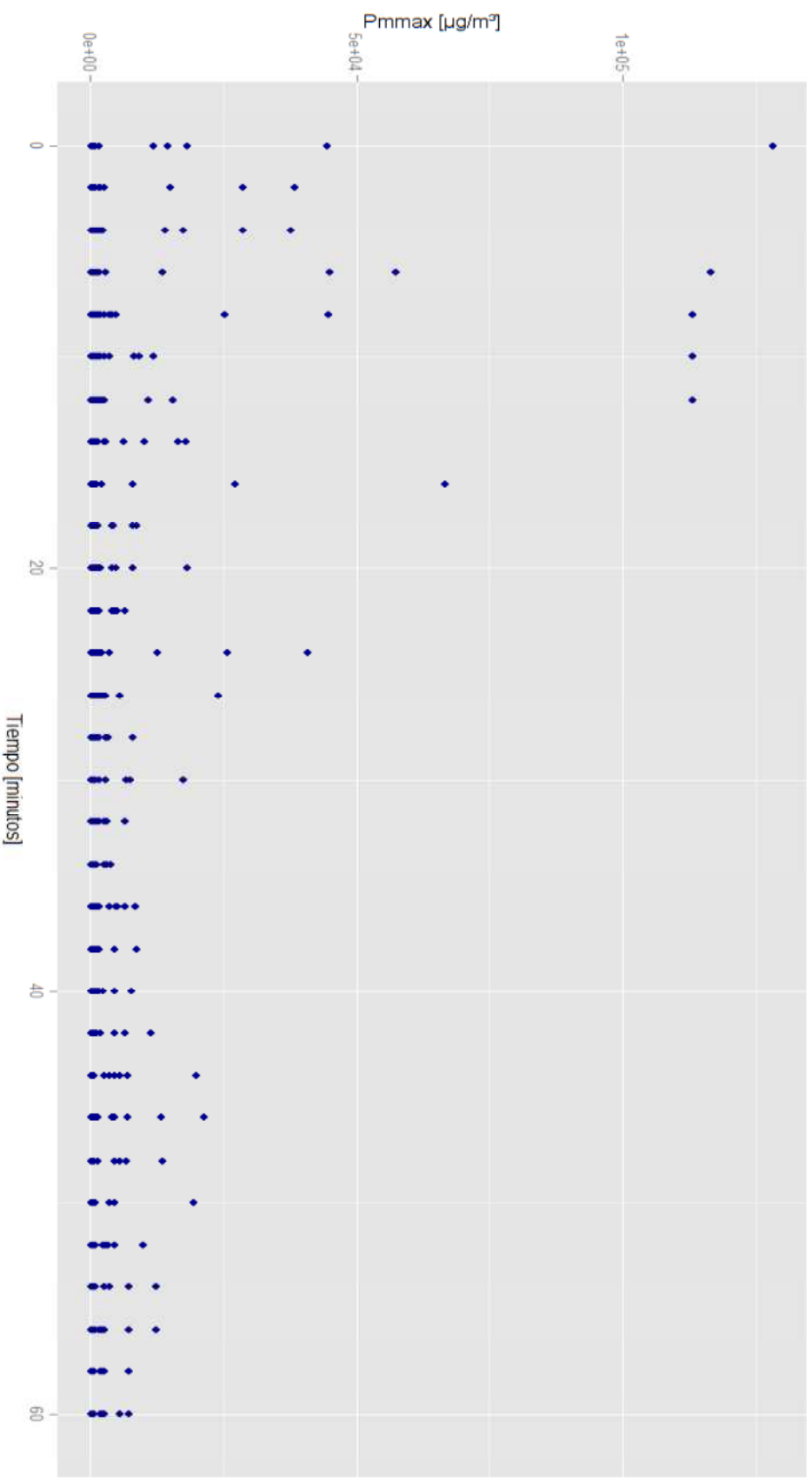


Figura 27. Tiempo de medición en [minutos] de material particulado máximo (Pmmax) en [µg/m³] de 17 viviendas, correspondiente al primer monitoreo realizado en cocinas artesanales.

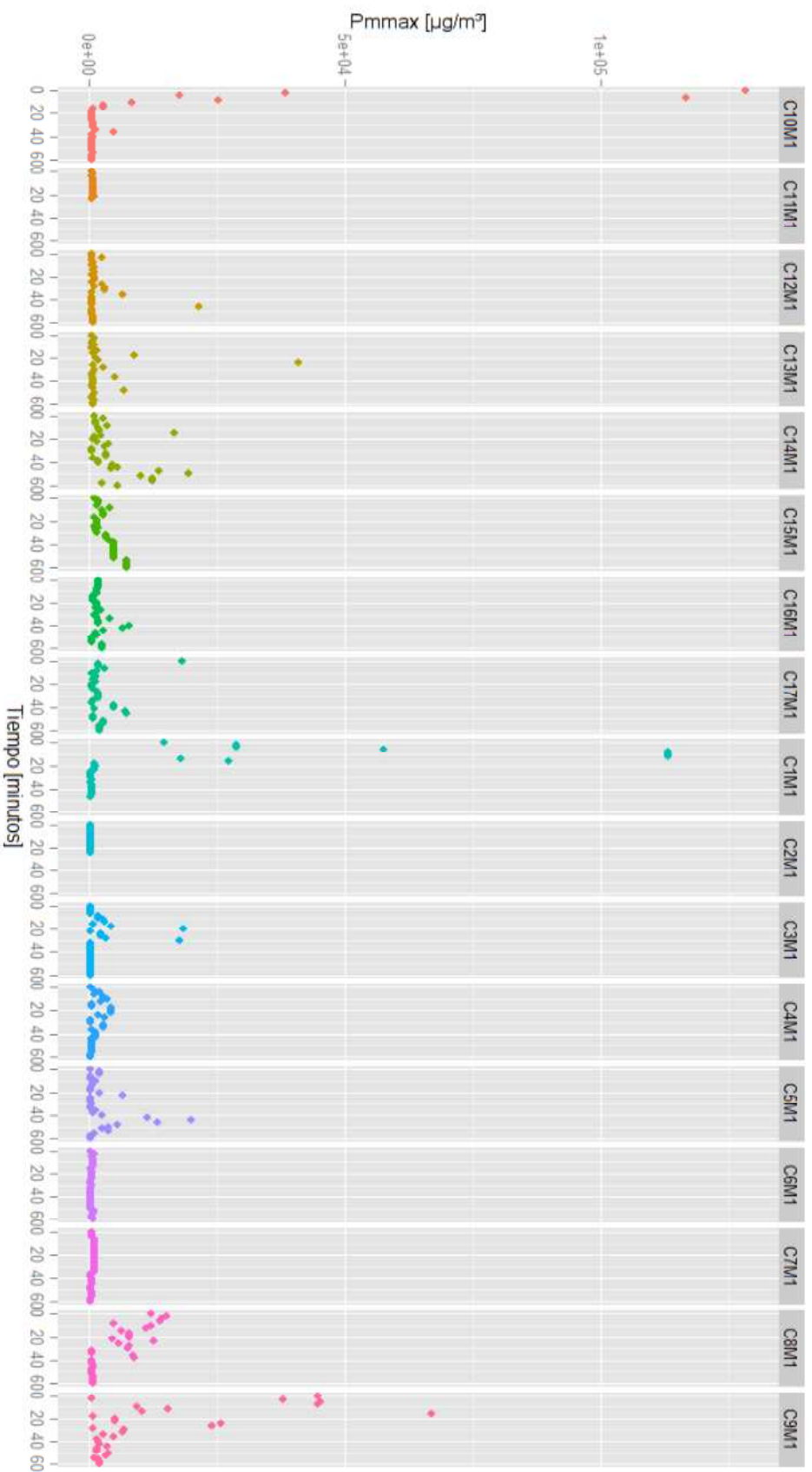


Figura 28. Tiempo de medición en [minutos] de material particulado máximo (Pmmax) en [µg/m³] de 17 viviendas, correspondiente al primer monitoreo realizado en cocinas artesanales.

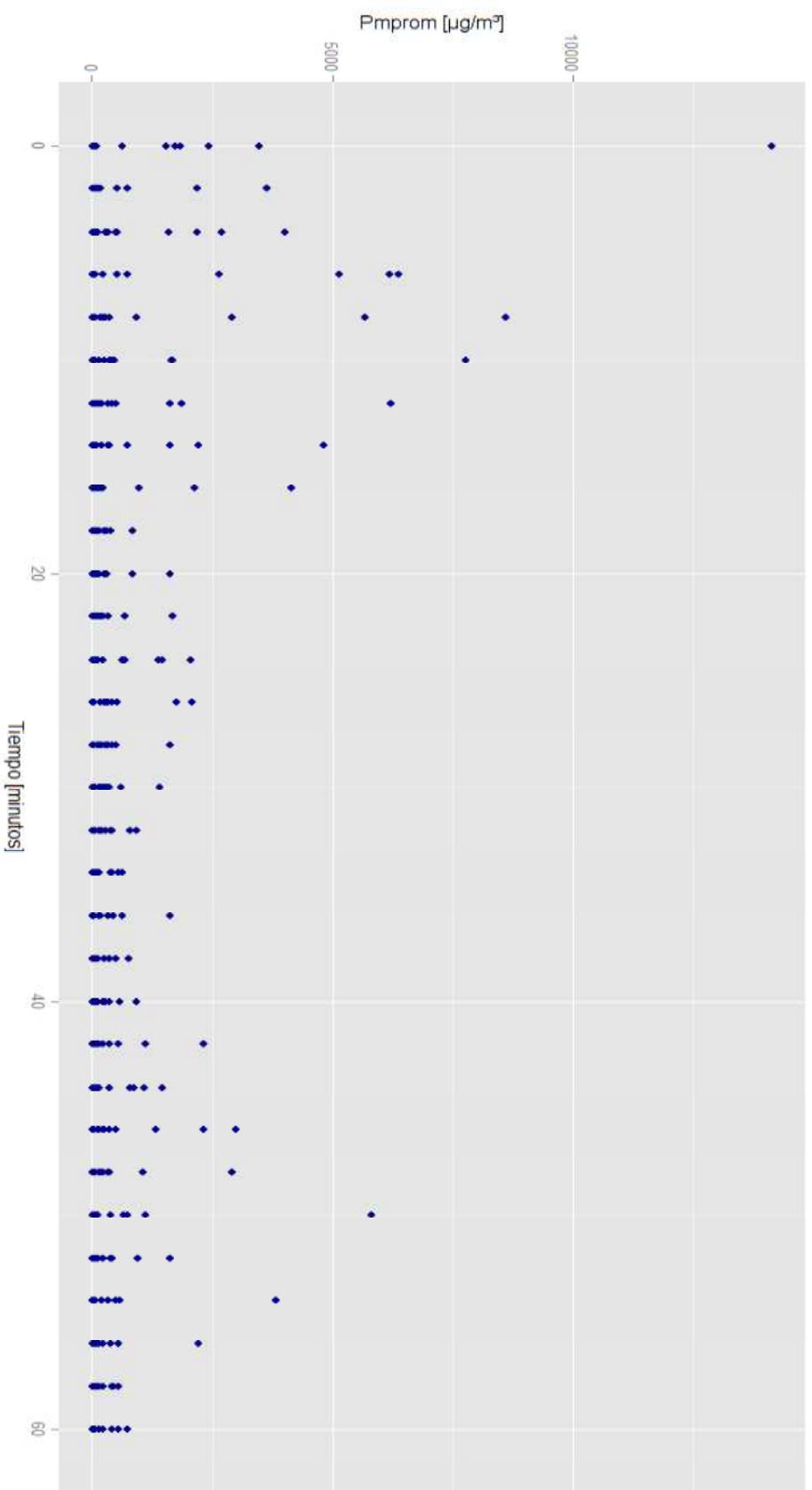


Figura 29. Tiempo de medición en [minutos] de material particulado promedio (Pmprom) en [µg/m³] de 17 viviendas, correspondiente al primer monitoreo realizado en cocinas artesanales.

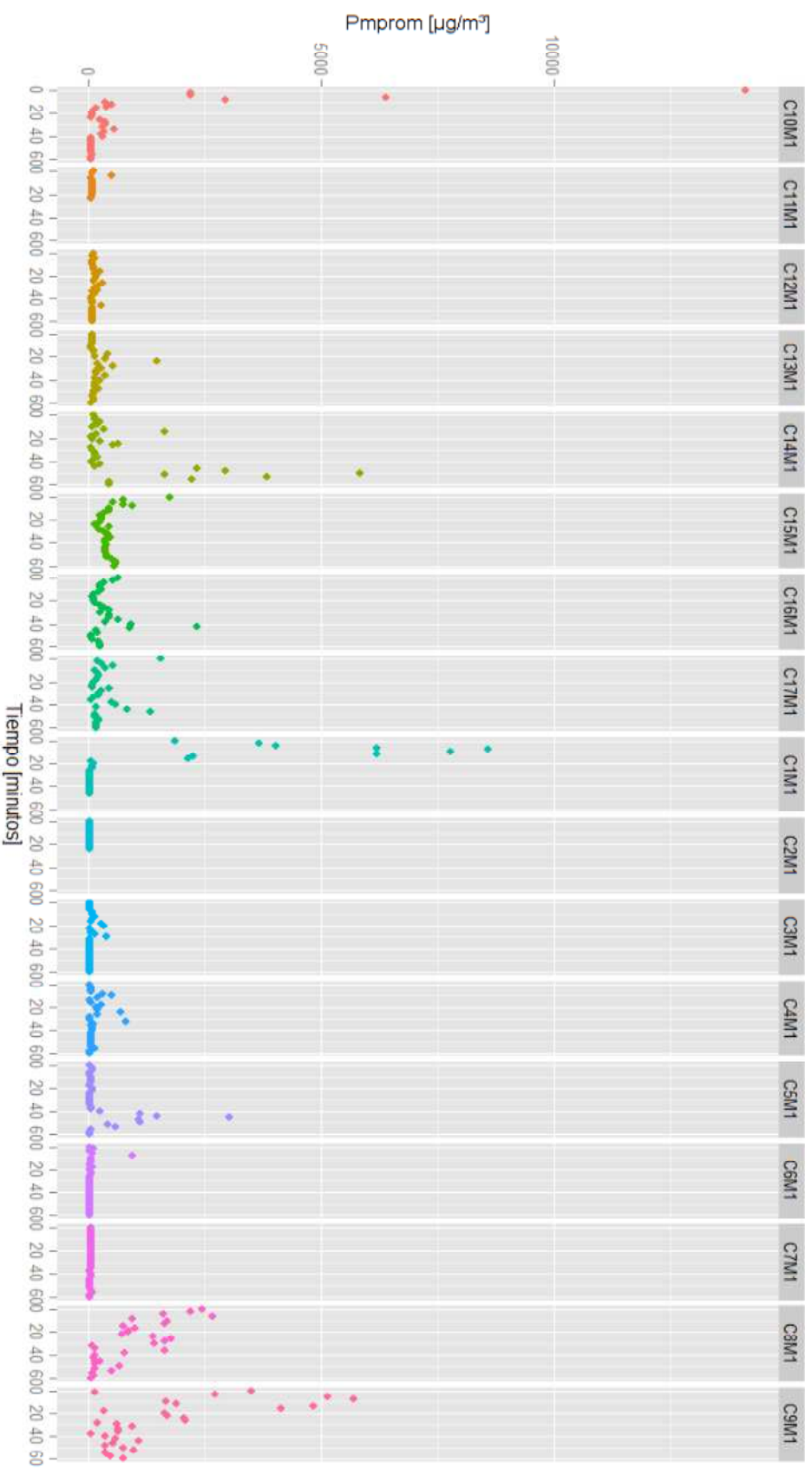


Figura 30. Tiempo de medición en [minutos] de material particulado promedio (Pmprom) en [µg/m³] de 17 viviendas, correspondiente al primer monitoreo realizado en cocinas artesanales.

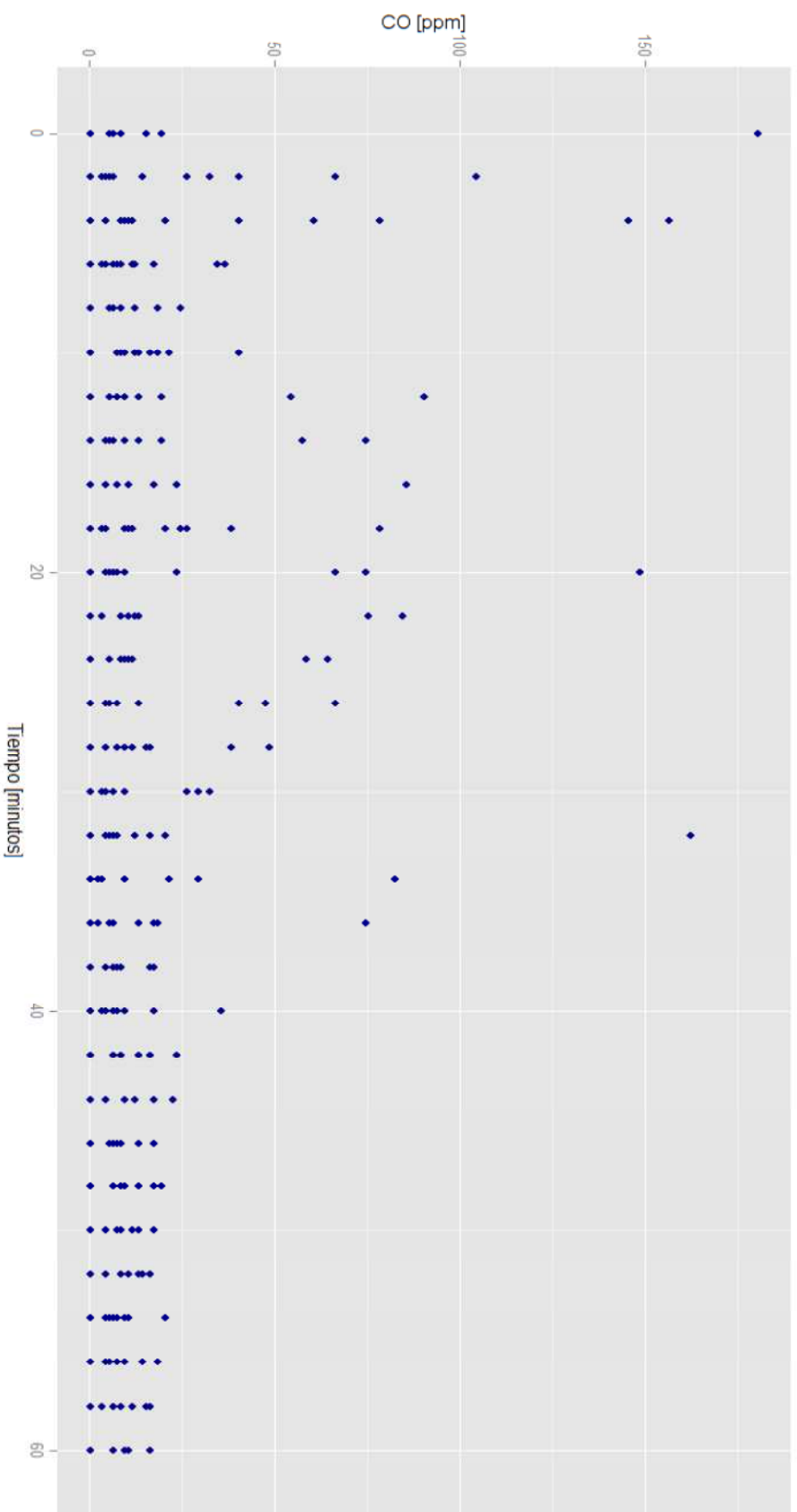


Figura 31. Tiempo de medición en [minutos] de monóxido de carbono (CO) en [ppm] de 17 viviendas, correspondiente al primer monitoreo realizado en cocinas artesanales.

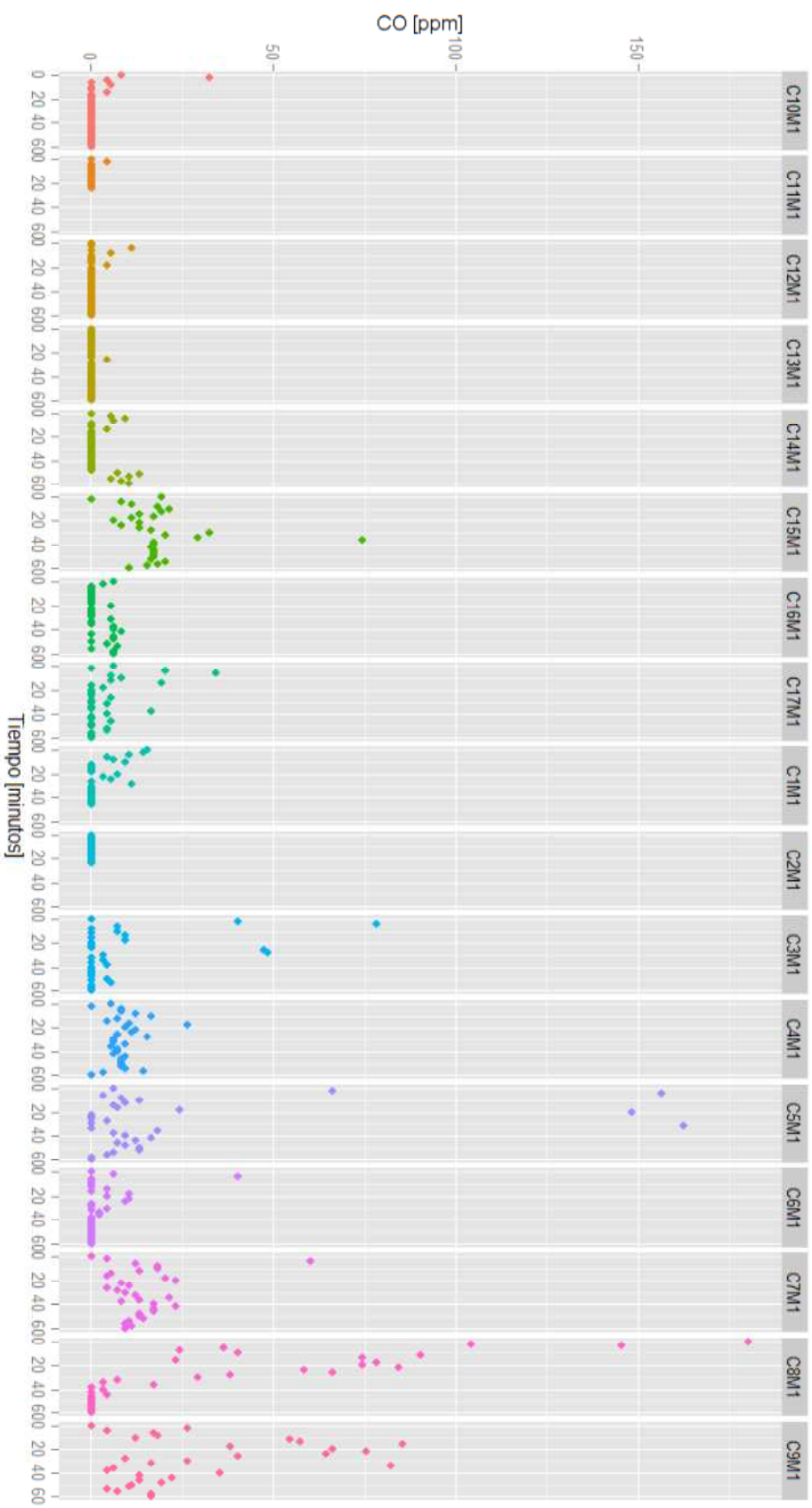


Figura 32. Tiempo de medición en [minutos] de monóxido de carbono (CO) en [ppm] de 17 viviendas, correspondiente al primer monitoreo realizado en cocinas artesanales.

3.1.2. Segundo Monitoreo

Se continua con la exposición de las figuras que recopilan los resultados del segundo monitoreo, correspondiente al análisis de las cocinas artesanales de 6 viviendas ubicadas en la comunidad Tsáchila de El Poste, con las concentraciones de P_{max}, P_{prom} y CO más altas registradas durante el primer monitoreo; esta vez se consideró un periodo de 4 horas en promedio para las mediciones realizadas.

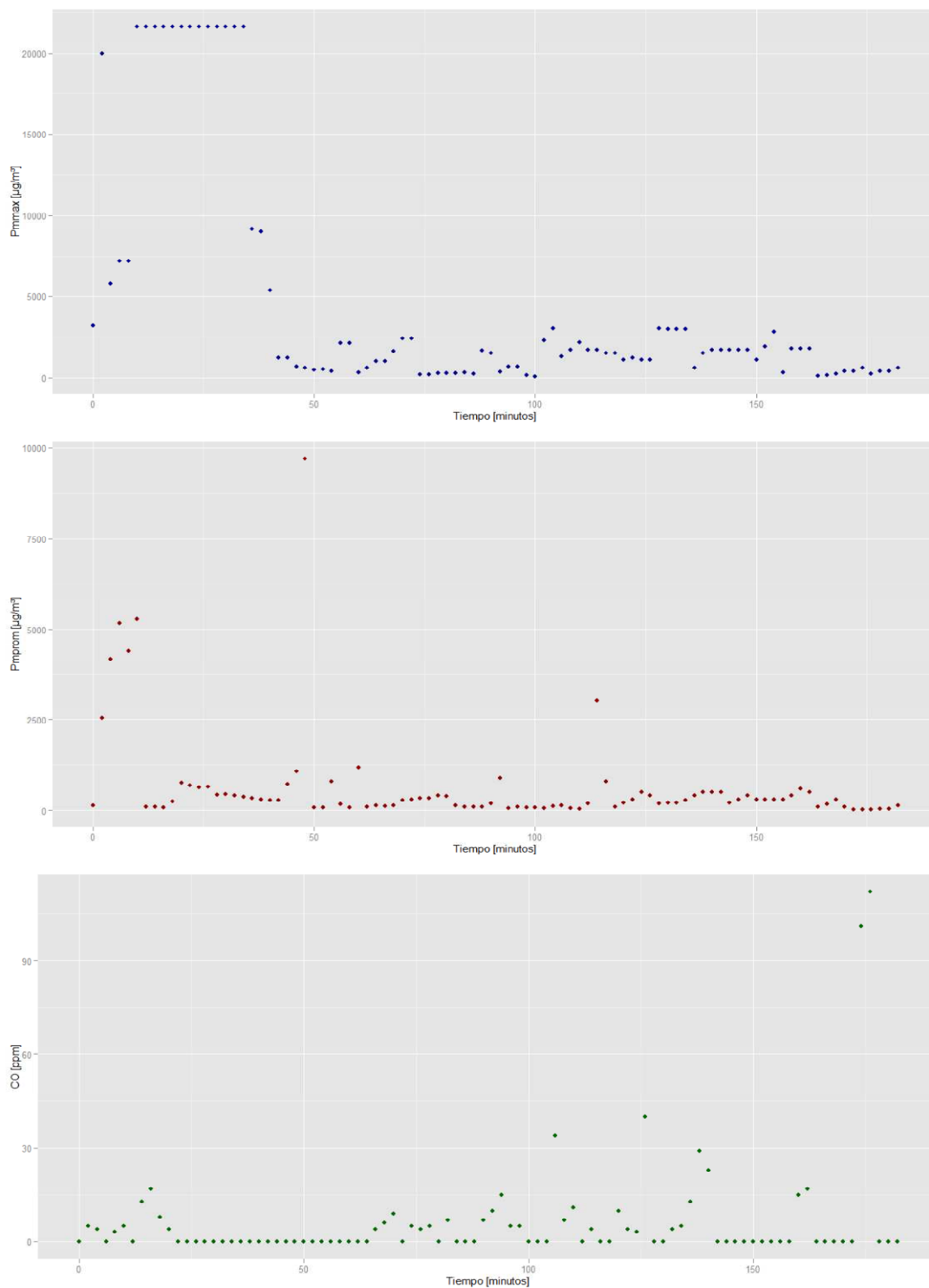


Figura 33. Tiempo de medición en [minutos] de material particulado máximo (Pmmax), material particulado promedio (Pmprom) indicados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y, monóxido de carbono (CO) en [ppm] de la casa 1 (C1M2), correspondientes al segundo monitoreo realizado en cocinas artesanales.

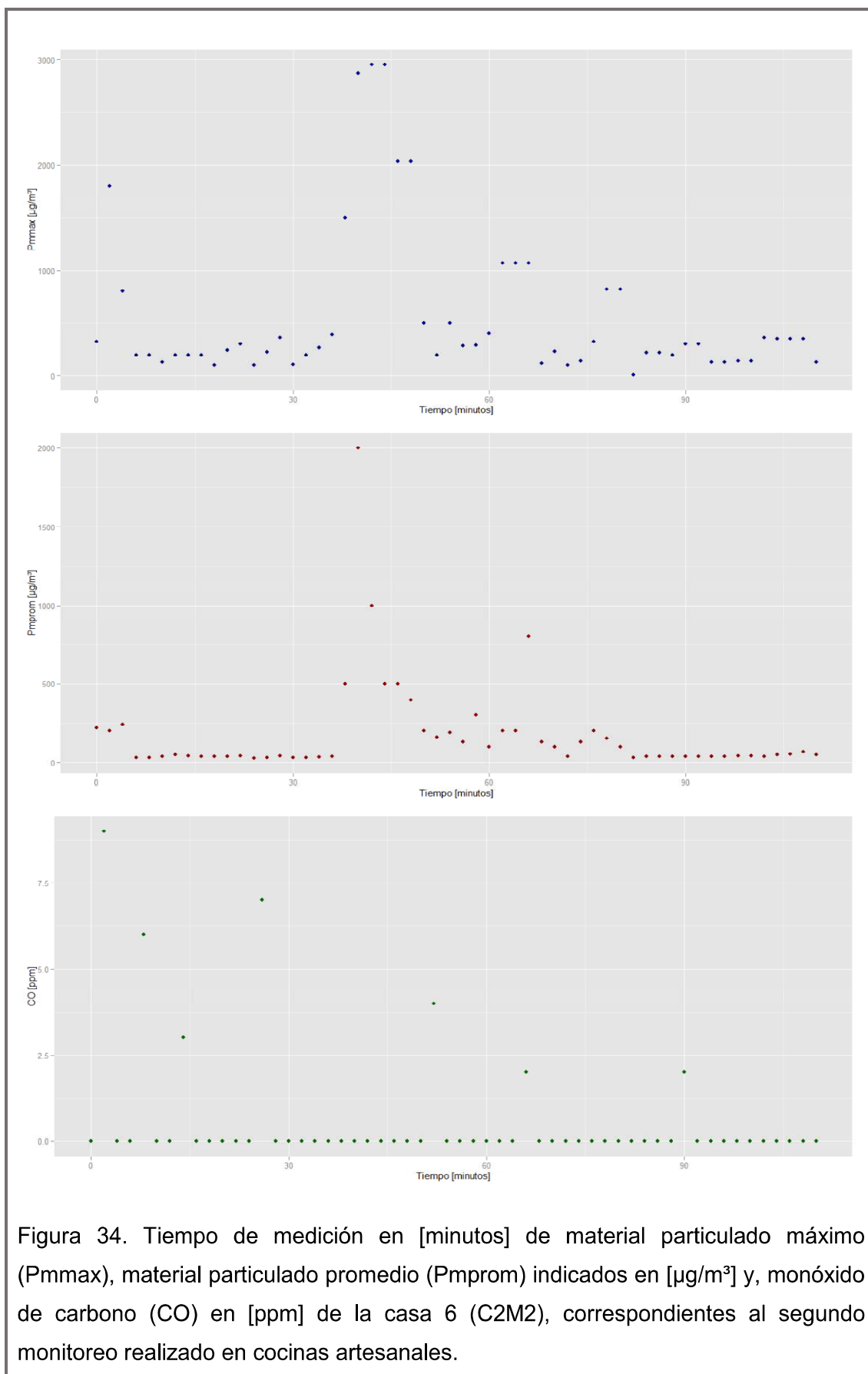


Figura 34. Tiempo de medición en [minutos] de material particulado máximo (Pmmax), material particulado promedio (Pmprom) indicados en [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] y, monóxido de carbono (CO) en [ppm] de la casa 6 (C2M2), correspondientes al segundo monitoreo realizado en cocinas artesanales.

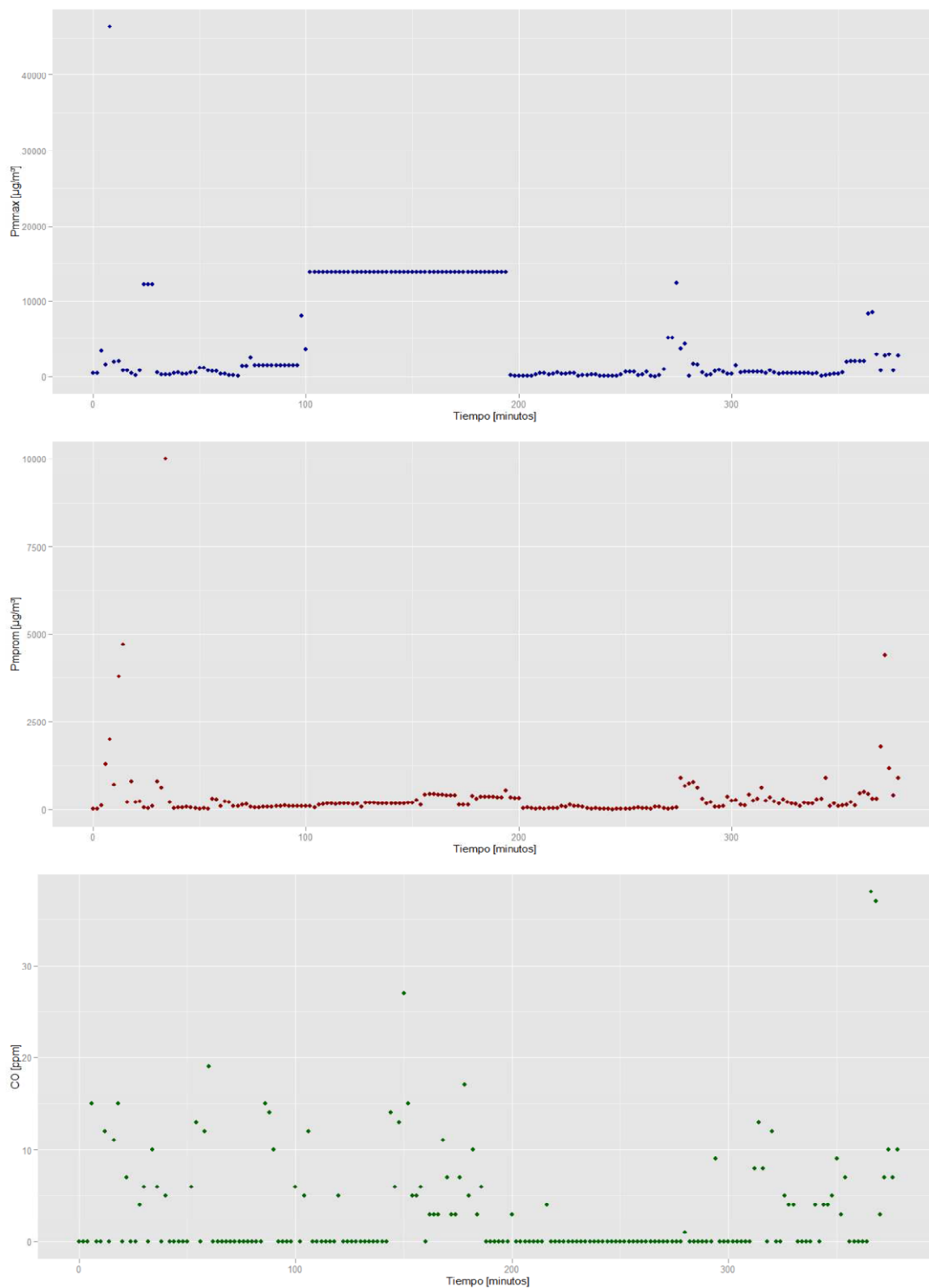
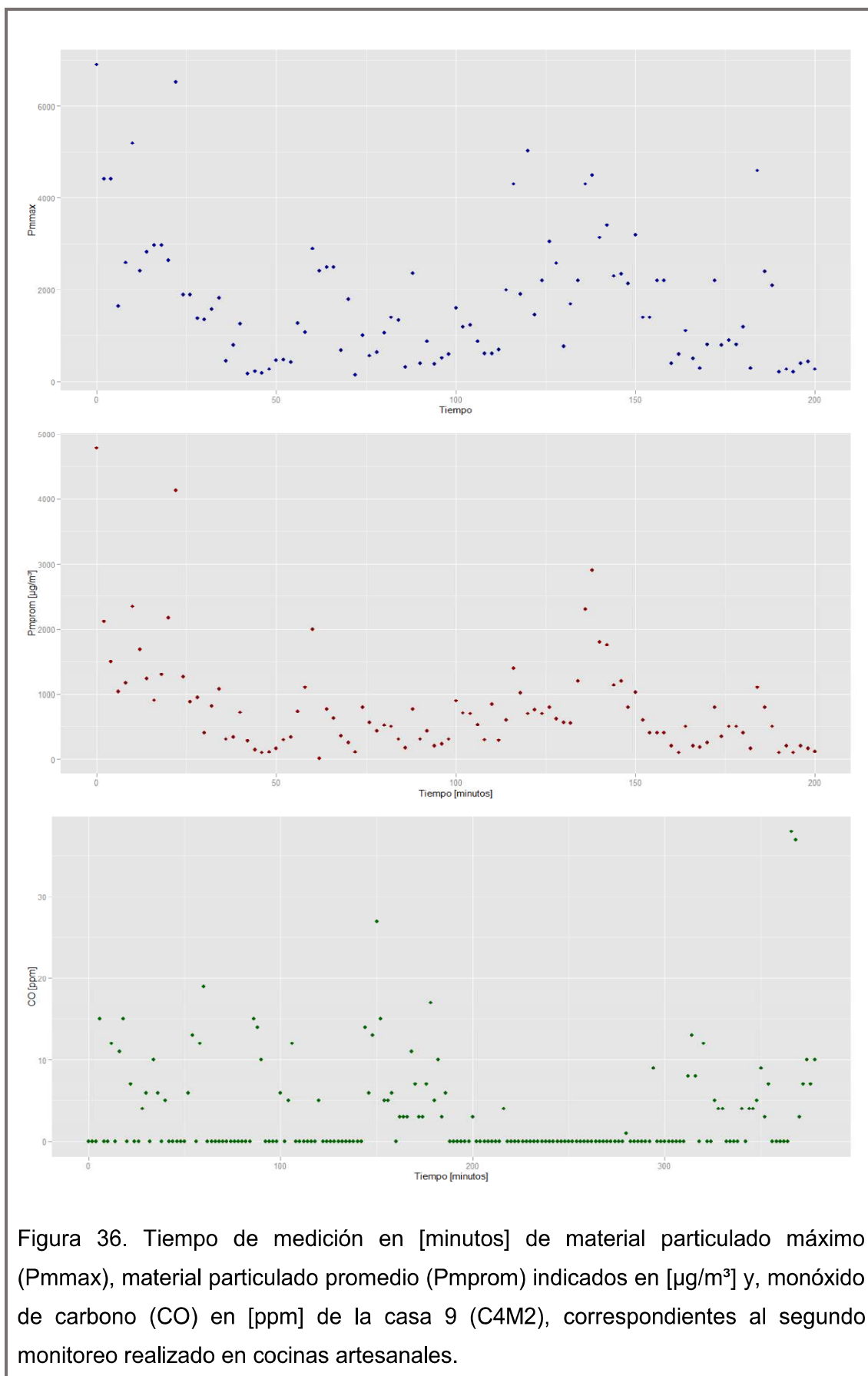


Figura 35. Tiempo de medición en [minutos] de material particulado máximo (Pmmax), material particulado promedio (Pmprom) indicados en [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] y, monóxido de carbono (CO) en [ppm] de la casa 7 (C3M2), correspondientes al segundo monitoreo realizado en cocinas artesanales.



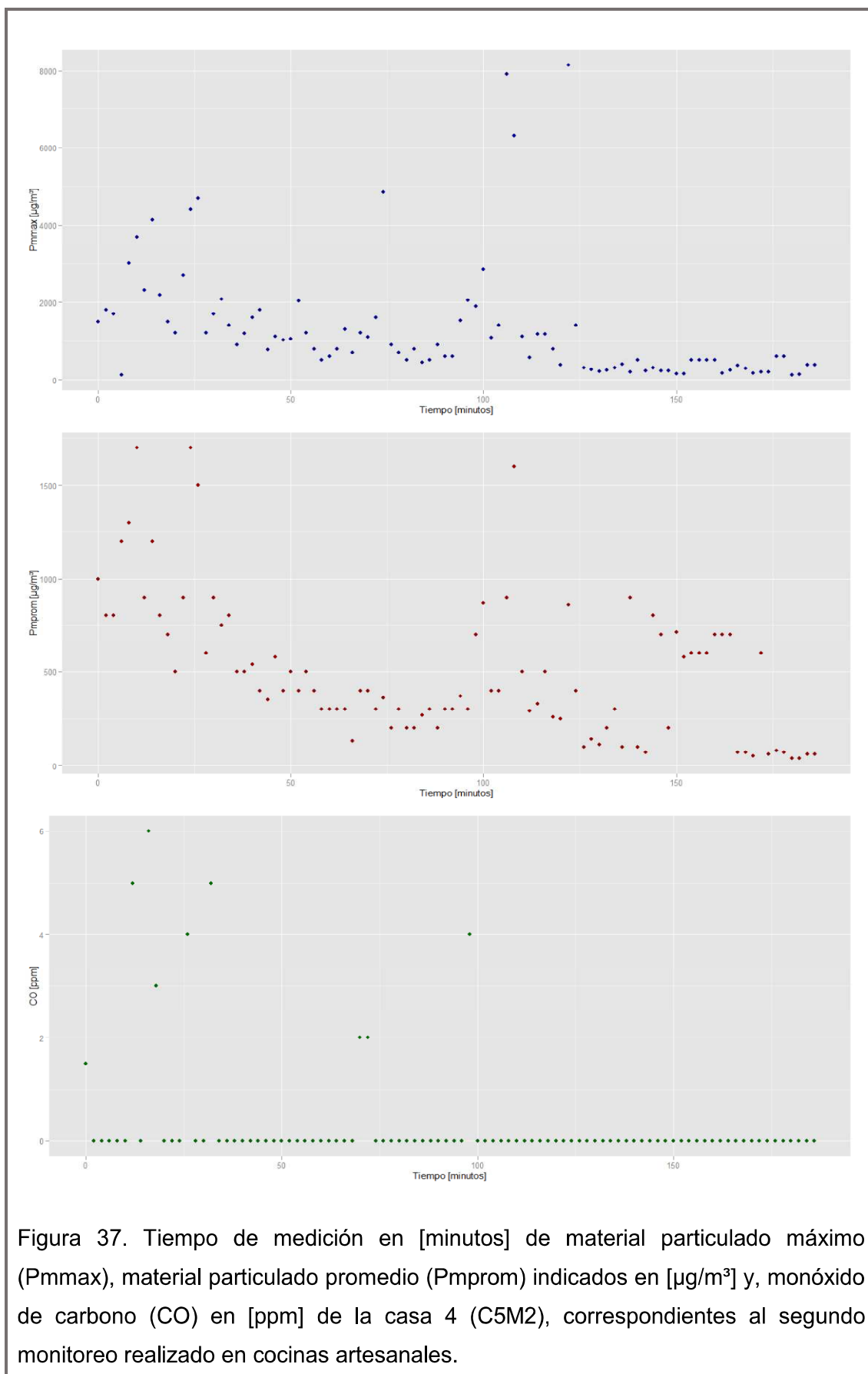
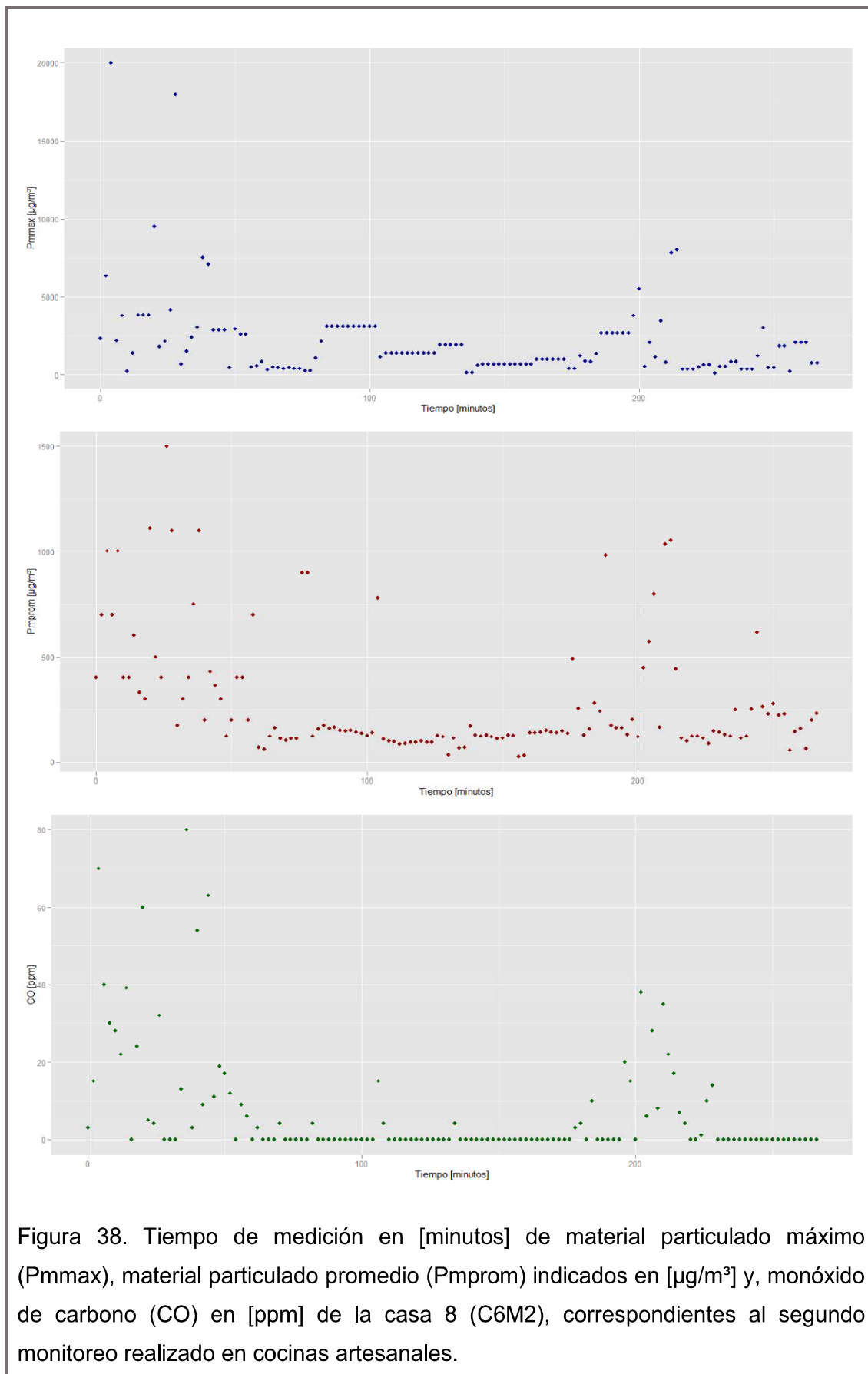


Figura 37. Tiempo de medición en [minutos] de material particulado máximo (Pmmax), material particulado promedio (Pmprom) indicados en [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] y, monóxido de carbono (CO) en [ppm] de la casa 4 (C5M2), correspondientes al segundo monitoreo realizado en cocinas artesanales.



3.1.3. Tercer Monitoreo

Finalmente, se presentan las figuras que proporcionan los datos alcanzados durante el tercer monitoreo, estudio de 1 hora realizado a 17 cocinas mejoradas de la comunidad Tsáchila de El Poste. Se exhiben dos gráficas de cada parámetro medido (P_{max} , P_{prom} y CO); la primera, con los datos representados de manera global y la segunda, diferenciados por el lugar donde se llevó a cabo cada medición, en función de los códigos otorgados a cada casa monitoreada.

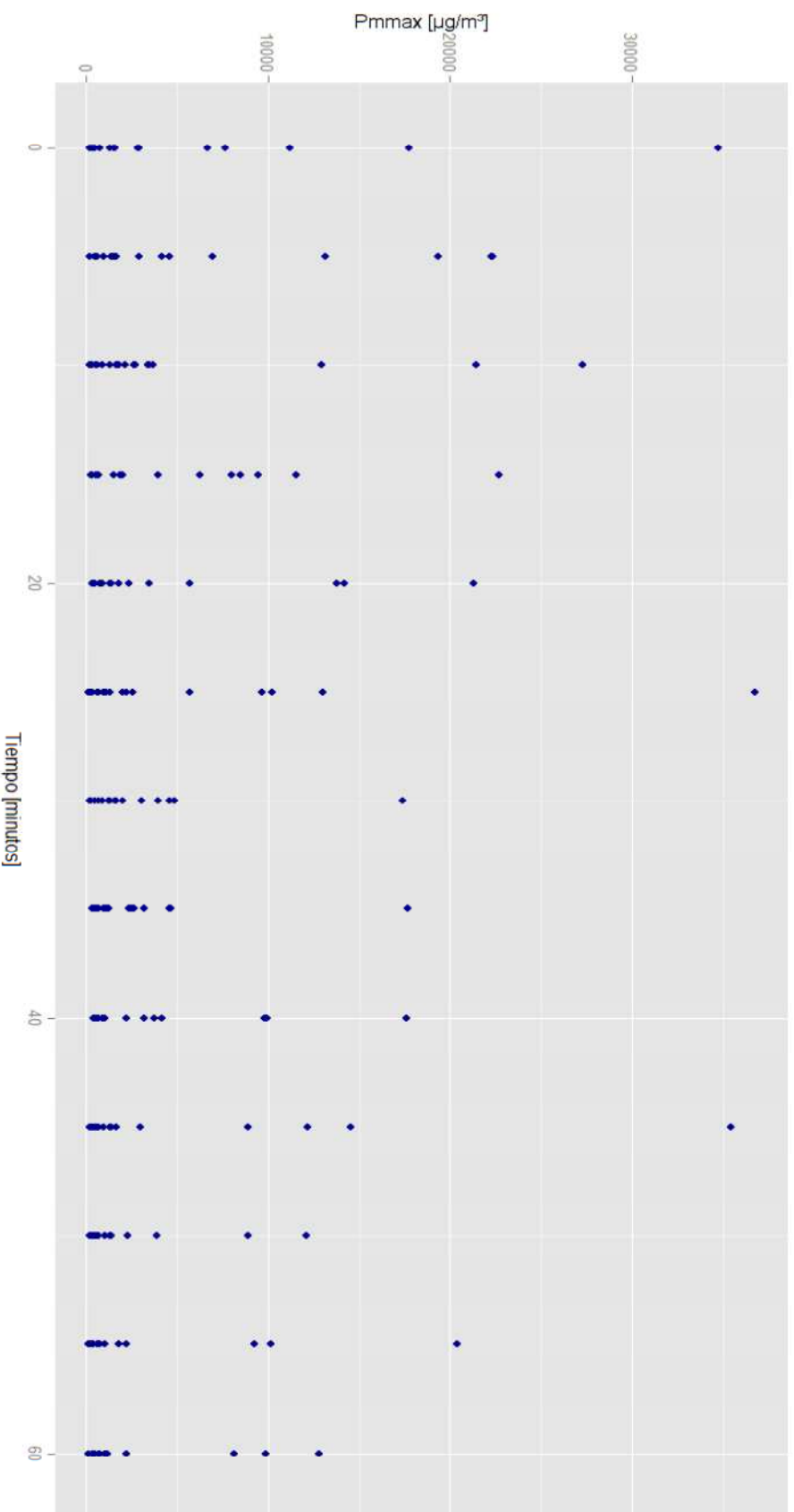


Figura 39. Tiempo de medición en [minutos] de material particulado máximo (Pmmax) en [µg/m³] de 17 viviendas, correspondiente al tercer monitoreo realizado en cocinas mejoradas.

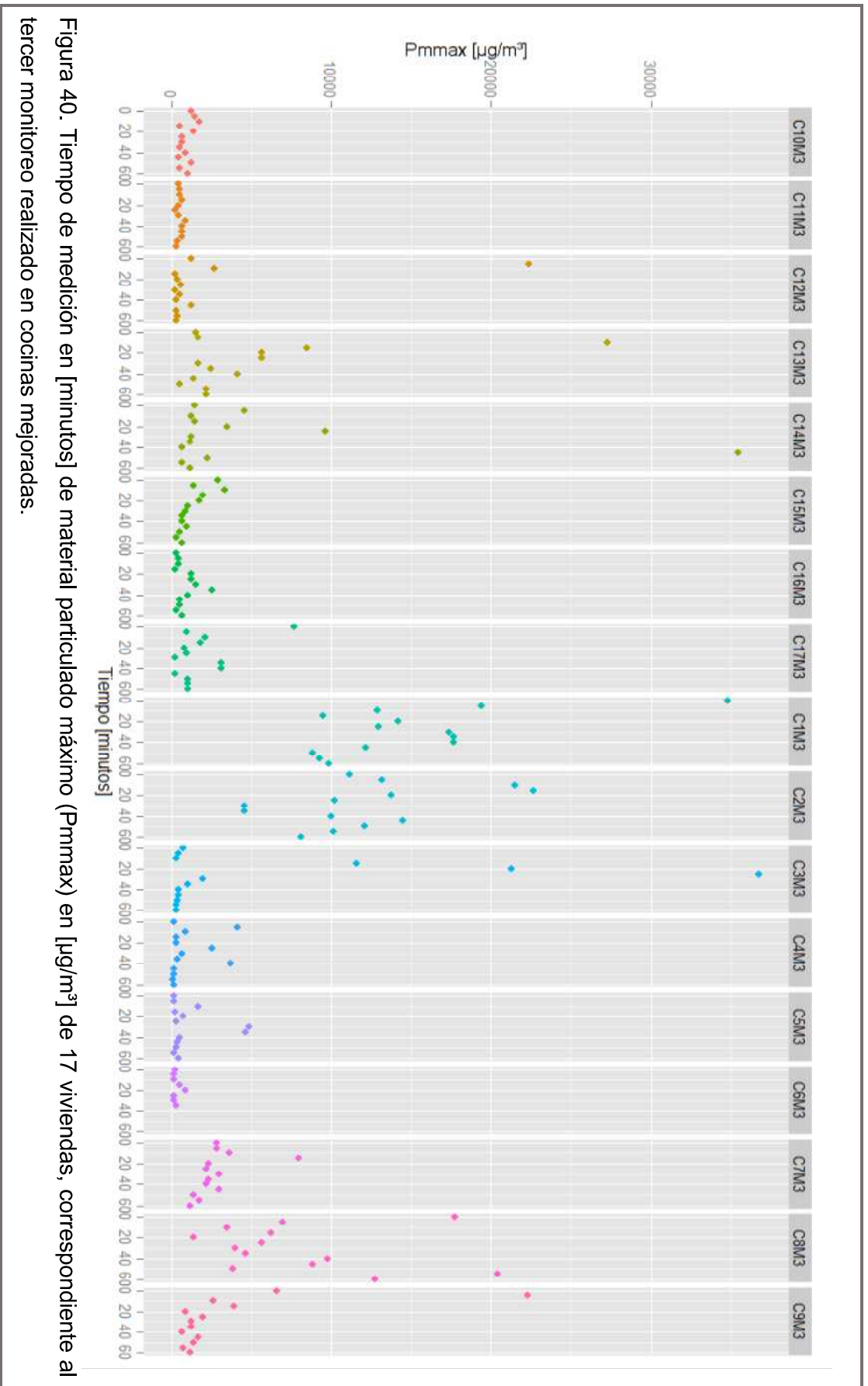


Figura 40. Tiempo de medición en [minutos] de material particulado máximo (Pmmax) en $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ de 17 viviendas, correspondiente al tercer monitoreo realizado en cocinas mejoradas.

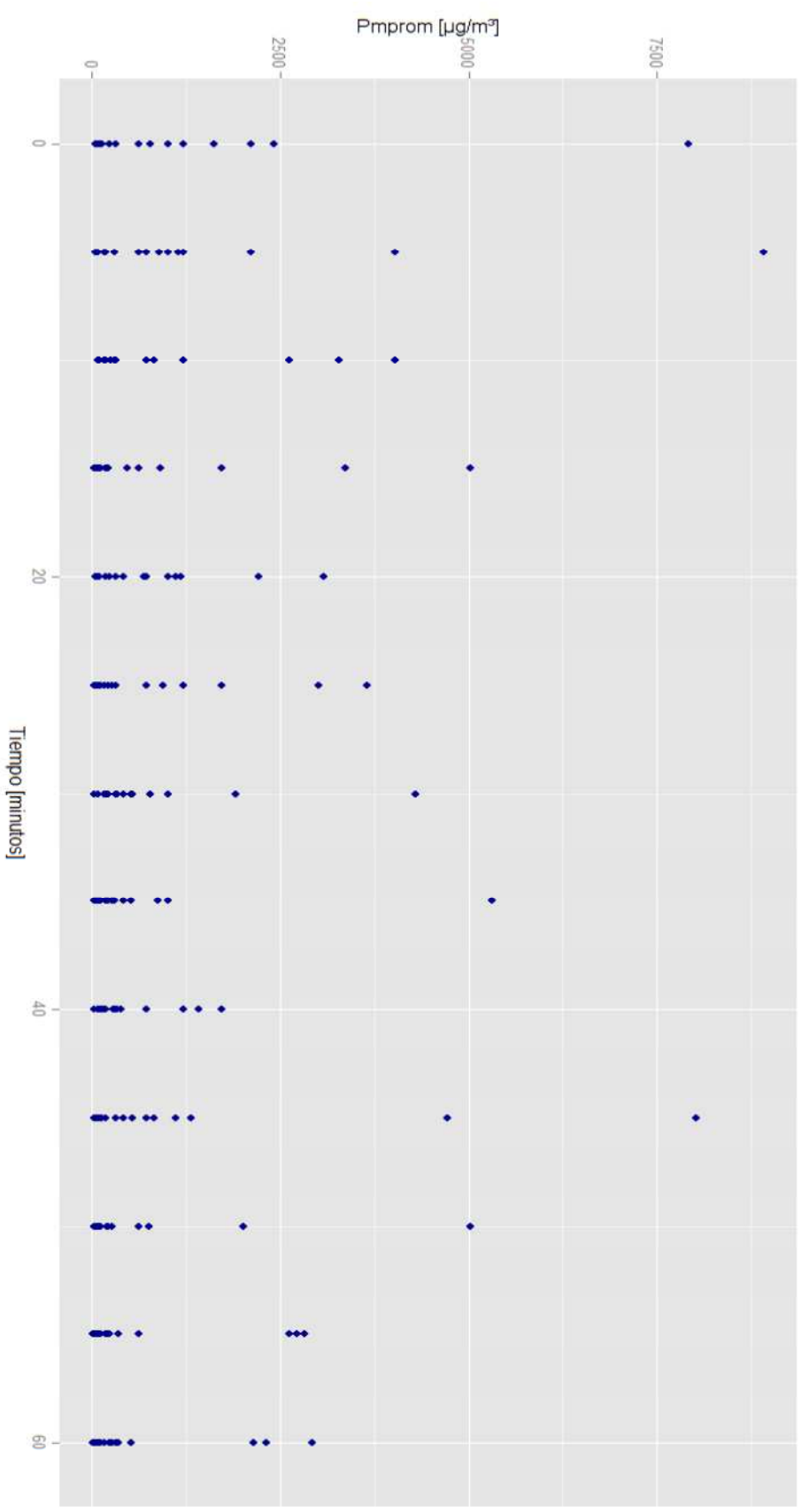


Figura 41. Tiempo de medición en [minutos] de material particulado promedio (Pmprom) en [µg/m³] de 17 viviendas, correspondiente al tercer monitoreo realizado en cocinas mejoradas.

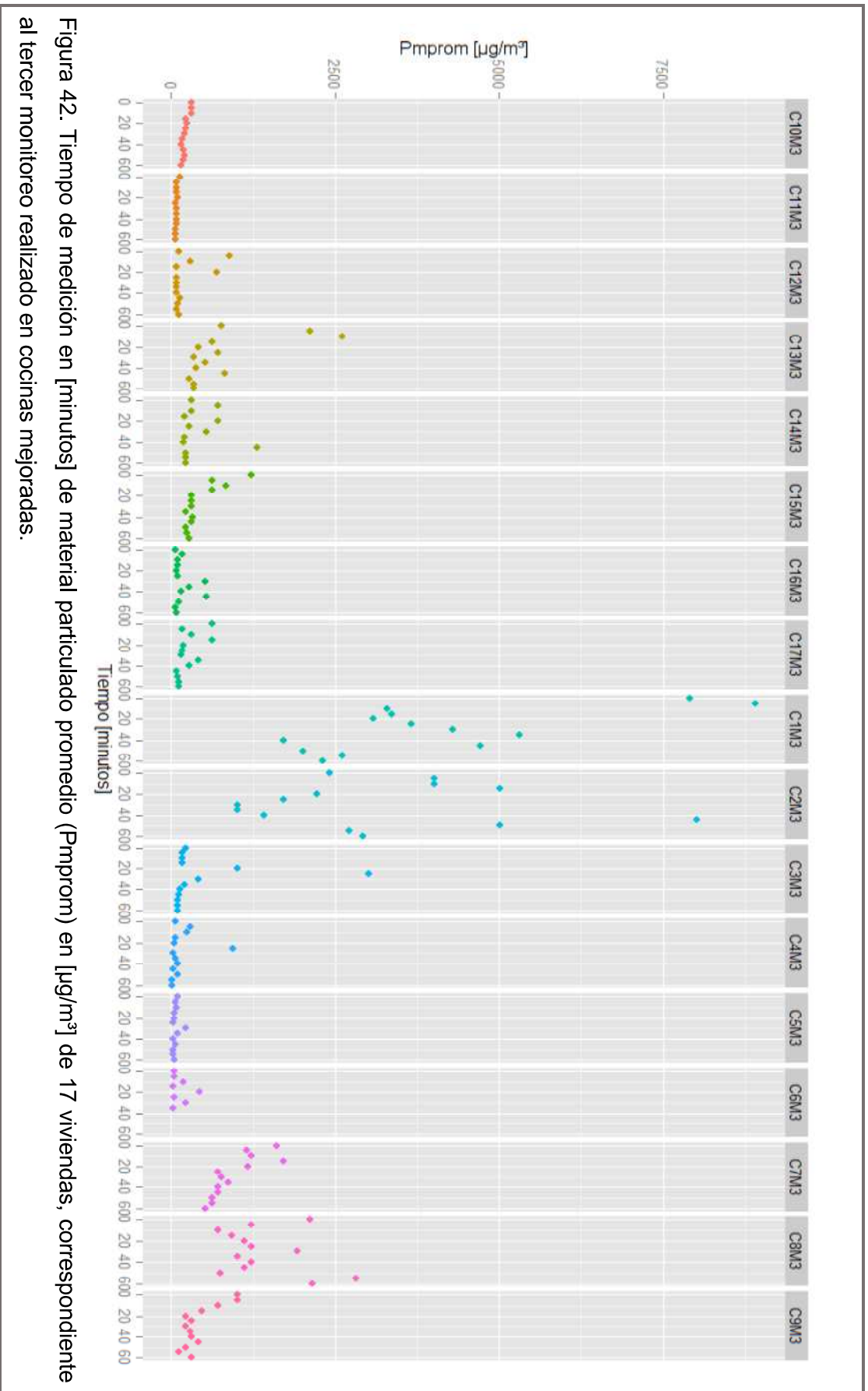


Figura 42. Tiempo de medición en [minutos] de material particulado promedio (Pmprom) en [µg/m³] de 17 viviendas, correspondiente al tercer monitoreo realizado en cocinas mejoradas.

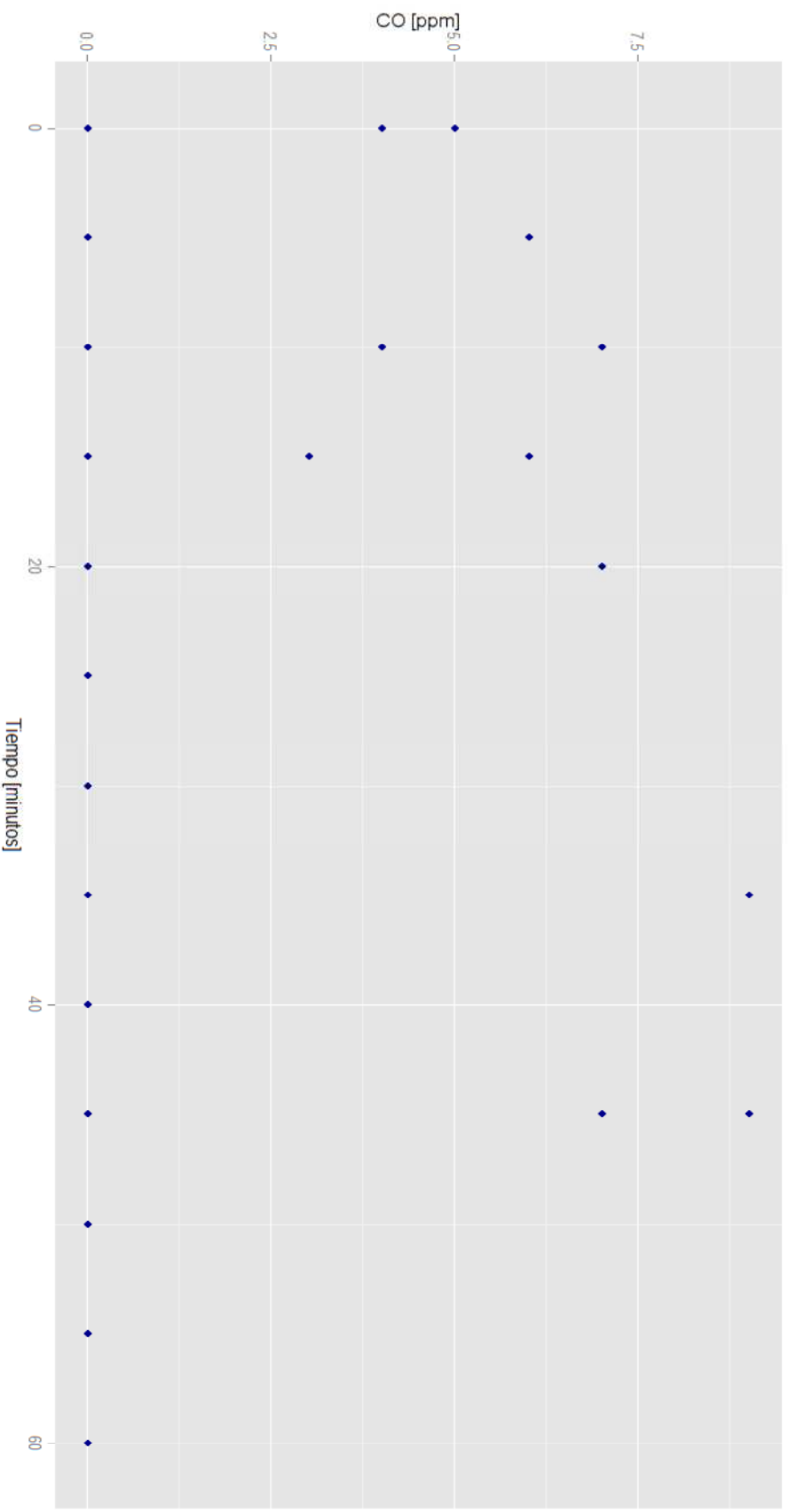


Figura 4.3. Tiempo de medición en [minutos] de monóxido de carbono (CO) en [ppm] de 17 viviendas, correspondiente al tercer monitoreo realizado en cocinas mejoradas.

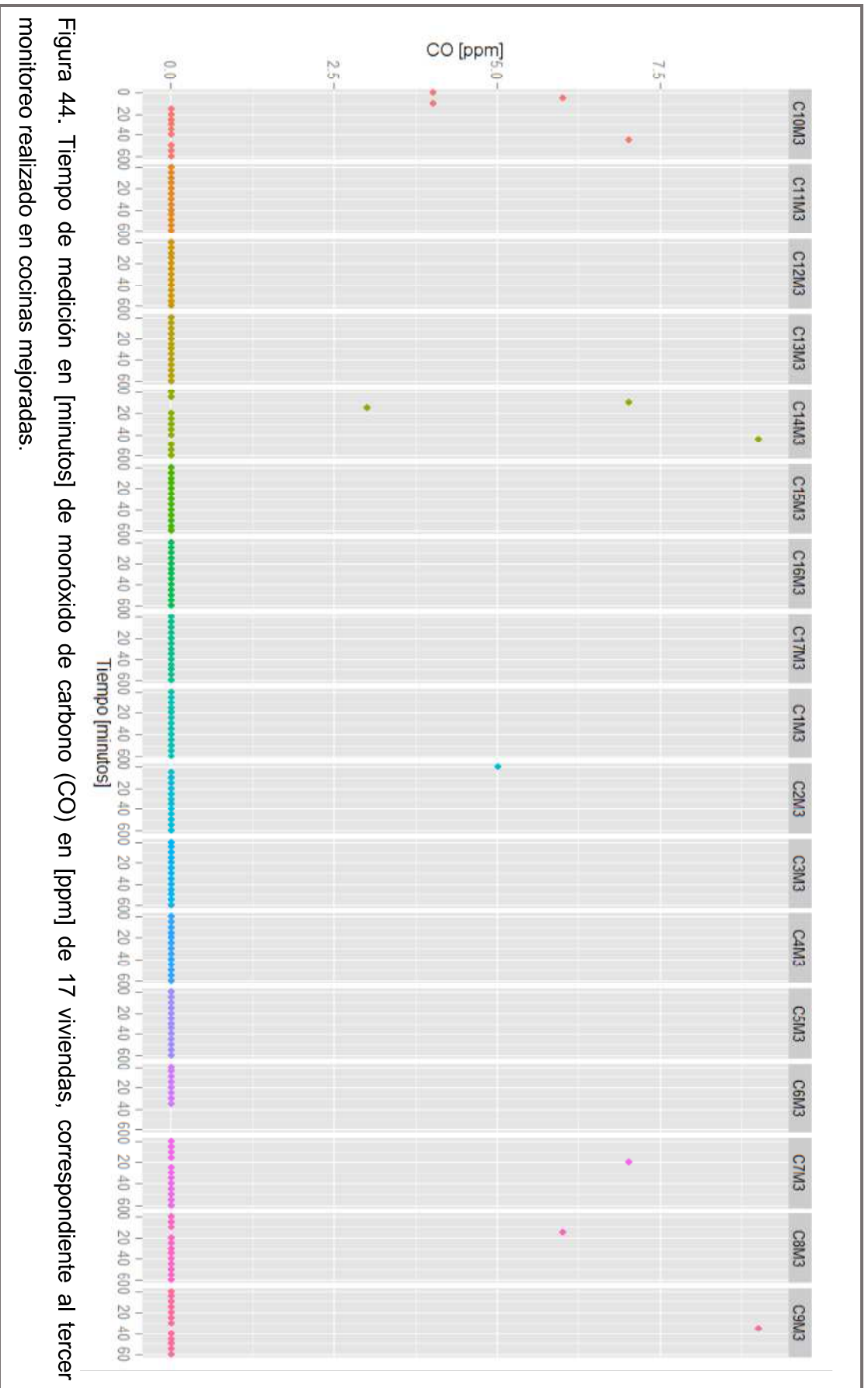


Figura 44. Tiempo de medición en [minutos] de monóxido de carbono (CO) en [ppm] de 17 viviendas, correspondiente al tercer monitoreo realizado en cocinas mejoradas.

3.1.4. Condiciones atmosféricas en monitoreo

Durante los tres monitoreos, con ayuda del termo-anemómetro TA440 TSI AIRFLOW, se registraron las condiciones atmosféricas del entorno de cada casa analizada. Los resultados alcanzados en cada visita al área experimental pueden verse reflejados en las tablas 9, 10 y 11.

Tabla 9. Condiciones atmosféricas, primer monitoreo.

PRIMER MONITOREO				
N° Casa	Código	Promedio		
		Velocidad del Viento [m/s]	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]
1	C1M1	0.15	24.1	88.0
2	C2M1	0.12	27.4	72.7
3	C3M1	0.27	28.3	75.4
4	C4M1	0.14	31.9	60.2
5	C5M1	0.22	31.5	62.4
6	C6M1	0.30	21.9	72.3
7	C7M1	0.20	23.4	78.1
8	C8M1	0.38	27.6	76.9
9	C9M1	0.23	28.6	76.5
10	C10M1	0.15	25.6	87.9
11	C11M1	0.12	25.3	88.0
12	C12M1	0.13	25.4	87.4
13	C13M1	0.07	22.6	93.3
14	C14M1	0.09	23.1	87.8
15	C15M1	0.14	25.5	82.0
16	C16M1	0.31	27.8	80.3
17	C17M1	0.27	28.9	81.6

Nota Explicativa: se indica el valor promedio de velocidad del viento, temperatura y humedad relativa del ambiente de cada casa considerada para el primer monitoreo atmosférico. Los valores promedio fueron calculados en base a las cuatro mediciones obtenidas en intervalos de 15 minutos durante la hora de monitoreo.

Tabla 10. Condiciones atmosféricas, segundo monitoreo.

SEGUNDO MONITOREO				
N° Casa	Código	Promedio		
		Velocidad del Viento [m/s]	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]
1	C1M2	0.13	23.0	84.8
2	C2M2	0.24	25.5	83.1
3	C3M2	0.15	22.8	91.7
4	C4M2	0.13	23.7	89.3
5	C5M2	0.19	21.6	89.8
6	C6M2	0.18	23.9	85.8

Nota Explicativa: se detalla el valor promedio de velocidad del viento, temperatura y humedad relativa del ambiente de las seis casas seleccionadas para la segunda visita a la comunidad Tsáchila de El Poste. Los valores promedio fueron calculados en base al número de mediciones obtenidas en intervalos de 15 minutos durante las 3, 4 o 5 horas de monitoreo realizadas en función a las labores de cocción de los alimentos realizadas por cada hogar monitoreado en esta ocasión.

Tabla 11. Condiciones atmosféricas, tercer monitoreo.

TERCER MONITOREO				
N° Casa	Código	Promedio		
		Velocidad del Viento [m/s]	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]
1	C1M3	0.30	19.3	89.0
2	C2M3	0.26	19.5	89.4
3	C3M3	0.13	21.8	83.4
4	C4M3	0.20	23.8	83.4
5	C5M3	0.29	22.8	87.7
6	C6M3	0.24	22.9	83.7
7	C7M3	0.13	21.4	93.1
8	C8M3	0.14	20.6	86.5
9	C9M3	0.35	21.8	90.9
10	C10M3	0.22	22.3	87.6
11	C11M3	0.18	25.8	77.0
12	C12M3	0.34	23.7	85.7
13	C13M3	0.15	20.6	86.3
14	C14M3	0.14	22.8	94.3
15	C15M3	0.13	22.7	88.7
16	C16M3	0.21	24.6	80.4
17	C17M3	0.08	23.3	87.4

Nota Explicativa: se muestra el valor promedio de velocidad del viento, temperatura y humedad relativa del entorno de las 17 viviendas estudiadas durante el tercer monitoreo atmosférico. Los valores promedio fueron calculados en base a las cuatro mediciones obtenidas en intervalos de 15 minutos durante la hora de monitoreo.

3.2. COMBUSTIBLE

Los diferentes análisis de laboratorio efectuados han proporcionados datos importantes para el cálculo del contenido de humedad y poder calórico de las especies de árboles empleadas como leña en la comunidad Tsáchila de El Poste; dichos valores pueden observarse en las tablas 12, 13, 14, 15 y 16;

mientras que los valores referentes al balance energético del combustible empleado han sido recopilados en las tablas 17 y 18.

3.2.1. Contenido de Humedad

Los valores resultantes del ensayo de laboratorio realizado para conocer el contenido de humedad de las muestras de leña de guabo y naranjo recolectadas en la primera visita de campo al área experimental han sido sintetizados en la tabla 12.

Tabla 12. Resultados contenido de humedad.

Muestra	Peso Inicial [g]	Peso Final [g]	Humedad [%]
Guabo 1	67.274	30.0272	124.04
Guabo 2	8.0032	6.5289	22.58
Guabo 3	44.848	18.8898	137.42
Naranjo 1	3.4683	2.9365	18.11
Naranjo 2	19.05	17.0345	11.83
Naranjo 3	25.3554	12.1143	109.30

Nota Explicativa: valores de humedad contenida en las seis muestras de leña analizadas, expresados en [%] de agua presente en las mismas. Los resultados del contenido de humedad han sido calculados a través de la aplicación de la ecuación 2, descrita en la metodología de este trabajo.

3.2.2. Poder Calorífico

Los ensayos desarrollados en la bomba calorimétrica adiabática arrojaron varios datos para la obtención del poder calorífico contenido en la leña de guabo (tablas 13 y 14) y naranjo (tablas 15 y 16) empleada por los habitantes de esta comunidad. Los resultados se exhiben de la siguiente manera:

3.2.2.1. Guabo

Tabla 13. Datos de pastillas de ácido benzoico empleadas para el análisis de las muestras de leña de guabo.

DATOS REACTIVO DE EQUILIBRIO BOMBA CALORIMÉTRICA ADIABÁTICA							
Ácido Benzoico	VCAB [J/g]	PABQ [g]	EAB [J]	TfAB [°C]	TiAB [°C]	ΔTAB [°C]	QB [J/°C]
Pastilla 1	26454.00	1.00	26454.00	21.00	23.65	2.65	9982.64
Pastilla 2	26454.00	1.00	26454.00	21.00	23.45	2.45	10797.55
Pastilla 3	26454.00	1.00	26454.00	21.00	23.45	2.45	10797.55
Pastilla 4	26454.00	1.00	26454.00	21.00	23.15	2.15	12304.19
Pastilla 5	26454.00	1.00	26454.00	21.00	23.40	2.40	11022.50
Pastilla 6	26454.00	1.00	26454.00	21.00	23.35	2.35	11257.02
Pastilla 7	26454.00	1.00	26454.00	21.00	23.15	2.15	12304.19

Explicación: desglose de los datos conseguidos durante la calibración del equipo utilizado, previo a los ensayos realizados con cada muestra de leña. La aplicación de las ecuaciones incluidas en la metodología fue necesaria para su cálculo.

Tabla 14. Poder calórico de la leña de guabo.

PODER CALÓRICO: MUESTRAS DE GUABO								
Leña de Guabo	mp [g]	mpB [g]	mc [g]	Tfc [°C]	Tic [°C]	ΔTc [°C]	Ec [J]	Qc [J/g]
Muestra 1	7.80	8.80	1.00	20.55	22.45	1.90	18967.02	18967.02
Muestra 2	7.80	8.80	1.00	20.75	22.45	1.70	18355.84	18355.84
Muestra 3	7.80	8.80	1.00	20.65	22.45	1.80	19435.59	19435.59
Muestra 4	7.80	8.80	1.00	21.00	22.38	1.38	16979.78	16979.78
Muestra 5	7.80	8.80	1.00	21.00	22.68	1.68	18517.80	18517.80
Muestra 6	7.80	8.80	1.00	21.15	22.68	1.53	17223.24	17223.24
Muestra 7	7.80	8.80	1.00	21.15	22.68	1.53	18825.40	18825.40
Poder calórico leña de guabo:								18329.24

Explicación: se detallan los resultados necesarios logrados para el cálculo del poder calórico de la leña de guabo. Estos fueron calculados aplicando las ecuaciones descritas en la metodología del presente trabajo de investigación.

3.2.2.2. Naranja

Tabla 15. Datos de pastillas de ácido benzoico empleadas para el análisis de las muestras de leña de naranja.

DATOS REACTIVO DE EQUILIBRIO BOMBA CALORIMÉTRICA ADIABÁTICA							
Ácido Benzoico	VCAB [J/g]	PABQ [g]	EAB [J]	TfAB [°C]	TiAB [°C]	ΔTAB [°C]	QB [J/°C]
Pastilla 1	26454.00	1.00	26454.00	21.00	23.45	2.45	10797.55
Pastilla 2	26454.00	1.00	26454.00	21.00	23.40	2.40	11022.50
Pastilla 3	26454.00	1.00	26454.00	21.00	23.45	2.45	10797.55
Pastilla 4	26454.00	1.00	26454.00	21.00	23.15	2.15	12304.19
Pastilla 5	26454.00	1.00	26454.00	21.00	23.40	2.40	11022.50
Pastilla 6	26454.00	1.00	26454.00	21.00	23.25	2.25	11757.33

Explicación: desglose de los datos conseguidos durante la calibración del equipo utilizado, previo a los ensayos realizados con las muestras de leña de naranja. La aplicación de las ecuaciones incluidas en la metodología fue necesaria para su cálculo.

Tabla 16. Poder calórico de la leña de naranja.

PODER CALÓRICO: MUESTRAS DE NARANJO								
Leña de Naranja	mP [g]	mPB [g]	mc [g]	Tfc [°C]	Tic [°C]	ΔTc [°C]	Ec [J]	Qc [J/g]
Muestra 1	7.80	8.80	1.00	21.35	22.55	1.20	12957.06	12957.06
Muestra 2	7.80	8.80	1.00	21.35	22.55	1.20	13227.00	13227.00
Muestra 3	7.80	8.80	1.00	21.00	22.15	1.15	12417.18	12417.18
Muestra 4	7.80	8.80	1.00	21.00	22.08	1.08	13288.52	13288.52
Muestra 5	7.80	8.80	1.00	21.15	22.38	1.23	13557.68	13557.68
Muestra 6	7.80	8.80	1.00	21.15	22.32	1.17	13756.08	13756.08
Poder calórico leña de naranja:								13200.59

Explicación: se detallan los resultados necesarios logrados para el cálculo del poder calórico de la leña de naranja. Estos fueron calculados aplicando las ecuaciones descritas en la metodología del presente trabajo de investigación.

3.2.3. Balance Energético

Las tablas 17 y 18 recopilan los datos conseguidos de manera experimental para la elaboración del balance energético. Fueron imprescindibles los ensayos previos para la determinación del poder calórico de la leña de guabo y naranjo, así como la variación de temperatura para el cálculo de la capacidad térmica aprovechable proporcionada por los dos sistemas estudiados. Este balance ha proporcionado datos importantes para la obtención de la eficiencia de los sistemas y la cantidad de energía no aprovechada durante el proceso de combustión, resultados que serán analizados más adelante.

Tabla 17. Resultados del balance energético.

BALANCE ENERGÉTICO: LEÑA DE GUABO												
N° Réplica	Tf [°C]	Ti [°C]	ΔT [°C]	m [g]	C [cal/g°C]	QA [kJ]	Promedio QA [kJ]	mc [kg]	Pc [kJ/kg]	Qc [kJ]	QP [kJ]	Promedio QP [kJ]
LEÑA DE GUABO												
Cocina Artesanal												
1	63.6	15.4	48.2			604.4					3977.9	
2	64.0	15.7	48.3			605.7					3976.6	
3	64.3	16.1	48.2	3000	1	604.4	609.0	0.25	18329.2	4582.3	3977.9	3973.3
4	64.8	16.3	48.5			608.2					3974.1	
5	65.4	15.9	49.5			620.7					3961.6	
6	64.9	16.2	48.7			610.7					3971.6	
Cocina Mejorada												
1	80.1	15.1	65.0			815.1					3767.2	
2	79.8	15.3	64.5			808.8					3773.5	
3	79.6	15.8	63.8	3000	1	800.1	807.6	0.25	18329.2	4582.3	3782.2	3774.7
4	80.3	15.6	64.7			811.3					3771.0	
5	79.5	15.2	64.3			806.3					3776.0	
6	79.9	15.8	64.1			803.8					3778.5	

Explicación: tabla de valores logrados para la elaboración del balance energético de la leña de guabo empleada en cocinas artesanales y mejoradas, se especifican las 6 réplicas realizadas para cada sistema. El promedio Q_A corresponde a la capacidad térmica aprovechable, el Q_c a la energía total proporcionada por el combustible empleado y, el promedio Q_P es igual a la cantidad de energía no aprovechada durante este proceso de combustión.

Tabla 18. Resultados del balance energético.

BALANCE ENERGÉTICO: LEÑA DE NARANJO												
Nº Réplica	Tf [°C]	Ti [°C]	ΔT [°C]	m [g]	C [cal/g°C]	QA [kJ]	Promedio QA [kJ]	mc [kg]	Pc [kJ/kg]	Qc [kJ]	QP [kJ]	Promedio QP [kJ]
LEÑA DE NARANJO												
Cocina Artesanal												
1	60.1	15.0	45.1			566.5					2733.7	
2	60.1	15.3	44.8			562.7					2737.4	
3	60.4	15.4	45.0	3000	1	565.2	562.5	0.25	13200.6	3300.15	2734.9	2737.7
4	61.0	15.8	45.2			567.7					2732.4	
5	60.8	16.1	44.7			561.4					2738.7	
6	60.5	16.6	43.9			551.4					2748.7	
Cocina Mejorada												
1	76.9	15.1	61.8			775.0					2525.2	
2	77.2	15.9	61.3			768.7					2531.4	
3	76.6	16.2	60.4	3000	1	757.4	765.1	0.25	13200.6	3300.15	2542.7	2535.0
4	76.3	16.6	59.7			748.6					2551.5	
5	77.1	15.9	61.2			767.4					2532.7	
6	77.4	15.7	61.7			773.7					2526.4	

Explicación: tabla de valores logrados para la elaboración del balance energético de la leña de guabo empleada en cocinas artesanales y mejoradas, se especifican las 6 réplicas realizadas para cada sistema. El promedio Q_A corresponde a la capacidad térmica aprovechable, el Q_c a la energía total proporcionada por el combustible empleado y, el promedio Q_P es igual a la cantidad de energía no aprovechada durante este proceso de combustión.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

La figura 45 presenta un breve resumen de los puntos a ser tratados en el presente capítulo.

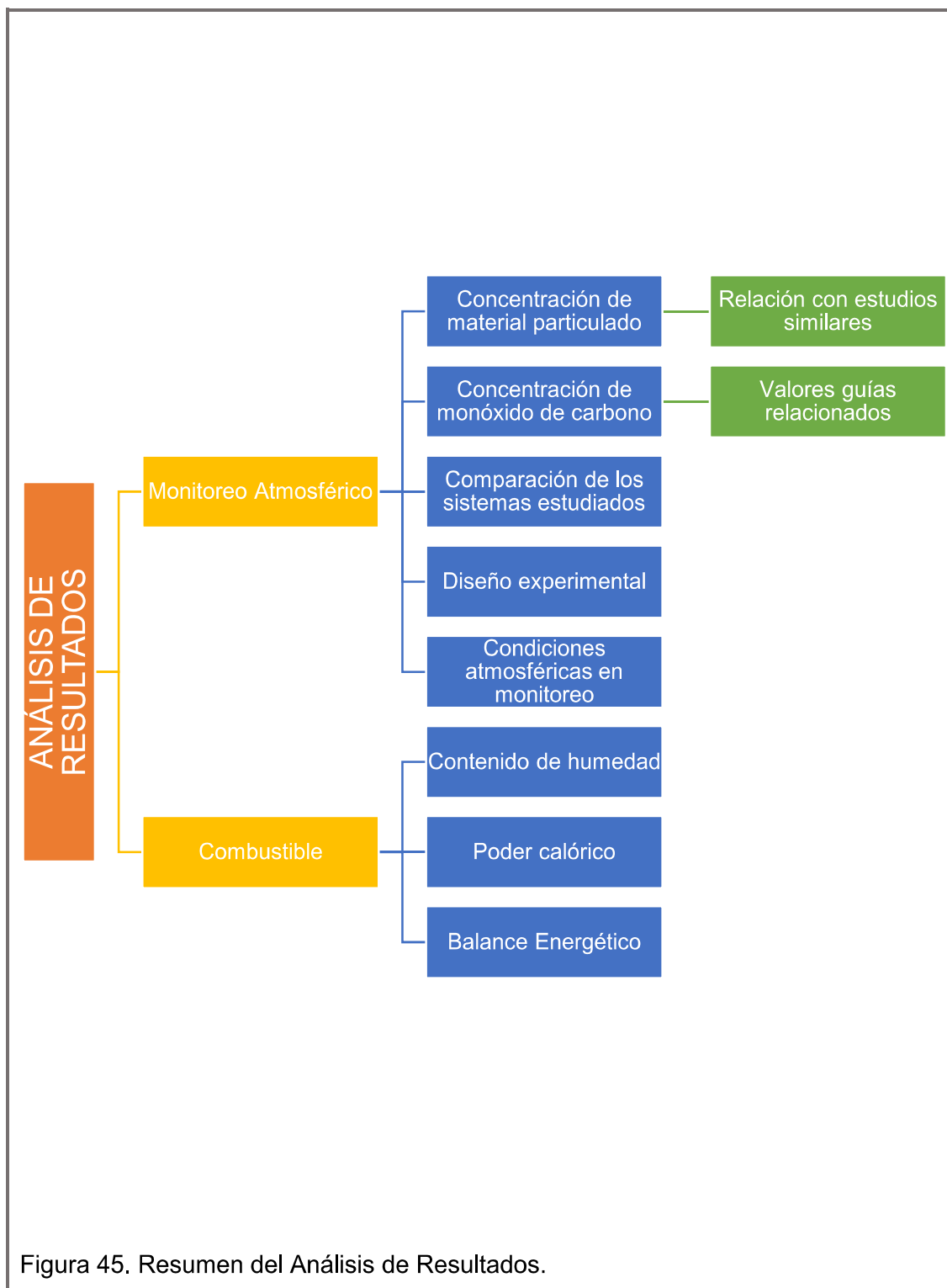


Figura 45. Resumen del Análisis de Resultados.

4.1. MONITOREO ATMOSFÉRICO

El apartado de este capítulo explica los resultados obtenidos durante los tres monitoreos atmosféricos realizados en la comunidad Tsáchila de El Poste. Se ha procedido a analizar la base de datos creada para las tres fases consideradas en esta investigación y su evaluación se centra en los objetivos específicos puntualizados inicialmente. Es así que a continuación se han relacionado los resultados alcanzados de material particulado con valores citados por estudios similares y se ha comparado cada gráfica elaborada de monóxido de carbono con las guías establecidas por organismos internacionales. De igual manera se contrasta los datos obtenidos en referencia a los contaminantes liberados por la combustión de leña en cocinas artesanales y mejoradas empleadas por los habitantes del área experimental y, el análisis estadístico de los tratamientos considerados a través de un diseño experimental que compruebe las hipótesis planteadas en relación a este estudio.

4.1.1. Concentración de material particulado

4.1.1.1. Relación con estudios similares

Como ya se mencionó, la OMS (2005) ha fijado directrices para la exposición breve (24 horas) y la exposición prolongada (media anual) a material particulado. Dado que el monitoreo propuesto fue de 1 hora, período considerado válido para la recolección de un número de muestras representativas para cumplir con los objetivos de monitoreo planteados (DIGESA, 2005, pp. 11 - 12), los datos levantados no han podido ser comparados con estos valores referenciales.

A pesar de ello, es importante resaltar que las mediciones de PM y CO de este estudio pueden ser comparadas con los resultados alcanzados por estudios similares, aunque es difícil contrastar en su totalidad este estudio con los

demás, dado que cada uno ha considerado distintas variables que pueden ser analizadas dentro de esta temática de investigación; por ejemplo: la utilización de diferentes tipos de combustibles sólidos para cocinar, varios períodos de monitoreo y/o técnicas de muestreo que se ajusten a las necesidades del estudio. De manera que la literatura revisada incluye condiciones afines a las trabajadas.

Smith, a través de la publicación “Fuel combustion, air pollution exposure, and health: The situation in Developing Countries” (1993, pp. 539 - 551), examina la concentración de partículas en varios microambientes del mundo con el fin de estimar la cantidad recibida de este contaminante por los individuos expuestos. Para países en desarrollo con microambientes ubicados en el área rural, el autor establece una concentración de 400 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] como la mayor registrada; advirtiendo que la media diaria sugerida por la OMS es de 150 a 230 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], cuya exposición no debe sobrepasar más de 7 días por año de exposición continua.

Asimismo, estudios de la contaminación del “ambiente doméstico” por la combustión de biomasa en países menos desarrollados, bajo condiciones que pueden ser tomadas en cuenta para la concordancia con los datos resultantes de este trabajo de titulación, han resultado en las siguientes concentraciones de material particulado, indicadas en la tabla 19:

Tabla 19. Niveles de contaminación típica por la combustión de biomasa en ambientes interiores.

País	Año de Publicación	Descripción de la muestra	Nivel de Contaminación Típica [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
India	1982	Proceso de cocción de 15 minutos en cocinas artesanales a leña.	15800
India	1982	Proceso de cocción de 30 minutos, en cocinas a leña, 64 casas.	15000
Nepal	1986	Proceso de cocción, 1 hora, mediciones realizadas a 0,7 metros del techo.	400 - 21000
India	1988	Proceso de cocción de 2 horas.	4700

Tomado de: Meyers y Leach, 1989; Ramakrishna, Durgaprasad y Smith, 1989; Pandey, Neupane, Gautam y Shrestha, 1989; Smith, 1993 y OMS, 2000.

Nota Explicativa: estudios relacionados que indican varias concentraciones de material particulado encontradas de acuerdo al análisis de la muestra seleccionada. Las referencias indicadas corresponden a la década de los ochenta, ya que no se han encontrado fuentes más actualizadas relacionadas a este tema de investigación.

La tabla 20, indica los niveles de contaminación por partículas encontrados por este estudio.

Tabla 20. Concentraciones de PM obtenidas durante los tres monitoreos atmosféricos.

Contaminante	Variable Estadística	Primer Monitoreo	Segundo Monitoreo	Tercer Monitoreo
Material Particulado Máximo - Pmmax [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	N	17	6	17
	h	1	4	1
	Promedio	4224.1	2893.3	4014.6
	DS	13611.5	4919	6534.2
	Mínimo	0	10	69
	Máximo	128000	46500	36700
Material Particulado Promedio - Pmprom [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	N	17	6	17
	h	1	4	1
	Promedio	471.4	435.6	793
	DS	1208.1	737.4	1363.7
	Mínimo	0	7	3
	Máximo	14110	10000	8900

Nota Explicativa: estadística descriptiva de las concentraciones observadas de material particulado máximo y promedio en la comunidad Tsáchila de El Poste; N hace referencia al número de casas monitoreadas, h a las horas de monitoreo y DS es la desviación estándar.

En la comunidad Tsáchila de El Poste, en cocinas artesanales, la media de una hora para el Pmmax fue de 4.224,1 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], 11 veces mayor que el valor propuesto por Smith (1993), menor a los valores encontrados en 1982 y en 1988 en la India y dentro del rango establecido por Pandey, Neupane, Gautam y Shrestha (1989). Mientras que para el Pmprom la media de una hora fue de 471,4 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], menor a los valores encontrados en la India en los años 1982 y 1988, dentro del rango proporcionado por Pandey et al., (1989) y 1,2 veces mayor al valor indicado por Smith (1993); todo esto producto de la quema de leña en fogones abiertos.

Los valores encontrados por este estudio tienen mayor aproximación con el estudio preparado por Pandey et al. (1989), cuyas mediciones fueron desarrolladas durante el proceso de cocción con los monitores ubicados a 0,7 metros del techo y con 1 hora de duración; factores similares a los

considerados en el primer monitoreo a las 17 viviendas de la comunidad Tsáchila de El Poste que fueron: durante el proceso de cocción de los alimentos con la ubicación de los equipos a aproximadamente 1,4 metros del suelo y 1 hora de duración, resultado que coloca a este estudio dentro de los niveles de contaminación típica de material particulado dentro de un “microambiente”.

Del mismo modo, estudios más actuales realizados por autores como Dasgupta, Hug, Khaliquzzaman y Wheeler (2007) revelan que el nivel de contaminación interior por aerosoles en una vivienda de Bangladesh puede llegar a los 300 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] con picos de hasta 4.864 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] por causa de la quema de biomasa en fogones artesanales. Es así que para el primer monitoreo, se registraron picos de 128.000 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] de Pm_{max} y 14.110 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] de Pm_{prom} ; resultados que son superiores a los datos antes mencionados, y por ello bastante preocupantes. En función de los datos presentados se puede fortalecer la premisa de la OMS que afirma que los niveles de contaminación de aire interior usualmente superan hasta en 100 veces a los límites propuestos por esta organización.

Al quemar leña en estufas de baja eficiencia, estas emiten humo que contiene altas cantidades de contaminantes nocivos que afectan la salud de las personas expuestas (Bruce et al., 2000, p. 1078). La utilización de este tipo de sistemas aún persiste en el área de estudio por lo que la exposición a material particulado es un riesgo inminente para sus habitantes. Hay que recordar que las concentraciones de partículas en el aire de interior son intensamente variables (OMS, 2000, p. 56), por lo que factores como los niveles de fondo y la ventilación de las viviendas influyen en este proceso; de igual manera los factores climáticos del lugar que serán analizados más adelante. Así en función a las concentraciones obtenidas se puede concluir que el encendido de las cocinas artesanales y la permanencia de su candela hasta que esta se extinga, cuyo humo según los habitantes es aprovechado para ahuyentar insectos, incrementa los niveles de fondo existentes en los hogares. Mientras que la ventilación disponible en las viviendas (aleros y/o aguilonos, 2 en promedio por cocina) no son suficientes para evacuar los contaminantes producidos durante

las labores de cocción de alimentos y, los techos de paja no constituyen un medio filtrante eficaz del humo contenido en los “microambientes”, como equivocadamente se piensa.

Ahora bien, los resultados del primer monitoreo pudieron ser visualizados desde la figura 27 hasta la figura 32. En ellos se puede apreciar las casas con los mayores niveles de concentración de los contaminantes estudiados, siendo estas las casas número: 1, 4, 6, 7, 8 y 9; esta representación fue la muestra inicial para el segundo monitoreo. Las mismas fueron escogidas por varias razones aparte de los niveles más altos registrados en la primera visita, sino también por su cercanía para conformar las parejas de monitoreo por día, la disposición de sus propietarios para aportar en la investigación y, principalmente, por contar con la cocina artesanal al interior de una habitación con influencia en los restantes microambientes existentes en las viviendas.

De acuerdo a información obtenida de los habitantes, las mujeres de esta comunidad pasan un promedio de 4 horas al día en la cocina y, mantienen el fuego encendido durante aproximadamente 6 horas por día. En base a esta premisa se estableció el periodo de monitoreo para la segunda visita al área experimental, logrando esta vez para el P_{max} una media de 4 horas igual a 2.893,3 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] y para el P_{prom} una media de 4 horas de 435,6 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]; y, picos máximos de hasta 46.500 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] y 10.000 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], respectivamente.

Kalpana, Sankar, Padmavathi, Sumi y Smith (2004, p. S15) afirman que la concentración de material particulado relacionada a la combustión de biomasa a lo largo del periodo de cocción abarca un rango que oscila entre los 200 y los 30.000 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]; de manera que los resultados conseguidos durante el segundo monitoreo atmosférico, se ubican dentro del rango establecido por la fuente bibliográfica mencionada. Los valores obtenidos pueden ser comparados con el referencial, ya que el periodo considerado incluye a todo el proceso de cocción en una cocina artesanal que, para el presente caso de estudio ha sido de 4 horas en promedio.

Esta vez, se puede apreciar que los valores del segundo monitoreo son menores a los registrados en el primer monitoreo. Cabe mencionar que ambos monitoreos corresponden al estudio de cocinas artesanales; sin embargo, la reducción de los niveles de material particulado en esta ocasión se deben sin duda a que el segundo monitoreo incluye una parte del proceso de transición del cambio en la utilización de estufas artesanales por mejoradas, ya que dos de las seis casas monitoreadas se encontraban alternando el uso de ambos sistemas.

Finalmente, el tercer monitoreo abarcó el estudio de 17 cocinas mejoradas en la comunidad Tsáchila de El Poste. La tabla 20 resume los valores alcanzados, teniendo en esta ocasión para el P_{max} una media de una hora igual a 4014,6 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] y para el P_{prom} una media de una hora de 793 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]; y, picos máximos registrados de hasta 36.700 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] y 8.900 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], respectivamente.

Con los resultados mencionados y los indicados desde la figura 39 hasta la figura 44, contrastados con los resultados observados durante el primer monitoreo, se puede concluir que los valores obtenidos en el tercer monitoreo son inferiores a los valores proporcionados por el primer monitoreo atmosférico; demostrando que las cocinas mejoradas, sin duda, contribuyen a la disminución de la concentración de material particulado al interior de las viviendas. A consecuencia de ello se manifiesta que existió una disminución del 4,95% en los valores de P_{max} y del 71,33% de P_{prom}, siendo en promedio la reducción total de ambos contaminantes de 38,14% gracias a la implementación de estufas mejoradas; cumpliendo así lo estimado por autores como Zuk et al. (2007, pp. 224 - 227) que afirman que hasta un 60% de las concentraciones de PM y CO pueden ser aminoradas al interior de los hogares intervenidos.

4.1.2. Concentración de monóxido de carbono

4.1.2.1. Valores guías relacionados

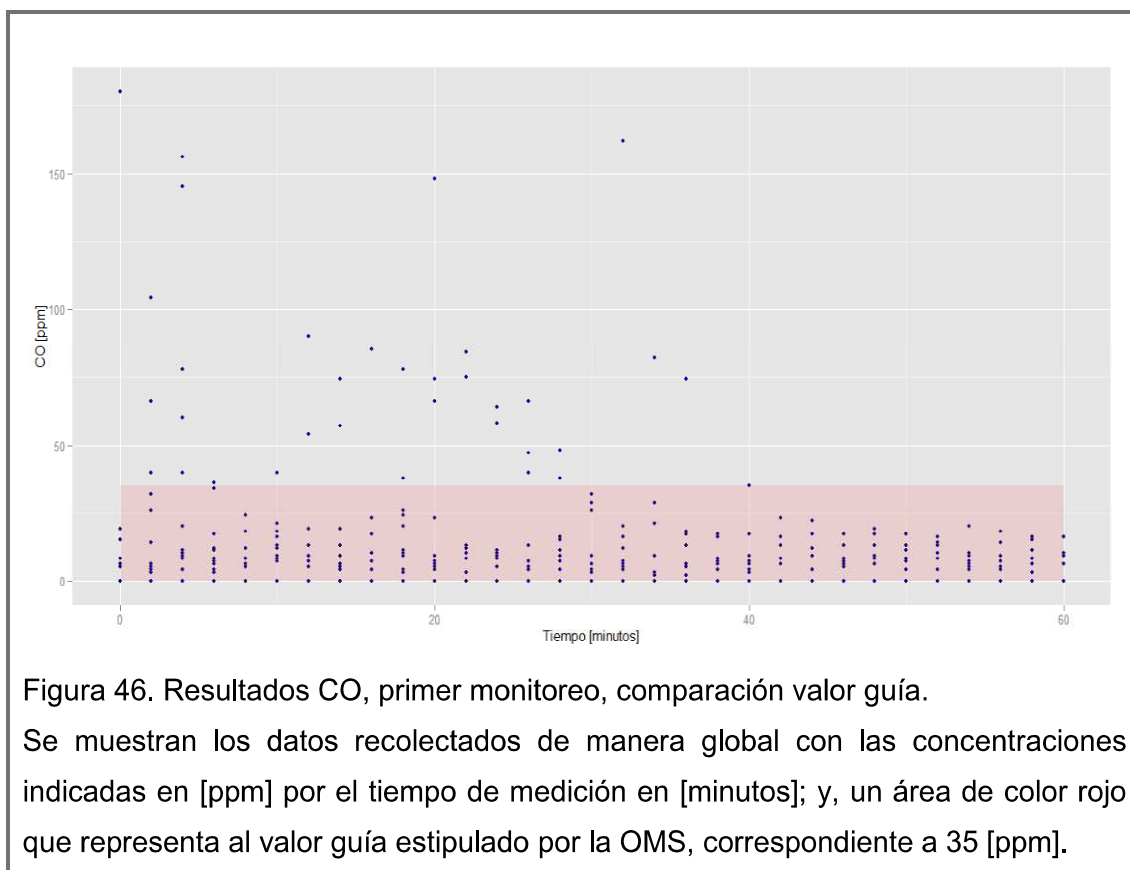
Tanto el primer como el tercer monitoreo atmosférico fueron realizados en períodos de 1 hora; de manera que, la directriz aguda propuesta por la OMS (2010, p. 86 - 87) de 35 [ppm] para un tiempo promedio de exposición de 1 hora, es válida para la comparación de los resultados de concentración de monóxido de carbono obtenidos por este estudio; la tabla 21 resume los niveles encontrados en la comunidad Tsáchila de El Poste.

Tabla 21. Concentraciones de CO obtenidas durante los tres monitoreos atmosféricos.

Contaminante	Variable Estadística	Primer Monitoreo	Segundo Monitoreo	Tercer Monitoreo
Monóxido de Carbono - CO [ppm]	N	17	6	17
	h	1	4	1
	Promedio	9.9	5.1	0.3
	DS	21.9	11	1.4
	Mínimo	0	0	0
	Máximo	180	112	9

Nota Explicativa: estadística descriptiva de las concentraciones de monóxido de carbono observadas en la comunidad Tsáchila de El Poste; N hace referencia al número de casas monitoreadas, h a las horas de monitoreo y DS es la desviación estándar.

Para comparar los valores de monóxido de carbono (CO) conseguidos durante el primer monitoreo con el valor referencial, se ha elaborado la figura 46.



La tabla 21 revela que en cocinas artesanales (primer monitoreo), la concentración media de CO fue igual a 9,9 [ppm], resultado inferior a la guía; y picos de hasta 180 [ppm] registrados en una hora, valor que supera 5,14 veces al referencial, cuyo objetivo principal es la protección de la salud de los individuos expuestos. Asimismo, se puede distinguir en la figura 46, que la mayoría de datos se concentra en un rango que va desde los 0 hasta los 25 [ppm], por debajo del valor guía de 35 [ppm] con un 93,33% de presencia; mientras que el 6,67% de los datos levantados se ubican por encima del mismo, superando así a dicho valor.

Para continuar con el análisis, se puntualiza nuevamente que el segundo monitoreo atmosférico fue realizado en un periodo promedio de 4 horas. Por esta razón, se ha tomado únicamente la primera hora de monitoreo para ser comparada con el valor guía con el propósito de fortalecer los resultados antes destacados, dado que ambos monitoreos fueron realizados en cocinas artesanales; la figura 47 recopila esta información.

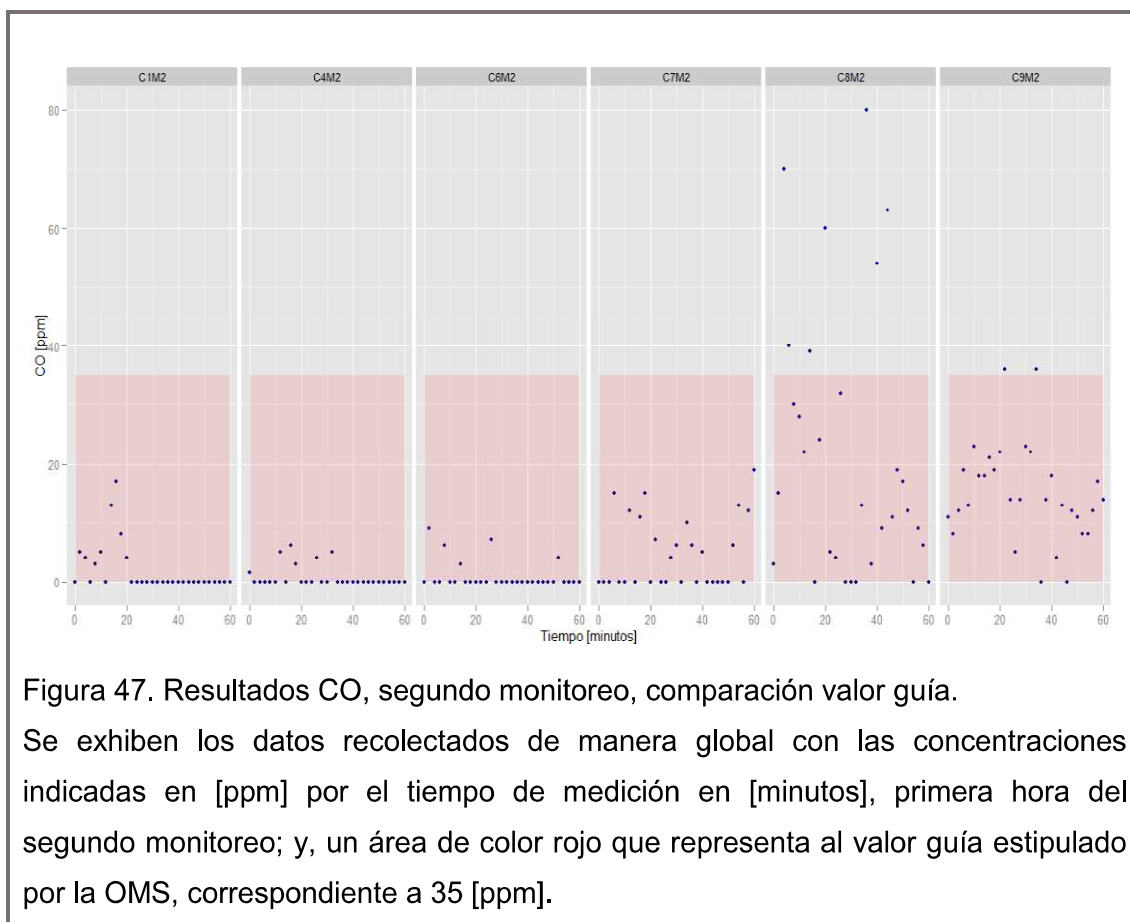


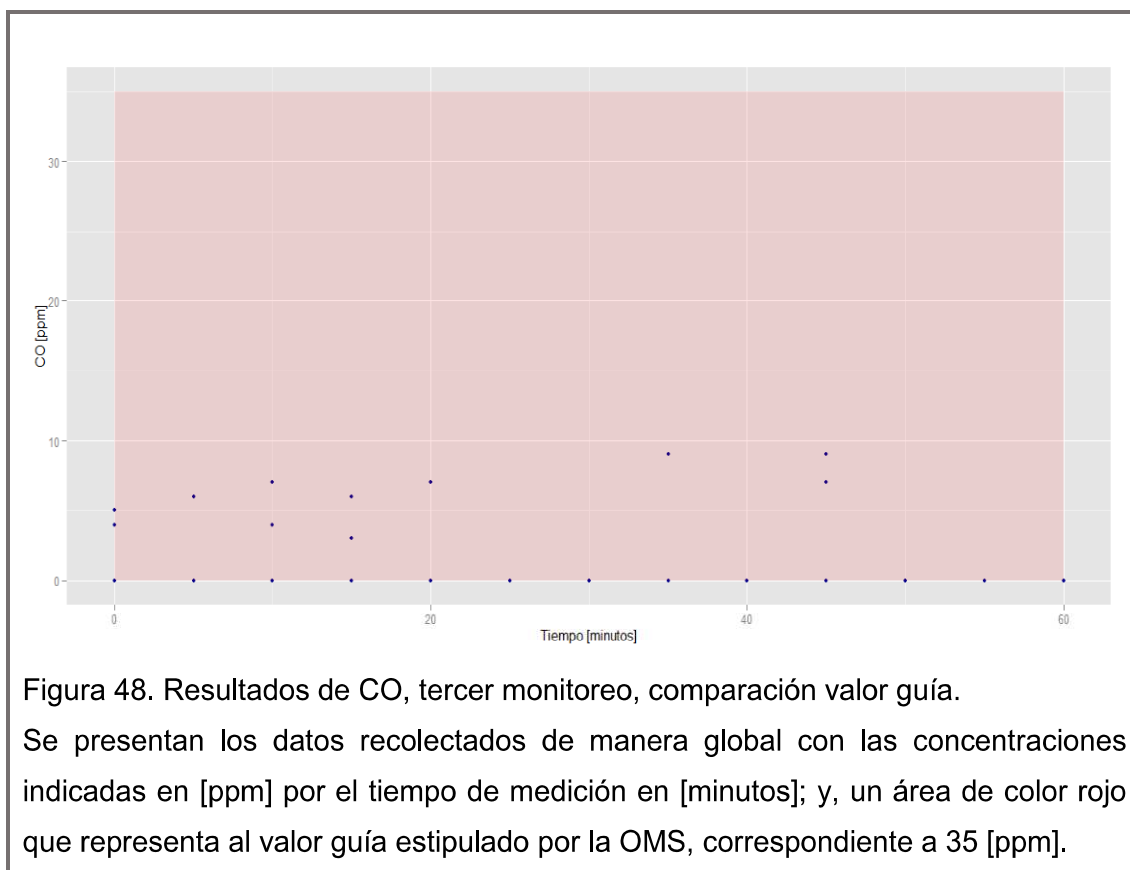
Figura 47. Resultados CO, segundo monitoreo, comparación valor guía.

Se exhiben los datos recolectados de manera global con las concentraciones indicadas en [ppm] por el tiempo de medición en [minutos], primera hora del segundo monitoreo; y, un área de color rojo que representa al valor guía estipulado por la OMS, correspondiente a 35 [ppm].

La figura 47 corrobora los resultados manifiestos en la figura 50, ya que en esta ocasión la mayoría de datos también se concentró debajo de los 35 [ppm], cumpliendo así con lo determinado por la OMS; existiendo tan solo dos viviendas en la que se encontraron escasos valores superiores al valor referencial.

Ya lo dijo Boy, Bruce y Delgado (2002, pp. 109 - 114), citado por Bazemore (2010, p. 13), los niveles de contaminación interior asociada al uso de leña se encuentran entre 10 y 500 [ppm] durante el periodo de cocción de alimentos; los resultados logrados durante el primer y segundo monitoreo atmosférico están dentro del rango de las concentraciones típicas de CO encontradas en estudios similares.

Ahora bien, en la figura 48 se indican los resultados de CO correspondientes al tercer monitoreo, comparados con el límite referencial.



Se concluye que la totalidad de los datos alcanzados durante el monitoreo a cocinas mejoradas (tercer monitoreo) no sobrepasan el nivel guía establecido por la OMS. Como se puede apreciar, los resultados se concentran en un rango que fluctúa entre 0 y 9 [ppm], con la media de una hora de 0,3 [ppm], un valor mínimo de 0 [ppm] y un pico máximo de 9 [ppm]; observándose, una reducción de cerca del 97% de concentración de monóxido de carbono al interior de los hogares monitoreados.

En el presente estudio, al igual que las concentraciones de material particulado; las concentraciones de monóxido de carbono encontradas en estufas mejoradas son inferiores a las producidas por cocinas artesanales, revalidando así la información proporcionada por estudios relacionados y organizaciones como la Alianza Mundial para Cocinas Limpias (2012).

4.1.3. Comparación de los sistemas estudiados

Para la comparación de los sistemas estudiados, se han seleccionado 6 hogares con indistintas concentraciones de material particulado y monóxido de carbono, en las que tanto la estufa artesanal como la estufa mejorada se encontraron ubicadas al interior de la vivienda durante el desarrollo de los monitoreos, ya que varias de las cocinas mejoradas instaladas fueron ubicadas al exterior de la vivienda; esto con la finalidad de contrastar los resultados obtenidos en términos de calidad de aire interior. Las viviendas seleccionadas para este análisis fueron las casas: 1, 6, 9, 13, 15 y 17 (número otorgado de acuerdo a su equivalencia inicial de monitoreo), mismas que cumplen con los requisitos antes mencionados.

Los resultados y su análisis se presentan desde la figura 49 hasta la figura 54, en las que se comparan los valores de P_{max} , P_{prom} y CO obtenidos en el primer monitoreo a cocinas artesanales y, en el tercer monitoreo a cocinas mejoradas; ambos con un periodo de toma de mediciones de 1 hora.

CASA 1

Con el propósito de diferenciar los resultados del primer hogar designado, se ha elaborado la figura 49.

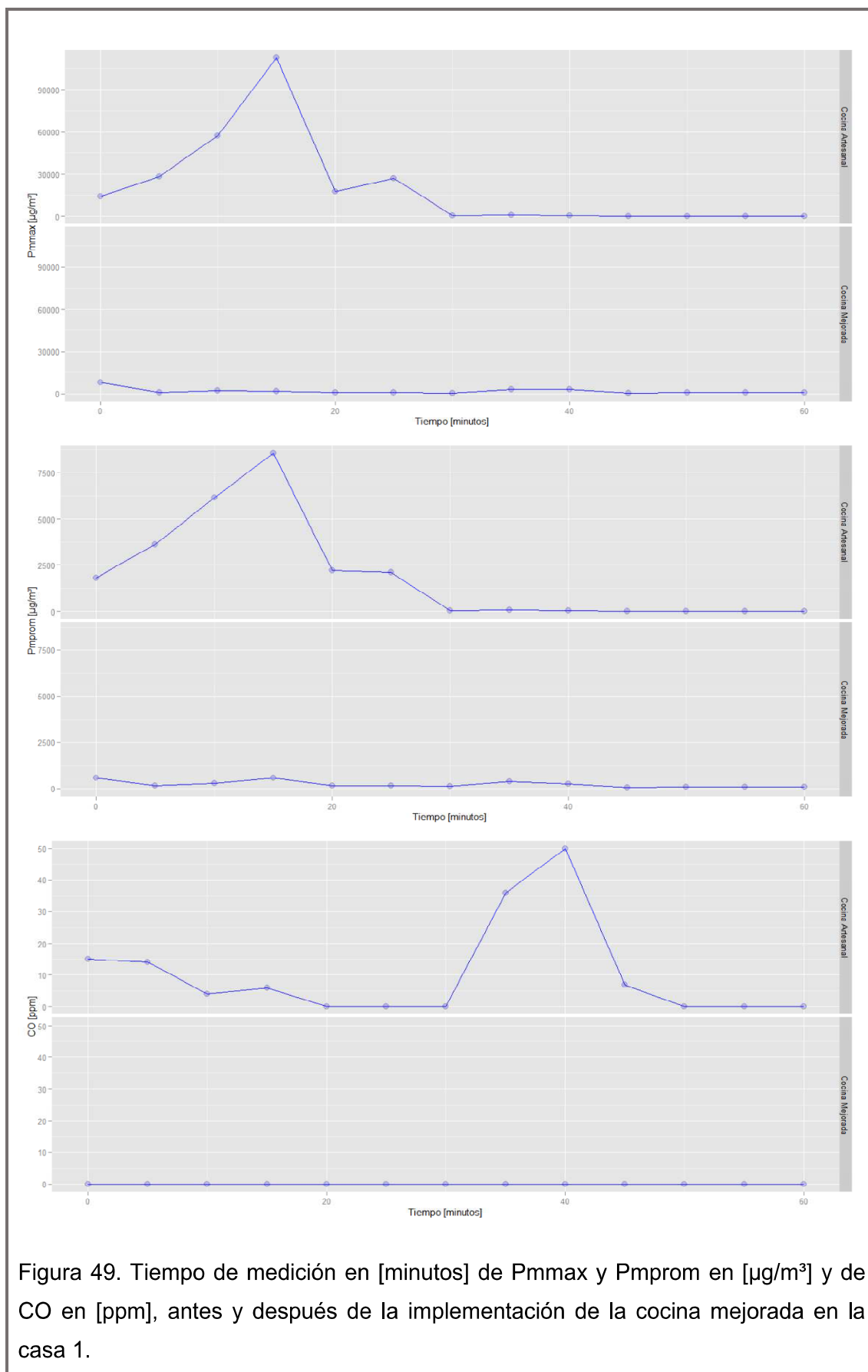


Figura 49. Tiempo de medición en [minutos] de Pmmax y Pmprom en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y de CO en [ppm], antes y después de la implementación de la cocina mejorada en la casa 1.

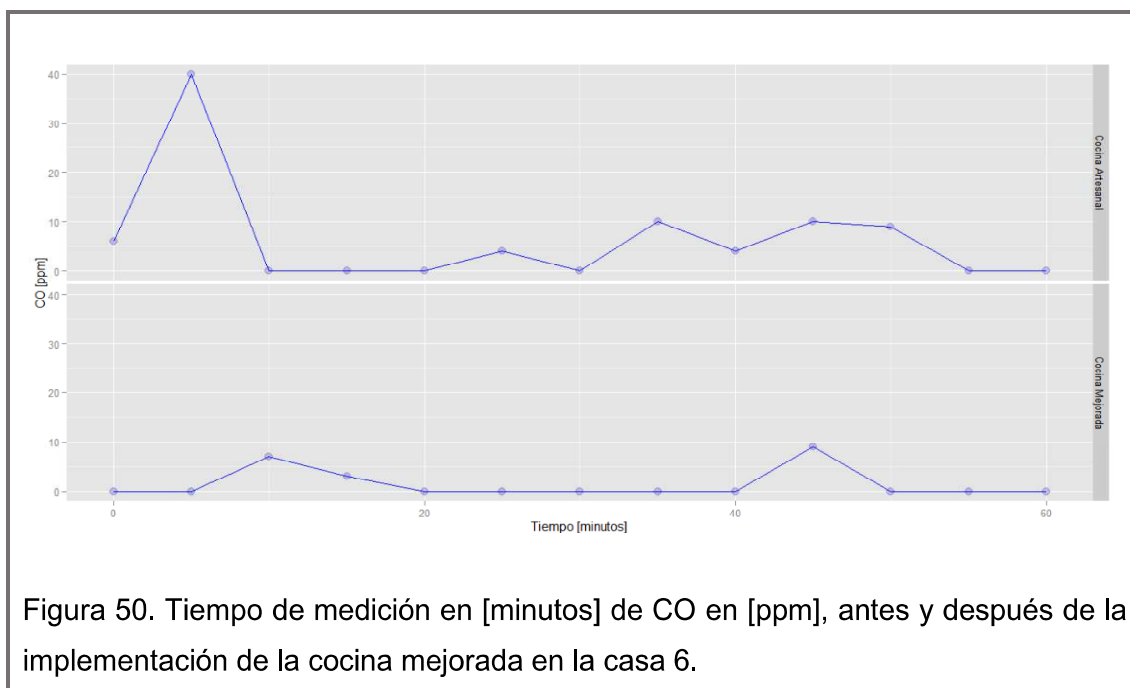
La figura 49 demuestra que la concentración de material particulado y la concentración de monóxido de carbono disminuyeron considerablemente al interior de la casa 1, gracias a la implementación de una cocina mejorada.

De manera general se indica que el P_{max} registró un valor superior a los 90.000 [µg/m³]; del mismo modo, el P_{prom} con un pico sobre los 7.500 [µg/m³], durante la utilización de la cocina artesanal. Ambos valores surgen durante los primeros 15 minutos de medición, en los que se está cocinando los alimentos; desde el minuto 25 se puede apreciar una disminución del valor de las mediciones. Con la cocina mejorada, tanto el P_{max} como el P_{prom} se mantienen por debajo de 30.000 [µg/m³] y 2.500 [µg/m³], respectivamente; a lo largo del proceso de cocción.

El CO presenta un valor máximo de 50 [ppm] con el uso de la cocina artesanal; mientras que al emplear la cocina mejorada, se observa una concentración total de 0 [ppm] al interior de la casa 1. Los dos contaminantes han sido reducidos en este hogar, con un descenso de la concentración de CO mucho más representativo que la de PM.

CASA 6

En referencia a la casa 6, es preciso señalar que en este caso particular se observó un incremento de la concentración de P_{max} y P_{prom} al interior de la vivienda durante la utilización de la cocina mejorada. Por lo antes descrito, las gráficas de material particulado no han sido incluidas en este análisis. Con ello, se puede concluir que no existió una disminución de material particulado al interior de este hogar; sin embargo, en relación a la concentración de CO si se observa un cambio, visible en la figura 50.



Al interior de la casa 6, el monóxido de carbono durante la utilización de la cocina artesanal alcanzó un pico máximo igual a 40 [ppm], aproximadamente al minuto 5 en el que aún se estaba encendiendo la candela. Entretanto que, al utilizar la cocina mejorada se registraron valores que no superaron los 10 [ppm], evidenciándose nuevamente una reducción de la concentración de este contaminante por causa de la instalación de una cocina mejorada.

CASA 9

La figura 51 recoge los resultados de P_{max}, P_{prom} y CO logrados al interior de esta vivienda.

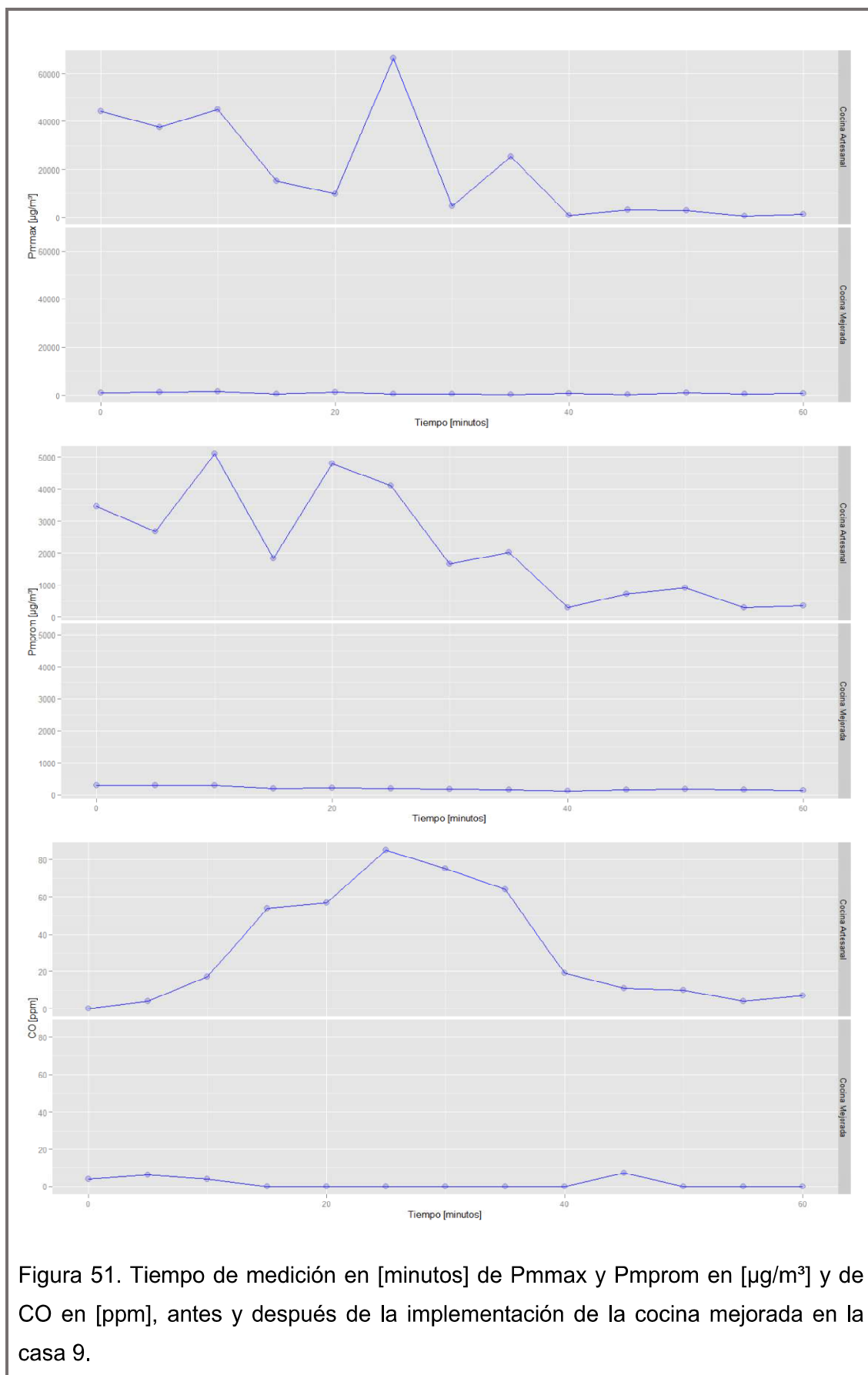


Figura 51. Tiempo de medición en [minutos] de Pmax y Pprom en [µg/m³] y de CO en [ppm], antes y después de la implementación de la cocina mejorada en la casa 9.

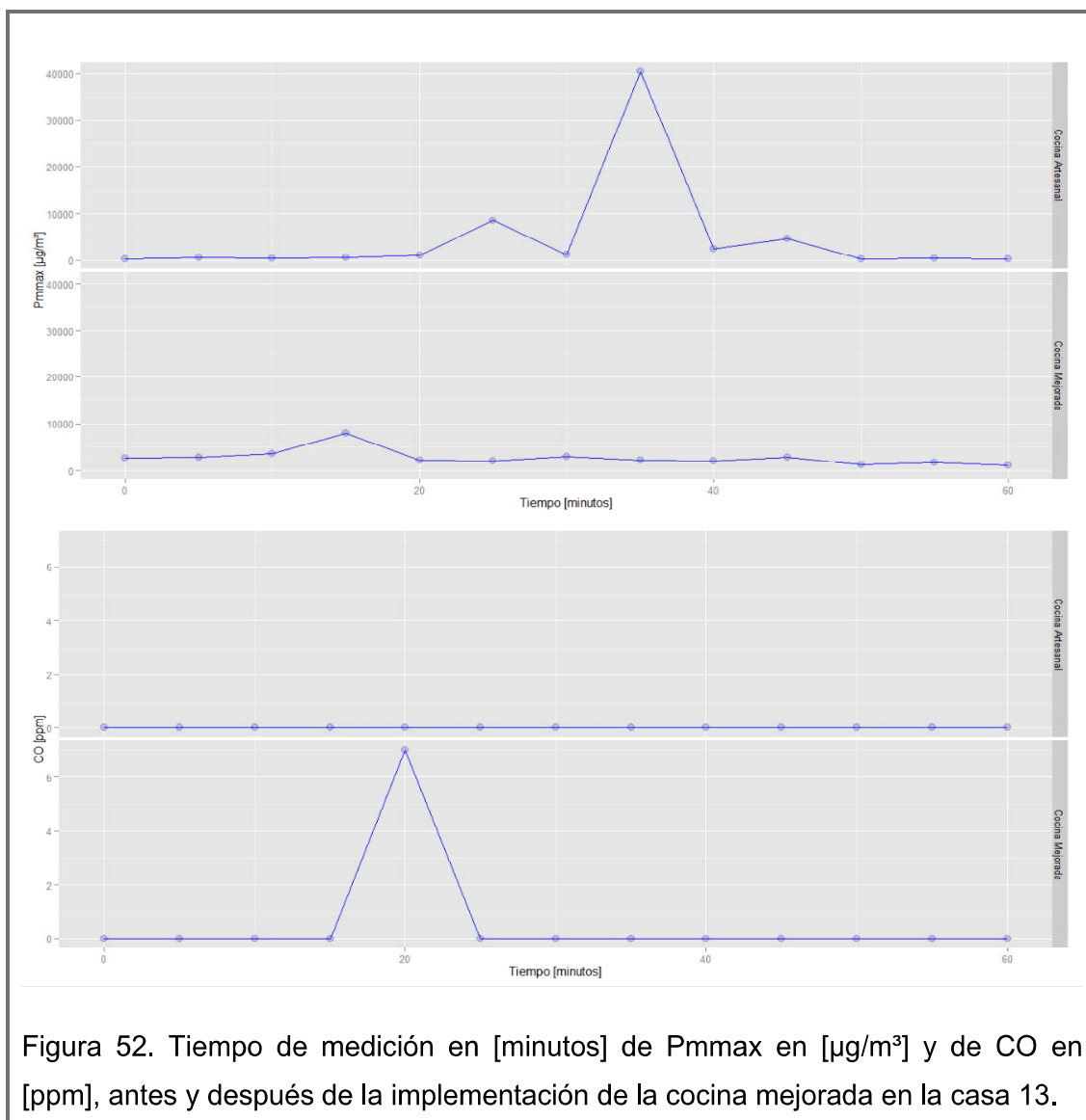
A través de la figura 51 se puede aseverar que las concentraciones de material particulado y de monóxido de carbono se han reducido cuantiosamente al interior de la casa 9.

En referencia a los valores de la cocina artesanal, se puede valorar que el P_{max} alcanzó un pico superior a 60.000 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] y, el P_{prom} un valor máximo ubicado en 5.000 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]; en las dos medidas se observa una fluctuación de los datos entre los 0 y 40 minutos, posterior a ello, hasta completar la hora de monitoreo, se aprecia un comportamiento constante de los datos, momento en el que el fuego abierto ya había sido apagado. Durante la utilización de la cocina mejorada, el P_{max} no superó los 20.000 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] y, el P_{prom} no sobrepasó los 1.000 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], siendo innegable la disminución de sus concentraciones.

Mientras que, el CO tuvo un pico ubicado por encima de los 80 [ppm] en el monitoreo a la cocina artesanal, teniendo un comportamiento similar al descrito en el material particulado y, un pico máximo que no excedió los 15 [ppm] en la medición a la cocina mejorada. Al igual que en las anteriores casas analizadas, tanto el material particulado como el monóxido de carbono redujeron su concentración al interior de este hogar después de la instalación de la cocina mejorada.

CASA 13

Otra de las casas seleccionadas para esta comparación es la número 13, la figura 52 resume los valores logrados en la misma. En esta ocasión, no se incluyen los resultados de P_{prom}, dado que los valores medidos en la cocina mejorada fueron mayores a los medidos en la cocina artesanal. A pesar de ello, si se ha logrado una disminución en la concentración de PM, ya que el P_{max} si mostró una disminución en sus niveles; situación que se repite con el CO.



Es así que en la figura 52 se puede distinguir que el Pmmax registró un pico máximo cercano a 40.000 [µg/m³] en el monitoreo a la cocina artesanal de la casa 13 y, un valor que no sobrepasó los 10.000 [µg/m³] en la cocina mejorada; produciéndose así un cambio en las concentraciones inicialmente registradas.

En cambio, se observaron concentraciones iguales a 0 [ppm] durante el empleo de ambos sistemas; registrándose únicamente un pico de 7 [ppm] en el minuto 20 en el que se utilizaba la estufa mejorada, valor que no ha sido considerado como representativo, por lo que se puede señalar que el comportamiento de este contaminante se ha mantenido constante al interior de esta vivienda.

CASA 15

La siguiente figura exhibe las concentraciones de P_{max} , P_{prom} y CO conseguidas en la casa 15, antes y después de la implementación de la estufa mejorada.

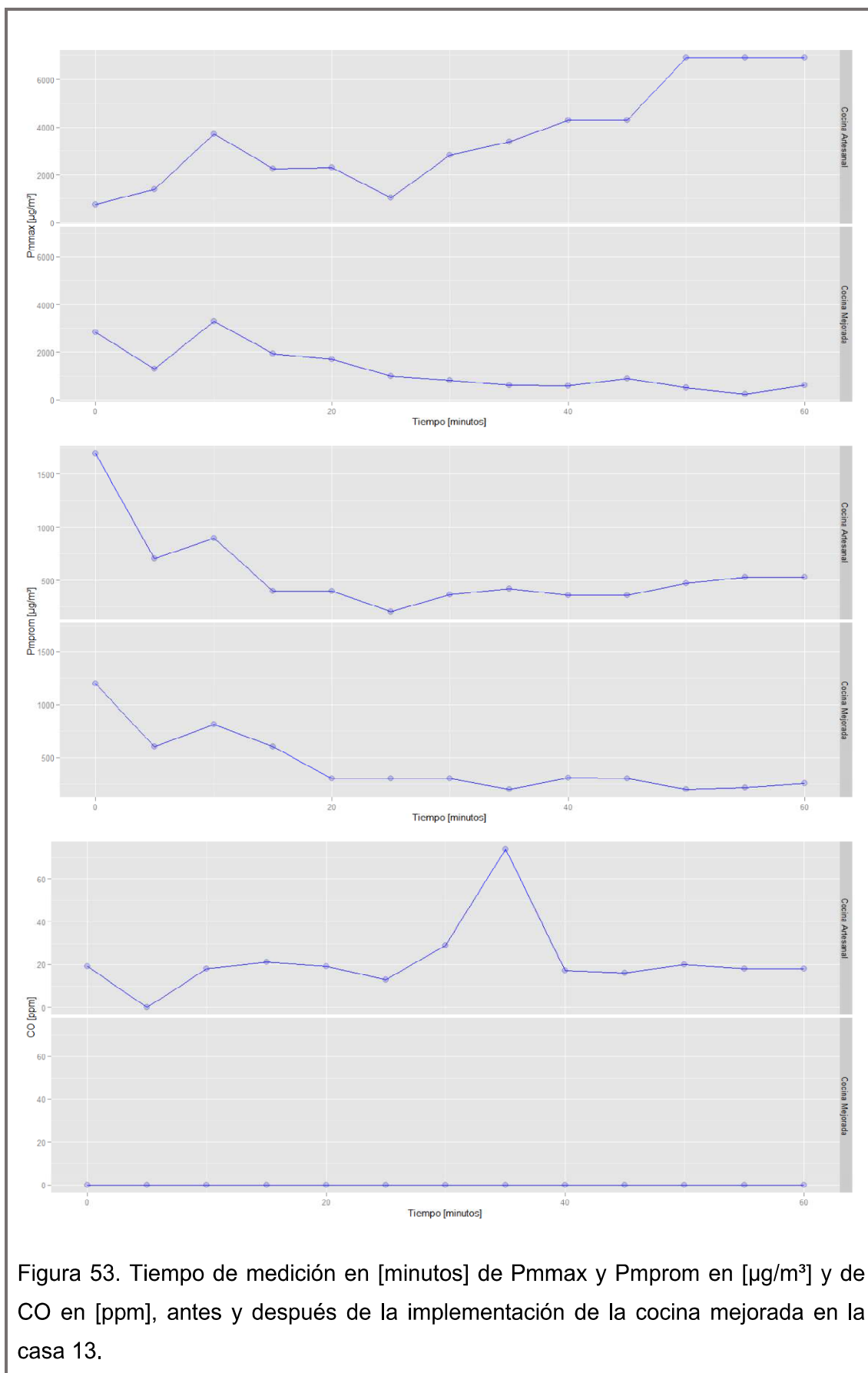


Figura 53. Tiempo de medición en [minutos] de Pmmax y Pmprom en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y de CO en [ppm], antes y después de la implementación de la cocina mejorada en la casa 13.

En relación a la figura 53 se puede decir que el P_{max} superó los 6.000 [µg/m³] y el P_{prom} se colocó por encima de los 1.500 [µg/m³] durante el uso de la cocina artesanal ubicada dentro de la vivienda número 13. Entretanto que, en la cocina mejorada se registró un valor mayor a 3.000 [µg/m³] y a 1.250 [µg/m³] para el P_{max} y el P_{prom}, respectivamente; siendo indiscutible la reducción de sus concentraciones, al igual que en los otros hogares analizados.

En referencia al monóxido de carbono, la cocina artesanal, alcanzó un pico máximo que sobrepasó los 60 [ppm]; mientras que la cocina mejorada tuvo valores iguales a 0 [ppm] a lo largo de la hora de monitoreo. En base a los datos levantados, es preciso concluir que ambos contaminantes han sido reducidos al interior de este hogar, con una disminución de la concentración de CO mucho más significativa que la de PM.

CASA 17

Se finaliza la comparación de los sistemas estudiados con el análisis esta vivienda, cuyos datos han sido incorporados en la figura 54.



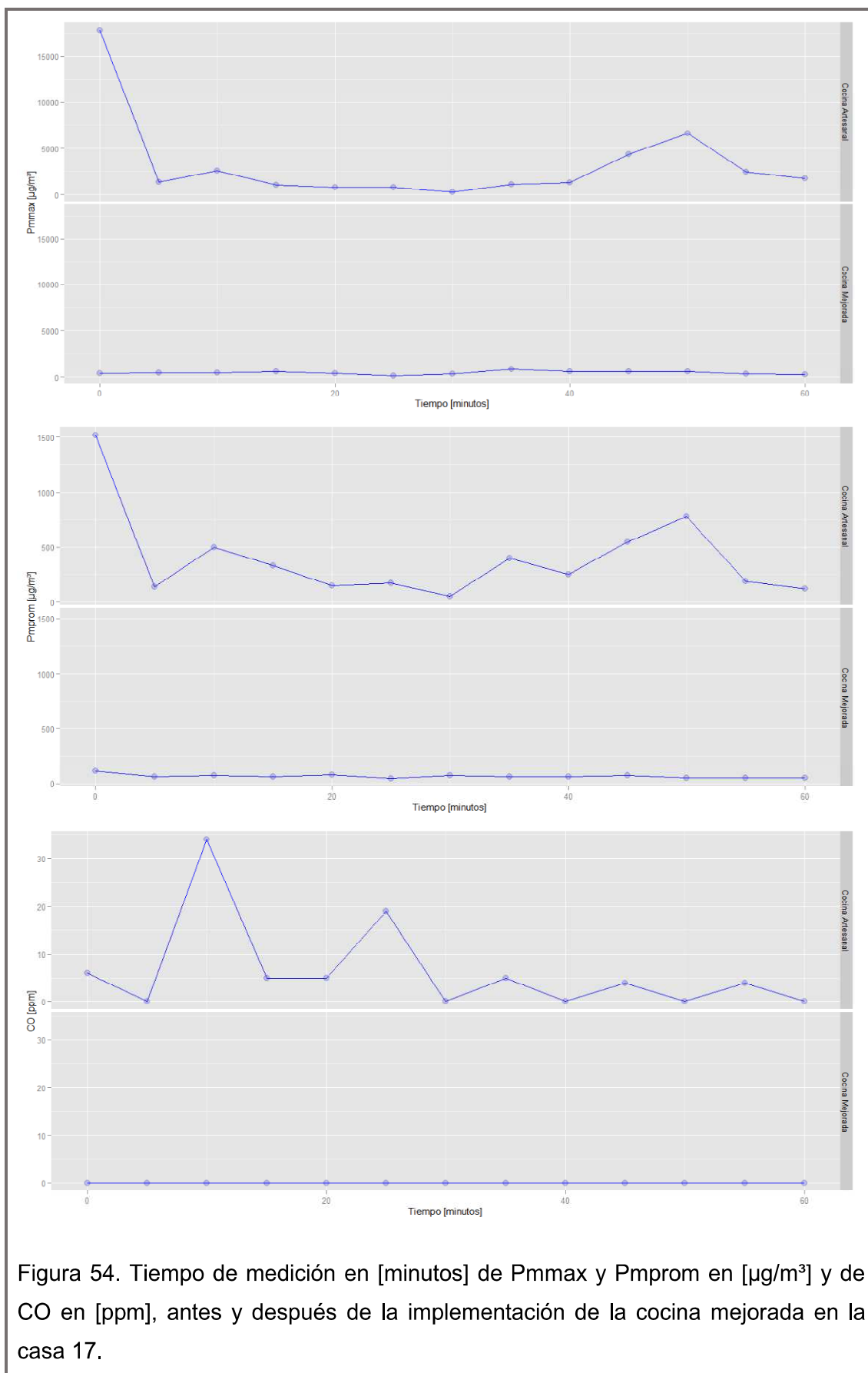


Figura 54. Tiempo de medición en [minutos] de Pmmax y Pmprom en [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] y de CO en [ppm], antes y después de la implementación de la cocina mejorada en la casa 17.

La figura 54 muestra que las concentraciones de material particulado y monóxido de carbono fueron menores una vez que la familia de la casa 17 utilizó la cocina mejorada.

El P_{max} registró un valor superior a los 15.000 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] y, el P_{prom} un pico máximo de 1.500 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], durante la utilización de la cocina artesanal. Con la cocina mejorada, tanto el P_{max} como el P_{prom} se mantienen por debajo de los 5.000 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] y los 500 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], respectivamente; a lo largo del proceso de cocción.

El CO presenta un valor máximo de 30 [ppm] con el uso de la cocina artesanal; mientras que al emplear la cocina mejorada, estos se reducen hasta llegar a una concentración total de 0 [ppm]. De manera que los dos contaminantes han sido reducidos al interior de la casa 17.

Para concluir, las cocinas mejoradas han alcanzado una disminución de los niveles de material particulado y monóxido de carbono en los “microambientes” de las 6 casas analizadas, siendo mucho más evidente la reducción de la concentración de CO. Si bien es cierto, existieron dos casas en las que la presencia de P_{max} y de P_{prom} incrementó con el uso de la cocina mejorada, pudiendo deberse dicho escenario a causas originadas por el diseño del sistema mejorado, como un mal sellado de las estructuras que desencadenó en una eliminación de contaminantes ineficiente. Sin embargo, dichas circunstancias no forman parte del análisis del presente trabajo de investigación. De igual manera, el factor cultural tiene su influencia en el mejoramiento de la calidad del aire interior de estos hogares, ya que muchas de las casas todavía no utilizan con mucha frecuencia las cocinas mejoradas.

4.1.4. Diseño Experimental

Independientemente de las inmisiones producidas por la utilización de estufas artesanales y mejoradas, las concentraciones de material particulado y monóxido de carbono pueden variar por factores no controlados, tales como:

los diferentes métodos de cocción, ventilación del microambiente, el contenido de humedad de la leña empleada, época del año, entre otras (Smith, Mehta, Maeusezahl-Feuz, 2004, p. 13).

Por esta razón se propone un análisis estadístico a través de un diseño de bloques completos al azar con la finalidad de estudiar principalmente el efecto del factor de interés, en este caso las cocinas. Para lograr una comparación adecuada y eficaz de dicho factor, se ha elaborado un análisis ANOVA de cada una de las seis casas consideradas para la comparación de los tratamientos estudiados, cocina artesanal y cocina mejorada; cuyas variables de respuesta son los contaminantes monitoreados: P_{max}, P_{prom} y CO.

CASA 1

El estudio del efecto de la cocina al interior de esta vivienda inicia con el planteamiento de la hipótesis a probar:

H₀: Efecto cocina artesanal = efecto cocina mejorada

H_A: Efecto cocina artesanal ≠ efecto cocina mejorada

Tabla 22. ANOVA para el factor de interés (cocina) de las tres variables de respuesta.

Fuente	Suma de Cuadrados	Diferencia de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón F	p - Valor Prob > F	
Pmmax						
Modelo	2.15E+09	1	2.15E+09	3.99	0.0572	No Significativo
Cocina	2.15E+09	1	2.15E+09	3.99	0.0572	
Error	1.29E+10	24	5.37E+08			
Total	1.50E+10	25				
Pmprom						
Modelo	1.78E+07	1	1.78E+07	4.69	0.0405	Significativo
Cocina	1.78E+07	1	1.78E+07	4.69	0.0405	
Error	9.10E+07	24	3.79E+06			
Total	1.09E+08	25				
CO						
Modelo	670.15	1	670.15	5.40	0.0289	Significativo
Cocina	670.15	1	670.15	5.40	0.0289	
Error	2977.69	24	124.07			
Total	3647.85	25				

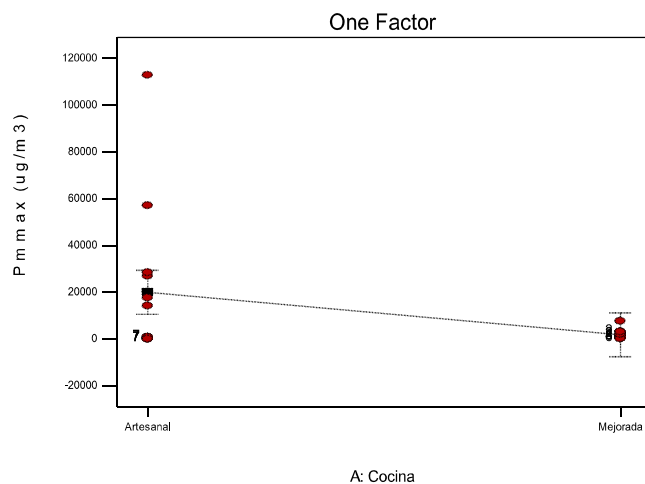
Nota Explicativa: para mayor comprensión de los resultados se ha compilado en una sola tabla las tres variables de respuesta estudiadas: Pmmax, Pmprom y CO registradas al interior de la casa 1.

Para el Pmmax se observa que la hipótesis nula se acepta, al ser el p-valor > 0.05. Al aceptar la hipótesis nula, se entiende que tanto la utilización de la cocina artesanal como la instalación de la cocina mejorada, no tienen efecto relevante sobre la concentración de Pmmax al interior de esta vivienda.

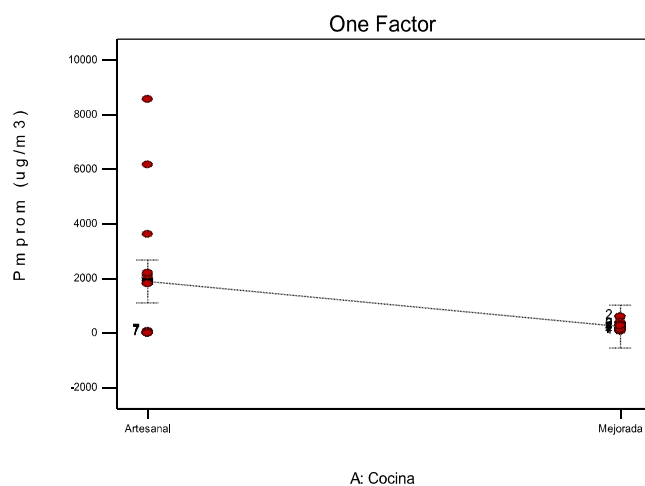
A diferencia que para el Pmprom y para el CO se rechaza la hipótesis nula, al ser el p-valor < 0.05. Al rechazar la hipótesis nula, se acepta que tanto la utilización de la cocina artesanal como la instalación de la cocina mejorada, tienen efecto relevante sobre la concentración de Pmprom y CO al interior de esta vivienda. Dado que la hipótesis nula se ha rechazado, se concluye que las concentraciones de Pmprom y de CO presentes en la casa 1 han sido efectivamente reducidas por la implementación de una cocina mejorada.

La figura 55 indica de manera gráfica los resultados derivados de este análisis, tres diagrama de cajas que demuestran lo antes mencionado. Se puede observar que en la primera gráfica, correspondiente al P_{max} , ambas representaciones se solapan, demostrando que tanto la cocina artesanal como la cocina mejorada tienen una igualdad en su efecto sobre esta variable de respuesta. Asimismo, en la segunda y tercera gráfica, P_{prom} y CO , ambas representaciones no se solapan por lo que se concluye que el efecto sobre estas dos variables de respuesta es diferente, afirmando que la cocina mejorada ejerce un cambio sobre la concentración de estos contaminantes.

Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 P m m a x (u g / m 3)
 • Design Points
 X1 = A: Cocina



Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 P m p r o m (u g / m 3)
 • Design Points
 X1 = A: Cocina



Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 C O (p p m)
 • Design Points
 X1 = A: Cocina

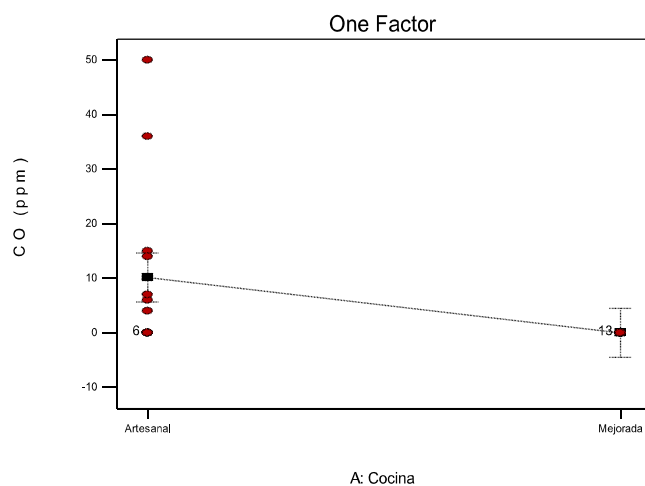


Figura 55. Factor de interés (cocinas) con los dos tratamientos estudiados (artesanales y mejoradas) vs. las concentraciones de P m m a x y P m p r o m en $[\mu g / m ^ 3]$ y de CO en $[p p m]$ registradas en la casa 1.

CASA 6

El estudio del efecto de la cocina al interior de esta vivienda inicia con el planteamiento de la hipótesis a comprobar:

Ho: Efecto cocina artesanal = efecto cocina mejorada

HA: Efecto cocina artesanal \neq efecto cocina mejorada

Tabla 23. ANOVA para el factor de interés (cocina) de las tres variables de respuesta.

Fuente	Suma de Cuadrados	Diferencia de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón F	p - Valor Prob > F	
Pmmax						
Modelo	1.44E+08	1	1.44E+08	3.20	0.0865	No Significativo
Cocina	1.44E+08	1	1.44E+08	3.20	0.0865	
Error	1.08E+09	24	4.50E+07			
Total	1.22E+09	25				
Pmprom						
Modelo	6.59E+05	1	6.59E+05	7.69	0.0106	Significativo
Cocina	6.59E+05	1	6.59E+05	7.69	0.0106	
Error	2.06E+06	24	8.56E+04			
Total	2.71E+06	25				
CO						
Modelo	157.54	1	154.57	2.47	0.1291	No Significativo
Cocina	157.54	1	154.57	2.47	0.1291	
Error	1530.31	24	63.76			
Total	1687.85	25				

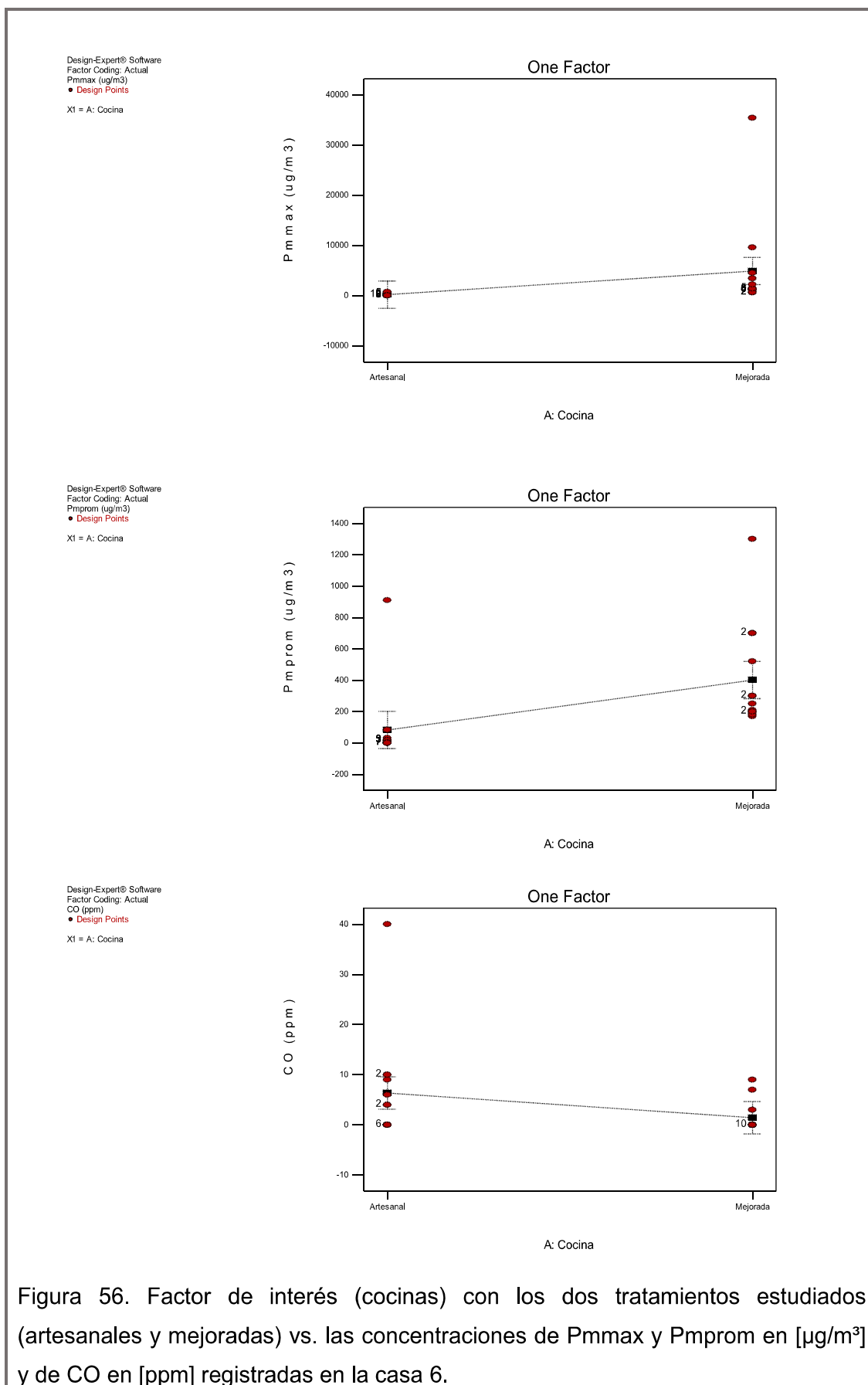
Nota Explicativa: para mayor comprensión de los resultados se ha compilado en una sola tabla las tres variables de respuesta estudiadas: Pmmax, Pmprom y CO registradas al interior de la casa 6.

Para el Pmmax y para el CO la hipótesis nula se acepta, al ser el p-valor > 0.05. Al aceptar la hipótesis nula, se entiende que tanto la utilización de la cocina artesanal como la instalación de la cocina mejorada, no tienen efecto

relevante sobre las concentraciones de Pmmax y CO al interior de esta vivienda.

En cambio, para el Pmprom se rechaza la hipótesis nula, al ser el p-valor < 0.05 . Al rechazar la hipótesis nula, se acepta que tanto la utilización de la cocina artesanal como la instalación de la cocina mejorada, tienen efecto relevante sobre la concentración de Pmprom al interior de esta vivienda. En este particular caso, dado que la hipótesis nula se ha rechazado y, en función del análisis realizado en el anterior apartado de este capítulo; se concluye que la concentración de Pmprom presente en la casa 6 tuvo mayor efecto por la estufa artesanal que por la estufa mejorada, siendo los niveles liberados mayores con el segundo sistema. Además, el Pmmax y el CO tienen una concentración que no se ha visto mayormente influenciada por la instalación de la cocina mejorada al interior de este hogar.

La figura 56 indica de manera gráfica los resultados derivados de este análisis, tres diagrama de cajas que demuestran lo antes mencionado. Se puede observar que en la primera y tercera gráfica (Pmmax y CO), ambas representaciones se solapan, demostrando que tanto la cocina artesanal como la cocina mejorada tienen una igualdad en su efecto sobre estas dos variables de respuesta. Entretanto que, en la segunda gráfica (Pmprom), los dos diagramas no se solapan, indicando que el efecto sobre esta variable de respuesta no es el mismo.



CASA 9

El estudio del efecto de la cocina al interior de esta vivienda inicia con el planteamiento de la hipótesis a comprobar:

Ho: Efecto cocina artesanal = efecto cocina mejorada

HA: Efecto cocina artesanal \neq efecto cocina mejorada

Tabla 24. ANOVA para el factor de interés (cocina) de las tres variables de respuesta.

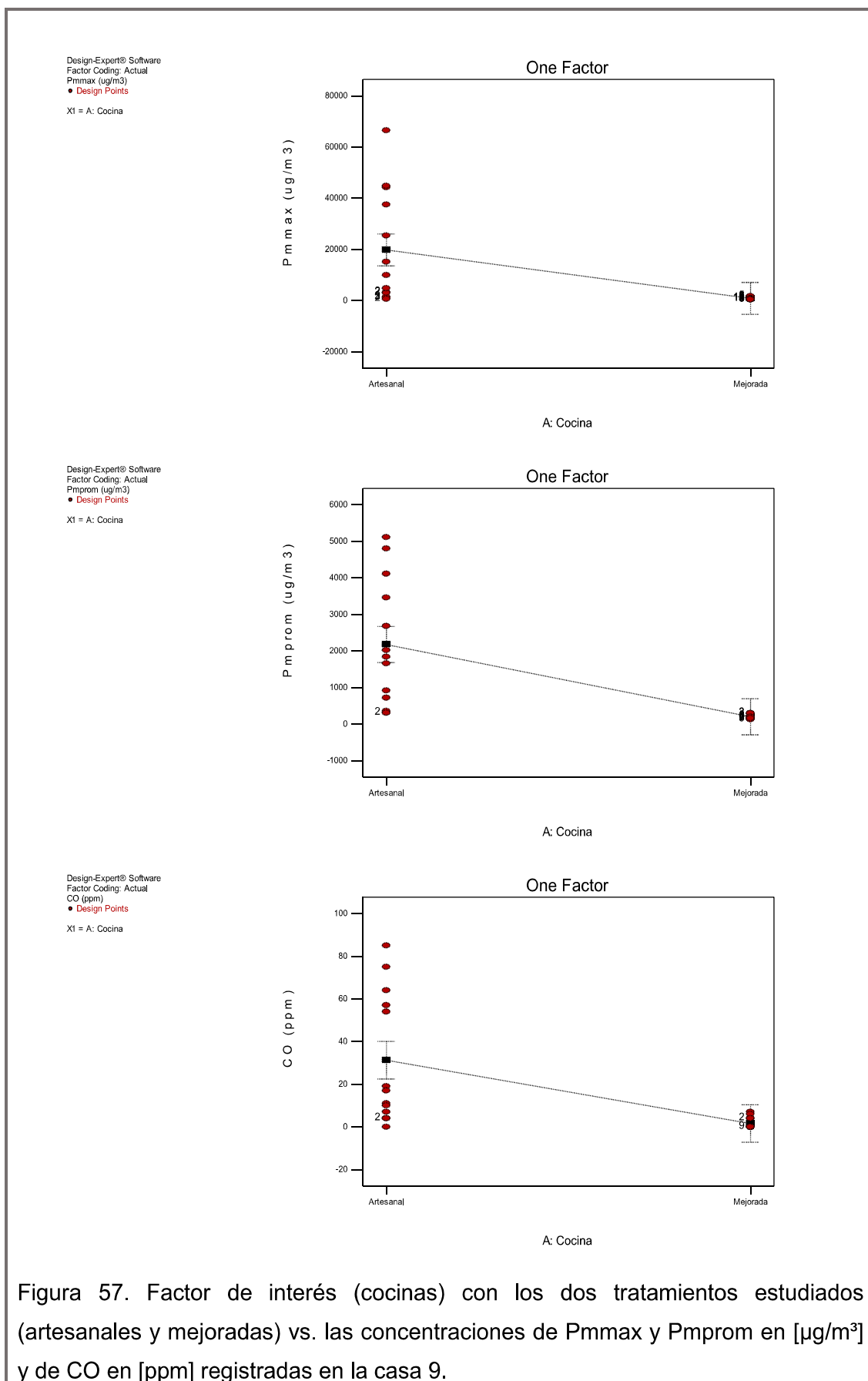
Fuente	Suma de Cuadrados	Diferencia de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón F	p - Valor Prob > F	
Pmmax						
Modelo	2.33E+09	1	2.33E+09	9.82	0.0045	Significativo
Cocina	2.33E+09	1	2.33E+09	9.82	0.0045	
Error	5.70E+09	24	2.37E+08			
Total	8.03E+09	25				
Pmprom						
Modelo	2.53E+07	1	2.53E+07	17.10	0.0004	Significativo
Cocina	2.53E+07	1	2.53E+07	17.10	0.0004	
Error	3.55E+07	24	1.48E+06			
Total	6.09E+07	25				
CO						
Modelo	5730.62	1	5730.62	12.06	0.002	Significativo
Cocina	5730.62	1	5730.62	12.06	0.002	
Error	11403.85	24	475.16			
Total	17134.46	25				

Nota Explicativa: para mayor comprensión de los resultados se ha compilado en una sola tabla las tres variables de respuesta estudiadas: Pmmax, Pmprom y CO registradas al interior de la casa 9.

En este caso se observa que para las tres variables de respuesta la hipótesis nula se rechaza, al ser el p-valor < 0.05 . Al rechazar la hipótesis nula, se acepta la hipótesis alternativa que manifiesta que tanto la utilización de la cocina artesanal como la instalación de la cocina mejorada, tienen efecto

relevante sobre la concentración de Pmmax, Pmprom y de CO al interior de esta vivienda. Dado que la hipótesis nula se ha rechazado, se concluye que las concentraciones de material particulado y monóxido de carbono presentes en la casa 9 han sido efectivamente reducidas.

La figura 57 indica de manera gráfica los resultados derivados de este análisis, tres diagrama de cajas que demuestran lo antes mencionado. Se puede observar que en las tres gráficas, ambas representaciones no se solapan por lo que se concluye que el efecto sobre estas tres variables de respuesta es diferente, afirmando que la cocina mejorada ejerce un cambio significativo sobre la concentración de estos contaminantes.



CASA 13

El estudio del efecto de la cocina al interior de esta vivienda inicia con el planteamiento de la hipótesis a comprobar:

Ho: Efecto cocina artesanal = efecto cocina mejorada

HA: Efecto cocina artesanal \neq efecto cocina mejorada

Tabla 25. ANOVA para el factor de interés (cocina) de las tres variables de respuesta.

Fuente	Suma de Cuadrados	Diferencia de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón F	p - Valor Prob > F	
Pmmax						
Modelo	2.54E+07	1	2.54E+07	0.41	0.5286	No Significativo
Cocina	2.54E+07	1	2.54E+07	0.41	0.5286	
Error	1.49E+09	24	6.20E+07			
Total	1.51E+09	25				
Pmprom						
Modelo	2.88E+06	1	2.88E+06	19.53	0.0002	Significativo
Cocina	2.88E+06	1	2.88E+06	19.53	0.0002	
Error	3.54E+06	24	1.48E+05			
Total	6.42E+06	25				
CO						
Modelo	1.88	1	1.88	1.00	0.3273	No Significativo
Cocina	1.88	1	1.88	1.00	0.3273	
Error	45.23	24	1.88			
Total	47.12	25				

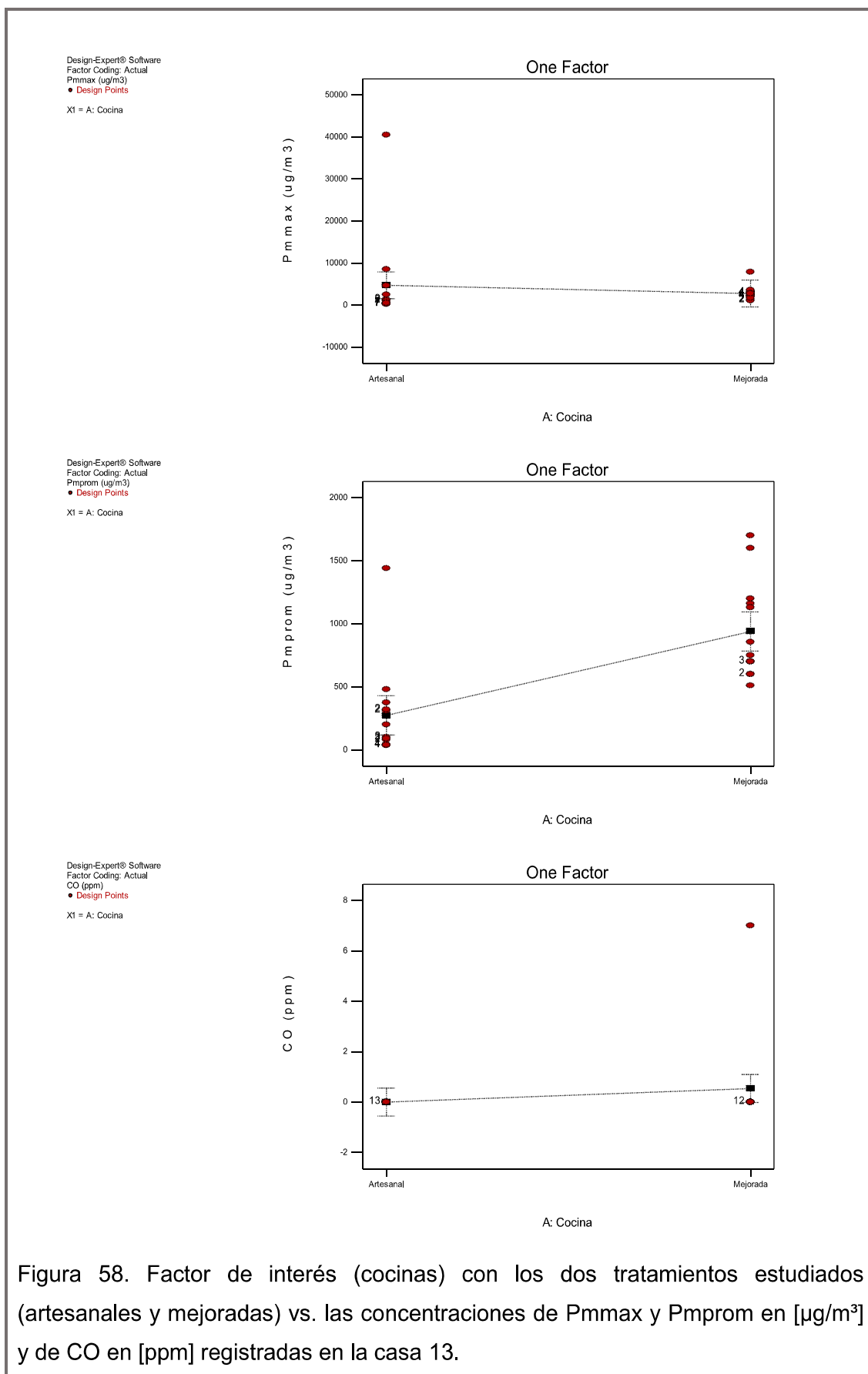
Nota Explicativa: para mayor comprensión de los resultados se ha compilado en una sola tabla las tres variables de respuesta estudiadas: Pmmax, Pmprom y CO registradas al interior de la casa 13.

Para el Pmmax y para el CO se acepta la hipótesis nula, al ser el p-valor $>$ 0.05. Al aceptar la hipótesis nula, se entiende que tanto la utilización de la cocina artesanal como la instalación de la cocina mejorada, no tienen efecto

relevante sobre las concentraciones de P_{max} y CO al interior de esta vivienda.

En cambio, para el P_{prom} la hipótesis nula se rechaza, al ser el p-valor < 0.05 . Al rechazar la hipótesis nula, se acepta que tanto la utilización de la cocina artesanal como la instalación de la cocina mejorada, tienen efecto relevante sobre la concentración de P_{prom} al interior de esta vivienda. En este particular caso, dado que la hipótesis nula se ha rechazado y, en función del análisis realizado en el anterior apartado de este capítulo; se concluye que la concentración de P_{prom} presente en la casa 13 tuvo mayor efecto por la estufa artesanal que por la estufa mejorada, siendo los niveles liberados mayores con el segundo sistema. Además, el P_{max} y el CO tienen una concentración que no se ha visto mayormente influenciada por la instalación de la cocina mejorada al interior de este hogar.

La figura 58 indica de manera gráfica los resultados derivados de este análisis, tres diagrama de cajas que demuestran lo antes mencionado. Se puede observar que en la primera y tercera gráfica (P_{max} y CO), ambas representaciones se solapan, demostrando que tanto la cocina artesanal como la cocina mejorada tienen una igualdad en su efecto sobre estas dos variables de respuesta. Entretanto que, en la segunda gráfica (P_{prom}), los dos diagramas no se solapan, indicando que el efecto sobre esta variable de respuesta no es el mismo.



CASA 15

El estudio del efecto de la cocina al interior de esta vivienda inicia con el planteamiento de la hipótesis a comprobar:

Ho: Efecto cocina artesanal = efecto cocina mejorada

HA: Efecto cocina artesanal \neq efecto cocina mejorada

Tabla 26. ANOVA para el factor de interés (cocina) de las tres variables de respuesta.

Fuente	Suma de Cuadrados	Diferencia de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón F	p - Valor Prob > F	
Pmmax						
Modelo	3.61E+07	1	3.61E+07	12.72	0.0016	Significativo
Cocina	3.61E+07	1	3.61E+07	12.72	0.0016	
Error	6.81E+07	24	2.84E+06			
Total	1.04E+08	25				
Pmprom						
Modelo	1.16E+05	1	1.16E+05	0.99	0.3309	No Significativo
Cocina	1.16E+05	1	1.16E+05	0.99	0.3309	
Error	2.82E+06	24	1.18E+05			
Total	2.94E+06	25				
CO						
Modelo	3058.62	1	3058.62	21.28	0.0001	Significativo
Cocina	3058.62	1	3058.62	21.28	0.0001	
Error	3448.77	24	143.70			
Total	6507.38	25				

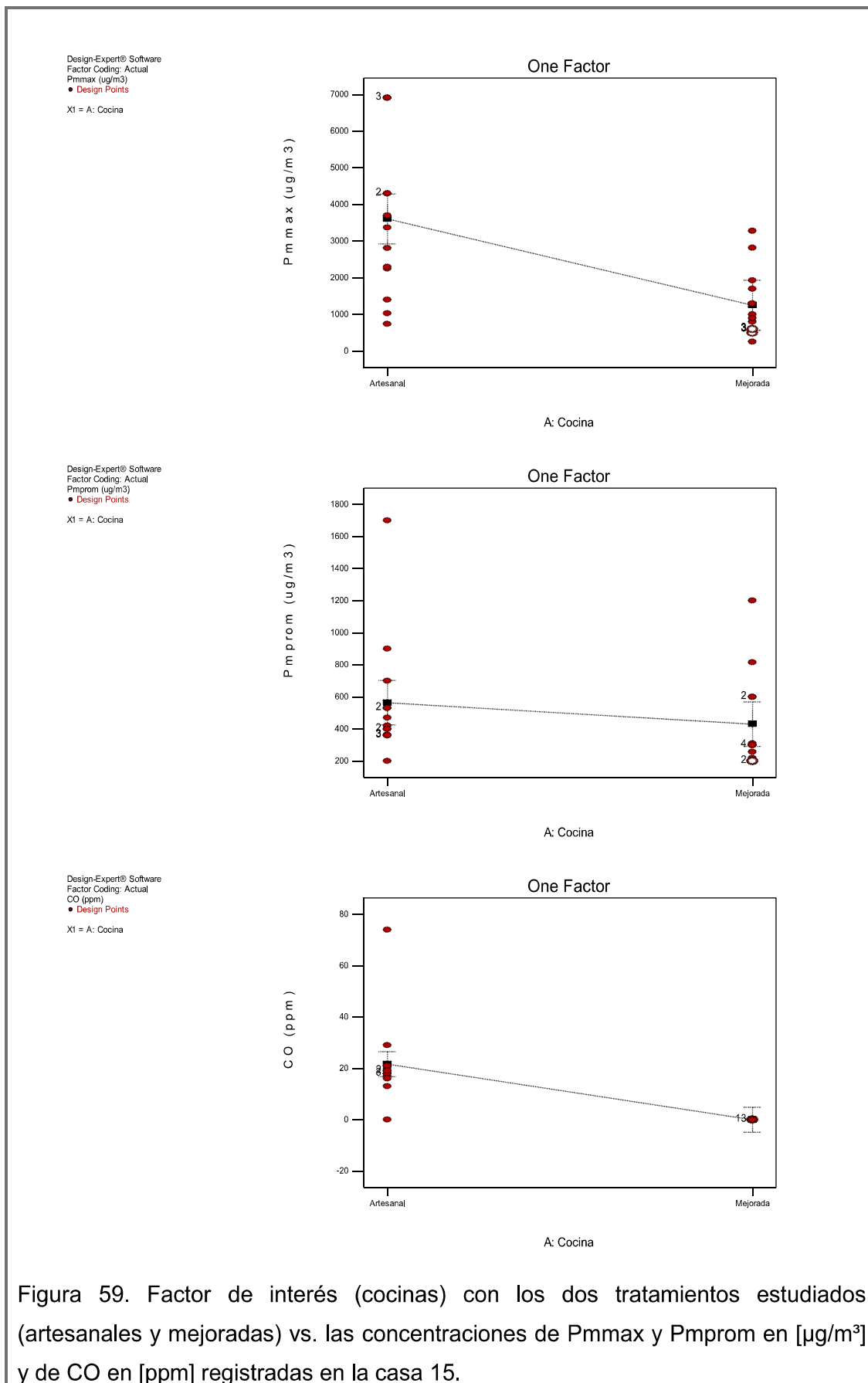
Nota Explicativa: para mayor comprensión de los resultados se ha compilado en una sola tabla las tres variables de respuesta estudiadas: Pmmax, Pmprom y CO registradas al interior de la casa 15.

En este caso de análisis, la hipótesis nula planteada para para el Pmmax y para el CO se rechaza, al ser el p-valor < 0.05. Al rechazar la hipótesis nula, se acepta que tanto la utilización de la cocina artesanal como la instalación de la cocina mejorada, tienen efecto relevante sobre la concentración de estos dos

contaminantes al interior de esta vivienda. Dado que la hipótesis nula se ha rechazado, se concluye que las concentraciones de P_{max} y de CO presentes en la casa 15 han sido efectivamente reducidas por la implementación de una cocina mejorada.

Mientras que para el P_{prom} , la hipótesis nula se acepta, al ser el p-valor > 0.05 . Al aceptar la hipótesis nula, se entiende que tanto la utilización de la cocina artesanal como la instalación de la cocina mejorada, no tienen efecto relevante sobre la concentración de P_{prom} al interior de este hogar.

La figura 59 indica de manera gráfica los resultados derivados de este análisis, tres diagrama de cajas que demuestran lo antes mencionado. Se puede observar que en la primera y tercera gráfica, P_{max} y CO, ambas representaciones no se solapan por lo que se concluye que el efecto sobre estas dos variables de respuesta es diferente, afirmando que la cocina mejorada ejerce un cambio sobre la concentración de estos contaminantes. Finalmente, en la segunda gráfica, correspondiente al P_{prom} , los dos diagramas se solapan, demostrando que tanto la cocina artesanal como la cocina mejorada tienen una igualdad en su efecto sobre esta variable de respuesta.



CASA 17

El estudio del efecto de la cocina al interior de esta vivienda inicia con el planteamiento de la hipótesis a comprobar:

Ho: Efecto cocina artesanal = efecto cocina mejorada

HA: Efecto cocina artesanal \neq efecto cocina mejorada

Tabla 27. ANOVA para el factor de interés (cocina) de las tres variables de respuesta.

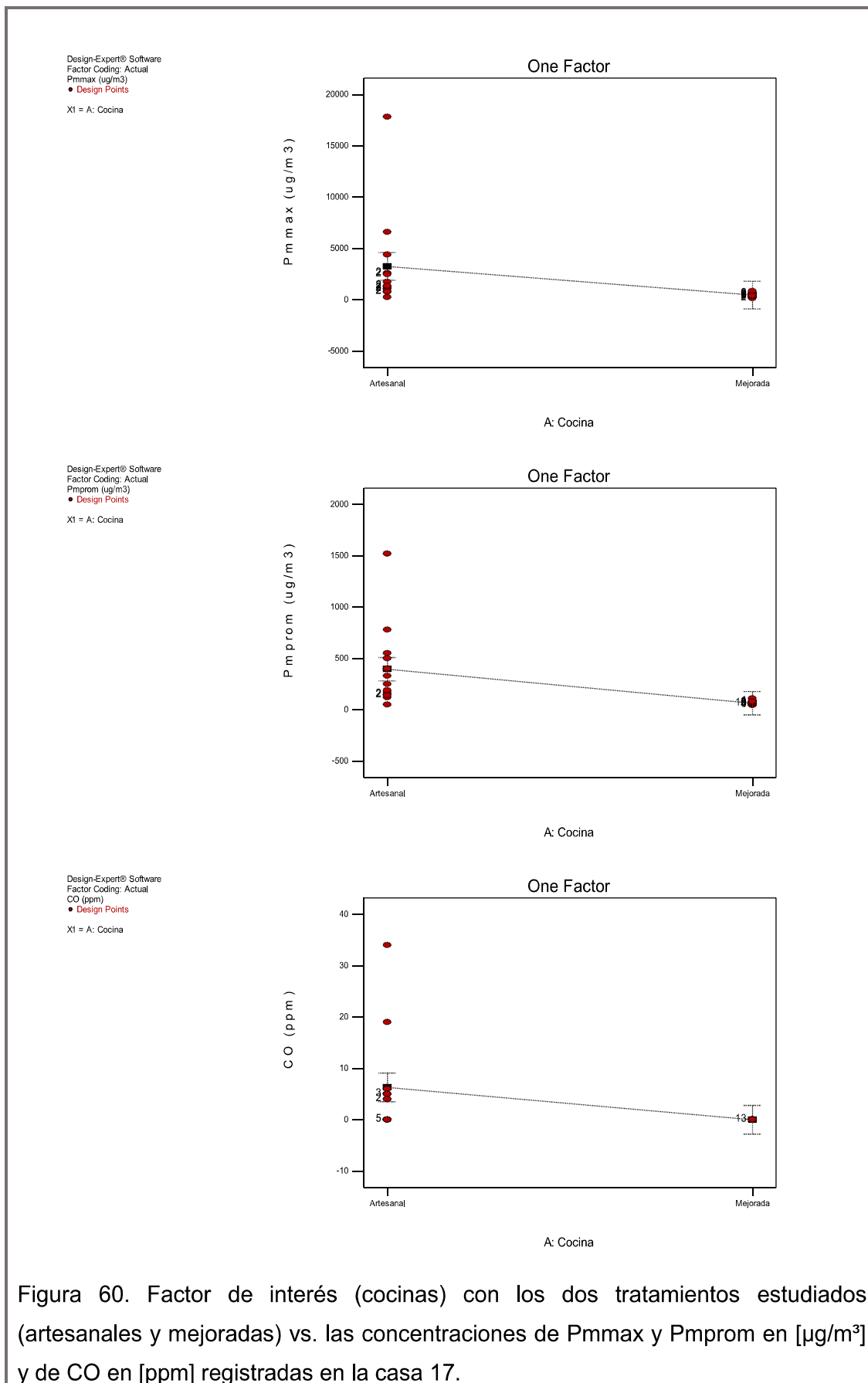
Fuente	Suma de Cuadrados	Diferencia de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón F	p - Valor Prob > F	
Pmmax						
Modelo	5.04E+07	1	5.04E+07	4.55	0.0434	Significativo
Cocina	5.04E+07	1	5.04E+07	4.55	0.0434	
Error	2.66E+08	24	1.11E+07			
Total	3.17E+08	25				
Pmprom						
Modelo	7.16E+05	1	7.16E+05	9.09	0.0060	Significativo
Cocina	7.16E+05	1	7.16E+05	9.09	0.0060	
Error	1.89E+06	24	7.88E+04			
Total	2.61E+06	25				
CO						
Modelo	258.62	1	258.62	5.43	0.0285	Significativo
Cocina	258.62	1	258.62	5.43	0.0285	
Error	1142.77	24	47.62			
Total	1401.38	25				

Nota Explicativa: para mayor comprensión de los resultados se ha compilado en una sola tabla las tres variables de respuesta estudiadas: Pmmax, Pmprom y CO registradas al interior de la casa 17.

En este caso se observa que para las tres variables de respuesta la hipótesis nula se rechaza, al ser el p-valor < 0.05 . Al rechazar la hipótesis nula, se acepta la hipótesis alternativa que manifiesta que tanto la utilización de la cocina artesanal como la instalación de la cocina mejorada, tienen efecto

relevante sobre la concentración de Pmmax, Pmprom y de CO al interior de esta vivienda. Dado que la hipótesis nula se ha rechazado, se concluye que las concentraciones de material particulado y monóxido de carbono presentes en la casa 17 han sido efectivamente reducidas.

La figura 60 muestra de manera gráfica los resultados derivados de este análisis, tres diagrama de cajas que demuestran lo antes mencionado. Se puede observar que en las tres gráficas, ambas representaciones no se solapan por lo que se concluye que el efecto sobre estas tres variables de respuesta es diferente, afirmando que la cocina mejorada ejerce un cambio significativo sobre la concentración de estos contaminantes en los “microambientes” de la vivienda 17.



4.1.5. Condiciones atmosféricas en monitoreo

Los resultados globales de las condiciones atmosféricas del entorno de cada casa monitoreada pudieron verse reflejados en las tablas 9, 10 y 11. En la tabla 28 se encuentran los valores promedio, mínimo y máximo alcanzados en cada monitoreo realizado.

Tabla 28. Condiciones atmosféricas en monitoreo.

Parámetro Atmosférico	Variable Estadística	Primer Monitoreo	Segundo Monitoreo	Tercer Monitoreo
Velocidad del Viento [m/s]	N	17	6	17
	Promedio	0.19	0.17	0.21
	Mínimo	0.07	0.13	0.08
	Máximo	0.38	0.24	0.35
Temperatura [°C]	N	17	6	17
	Promedio	26.4	23.4	22.3
	Mínimo	21.9	21.6	19.3
	Máximo	31.9	25.5	25.8
Humedad Relativa [%]	N	17	6	17
	Promedio	79.5	87.4	86.7
	Mínimo	60.2	83.1	77.0
	Máximo	93.9	91.7	94.3

Nota Explicativa: estadística descriptiva de los parámetros climáticos levantados durante los tres monitoreos desarrollados; valor promedio, mínimo y máximo de velocidad de viento, temperatura y humedad relativa, donde N hace referencia al número de casas monitoreadas.

Ya se dijo que los datos de este estudio fueron recogidos durante la finalización de la estación seca (primer monitoreo) y el inicio de la temporada de invierno (segundo y tercer monitoreo) en la comunidad Tsáchila de El Poste; teniendo en la primera visita un valor promedio para la velocidad del viento de 0,19 [m/s], un valor promedio para la temperatura de 26,4 [°C] y, un valor promedio para la humedad relativa de 79,5 [%]. En la segunda visita se obtuvieron valores promedio de 0,17 [m/s] para la velocidad del viento, de 23,4 [°C] para la

temperatura y de 87,4 [%] para la humedad relativa. Finalmente, en la tercera visita, se registraron valores promedio de 0,21 [m/s] para la velocidad del viento, de 22,3 [°C] para la temperatura y de 86,7 [%] para la humedad relativa.

Las partículas finas (diámetro aerodinámico menor a 2,5 micras) permanecen en el aire por periodos largos que pueden ser de un par de días hasta varias semanas; a diferencia de las partículas gruesas (diámetro aerodinámico mayor a 2,5 micras) que se disipan mucho más rápido debido a que se sedimentan con mayor velocidad por causa de su peso, las partículas finas están formadas por gases, producto de algún tipo de combustión. La leña, al sufrir una combustión incompleta, libera fragmentos del combustible sólido no quemado y compuestos orgánicos semivolátiles que conforman el “humo de biomasa” durante y después del proceso de combustión (OMS, 2000, p. 10). Por lo antes mencionado, el PM_{2,5} sería la fracción de material particulado con mayor presencia al interior de los hogares monitoreados.

Según Kleinman (2009, pp. 499 - 501), la concentración de monóxido de carbono producida por la quema de combustibles sólidos en estufas artesanales está presente a lo largo del proceso de combustión, desde su inicio hasta el final y, puede llegar a ser letal para los individuos que se encuentran expuestos al mismo, a menos que exista una adecuada ventilación al interior de la habitación y/o una chimenea que elimine al exterior los gases producidos.

Al considerar factores meteorológicos como: la velocidad del viento, es preciso señalar que al tener una vivienda bien ventilada, la exposición a contaminantes interiores puede disminuir. La escala de Beaufort, desarrollada para poder estimar la velocidad del viento, indica que una velocidad inferior a 2 [km/h] es considerada como una “cruda calma”, en la que no se observa el movimiento de las hojas de los árboles y el humo asciende verticalmente (National Meteorological Library and Archive, 2010, pp. 2 - 4). Los valores encontrados por este estudio son inferiores al valor mencionado por esta escala, de manera que la influencia de la velocidad del viento en los hogares monitoreados no es significativa; por esto, una adecuada ventilación no es suficiente para la reducción de la concentración de PM y CO al interior de estas casas.

Con respecto a la temperatura, estudios realizados por el Centro Mario Molina de Chile (2011, p. 28), revelan que la temperatura no tiene mayor impacto en la concentración de $PM_{2,5}$. En cambio, de acuerdo a investigaciones realizadas por la OMS (2010), “los volúmenes inhalados aumentan con el calor (incremento de temperatura) y, por lo tanto, incrementa la ingesta de contaminantes”. En base a esta premisa, la estación seca tendría mayor influencia en la exposición a PM y CO de las personas expuestas.

Arciniégas (2001), afirma que el agua se adhiere a las partículas suspendidas e incrementa su masa y las fuerzas de tensión superficial, lo que produce la disminución de su suspensión y transporte en la masa de aire. Estudios relacionados a este tema han encontrado que a menor humedad, la concentración de $PM_{2,5}$ puede aumentar entre 1,5 a 3,5 veces (Centro Mario Molina, 2011, p. 34). De modo que al incrementarse la humedad relativa, la resuspensión de las partículas disminuiría; con esto, la estación húmeda (invierno) tendría una mayor influencia en la reducción de material particulado al interior de las viviendas. El monóxido de carbono es poco soluble en agua, por lo tanto la humedad relativa no tiene mayor influencia en su concentración.

4.2. COMBUSTIBLE

El apartado de este capítulo explica los resultados obtenidos durante la realización de los diferentes ensayos de laboratorio efectuados para conocer el contenido de humedad y poder calórico de las especies de árboles empleadas como leña en la comunidad Tsáchila de El Poste; De igual manera, se incluye la interpretación de los valores recopilados para la presentación del balance energético.

4.2.1. Contenido de humedad

El contenido de humedad de las 6 muestras de leña analizadas fue presentado en la tabla 12 del capítulo de resultados. Para el análisis de los valores obtenidos se propone una comparación con las denominaciones de la madera en función a su contenido de humedad propuestas por Viscarra (1998), indicadas en la tabla 29.

Tabla 29. Denominaciones de la madera en función a su contenido de humedad.

Denominación del estado de la madera	Nivel de humedad [%]
Madera verde	80 - 200
Madera húmeda	25 - 80
Madera poco seca	20 - 25
Madera secada al aire	15 - 20
Madera muy seca	8 - 15
Madera anhidra	0

Tomado de: Viscarra, 1998, p. II-4.

Nota Explicativa: contenido de humedad expresado en [%] de agua presente en la muestra de madera.

La muestra de guabo 1 alcanzó una humedad igual a 124,04% lo que la describe como madera verde; la muestra de guabo 2 obtuvo un nivel de humedad de 22,58% lo que la describe como madera poco seca; y, la muestra de guabo 3 obtuvo una humedad de 137,42% lo que la describe como madera verde. En cambio, la muestra de naranjo 1 tuvo una humedad de 18,11% lo que la describe como madera secada al aire; la muestra de naranjo 2 registró un nivel de humedad igual a 11,83% lo que la describe como madera muy seca; y, finalmente, la muestra de naranjo 3 alcanzó una humedad de 109,30% lo que la refiere como madera verde. De manera general, se puede concluir

que tres de los hogares en los que se recolectó las muestras utilizaron leña recién cortada y tres de estas mismas viviendas se encontraban empleando leña que contaba con un período de secado previo.

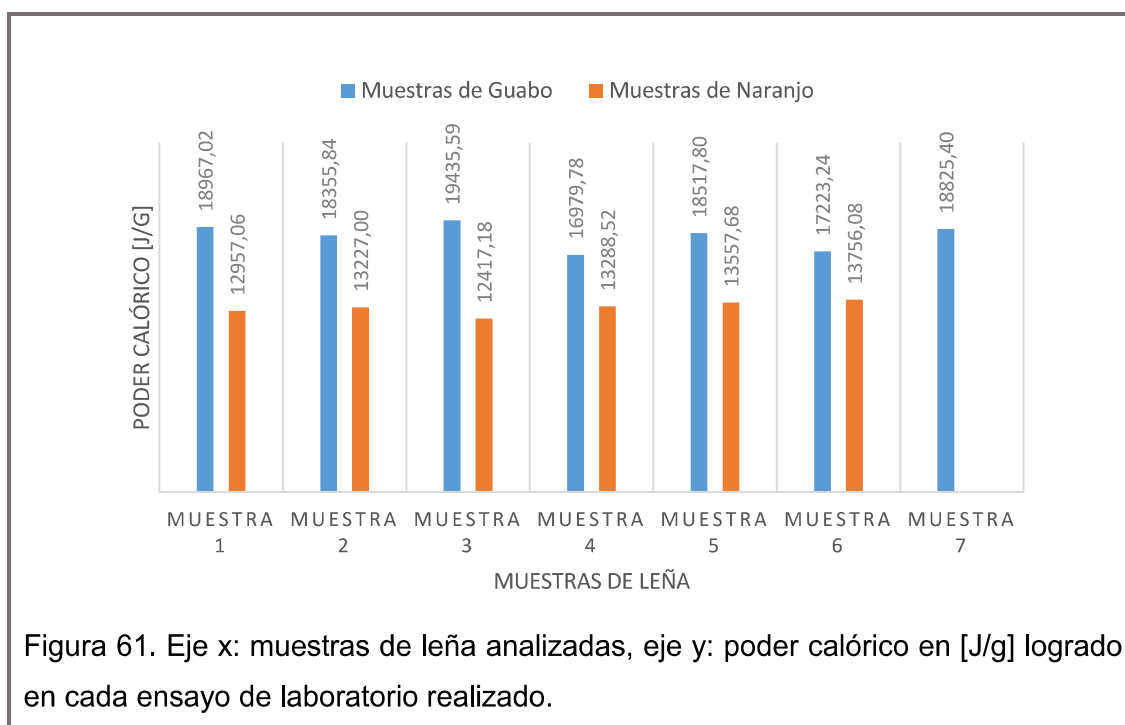
Desde el punto de vista energético, la humedad presente en la leña involucra una pérdida de energía dentro del sistema. Esto se produce debido a que el agua contenida en la leña se aloja en los poros de su superficie, misma que durante el proceso de combustión será evaporada por acción del calor, situación que produce un desperdicio de energía al no ser esta utilizada netamente para cocer alimentos o calentar el interior de la vivienda, por ejemplo.

Como ya se conoce, la comunidad Tsáchila de El Poste utiliza dos tipos de especies de árboles como leña para sus fogones, tanto artesanales como mejorados. Los miembros de la familia usualmente recolectan la leña una a dos veces por semana, de acuerdo a la cantidad que se encuentre disponible en su hogar y, las mujeres procuran utilizar la leña que ha sido secada de 2 a 3 días. Sin embargo, existen ocasiones en las que se utiliza leña recién cortada por el factor tiempo y/o la lejanía de su casa al punto de recolección de leña.

En las visitas al área experimental se observó que grandes troncos de leña son utilizados en las cocinas artesanales, mientras que en las cocinas mejoradas se hace necesaria la utilización de trozos pequeños de leña que indudablemente propician una combustión mucho más rápida y completa, ahorrando así energía, facilitando el proceso de secado de la misma y contribuyendo a la disminución de la emisión de contaminantes nocivos. Por lo tanto, el factor combustible, utilizado de manera correcta, esto significa con un bajo porcentaje de humedad y troceado en pequeña o medianas astillas, interviene en la reducción de material particulado y monóxido de carbono al interior de las viviendas.

4.2.2. Poder calórico

En referencia al poder calórico de las especies estudiadas, guabo y naranjo, se presenta la figura 61 que recoge el poder calórico registrado en cada muestra analizada durante la fase de experimentación.



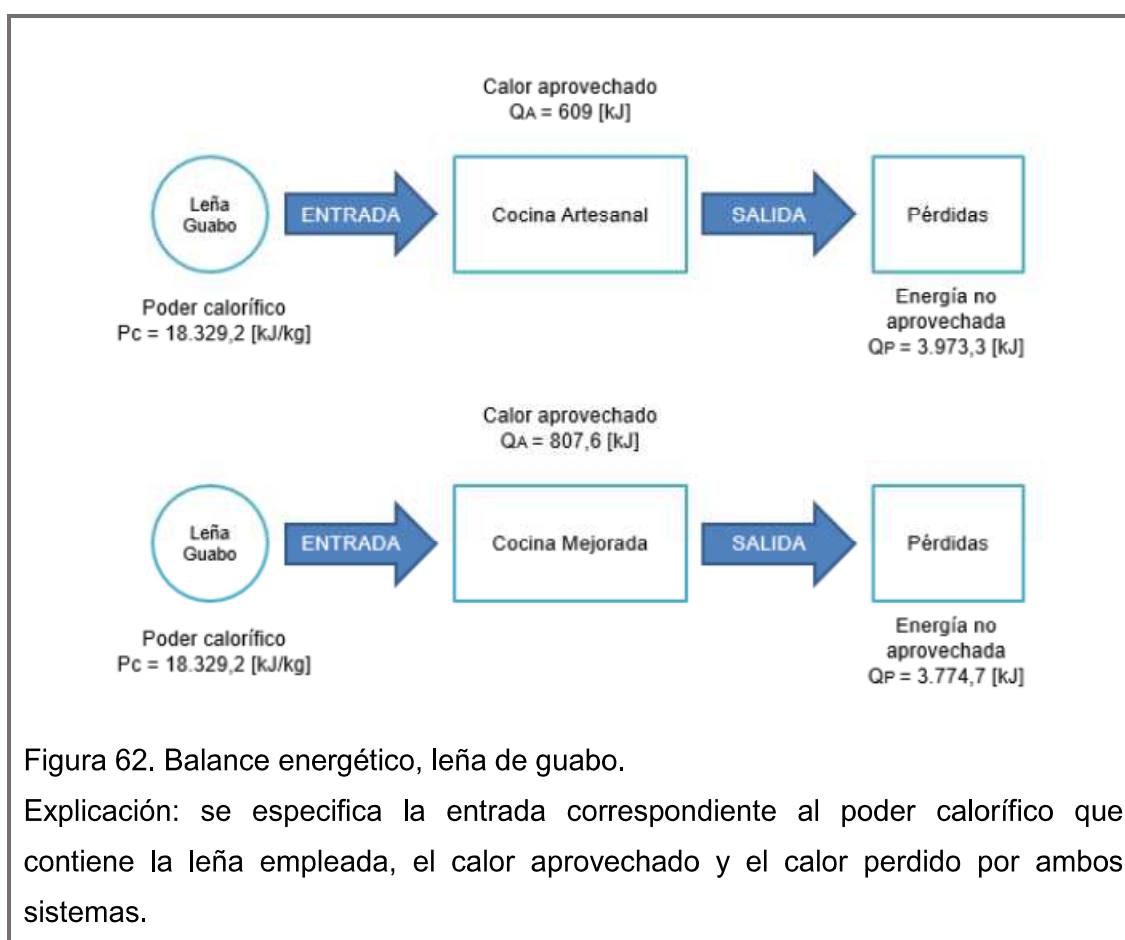
Una vez finalizados los ensayos realizados en la bomba calorimétrica adiabática, se calculó que el poder calórico de la leña de guabo es igual a 18.329,24 [J/g] y el poder calórico de la leña de naranjo es igual a 13.200,59 [J/g].

En base a los datos logrados, la leña de guabo tiene un poder calorífico mayor que el de la leña de naranjo. Dado que el aporte energético de la leña de guabo es superior al aporte de la leña de naranjo, al utilizarlo con más frecuencia, se podrá conseguir una mayor eficiencia térmica del proceso; esto combinado con la utilización de una estufa mejorada incrementaría el calor del proceso de combustión, al mismo tiempo que reduciría tiempos empleados en la cocción de alimentos y eliminación de gases contaminantes.

4.2.3. Balance Energético

En el capítulo de resultados se presentaron las tablas 17 y 18 que indicaron los valores logrados para la elaboración del balance energético. En las mismas se especificaron las 6 réplicas del experimento realizadas para cada tipo de leña empleada (guabo y naranja), así como para cada sistema estudiado.

La figura 62, muestra los resultados del balance energético de la leña de guabo empleada en cocinas artesanales y mejoradas.

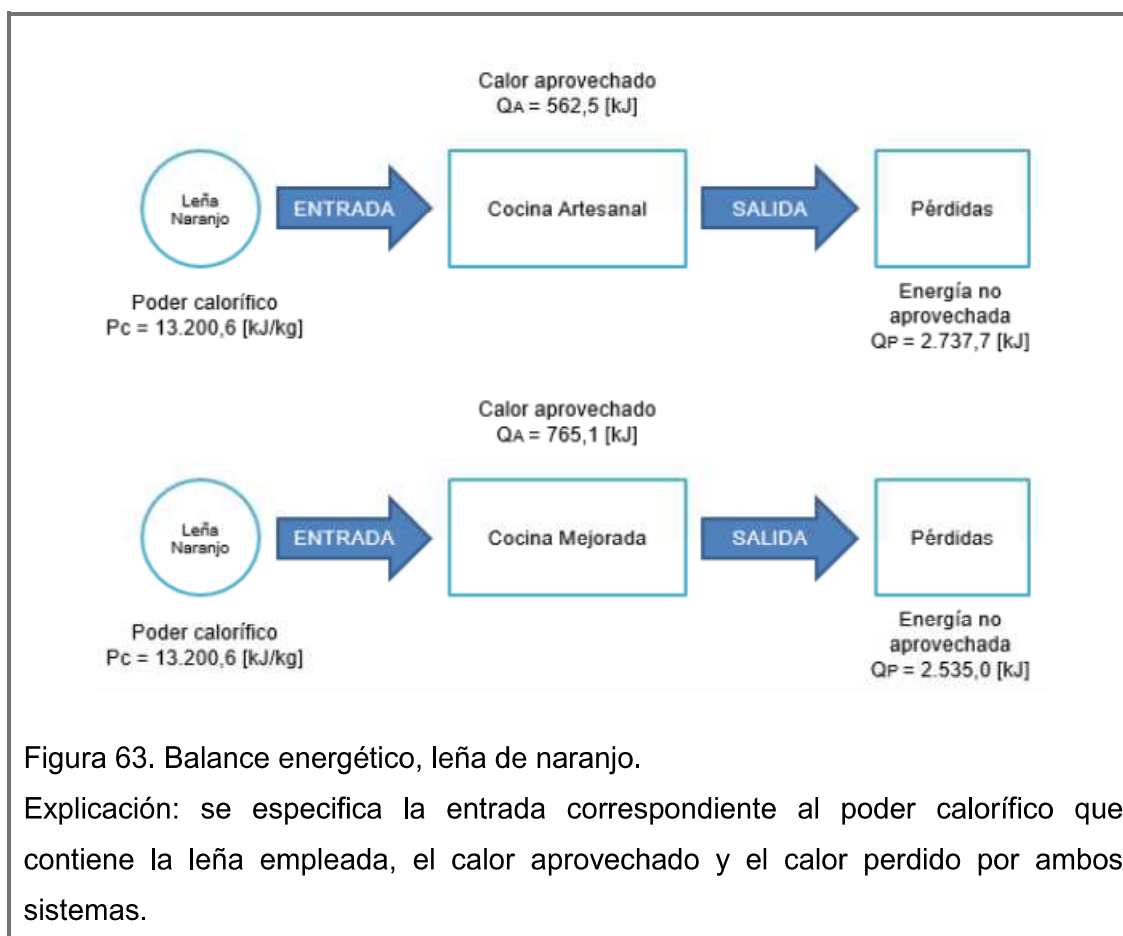


Como se puede observar, la capacidad térmica aprovechable (Q_A) que la leña de guabo alcanzó durante su combustión en una cocina artesanal fue igual a 609 [kJ]; y, la energía no aprovechada (Q_P) fue de 3.973,3 [kJ]. Mientras que, el Q_A que esta misma leña logró en su utilización en una cocina mejorada fue de 807,6 [kJ] y, el Q_P fue de 3.774,7 [kJ]. En base a los resultados obtenidos se

puede apreciar que la energía aprovechada por la estufa mejorada es mayor a la energía aprovechada por la estufa artesanal. De igual manera, se ha encontrado que la mayor pérdida de energía durante la combustión de la leña de guabo se produce en la cocina artesanal.

Empleando la ecuación 12, se ha obtenido el calor total proporcionado por este combustible sólido (Q_c) que fue igual a 4.582,3 [kJ]. Asimismo, usando la ecuación 16, se ha calculado la eficiencia térmica de cada sistema, dando como resultado una eficiencia del 13,3% para la cocina artesanal y una eficiencia del 17,6% para la cocina mejorada; siendo evidente que el sistema mejorado ha logrado un mayor aprovechamiento energético de este recurso.

Ahora, la figura 63 resume los resultados del balance energético de la leña de naranjo usada en cocinas artesanales y mejoradas.



En este caso, la capacidad térmica aprovechable (Q_A) que la leña de naranjo alcanzó durante su combustión en una cocina artesanal fue de 562,5 [kJ]; y, la energía no aprovechada (Q_P) fue igual a 2.737,7 [kJ]. Mientras que, el Q_A que esta misma leña logró en su utilización en una cocina mejorada fue de 765,1 [kJ] y, el Q_P fue de 2.535 [kJ]. En base a los resultados obtenidos se puede apreciar que la energía aprovechada por la estufa mejorada es mayor a la energía aprovechada por la estufa artesanal. De igual manera, se ha encontrado que la mayor pérdida de energía durante la combustión de la leña de naranjo se produce en la cocina artesanal.

Empleando la ecuación 12, se ha obtenido el calor total proporcionado por este combustible sólido (Q_c) que fue igual a 3.300,15 [kJ]. Asimismo, usando la ecuación 16, se ha calculado la eficiencia térmica de cada sistema, dando como resultado una eficiencia del 17% para la cocina artesanal y una eficiencia del 23,2% para la cocina mejorada; siendo evidente que el sistema mejorado ha logrado un mayor aprovechamiento energético de este recurso.

De manera general, se puede afirmar que tanto la leña de guabo como la leña de naranjo tuvieron una mayor eficiencia durante su combustión en el sistema mejorado, siendo del mismo modo menores las pérdidas energéticas a lo largo de la experimentación. Como ya se dijo, la leña de guabo tiene un poder calorífico mayor que el de la leña de naranjo, razón por la que la entrega de energía del combustible empleado ha sido mayor en el uso de la leña de guabo.

III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La línea base de material particulado y monóxido de carbono, producidos en cocinas artesanales y mejoradas de la comunidad Tsáchila de El Poste, fue lograda gracias al desarrollo de tres monitoreos atmosféricos durante la utilización de los sistemas estudiados.
- La metodología diseñada tuvo como propósito principal la evaluación de las concentraciones de material particulado y monóxido de carbono al interior de las viviendas de la comunidad Tsáchila de El Poste. Esta siguió las recomendaciones en relación a selección de instrumentos de monitoreo, operación y calibración en sitio y, revisión y uso de los datos; proporcionadas por organismos internacionales como: la OMS, la ISO y la EPA. El número de puntos y horas de monitoreo fueron resueltas en función a los objetivos de este trabajo de investigación.
- Los resultados de material particulado no pudieron ser comparados con los valores guías propuestos por la OMS, dado que el período de monitoreo considerado para esta investigación no fue igual al tiempo promedio de exposición señalado por las guías, que es de 24 horas y de 1 año.
- Las mediciones realizadas durante la utilización de cocinas artesanales, primer y segundo monitoreo, mostraron concentraciones de material particulado que se ubican dentro de los niveles de contaminación típica al interior de un “microambiente”; es así, que los resultados encontrados al interior de las viviendas de la comunidad Tsáchila de El Poste están dentro de los rangos derivados por estudios similares.
- Los resultados conseguidos en cocinas artesanales son sumamente preocupantes, ya que superan al valor medio diario sugerido por la OMS para una exposición no mayor a 7 días seguidos por año.
- Mientras que, las concentraciones de material particulado resultantes del uso de estufas mejoradas fueron inferiores a las concentraciones

obtenidas en las cocinas artesanales; se observó una reducción del 38,14% en la presencia de P_{max} y de P_{prom}, afirmando que alternativas como la implementación de cocinas mejoradas pueden aminorar los niveles de PM al interior de los hogares intervenidos.

- Los valores de monóxido de carbono pudieron ser comparados con la directriz aguda propuesta por la OMS, ya que tanto el período de monitoreo considerado para esta investigación como el tiempo promedio de exposición tomado para la elaboración del valor guía, fueron de 1 hora.
- Apenas el 6,67% de las concentraciones de CO registradas en las cocinas artesanales (primer monitoreo) fue superior al valor guía, resultado que fue revalidado por el segundo monitoreo. Asimismo, las concentraciones de CO encontradas al interior de las viviendas de la comunidad Tsáchila de El Poste, durante ambos monitoreos, se encuentran dentro de los niveles de contaminación interior asociada al uso de leña, establecidos por estudios relacionados al tema.
- La totalidad de las concentraciones de CO encontradas al interior de las viviendas durante la utilización de cocinas mejoradas (tercer monitoreo) no sobrepasaron el valor guía, cumpliendo así con lo recomendado por la OMS.
- En base a los datos obtenidos, se pudo observar una reducción de cerca del 97% en la concentración de monóxido de carbono; siendo esta evidencia de que la implementación de cocinas mejoradas puede mejorar la calidad de aire interior de los hogares intervenidos.
- Se logró comprobar que las cocinas mejoradas lograron una disminución en las concentraciones de material particulado y monóxido de carbono en los “microambientes” de las casas monitoreadas, siendo mucho más evidente la reducción de la concentración de CO.
- En referencia a las condiciones atmosféricas del entorno de los hogares monitoreados, se concluye que la influencia de la velocidad del viento no es significativa; de manera que, una adecuada ventilación no es

suficiente para la reducción de la concentración de PM y CO al interior de las casas.

- En la estación seca se incrementa la ingesta de contaminantes, influyendo así la temperatura del lugar en una mayor exposición a PM y CO en las personas expuestas. Entretanto que, la humedad relativa no tiene influencia sobre la concentración de CO, pero sí en la de material particulado; reduciendo su concentración al aumentar su deposición.
- En relación al estudio de los combustibles sólidos empleados, se ha encontrado que la humedad presente en la leña involucra una pérdida de energía dentro de los sistemas.
- Para un mayor aprovechamiento energético, una combustión rápida y completa y, por lo tanto una disminución en las emisiones de PM y CO, es favorable utilizar a la leña de manera correcta; esto se logra a través de la utilización de leña que contenga bajos porcentajes de humedad y en trozos medianos y/o pequeños.
- Después de los análisis para determinar el poder calórico de las especies empleadas como leña por esta comunidad, se puede concluir que la leña de guabo tiene un poder calorífico mayor que el de la leña de naranjo. Por ello, el consumo de la especie con mayor valor energético sería más representativo en términos de eficiencia.
- En referencia al balance energético, se puede concluir que la leña de guabo tiene un mayor aporte energético, dado que el calor total entregado por este combustible sólido es mayor que el de la leña de naranjo; superando con 1.282,15 [kJ] más al valor proporcionado por el naranjo.
- Asimismo, las mayores pérdidas de energía registradas durante la experimentación con los sistemas estudiados, corresponden al sistema artesanal.
- La eficiencia térmica alcanzada por la estufa mejorada fue superior a la eficiencia térmica lograda por la estufa artesanal.

- Para finalizar, un mayor aprovechamiento energético y una reducción de la concentración de material particulado y monóxido de carbono, son logrados a través de la implementación de cocinas artesanales.

RECOMENDACIONES

- Varios de los datos proporcionados por organismos internacionales y estudios relacionados a este tema, son antiguos ya que datan de los años 80 y 90; asimismo, es escasa la información concerniente a nuestro país. Es importante promover la realización de investigaciones de este tipo que permitan la generación de información actualizada al respecto; la calidad del aire interior de las comunidades rurales es un tema que debe ser prioritario para las autoridades de cada país.
- Con la elaboración de esta línea base y la evaluación de las concentraciones de material particulado y monóxido de carbono al interior de las viviendas de la comunidad Tsáchila de El Poste, se proporciona información significativa para la identificación de los problemas que posee la gestión actual de la calidad del aire interior a nivel rural en el Ecuador. En base a este tipo de investigaciones se pueden formular estrategias que combatan a esta problemática, como la elaboración de una normativa nacional que regule los niveles de contaminación del aire interior; con la finalidad de proteger la salud de las personas expuestas y contribuir a la reducción de la tasa de mortalidad generada por este tipo de contaminación.
- Las cocinas mejoradas son una alternativa que sin duda contribuyen a la reducción de contaminantes atmosféricos como el monóxido de carbono y el material particulado, motivo por el cual proyectos que involucren la implementación de estos sistemas deben ser replicados. Factores como la escasa disponibilidad de GLP y las creencias ancestrales que mantienen las comunidades rurales de nuestro, son aspectos que limitan la adopción de nuevas tecnologías; de manera que, la instalación de un

sistema mejorado que involucre una reducción de agentes nocivos para las personas expuestas y un incremento en el aprovechamiento sustentable de sus recursos, puede mejorar la calidad de vida de la población.

REFERENCIAS

- Aceituno, P., Arostegui, D., y Zevallos, H. (2008). Cocinas Mejoradas: Serie Manual. Lima, Perú: ADRA Perú.
- Adler, T. (2010). Better Burning, Better Breathing: Improving Health with Cleaner Cook Stoves. Recuperado el 26 de Junio de 2014 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2854788/>
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos - EPA. (2014). Monóxido de carbono en interiores. Recuperado el 10 de Julio de 2014 de <http://www.epa.gov/espanol/saludhispana/monoxido.html>
- Agencia Europea de Medio Ambiente - AEMA. (2013). Cada vez que respiramos, mejorar la calidad del aire en Europa. Copenhague, Dinamarca: AEMA.
- Agencia Internacional de Energía - IEA. (2012). World Energy Outlook 2012. París, Francia: OECD/IEA.
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades - ATSDR. (2009). ToxFAQs en Español. Recuperado el 13 de Julio de 2014 de <http://www.atsdr.cdc.gov/es/>
- Aguayo, C. (2011). Buen uso de la leña. Santiago, Chile: División de Eficiencia Energética - Ministerio de Energía Chile.
- Aguilar, D. (2012). Procesos lineales y procesos intermitentes. Recuperado el 24 de Junio de 2014 de http://es.slideshare.net/hector_aguilar/proceso-lineal-y-proceso-intermitente-12120917
- Aguirre, N., y Aguirre, Z. (2004). Guía para monitorear la biomasa y dinámica de carbono en ecosistemas forestales en el Ecuador. Loja, Ecuador: CARE ECUADOR.
- Arciniégas, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. Luna Azul, 34.

- Banco Mundial. (2010). Improved cookstoves and better health in Bangladesh. Washington D.C., Estados Unidos: ESMAP.
- Bautista, J. (2009). Cocinas Seguras: Cocinando sanamente con fogones mejorados. Lima, Perú.
- Bazemore, H. (2010). Thesis: Baseline evaluation of indoor air quality from nicaraguan households using traditional cookstoves. Fort Collins, Estados Unidos: Colorado State University.
- Bell, M., Dominici, F., y Samet, J. (2004). Time-series studies of particulate matter: Annual Review of Public Health Palo Alto .
- Blanco, S., Cárdenas, B., Maíz, P., Berrueta, V., Masera, O., y Cruz, J. (2009). Estudio comparativo de estufas mejoradas para sustentar un Programa de Intervención masiva en México. México D.F., México: INECC.
- Bonilla, E. (2009). Uso de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus montezumae* Lamb. Chapingo, México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Boy, E., Bruce, N., y Delgado, H. (2002). Birth weight and exposure to kitchen wood smoke during pregnancy in rural Guatemala. *Environmental Health Perspective*, 109-114.
- Bravo, H., y Sosa, R. (s.f.). Métodos de Monitoreo de la Calidad del Aire. México D.F., México.
- Brown, S. (s.f.). Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. Corvallis, Estados Unidos: USEPA Western Ecology Division.
- Bruce, N., McCracken, J., Albalak, R., Schei, M., Smith, K. R., López, V., y West, C. (2004). Impact of improved stoves, house construction and child location on levels of indoor air pollution exposure in young Guatemalan children. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, S26-S27.

- Bruce, N., Pérez-Padilla, R., y Albalak, R. (2000). Indoor air pollution in developing countries: a major environmental and public health challenge. Viena, Austria: Bulletin of the World Health Organization.
- Buenaño, R. (2014). Bomba Calorimétrica Adiabática. Quito, Ecuador: ESPE.
- Burge, H. A., Hoyer, M. E., Gunderson, E. C., y Bobenhausen, C. C. (2003). The Occupational Environment: It's evaluation, control, and management. Falls Church, Estados Unidos: American Industrial Hygiene Association.
- Calderón, R., y Lozada, S. (2010). Determinación de biomasa y contenido de carbono en plantaciones forestales de *Polylepis incana* y *Polylepis reticulata*. Quito, Ecuador: EPN.
- Carazo, A. (2006). Cifras básicas de la relación madera-fijación de carbono - CO₂ atmosférico. Montes n° 84, 48-52.
- CASELLA CEL. (2005). MICRODUST pro Aerosol Monitoring System Users Handbook. Amherst, Estados Unidos: Casella.
- Castillo, E., y Valdés, J. (2011). Uso eficiente de leña y otras energías alternativas en comunidades rurales. Santiago, Chile: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD.
- Cayetano, H., y Meyer, L. (2005). La leña: su combustión y sus consecuencias a nivel mundial y en México. México D.F., México: Grupo IMSA.
- Centro Mario Molina Chile. (2011). Análisis de tendencia para material particulado en la región metropolitana (2008-2010) Informe Final. Santiago, Chile: CMM Chile.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - CEPIS/OPS . (2011). Guías y normas de calidad de aire en exteriores. OMS - OPS - CEPIS.
- Clark, M., Peel, J., Burch, J., Nelson, T., Robinson, M., Stuart, C., y Reynolds, S. (2009). Impact of improved cookstoves on indoor air pollution and

adverse health effects among Honduran women. *International Journal of Environmental Health Research*, 46.

Cohen, A. (2004). *Mortality impacts of urban air pollution*. Génova, Italia: OMS.

Cordero, V., Cuenca, P., y Viteri, A. (2008). Documento de análisis del sector forestal en el contexto de adaptación y mitigación al cambio climático del sector uso de suelo, cambio de suelo y silvicultura (forestal) en el Ecuador. Quito.

Córdoba, R. (2005). Conceptos básicos sobre el secado de la madera. Kurú: *Revista Forestal*, 2-3.

Corporación de Manejo Forestal Sustentable - COMAFORS. (2010). *El Bosque 2010*. Recuperado el 15 de Mayo de 2014 de <http://comafors.org/publicaciones/el-bosque-en-el-ecuador-402.html>

Dasgupta, S., Hug, M., Khaliquzzaman, M., y Wheeler, D. (2007). *Improving Indoor Air Quality for poor families: A controlled experiment in Bangladesh*. Dacca, Bangladesh: World Bank.

Díaz Jiménez, R. (2010). *Asistencia técnica sobre lecciones aprendidas y recomendaciones para el desarrollo de proyectos de estufas eficientes en Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua y Panamá*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: OLADE.

Dietrich, D. F. (2003). *Sampling of gases and vapors*. Washington D.C., Estados Unidos: Fairfax.

Dirección General de Salud Ambiental Perú - DIGESA. (2005). *Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos*. Lima, Perú: DIGESA.

Duflo, E., Greenstone, M., y Hanna, R. (2010). *Estufas para cocinar, contaminación del aire en el interior de los hogares y salud respiratoria en India*. Poverty Action Lab.

- Echarri, L. (2007). Contaminación de la atmósfera. Navarra, España: Universidad de Navarra.
- Ezzati, M., López, A. D., Rodgers, A., Vander Hoorn, S., Murria, C., y Comparative Risk Assessment Collaborative Group. (2002). Selected major risk factors and global and regional burden of disease. *Lancet*, 23.
- Felder, R., y Rousseau, R. (2004). Principios Elementales de los Procesos Químicos. México D.F., México: ADDISON WESLEY LONGMAN DE MÉXICO.
- Fernández, J. (2013). Poder Calorífico. Mendoza, Argentina.
- Fondo Europeo de Desarrollo Regional. (2008). Instrucción técnica IT-ATM-08.3: Métodos de medida no normalizados, medida de gases de combustión mediante células electroquímicas. Andalucía, España.
- Fundación Ecuatoriana de Tecnología Apropiada - FEDETA. (2013). Propuesta del Proyecto: Cocinas mejoradas para la comunidad Tsáchila de El Poste. Quito, Ecuador: FEDETA.
- GAD Municipal Santo Domingo. (2011). Plan de Desarrollo del cantón Santo Domingo 2025. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.
- García, E., y Pañi, X. (2013). Optimización de la eficiencia energética de la leña (*Eucalyptus globulus*) como combustible en un modelo de horno de ladrillo artesanal, a través del análisis y modificación de las características del combustible. Cuenca, Ecuador: UPS.
- García, F. (2011). Manual de Estadísticas Energéticas Año 2011. Quito, Ecuador: OLADE.
- GARMIN OREGON. (2009). Owner's Manual OREGON series 550. Recuperado el 28 de Mayo de 2014 de <http://www.manualowl.com/m/Garmin/Oregon-550/Manual/42640>
- Goldammer, J., Morawska, L. H., Schwela, D., y Simpson, O. (1999). Health guidelines for vegetation fire events. Génova, Italia..

- González Martínez, A. C. (2007). La extracción y consumo de biomasa en México (1970 - 2003) integrando la leña en la contabilidad de flujos de materiales. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 2.
- González, O. (2013). Estudio comparativo de cocinas mejoradas en Nicaragua. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada - GIRA. (2003). El uso de biomasa como fuente de energía en los hogares, efectos en el ambiente y la salud, y posibles soluciones. Morelia, México: GIRA.
- Helmer, R. (2000). Presentación Guías de Calidad de Aire Interior. Bonn, Alemania: OMS.
- Herrera, P., Franco, G., Pelayes, C., Pérez, B., y Schlottfeldt, Y. (2009). Daño al ADN en mujeres expuestas al humo de la leña en Chiapas, México. Recuperado el 12 de Junio de 2014 de <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IisScript=iah/iah.xis&src=google&base=LILACS&lang=p&nextAction=Ink&exprSearch=564760&indexSearch=ID>
- Hofstede, R. (s.f.). El páramo como espacio para la fijación de carbono atmosférico. *Páramo* 1, 8.
- Industrial Scientific Corporation - INDSCI. (2007). MX6 iBrid Monitor de Gases Múltiples: Manual del usuario.
- Industrial Scientific Corporation - INDSCI. (2014). MX6 iBrid Monitor de Gases Múltiples: Guía de operación.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2012). Publicaciones. Recuperado el 30 de Junio de 2014 de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos - INEC. (2010). Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador: Fascículo Nacional. Quito, Ecuador: INEC.

- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos - INEC. (4 de Diciembre de 2012). Indicadores Pobreza Diciembre 2012. Recuperado el 18 de Junio de 2014 de http://www.inec.gob.ec/estadisticas/index.php?option=com_remository&Itemid=&func=startdown&id=1694&lang=es&TB_iframe=true&height=250&width=800
- International Organization for Standardization - ISO. (2012). IWA 11:2012. La Haya, Países Bajos: ISO.
- Irastorza, V., y Fernández, X. (2010). Balance nacional de energía y su relación con el inventario nacional de emisiones. *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 55-56.
- Jetter, J., Zhao, Y., Smith, K. R., Khan, B., Yelverton, T., DeCarlo, P., y Hays, M. (2012). Pollutant emissions and energy efficiency under controlled conditions of household biomass cookstoves and implications for metrics useful in setting International Test Standards. *Environmental Science and Technology*, 1-18.
- Johnson, D. L., y Vincent, J. H. (2003). Sampling and sizing of airborne particles. Washington D.C., Estados Unidos: Fairfax.
- Junemann, A., y Legarreta, G. (2007). Inhalación de humo de leña: una causa relevante pero poco reconocida de Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica. *Revista Argentina de Medicina Respiratoria*, 52.
- Kalpana, B., Sankar, S., Padmavathi, R., Sumi, M., y Smith, K. R. (2004). Exposure assessment for respirable particulates associated with household fuel use in rural districts of Andhra Pradesh, India. *Journal of Exposure, Analysis and Environmental Epidemiology*, 515-520.
- Kleinman, M. T. (2009). Carbon monoxide. New Jersey, Estados Unidos: John Wiley and Sons.

- Korc, M., y Quiñones, M. (2003). Documento interno: Diagnóstico comparativo de la calidad del aire de los interiores de las viviendas de dos poblaciones indígenas del Perú. Lima, Perú: CEPIS.
- Lee, C. M., Chandler, C., Lazarus, M., y Johnson, F. X. (2013). *Assessing the Climate Impacts of Cookstove Projects: Issues in Emissions Accounting*. Estocolmo, Suecia: Stockholm Environment Institute - SEI.
- Legros, G., Havet, I., Bruce, N., y Bonjour, S. (2009). *The energy access situation in Developing Countries: A review focusing on the Least Developed Countries and Sub-Saharan Africa*. Nueva York, Estados Unidos: PNUD.
- López Rodas, L. (1985). *La leña en el balance energético de Guatemala*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: OLADE.
- Malyshev, T. (2009). Looking ahead: energy, climate change and pro-poor responses. *Foresight*, 33-50.
- Martínez, D. G., y Álvarez, J. R. (2006). *Aprovechamiento de la energía calórica de estufas campesinas para el secado del café en fincas*. Caldas, Colombia: Universidad Surcolombiana.
- Martínez, P., y Zúñiga, E. (2010). *Estudio de contaminación ambiental provocada por humo*. Managua, Nicaragua: Ministerio de Fomento, Industria y Fomento Nicaragua.
- Medina, G., Mena, P., y Josse, C. (1999). *El Páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico*. Quito, Ecuador: Abya Yala.
- Mejía, F. (2011). *Implicaciones ambientales del uso de leña como combustible sólido en la zona rural de Usme*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Meyers, S., y Leach, G. (1989). *Biomass fuels in the developing countries: An overview*. Berkeley, Estados Unidos: Lawrence Berkeley Laboratories.

- Ministerio del Ambiente - MAE. (2010). Plan Nacional de la Calidad de Aire. Quito, Ecuador: MAE.
- Ministerio del Ambiente - MAE. (2012). Línea base de deforestación del Ecuador Continental. Quito, Ecuador: MAE.
- Moreno, M. D. (2003). Toxicología Ambiental: evaluación de riesgo para la salud humana. Valencia, España: McGraw-Hill.
- Naeher, L. P., Smith, K. R., Leaderer, B. P., Mage, D., y Grajeda, R. (2000). Indoor and outdoor PM_{2.5} and CO in high - and low - density Guatemalan villages. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 545-547.
- Naranjo, F. (2010). La problemática de la salud, en relación con las cocinas de leña en áreas rurales a nivel mundial. San José, Costa Rica: CEGESTI.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura - FAO. (2009). Acerca de la Dendroenergía. Recuperado el 6 de Julio de 2014 de <http://www.fao.org/forestry/energy/es>
- Organización Latinoamericana de Energía - OLADE. (2008). Informe de Estadísticas Energéticas 2007. Quito, Ecuador: OLADE.
- Organización Latinoamericana de Energía - OLADE. (2012). Informe de Estadísticas Energéticas, año base 2011. Quito, Ecuador: OLADE.
- Organización Mundial de la Salud - OMS. (1987). Air Quality Guidelines for Europe. Copenhagen, Dinamarca: OMS.
- Organización Mundial de la Salud - OMS. (2000). Guías para la Calidad del Aire. Lima, Perú: CEPIS - OPS - OMS.
- Organización Mundial de la Salud - OMS. (2005). OMS Guías de Calidad del Aire Actualización Mundial 2005. Bonn, Alemania: OMS - OPS.
- Organización Mundial de la Salud - OMS. (2006). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Ginebra, Francia: OMS.

- Organización Mundial de la Salud - OMS. (2007). Energía doméstica y salud: Combustibles para una vida mejor. Ginebra, Francia: OMS.
- Organización Mundial de la Salud - OMS. (2010). WHO Guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Bonn, Alemania: OMS.
- Organización Mundial de la Salud - OMS. (Septiembre de 2011). Calidad de aire y salud. Recuperado el 9 de Agosto de 2014 de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>
- Organización Mundial de la Salud - OMS. (Septiembre de 2011). Contaminación del aire de interiores y salud. Recuperado el 14 de Abril de 2014 de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/es/>
- Organización Mundial de la Salud - OMS. (25 de Marzo de 2014). WHO: 7 million deaths annually linked to air pollution. Recuperado el 21 de Febrero de 2014 de <http://www.cleancookstoves.org/media-and-events/news/who-7-million-deaths.html>
- Ortiz, M., y Riascos, D. (2006). Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao *Theobroma cacao* L y laurel *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken en la reserva indígena de Talamanca, Costa Rica. San Juan de Pasto, Colombia: Universidad de Nariño.
- Palacios, W. (2008). Plantas combustibles. Quito, Ecuador: Herbario QCA.
- Pandey, M. R., Neupane, R. P., Gautam, A., y Shrestha, I. B. (1989). Domestic smoke pollution and acute respiratory infections in a rural community of the hill region of Nepal. Katmandú, Nepal.
- Pearce, D. (1996). Economic valuation and health damage from air pollution in the developing world. *Energy Policy*, 627-630.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA. (1994). Quality Assurance in Air Quality Measurements. Nairobi, Kenia: OMS - EOS.

- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA. (2005). Sacudidas de Alerta. Nuestro Planeta, 4.
- Programa Socio Bosque. (2012). Resultados de Socio Bosque. Recuperado el 29 de Junio de 2014 de <http://sociobosque.ambiente.gob.ec/node/44>
- Que Hee, S. S. (2003). Biological Monitoring. Washington D.C., Estados Unidos: Fairfax.
- Ramakrishna, J., Durgaprasad, M. B., y Smith, K. R. (1989). Cooking in India: The impact of improved stoves on indoor air quality. Nueva Delhi, India.
- Ramos, E., Ocupa, D., Saavedra, G., y Espinoza, R. (2012). Diseño, construcción, y evaluación de una cocina mejorada que caliente el ambiente. Puno, Perú: XIX Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente.
- Reiche, C. (1982). El uso de leña en industrias rurales de América Central. San José, Costa Rica: OLADE.
- Romero, A., y Vaca, P. (2012). Inventario de emisiones atmosféricas a partir de fuentes fijas, móviles y de área en la ciudad de Latacunga. Quito, Ecuador: UCE.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - SENPLADES, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD y Centro de Investigaciones Sociales del Milenio - CISMIL. (2007). Objetivos del Milenio Ecuador. Recuperado el 15 de Agosto de 2014 de <http://issuu.com/ecuador.nutrinet.org/docs/objetivosmilenioecuador>
- Shand, E. (s.f.). Biodiversidad y Retención de Carbono. Petit Valley, Trinidad y Tobago: Caribbean Forest Conservation Association.
- Sierra, F., Mejía, F., y Guerrero, C. (2011). Leña como combustible doméstico en zonas rurales de Usme, Bogotá. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Singer, H. (s.f.). Nuevos diseños para cocinas de leña. Unasyuva 3, Vol. 15, 11.

- Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador - SIISE. (2010). Uso de leña o carbón para cocinar. Recuperado el 1 de Julio de 2014 de http://www.siise.gob.ec/siiseweb/PageWebs/VIVIENDA/ficviv_V26.htm
- Smith, K. R. (1993). Fuel combustion, air pollution exposure, and health: The situation in developing countries. Berkeley, Estados Unidos: Further.
- Smith, K. R. (1996). Indoor air pollution in developing countries: Growing evidence of its role in the global disease burden. Tokio, Japón: SEEC - ISHISBASHI Inc.
- Smith, K. R. (2002). Indoor air pollution in developing countries: recommendations. Berkeley, Estados Unidos: University of California.
- Smith, K. R. (2006). El uso doméstico de leña en los países en desarrollo y sus repercusiones en la salud. *Unasyuva* 224, Vol. 57, 41 - 45.
- Smith, K. R., Mehta, S., y Maeusezahl-Feuz, M. (2004). Indoor Air Pollution from Household Solid Fuels. En M. Ezzati, & A. López, Comparative quantification of health risks: global and regional burden of disease due to selected major risk factors (págs. 1435-1493). Génova, Italia: WHO.
- Suárez, C. (2008). Consumo de leña y propuesta de plantaciones energéticas en el área rural del cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura. Ibarra, Ecuador: UTN.
- The Partnership for Clean Indoor Air - PCIA . (2012). Resources. Recuperado el 18 de Abril de 2014 de <http://www.pciaonline.org/resources>
- Thompson, E., y Ceckler, W. (1977). Introducción a la Ingeniería Química. Bogotá, Colombia: McGraw Hill.
- Toapanta, G. M. (2011). Sondeo Rural Participativo. Quito, Ecaudor: Yanapuma Foundation.
- Todd, L. A. (2003). Direct-Reading instruments for determining concentrations of gases, vapors and aerosols. Washington D.C., Estados Unidos: Fairfax.

- Torres, H., y Quino, G. (2006). Diseño, construcción y evaluación de una cocina mejorada con intercambiador de calor. Tacna, Perú.
- TSI Group. (2014). Precision Measuring Tools. Recuperado el 11 de Mayo de 2014 de <http://www.tsi.com/>
- United Nations Foundation - UN. (2010). Programa 21. Recuperado el 12 de Junio de 2014 de <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/>
- United Nation Foundation - UN. (2012). Global Alliance for Clean Cookstoves. Recuperado el 11 de Agosto de 2014 de <http://www.cleancookstoves.org/resources/fact-sheets/spanish-one-pager-11-9-11.pdf>
- United Nations Foudation - UN. (2013). 5 Reasons why clean cookstoves matter. Recuperado el 3 de Junio de 2014 de <http://www.unfoundation.org/blog/clean-cookstoves-matter.html>.
- Vargas, J. (2006). Emisiones contaminantes. Madrid, España.
- Viqueira, J. (2008). Toxicidades por oxígeno, monóxido de carbono y dióxido de carbono. Murcia, España.
- Viscarra, S. (1998). Guía para el secado de la madera en hornos. La Paz, Bolivia: USAID.
- Watson, J., y Chow, J. (2000). Reconciling Urban Fugitive Dust Emissions Inventory and Ambient Source Contribution Estimates: Summary of Current Knowledge and Needed Research. Boulder City, Estados Unidos: Desert Research Institute.
- Westman, W. (s.f.). Ecology, impact assessment and environmental planning. Nueva York, Estados Unidos: Wiley.
- Yanapuma Foundation. (2011). Sustainable Development Project in Ecuador. Recuperado el 16 de Mayo de 2014 de <http://www.yanapuma.org/en/projects.php>

Zambrano, M. (2013). Respuesta productiva de la especie vegetal medicinal aromática menta (*Menta piperita* L.) al manejo agronómico de las variables densidad de siembra y frecuencias de corte Otavalo - Ecuador 2012. Otavalo, Ecuador: UPS.

Zuk, M., Rojas, L., Blanco, S., Serrano, P., Cruz, J., Ángeles, F., Masera, O. (2007). The impact of Improved Wood Burning Stoves on fine particulate matter concentrations in rural mexican homes. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 224-232.

ANEXOS

Anexo 1. Coordenadas geográficas, muestra del primer monitoreo.

Casa	Código	Coordenadas Geográficas	
		X	Y
CASA 1	C1M1	0.28308	79.27485
CASA 2	C2M1	0.27909	79.26292
CASA 3	C3M1	0.28195	79.27103
CASA 4	C4M1	0.27441	79.28680
CASA 5	C5M1	0.27557	79.28414
CASA 6	C6M1	0.28505	79.27463
CASA 7	C7M1	0.287211	79.27463
CASA 8	C8M1	0.27430	79.29014
CASA 9	C9M1	0.28035	79.28915
CASA 10	C10M1	0.27919	79.26097
CASA 11	C11M1	0.27693	79.26686
CASA 12	C12M1	0.26929	79.26356
CASA 13	C13M1	0.28419	79.28232
CASA 14	C14M1	0.28091	79.26273
CASA 15	C15M1	0.27876	79.27761
CASA 16	C16M1	0.27736	79.27837
CASA 17	C17M1	0.27374	79.28478

Nota Explicativa: se presenta el listado de las casas monitoreadas en la primera visita al área experimental, donde se indica el número de casa, su código asignado para la presentación de resultados y sus respectivas coordenadas geográficas.

Anexo 2. Coordenadas geográficas, muestra del segundo monitoreo.

Casa	Equivalencia Inicial	Código	Coordenadas Geográficas	
			X	Y
CASA 1	CASA 1	C1M2	0.28308	79.27485
CASA 2	CASA 6	C2M2	0.28505	79.27463
CASA 3	CASA 7	C3M2	0.287211	79.27463
CASA 4	CASA 9	C4M2	0.28035	79.28915
CASA 5	CASA 4	C5M2	0.27441	79.28680
CASA 6	CASA 8	C6M2	0.27430	79.29014

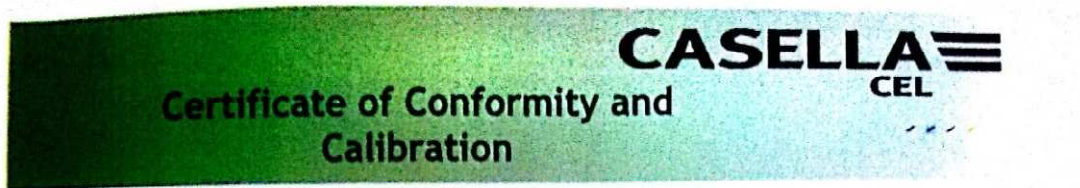
Nota Explicativa: se detallan las casas consideradas para la segunda visita de campo a la comunidad Tsáchila de El Poste, donde se especifica el orden de monitoreo con su correspondiente equivalencia inicial (primer monitoreo), código asignado para la presentación de resultados y coordenadas geográficas.

Anexo 3. Coordenadas geográficas, muestra del tercer monitoreo.

Casa	Equivalencia Inicial	Código	Coordenadas Geográficas	
			X	Y
CASA 1	CASA NUEVA	C1M3	---	---
CASA 2	CASA 2	C2M3	0.27909	79.26292
CASA 3	CASA 10	C3M3	0.27919	79.26097
CASA 4	CASA 14	C4M3	0.28091	79.26273
CASA 5	CASA 4	C5M3	0.27441	79.28680
CASA 6	CASA 5	C6M3	0.27557	79.28414
CASA 7	CASA 13	C7M3	0.28419	79.28232
CASA 8	CASA 7	C8M3	0.287211	79.27463
CASA 9	CASA 8	C9M3	0.27430	79.29014
CASA 10	CASA 9	C10M3	0.28035	79.28915
CASA 11	CASA 17	C11M3	0.27374	79.28478
CASA 12	CASA NUEVA	C12M3	---	---
CASA 13	CASA 3	C13M3	0.28195	79.27103
CASA 14	CASA 6	C14M3	0.28505	79.27463
CASA 15	CASA 15	C15M3	0.27876	79.27761
CASA 16	CASA NUEVA	C16M3	---	---
CASA 17	CASA 1	C17M3	0.28308	79.27485

Nota Explicativa: se presenta el listado de casas monitoreadas en la tercera visita de monitoreo, donde se puntualiza el orden de monitoreo con su correspondiente equivalencia inicial (primer monitoreo), código asignado para la presentación de resultados y coordenadas geográficas. Es importante destacar que se incluyeron nuevas casas durante este monitoreo, dado que 3 casas de las consideradas inicialmente aún no contaban con la instalación de la cocina mejorada finalizada.

Anexo 5. Certificado de calibración del MICRODUST pro Aerosol Monitoring System.



Instrument Type:- Microdust Pro (Standard Range: 0-2.5, 0-25, 0-250, 0-2500mg/m³)
Serial Number 4111986

Calibration Principle:-

Calibration is performed using ISO 12103 Pt1 A2 Fine test dust (Natural ground mineral dust, predominantly silica, Arizona Road Dust equivalent, Particle size range 0.1 to 80 μ m).

A Wright Dust feeder system is used to inject and disperse calibration dust within a wind tunnel system. Particulate mass concentration is established using isokinetic sampling and gravimetric methods.

Test Conditions:- 23 °C **Test Engineer:-** A Dye
48 %RH **Date of Issue:-** October 11, 2011

Equipment:-

Microbalance:- Cahn C-33 Sn 75611
Air Velocity Probe:- DA40 Vane Anemo. Sn 10060
Flow Meter:- BGI TriCal EQ10851

Calibration Results Summary:-

Applied Concentration	Indication	Error	Target Error <15%
4.94 mg/m ³	4.91	-1%	

Declaration of conformity:-

This test certificate confirms that the instrument specified above has been successfully tested to comply with the manufacturer's published specifications. Tests are performed using equipment traceable to national standards in accordance with Casella's ISO 9001:2000 quality procedures. This product is certified as being compliant to the requirements of the CE Directive.

Casella CEL (U.K.)
Regent House
Worsley Road
Kempston
Bedford
MK42 7JY

Phone: +44 (0) 1234 841100
Fax: +44(0) 1234 841490
E-mail: info@casellacel.com
Web: www.casellacel.com

Casella USA
17 Old Nashua Road #15
Amherst
NH 03031-2839
U.S.A.

Toll Free: +1 (800) 366 2966
Fax: +1 (603) 872 8053
E-mail: info@casellaUSA.com
Web: www.casellaUSA.com

Casella España S.A.
Poligono Europolis
Calle C, nº4B
28230 Las Rozas - Madrid

Phone: +34 91 640 75 19
Fax: +34 91 636 01 96
E-mail: online@casella-es.com
Web: www.casella-es.com

Anexo 6. Certificado de calibración del Monitor de Gases Múltiples MX6 iBrid.

www.degso.com

degso@degso.com



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Ciente: UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS

N° 001614

Descripción del Equipo: MULTIGAS MX6 VENTIS

Fabricante: INDUSTRIAL SCIENTIFIC

N° DE Serie: 11098CH-001

Sistema Fijo:

Sistema Portátil:

Condiciones ambientales del laboratorio: HR: 52% Temp.: 23,1 °C

CALIBRACIÓN DE ALARMAS:

Oxígeno Lo 19.5% O2 Hi 23.5% O2	Tóxico 1 <u>PID</u> Lo 100ppm TWA 100ppm Hi 200ppm STEL 200ppm	Tóxico 2 <u>CO</u> Lo 35ppm TWA 35ppm Hi 70ppm STEL 200ppm
Combustible Lo 10% LEL Hi 20% LEL	Tóxico 3 <u>H2S</u> Lo 10 ppm TWA 10 ppm Hi 20 ppm STEL 15 ppm	Tóxico 4 Lo TWA Hi STEL

CALIBRACIÓN DE GASES: (Aprobados N.I.S.T)

SENSOR A SER CALIBRADO			RESPUESTA DEL SENSOR (SPAN)	VALOR ESTIMADO DE CALIBRACIÓN (Set Point)	CILINDRO DE CALIBRACIÓN		RESULTADO DE CALIBRACIÓN	
SENSOR N° SERIE	GAS USADO	SPAN GAS			N° PARTE FABRICANTE	N° LOTE (N.I.S.T)	PASA	NO PASA
Oxígeno 31681559063	O2	20.9%	31.6	20.9	18103693 ISC	1555287	X	
Combustible 1107515066	PENTANO	25%LEL	33	25	18102107 ISC	1616635	X	
TÓXICO 1 0118621095091	CO	25ppm	56.2	25	18102187 ISC	1616635	X	
TÓXICO 2 1107260204	CO	100ppm	158	100	18102187 ISC	1616635	X	
TÓXICO 3 37520411	CO	100ppm	201.4	100	18102187 ISC	1411656	X	
TÓXICO 4								

Validez del Certificado: 1 AÑO

Lugar y Fecha de Emisión: Quito, 04 Junio 2014

Comentarios: Se cambia sensor de O2 (Razón de cambio = En límite de saturación).



Realizado por:

BYRON GAMBOA

Recibido por:

ALEJANDRO GONZÁLEZ

Por favor lee y entiende bien los manuales de operación antes de usar los equipos. Para asistencia técnica comuníquese con DEGSO Cía. Ltda.