

Evaluación del impacto de la implementación y uso de estufas eficientes ahorradoras de leña y filtros de agua en comunidades rurales del municipio de Aguacatán, Huehuetenango, Guatemala

Jackeline Brincker¹ y Mauricio Rivera²

¹Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala; ²Sección de Tecnología de la Madera, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala
jdbrincker@uvg.edu.gt

RESUMEN: El presente documento reporta los resultados de la medición del impacto de la implementación y uso de estufas eficientes ahorradoras de leña y de filtros de agua en comunidades rurales del municipio de Aguacatán, Huehuetenango, Guatemala. Para el estudio se realizaron mediciones de: cantidad de leña utilizada en un día, eficiencia térmica de la estufa utilizando protocolos internacionales, emisiones de dióxido y monóxido de carbono, y de calidad de agua (presencia/ausencia de *E. coli*). En este trabajo demostramos que la cantidad de leña, al sustituir el uso de fuego abierto por una estufa eficiente ahorradora de leña en hogares rurales, se reduce hasta en un 48% para un ciclo de cocinado. Asimismo, la eficiencia de la estufa evaluada muestra mejores resultados en comparación con el fuego abierto en variables como: potencia, consumo específico de combustible, tasa de quema y consumo específico de energía. La cantidad de gases como el dióxido y monóxido de carbono, y de material suspendido en cocinas con estufa eficiente disminuyen considerablemente, llegando hasta un 73% de reducción de material en partículas. Por otra parte, evidenciamos que el uso del filtro de agua elimina la presencia de *E. coli*, haciéndola segura para su consumo.

PALABRAS CLAVE: Estufa eficiente, filtro de agua, pruebas de eficiencia, calidad de aire, calidad del agua.

Evaluation of the impact of the implementation and use of efficient wood-saving stoves and water filters in rural communities of the municipality of Aguacatán, Huehuetenango, Guatemala

ABSTRACT: This document reports the results of the measurement of the impact of the implementation and use of efficient wood-saving stoves and water filter in rural communities of the municipality of Aguacatán, Huehuetenango, Guatemala. For this study, different measurements were carried out: amount of firewood used in one day, thermal efficiency of the stove using international protocols, emissions of carbon dioxide and carbon monoxide, and water quality (presence / absence of *E. coli*). In this first approach, we show that the amount of firewood, by replacing the use of open fire with an efficient wood-saving stove in rural homes, is reduced by 48%. Also, that the efficiency of the stove evaluated shows better results compared to open fire in variables such as: power, specific fuel consumption, burning rate and specific energy consumption. The amount of gases such as carbon dioxide, carbon monoxide and suspended material in kitchens with an efficient stove decrease considerably, reaching up to 73% of reduction of particulate material. On the other hand, we show that the use of the water filter eliminates the presence of *E. coli* in drinking water, making it safe for consumption.

KEYWORDS: Efficient wood-saving stove, water filter, efficiency tests, air quality, water quality.

Introducción

El acceso a los servicios modernos de energía sigue siendo bajo en los países en desarrollo y esta falta de acceso afecta en particular a los países menos desarrollados (PMD) y África subsahariana. En el mundo, casi 3,000 millones de personas siguen dependiendo de los combustibles sólidos tradicionales para satisfacer sus necesidades diarias de cocina (Vaccari, 2012), y Guatemala no es la excepción.

En Guatemala la leña es utilizada por un gran porcentaje de la población, principalmente en el área rural. Según la demanda de recursos energéticos a nivel nacional se estima que la fuente más utilizada en el país es la leña, con un 57%, principalmente para la cocción de alimentos y como combustible para calentar viviendas en las zonas frías (INAB, 2015). Actualmente se extraen 10.02 millones de metros cúbicos de leña más de lo que crece en el bosque, por lo tanto, el consumo de leña a nivel nacional no es sostenible (INAB, 2015). La creciente escasez de madera conlleva graves consecuencias tanto para el medio ambiente como para la población local: la tala ilegal se ha convertido en una práctica común, los costos de combustible primario (madera o carbón) han aumentado, las mujeres o los niños tienen que cubrir distancias más largas para recoger la madera necesaria para la cocción diaria (Vaccari, 2012). Además, el uso de combustibles sólidos en fuegos abiertos o estufas ineficientes resulta en grandes cantidades de una gama de contaminantes perjudiciales para la salud, a menudo bajo condiciones de mala ventilación doméstica (Rehfuess, 2011; Ezzati, 2002).

Con respecto al recurso hídrico, el país cuenta con una cantidad significativa de agua que supera en forma abundante la demanda del recurso. La disponibilidad promedio anual de agua superficial y subterránea se calcula en 97,120 millones m³ (IANAS y FCCyT, 2012). Sin embargo, el acceso al agua limpia y segura es una de las grandes carencias en el país, sobre todo en el área rural, y todavía hay un número significativo de hogares guatemaltecos que se abastecen de agua por medio de acarreo (de pozos someros, de ríos o lagos u otras formas precarias) (IANAS y FCCyT, 2012). Para el año 2009, 14 de las 33 cuencas del país, poseían altos niveles de contaminación física, biológica y contaminantes tóxicos (IARNA, 2012). La falta de controles efectivos de la contaminación por parte de las municipalidades y otros entes generadores, tanto por desechos sólidos como líquidos, afectan la calidad de agua de las fuentes, lo que conlleva a una disminución de la disponibilidad, así como un incremento de los riesgos de salud en la población, sobre todo aquella que es más vulnerable (GWP, 2015).

El consumo de agua contaminada tiene un impacto directo en la salud. Por lo tanto, la falta de acceso a servicios básicos cerca del hogar, aunado a los bajos ingresos, imposibilita la adopción de conductas higiénicas, provocando enfermedades generalmente de tipo infeccioso, gastrointestinal y dérmico (Segeplán, 2006). Definitivamente mejorar el acceso a agua potable y segura

constituye un tema fundamental para el desarrollo social del país.

En ese contexto, y ante la necesidad de implementar acciones a nivel nacional y local que contribuyan a la restauración del entorno natural social y económico, surge la iniciativa de establecer un proyecto piloto de compensación voluntaria de huella ecológica, por un periodo de tres años a partir de 2018. La iniciativa fue promovida por una corporación internacional con sede en el país, una organización no gubernamental como ente ejecutor, y con el acompañamiento, monitoreo y verificación del Centro de Estudios Ambientales y de Biodiversidad de la Universidad del Valle de Guatemala (CEAB-UVG), con apoyo de la Sección de Tecnología de la Madera (STM) del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala (FIUSAC).

La iniciativa consistió en la implementación de diversas actividades que contribuyen con el uso sostenible del agua y la eficiencia en la energía doméstica en el municipio de Aguacatán, Huehuetenango, Guatemala. Principalmente, a través de la instalación de estufas eficientes ahorradoras de leña, filtros de agua, reforestación, instalación de un sistema de captación de agua de lluvia en una escuela local, y la instalación de un vivero comunitario.

El presente estudio muestra los principales resultados de varias pruebas y protocolos de monitoreo, principalmente para comparar la cantidad de leña consumida en un día y la eficiencia energética de la estufa Chapina Bonita y del fuego abierto en hogares rurales. También se incluye la medición de emisión de gases y material en partículas intra-domiciliar, análisis de calidad de agua de pozos y de agua filtrada, principalmente para determinar presencia/ausencia de la bacteria *Escherichia coli* (*E. coli*).

Materiales y métodos

Área geográfica de estudio. El proyecto piloto se está llevando a cabo en seis comunidades del municipio de Aguacatán, departamento de Huehuetenango, y se espera abarcar más comunidades del mismo municipio al finalizar el periodo de ejecución del proyecto en 2021. De acuerdo con la Estrategia Nacional de Producción Sostenible y Uso Eficiente de Leña 2013-2024 (INAB, 2015), en el cual se presenta un análisis de priorización de municipios en base a déficit anual de leña, el municipio de Aguacatán ocupa el onceavo lugar, a nivel nacional, con un déficit de aproximadamente 195 mil metros cúbicos de leña al año. El 95% de hogares (12,095) aún utiliza leña para la cocción de alimentos (Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Aguacatán y Segeplán, 2010), y la tasa de pobreza del municipio es de 53% (INE, 2013). En relación con los servicios básicos, el 19% de la población total del municipio aún no cuenta con servicio de agua y para satisfacerse de esta necesidad, acarrear agua desde los nacimientos más cercanos

(Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Aguacatán y Segeplán, 2010). El lugar de implementación fue escogido debido a las condiciones de pobreza, las preocupaciones sobre la cobertura forestal del municipio, y la experiencia previa en un programa de instalación de estufas eficientes en años anteriores.

Sistemas de cocina evaluados

- **Estufa eficiente Chapina Bonita:** diseñada y distribuida por Grupo Rotario en Guatemala. Pesa un total de 550 libras (250 kilogramos) y es construida con materiales y por personas locales. Cuenta con una base de blocks, una plancha de 41 cms por 61 cms de largo con dos hornillas, una cámara de combustión de cohete elaborada con ladrillos, en la cual los gases calientes pasan debajo de la plancha y son expulsados al exterior a través de una chimenea. Ver figura 1.
- **Fuego abierto:** con el objetivo de realizar comparaciones sobre el uso de leña y eficiencia térmica, también se evaluaron hogares con fuego abierto, el cual es el sistema de cocina tradicional y rudimentario más común en el área. Este consiste en la colocación de piedras, ladrillos u otro tipo de base, para la colocación de la leña directamente debajo de la olla o comal para preparación de alimentos. Este puede estar ubicado directamente en el suelo o sobre una base más alta. Ver figura 2.
- **Consumo de leña en un día:** Se seleccionaron 20 hogares en los cuales se pesó la leña estimada para un día normal de cocina; diez hogares con fuego abierto y diez con estufa Chapina Bonita. Al final del día se pesó la leña sobrante para determinar la cantidad de leña utilizada en total. La leña pesada al inicio del día fue la que los usuarios estimaron que consumen normalmente en un día, tanto en especie como en tamaño, y se les solicitó que cocinaran como lo hacen en un día habitual.



Figura 1. Estufa eficiente Chapina Bonita construida en Aguacatán y en uso. Información y video disponibles en <https://chapinabonita.com/>

- **Medición de eficiencia de estufa:** Para medir la eficiencia de la estufa en campo, se utilizó el Protocolo de Cocción Controlada 2.0 (Controlled Cooking Test, CCT por sus siglas en inglés) (GACC, 2004). El CCT es una prueba de eficiencia que está diseñada para evaluar los impactos reales en el hogar en el consumo de combustible, utilizando combustibles localmente disponibles, ollas, y cocineros locales (Kshirsagar y Kalamkar, 2014).



Figura 2. Distintos tipos de fuego abierto evaluados en el estudio.

Se realizaron seis pruebas CCT: tres en hogares con fuego abierto; y tres en hogares con estufa eficiente. Con estas pruebas se evaluaron las siguientes variables: tiempo de cocinado, leña húmeda consumida, peso de alimento cocinado, peso de carbón remanente, tasa de quema, consumo específico de combustible, potencia, leña seca consumida, equivalente de leña seca, tasa de consumo de energía, consumo específico de energía y total de energía consumida.

Para la prueba CCT el menú fue previamente definido y consistió en la preparación de caldo de pollo con verduras, tortillas y café. Tanto el pollo como las verduras fueron previamente pesados por los evaluadores para que cada persona cocinara la misma cantidad de alimento. Las únicas variables en cada prueba fueron la cantidad y especie de leña utilizada para cocinar, y uso y colocación de la leña.

En todas las pruebas, se solicitó a las personas responsables de cocinar que utilizaran las estufas o fuego abierto, ollas y leña de acuerdo con su rutina diaria de cocina. Asimismo, para las pruebas realizadas en las estufas, se seleccionaron hogares en los que ya se tuviera experiencia en el uso de la estufa de al menos un mes, para reducir el sesgo por el poco conocimiento en la manipulación de estas.

Durante las pruebas también se realizaron entrevistas dirigidas a las usuarias, con traducción simultánea en idioma Aguacateco. Estas entrevistas permitieron conocer datos sobre la percepción de la estufa, el estimado del consumo de leña mensual por hogar (tareas de leña), de dónde proviene la leña (si la compra o si corta árboles directamente de su propiedad), y el gasto económico que les representa la compra de este combustible.

Emisiones de gases

- **Medición de emisiones de gases (CO y CO₂) y material en partículas:**

La medición de emisiones y material en partículas se realizó tanto en hogares con fuego abierto como en hogares con estufa eficiente, durante las pruebas CCT cuando el fuego se encontraba más estable. Para ello se utilizó equipo de prueba de calidad de aire Aeroqual Serie 300, que incluye sensores de gases contaminantes interiores (CO₂ y CO) con rango de 0 a 2,000 partes por millón; y un contador de partículas Fluke 985 para medir las partículas en suspensión de 0,3 μm a 10 μm, con un rango de 1,000,000 partes por millón. Ambos equipos fueron debidamente calibrados previo a las pruebas en campo.

- **Agua. Tipo de filtro de agua:** El Ecofiltro (manufacturado por Ecofiltro), consiste en un recipiente plástico con volumen de 20 litros, en cuyo interior se encuentra la unidad de filtración que está elaborada a base de tres materiales naturales: arcilla, aserrín y plata coloidal.

- **Medición de la calidad de agua: presencia/ausencia de *E. Coli*:** Se tomaron 20 muestras de agua. Las primeras diez muestras se tomaron en hogares que aún no cuentan con Ecofiltro.

De estas diez, ocho se tomaron directamente de pozos propios que se encuentran cercanos a los hogares y que son la principal fuente de agua para esos hogares, y dos del agua potable comercial que compran. Las otras diez muestras fueron tomadas en hogares que ya cuentan con filtro, y fueron obtenidas directamente del Ecofiltro.

Dichas muestras fueron tomadas y analizadas utilizando el kit CBT *E. coli* Kit - 10 Pack (manufacturado y distribuido por Aquagenx), que consiste en bolsas de prueba con compartimientos que detectan ausencia/presencia de *E. coli* en agua en áreas de bajos recursos, rurales y de desastre/emergencia. La prueba permite determinar el número más probable (NMP) de *E. coli* en una muestra de 100 ml, a partir de una herramienta de puntuación con colores verde y amarillo, que permite comparar los patrones de colores obtenidos en la bolsa de compartimiento para determinar si la muestra tiene bajo riesgo, riesgo intermedio, alto riesgo o es insegura.

Las muestras fueron tomadas bajo los criterios estándar de calidad, utilizando guantes de látex para no contaminar las muestras, las cuales fueron almacenadas en recipientes de 100mL que están incluidos en el kit Aquagenx y que se encuentran esterilizados y sellados. Las mismas fueron almacenadas en una hielera para mantener la temperatura adecuada hasta el momento de preparación de reactivos y análisis.

Para el análisis de cada muestra, se aplicó un *E. coli bud*¹ o medio de crecimiento que contiene un sustrato cromogénico: ácido 5-bromo-4-cloro-3-indolil-beta-D-glucurónico. Al disolverse el *E. coli bud*, cada muestra fue vertida en su respectiva bolsa de compartimientos para su incubación. Luego de un periodo de 48 horas de incubación, a temperatura ambiente (aproximadamente 25°C), se procedió a evaluar los resultados comparando la coloración de cada compartimiento con la tabla de Puntuación para definir el número más probable de Unidades Formadoras por Colonia (UFC). Ver figura 3.

¹ Incluido en el kit de pruebas para detección de *E. coli* en muestras de agua.

Resultados y discusión

- **Consumo de leña en un día:** en el cuadro 2 se presentan los resultados de consumo de leña y promedio de leña usada en un día bajo la metodología de pesaje de leña, tanto para fuego abierto como para estufa eficiente.

De acuerdo con los resultados de las mediciones realizadas en los 20 hogares (cuadro 2), una familia con fuego abierto utiliza en promedio 9.04 kilogramos de leña en un día; y una familia con estufa eficiente utiliza un promedio de 4.66 kilogramos. Al comparar estos consumos de leña se evidencia un ahorro del 48%, lo cual representa casi la mitad de leña necesaria para cubrir las necesidades de alimentación diarias de una familia, al compararlas con fuego abierto. Debido a que la estufa eficiente mejora la combustión de la leña y aprovecha mejor la energía térmica, reduce significativamente las pérdidas por convección y radiación natural que el fuego abierto genera, lo cual hace que la estufa tenga un mejor rendimiento. Por otra parte, el fuego abierto tiene grandes pérdidas por convección y radiación, la conducción es casi nula, y no aprovecha la energía en los gases de combustión ya que estos se liberan en el espacio físico de la cocina.

Es importante mencionar que esta medición se realizó en hogares con dietas similares, pero que no cocinaron exactamente lo mismo, ni en peso ni en ingredientes, pero incluyó todas las actividades diarias de uso (preparación de desayuno, almuerzo, cena, hervir agua para consumo, calentar agua para bañarse, cocción de frijol y/o maíz, entre otros). Asimismo, los hogares difieren en relación con el número de miembros por familia.

Durante la visita a los hogares se determinó que las especies más comunes de leña utilizadas para cocinar son pino y encino (*Pinus sp.*, y *Quercus sp.*). La mayoría de los hogares utiliza pino como fuente principal de leña. Sin embargo, indican que se consume muy rápido por lo que lo mezclan con leña de encino, ya que es una especie con poder calorífico mayor lo cual proporciona más energía por kilogramo quemado.

Para controlar todas estas variables es necesario generar más información y realizar más evaluaciones y dar seguimiento cercano a las usuarias de las estufas. Un estudio encontró solo un tercio de los programas de estufas incluyeron una evaluación y solo una minoría de ellos las evaluaciones midieron el uso de combustible en el campo (Gifford, 2010). Si bien estos estudios son extremadamente valiosos, también son extremadamente costosos y lentos, por lo que nunca habrá un gran número de ellos. Además, la recopilación de datos longitudinales a largo plazo significa altos costos y riesgos de alto desgaste (Burwen, 2012).



Figura 3. Muestra de agua de pozo posterior al periodo de incubación. Un compartimento se considera positivo o con presencia de *E. Coli*, cuando cambia de tonalidad a verde azul o azul. Incluso si solo hay un rastro de verde azul / azul o si solo hay sedimento verde azul / azul en el fondo de un compartimento. La secuencia de color en los compartimentos (de izquierda a derecha: amarillo, amarillo, azul, azul, amarillo), indica un nivel de *E. Coli* de 3.2 MPN/100mL, equivalente a un nivel Riesgo intermedio, de acuerdo con la Tabla del Número Más Probable (MPN) de Aquagenx.

Cuadro 1. Lineamientos de la Organización Mundial de la Salud para la calidad del agua potable

| Categoría de riesgo a la salud | <i>E. coli</i> UFC por 100mL |
|--|------------------------------|
| Seguro | < 1 |
| Riesgo intermedio/Probablemente seguro | 1 - 10 |
| Riesgo intermedio/Probablemente inseguro | > 10-100 |
| Inseguro | > 100 |

Cuadro 2. Leña utilizada en un día en hogares

| | Tipo de fuego | | Porcentaje de reducción de leña |
|---|---------------|-----------------------|---------------------------------|
| | Fuego abierto | Estufa Chapina Bonita | |
| Promedio de leña utilizada en un día (kg) | 9.04 | 4.66 | 48% |
| Desv. Est. | 3.3 | 1.6 | |

- **Eficiencia de estufa:** el rendimiento mejorado de las estufas se puede atribuir a una serie de factores. El primero es el aislamiento provisto alrededor de la cámara de combustión. Esto minimiza la tasa de pérdida de calor a través de la pared de la cámara de combustión por conducción y radiación, y asegura que se conserve una buena proporción de calor dentro de la cámara y se dirija hacia la parte superior de la cámara (Ayo, 2009).

Al utilizar el Protocolo de CCT en campo, se obtuvieron los resultados presentados en el cuadro 3, a partir de las seis pruebas realizadas. Ver Anexo, en donde se detalla el cálculo de variables medidas en protocolo CCT.

El cuadro 3 reporta los resultados de desempeño obtenidos con las seis pruebas CCT, tanto en fuego abierto como en estufa Chapina Bonita. Un estudio realizado por Granderson (2003) indica que una persona consume un promedio de 1.24 kg de leña por cada comida al utilizar fuego abierto y 1.69 kg al utilizar *plancha* (estufa con chimenea). Para fuego abierto, nuestros resultados indican un uso promedio de 4.39 kg de leña para una comida, para un promedio de cuatro personas. Esto equivale a 1.09 kg de leña por persona por comida, cantidad similar a la reportada por Granderson (2003). Sin embargo, el promedio de leña reportada para la plancha por el mismo estudio difiere de nuestros resultados y es debido a que la plancha y la estufa *Chapina Bonita* no tienen las mismas características de construcción, tanto en dimensiones como en materiales.

En las pruebas realizadas en el área de estudio, los resultados muestran un ahorro o reducción del 31% de leña consumida en las estufas *Chapina Bonita* comparadas con el fuego abierto. Este resultado difiere del porcentaje de reducción obtenido en la prueba realizada en laboratorio, ya que la STM de la FISUAC reportó una reducción de 49% de consumo de leña en la prueba CCT realizada *in situ* (Fundación Solar-USAC, 2018).

Aunado al consumo de leña, el uso incorrecto repercute significativamente en el ahorro del tiempo de cocinado. En condiciones óptimas, la estufa reporta un ahorro en tiempo de 33% (Fundación Solar-USAC, 2018), y en las pruebas de campo el tiempo de cocinado fue casi el mismo en ambos sistemas (aproximadamente 1.5 horas). La diferencia en velocidad de quemado, combinada con el contacto directo del fuego con los recipientes y el uso inapropiado de la estufa, redujeron sensiblemente el ahorro en tiempo en las pruebas en campo, dado que la estufa posee 35 g/min en condiciones óptimas de operación (pruebas de laboratorio), según los datos empleados para la elaboración del catálogo de estufas eficientes de Fundación Solar-USAC (2018).

Para que los resultados de las pruebas CCT sean confiables, la preparación y cocción de los alimentos debe realizarse por una persona local que esté familiarizada tanto con la comida que se está cocinando como con el funcionamiento de la estufa. Para ello, nos aseguramos de que las cantidades y el tipo de comida se mantuvieran lo más similares posible en todas las pruebas para reducir la variabilidad de las características de los ingredientes en los resultados.

Las discrepancias de las pruebas en campo y de laboratorio derivan principalmente de la forma de manejo y uso de leña por parte del usuario, ya que la prueba en laboratorio requiere particular atención en este aspecto para asegurar que la cámara de combustión no se encuentre saturada ni con una baja

Cuadro 3. Resultados de las Pruebas CCT en fuego abierto en Aguacatán

| Variables | Unidad | Promedio en Fuego abierto | Promedio en estufa eficiente | Desviación Estándar Fuego abierto | Desviación Estándar estufa eficiente | Porcentaje de ahorro o reducción |
|-----------------------------------|--------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Tiempo de cocinado | min | 87 | 91.5 | 6 | 6 | -5% |
| Leña húmeda consumida | g | 4,395 | 2,679 | 398 | 20 | 39% |
| Peso de alimento cocinado | g | 8,312 | 7,081.5 | 70 | 610 | 15% |
| Peso de carbón remanente | g | 667 | 288.5 | 182 | 161 | 57% |
| Tasa de quema | g/min | 28 | 19 | 1 | 4 | 33% |
| Consumo específico de combustible | g/kg | 294 | 241.5 | 36 | 57 | 18% |
| Potencia | watts | 8,208 | 5,472.5 | 431 | 1203 | 33% |
| Leña seca consumida | g | 2,560 | 1,763.5 | 322 | 257 | 31% |
| Equivalente de leña seca | g | 2,440 | 1,694.5 | 281 | 257 | 31% |
| Tasa de consumo de energía | kJ/min | 492 | 405 | 26 | 143 | 33% |
| Total de energía consumida | kJ | 42,926 | 35,351 | 4,947 | 10,108 | 31% |

alimentación de combustible. Esta variable no se puede manipular o modificar en las pruebas en campo ya que las usuarias deben hacerlo a su propia manera.

Sin embargo, de acuerdo con Smith *et al* (2007) los datos medidos en campo podrían ser más confiables porque las medidas reflejan situaciones reales del hogar. Por otra parte, debe considerarse que medir el efecto de una estufa únicamente cuando se usa no es una buena estimación de su efecto en campo porque el efecto verdadero depende tanto de cómo y con qué frecuencia los cocineros usan la nueva estufa y también de cuánto dejan de usar sus viejas estufas (Ruiz-Mercado, et al., 2011).

- **Costo de leña:** de acuerdo con la información brindada por las usuarias de las estufas, cada familia utiliza entre 10 y 12 tareas de leña al año. Cada tarea, equivalente a aproximadamente 1 m³, tiene un costo promedio de Q300.00. Si las familias con estufa eficiente ahorran entre el 30-50% de leña, es decir alrededor de cinco a seis tareas de leña al año, tendrían un ahorro de hasta Q1,800.00 anuales.
- **Emisiones de gases. Emisiones de gases (CO y CO₂):** los valores del promedio de emisiones de CO y CO₂, obtenidos en las pruebas en cocinas con fuego abierto y con estufa eficiente se presentan en el cuadro 4.

Durante las pruebas CCT se recopilaron datos sobre la exposición al monóxido de carbono, dióxido de carbono y de las partículas en suspensión, para poder correlacionarlas con los impactos en la salud de acuerdo con normas y estándares determinados.

Las mediciones de emisiones de CO reportadas por McCracken (1998), establecieron una reducción del 96% durante la realización de una prueba estandarizada de CCT al utilizar una plancha. El dato concuerda con los valores de reducción de CO reportados por el catálogo de estufas eficientes elaborado por Fundación Solar-USAC (2018), donde se reporta un porcentaje de reducción de 98%, bajo

condiciones óptimas de operación para la estufa *Chapina Bonita*. Al comparar estos datos con nuestros resultados en campo, la media de los valores presenta una reducción en cuanto a eficiencia, pero se asume que es causada por factores operacionales de las usuarias y la forma de controlar el fuego y la leña.

La OMS² establece un límite de exposición máxima de 26 ppm por una hora para monóxido de carbono. Considerando que el promedio de duración de la prueba de fuego abierto fue de 87 minutos, las condiciones de cocinado exponen a los usuarios a valores por encima de dicho límite, tanto en concentración como en tiempo. El uso de la estufa *Chapina Bonita* reportó una media en la concentración para monóxido de carbono de 13 ppm durante un tiempo de 91.5 minutos, por lo cual puede considerarse segura para los usuarios.

El dióxido de carbono no está considerado como un contaminante del aire nocivo a la salud, aunque en concentraciones superiores a 30,000 ppm puede provocar dolores de cabeza y falta de concentración (OSHA, 2019). Al utilizar la estufa *Chapina Bonita* se reduce la concentración de exposición de dióxido de carbono de 948 ppm a 529 ppm, lo que equivale a un 44%, en comparación con el fuego abierto.

La desviación estándar respecto a los valores de fuego abierto reportados en el cuadro 4, presenta anomalías (valores demasiado altos), producidas por la naturaleza intrínseca de las condiciones operacionales de cada hogar, como: posición del fuego abierto en la cocina y ventilación (el fuego abierto presenta una mayor sensibilidad a la ventilación, modificando la combustión y concentración de gases en el área circundante).

- **Material en partículas menor a 2.5mm (MP_{2.5}):** En el cuadro 5 se presentan los valores obtenidos de la medición del material en partículas menor a MP_{2.5}, tanto en cocinas con fuego abierto como con estufa eficiente. Se incluye también el porcentaje de reducción.

Cuadro 4. Emisiones de gases con fuego abierto y estufa *Chapina Bonita*

| Gas | Fuego abierto (Desv. Est.) | Estufa eficiente <i>Chapina Bonita</i> (Desv. Est.) | Porcentaje de reducción |
|-----------------------|----------------------------|---|-------------------------|
| CO (ppm) | 42 (47) | 13 (1) | 70% |
| CO ₂ (ppm) | 948 (253) | 529 (125) | 44% |

Cuadro 5. Promedio y porcentaje de reducción de material en partículas ≤ MP_{2.5} con fuego abierto y estufa *Chapina Bonita*

| Tipo de cocina | Promedio (ppm) | Desv. Est. | Porcentaje de reducción de material en partículas |
|------------------|----------------|------------|---|
| Fuego abierto | 421,809 | 37,547 | 73% |
| Estufa eficiente | 113,998 | 58,025 | |

² La OMS establece parámetros para reducir los daños para la salud debidos a la contaminación del aire de interiores. <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/indoor-air-pollution/es/>

El estudio de McCracken (1998) reportó una disminución del 99% del material en partículas menor a 2.5MP al utilizar las planchas, valor que concuerda con el 98% reportado para la estufa *Chapina Bonita* en el catálogo de estufas eficientes (Fundación Solar-USAC, 2018). De acuerdo con nuestros resultados, la cantidad de material en partículas en una cocina con estufa *Chapina Bonita* se reduce en grandes proporciones, llegando hasta un 73% menos de partículas suspendidas en el área donde está instalada la estufa. Esto representa un alto impacto en la salud de los miembros del hogar en virtud de que están menos expuestos a la inhalación de dichas partículas, las cuales pueden incrementar el riesgo a contraer enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

A pesar de que los resultados de las pruebas en campo presentan ligeras discrepancias con los datos de estudios previos y de pruebas en laboratorio, estos son positivos, por lo que se puede considerar que el empleo de una estufa eficiente provee una mejora sustancial en la calidad del aire.

La contaminación con partículas conlleva efectos sanitarios incluso en bajas concentraciones, de hecho, no se ha podido identificar ningún umbral, por debajo del cual no se haya observado daños para la salud. Por consiguiente, los límites de las directrices de la OMS (2015), se orientan a lograr las concentraciones de las partículas más bajas posibles, por lo que, al comparar los resultados de la emisión de fuego abierto con las estufas eficientes, se observa una mejora en la calidad del aire.

Asimismo, esto incide directamente en la calidad de vida ya que se reduce la probabilidad de sufrir malestares oculares como irritabilidad, resequedad y ardor de los ojos, al reducir la cantidad de humo generado por la combustión de la leña dentro de la cocina. Existe evidencia que indica que la instalación de estufas mejoradas puede tener efectos positivos en la salud de las personas. Un estudio realizado por Bruce et al (2004), sugiere que los hogares que recibieron *planchas* tenían cocinas sustancialmente menos contaminadas y menos bebés muy expuestos, varios años después de que las estufas estuvieran instaladas.

Es importante mencionar que la disminución del material en partículas en cocinas con estufa eficiente también depende del usuario y del correcto uso y colocación de la leña. Por otra parte, la correcta instalación de la chimenea y el mantenimiento

de esta también es un factor por considerar para que el humo sea extraído eficientemente de la cocina.

Al igual que con muchos países pobres, la implementación de intervenciones para reducir la contaminación por humo en zonas rurales de Guatemala ha sido poco sistemático. Una variedad de estufas mejoradas ha sido instalada a través de compras individuales por parte de las familias, y a través de programas financiados por ONG, gobierno y donantes externos. Muy pocos de estos proyectos han sido evaluados (Bruce et al, 2004).

Debido a los fondos limitados para realizar las evaluaciones y mediciones del proyecto, el presente estudio no es lo suficientemente grande ni lo suficientemente riguroso estadísticamente para inferir que los impactos son y serán positivos en el mediano y largo plazo. Sin embargo, el estudio responde a una evaluación metodológica en el corto plazo, utilizada para generar una línea base que puede ser alimentada en estudios posteriores.

Para evaluar con precisión el impacto de los programas de estufas mejoradas, las evaluaciones futuras deben centrarse en los cuatro comportamientos separables asociados con la incorporación de nuevas tecnologías: adopción, uso, sustitución y mantenimiento (Burwen, 2012).

- **Calidad de agua. Presencia/ausencia de *E. Coli*:** de acuerdo con el cuadro 6, la mayoría de las muestras de agua tomadas en los pozos propios de los hogares, a excepción de una, presentaron presencia de *E. coli*. Por otra parte, las muestras tomadas del agua purificada comercial y del agua tratada por el filtro, no mostraron presencia de *E. coli*, ubicándose en categoría de Bajo Riesgo, sugiriendo que el agua está libre de dicha bacteria, y segura para su consumo directo.

Estos resultados muestran que el agua de los pozos propios que las personas utilizan comúnmente para usos domésticos (cocer los alimentos, lavar trastes y lavarse las manos y dientes) tienen categoría de riesgo *Inseguro* en su mayoría, lo que representa un alto riesgo a la salud ya que los residuos de *E. coli* pueden estar presentes en el agua para consumo si esta no es hervida o tratada adecuadamente. Por otra parte, las familias que utilizan el Ecofiltro para obtener agua potable para consumo se encuentran menos expuestas a la bacteria, lo cual reduce el riesgo de contraer enfermedades gastrointestinales ya que ninguna mostró presencia de *E. coli*.

Cuadro 6. Tabla de resultados de muestras de agua

| Origen de la muestra | Lugar de donde se tomó la muestra | Cantidad de muestras | Categoría de Riesgo |
|--|--------------------------------------|----------------------|------------------------------|
| Agua purificada comprada en la comunidad | Caserío Barrio Nuevo, Aldea Patzalan | 2 | Bajo Riesgo |
| Pozos propios | Caserío Barrio Nuevo, Aldea Patzalan | 8 | Riesgo Intermedio / Inseguro |
| Agua tratada con Ecofiltro | Aldea Patzalan Centro | 10 | Bajo Riesgo |

De acuerdo con la información brindada por las familias consultadas, mensualmente cada hogar compra dos garrafones de agua (10 galones), por un costo de Q10.00 cada uno. Es decir que al año gastan Q240.00. Esto significa que el contar con un filtro de agua representa un beneficio no solo para la salud de las personas, sino también para su economía ya que ya no deben incurrir en gasto para comprar agua purificada comercial local, ni para la compra de leña para hervir agua, o de medicamentos para tratar enfermedades gastrointestinales.

El monitoreo y evaluación de calidad de agua a nivel rural es de suma importancia y una práctica no realizada comúnmente. Los datos microbianos de calidad del agua a menudo son limitados y, por lo tanto, la calificación del riesgo de inspección sanitaria se convierte en una importante consideración en la evaluación de los sistemas de agua domésticos, su gestión y prioridad para acciones correctivas (OMS, 2011). En ese sentido, el monitoreo continuo de la calidad del agua en el municipio de Aguacatán es necesario para asegurar la calidad del suministro de agua de los habitantes.

Es importante mencionar que los resultados obtenidos son preliminares ya que las muestras se tomaron en un día determinado, por lo que se requiere generar más datos y realizar investigación para continuar monitoreando el impacto y estado del filtro después de un periodo determinado de tiempo.

Conclusiones

Las estufas eficientes ahorradoras de leña al ser utilizadas diariamente reducen el consumo de leña en los hogares, en comparación con el uso de fuego abierto, lo cual puede representar una reducción en la tala y consumo de leña en el municipio de Aguacatán en el largo plazo. Esto representa un beneficio tanto para el bosque como para la economía y salud de las familias locales.

Al mismo tiempo, el uso de este tipo de estufas representa una alta mejora en las condiciones de calidad del aire que respiran las personas, sobre todo de los beneficiarios quienes pasan alrededor de ocho horas diarias preparando los alimentos y respirando dicho material en partículas en la cocina de sus hogares.

Sin embargo, es importante considerar que si bien el uso adecuado de la estufa puede representar diversos beneficios ambientales, económicos y de calidad de vida, existe el riesgo que la estufa no sea utilizada como principal sistema de cocina porque puede ser considerada menos atractiva en términos de: tamaño de la plancha y de las hornillas, el contacto indirecto de las llamas con la plancha, el tamaño de la cámara para colocar la leña, tiempo de calentamiento, que difiera del fuego abierto tradicional.

Con respecto al agua, el agua filtrada analizada mostró resultados positivos evidenciando que todas tienen ausencia de *E. Coli*. Esto representa un beneficio directo a los usuarios, ya que al contar con un filtro de agua disminuyen el riesgo de contraer enfermedades gastrointestinales por consumo de bacterias en el agua. Asimismo, el beneficio también se ve reflejado en la economía al no tener que consumir leña para hervir agua o incurrir en gastos para la compra de agua purificada comercial local.

Aunque los procedimientos de evaluación fueron realizados de forma objetiva y en tiempo real, nuestros resultados no pueden ser considerados concluyentes debido a que los recursos financieros y humanos no fueron suficientes para realizar más pruebas y evaluaciones. Asimismo, la falta de estandarización y control de variables en las pruebas y la poca cobertura de hogares monitoreados, reflejan que hace falta incrementar las mediciones en campo para contar con resultados más confiables. Este trabajo es una recopilación metodológica y de línea base para futuras iniciativas similares.

Recomendaciones

La mayoría de los proyectos de instalación y uso de estufas eficientes ahorradoras de leña y filtros purificadores de agua en Guatemala no tienen seguimiento para evaluar el impacto del proyecto, por lo que se recomienda que, para cualquier iniciativa similar, se realicen prácticas de monitoreo y seguimiento para evaluar el impacto que tienen dichas acciones tanto en el ambiente, la salud y la economía de los hogares y personas beneficiadas, y para buscar mejoras tanto en los modelos de las estufas como en la implementación de este tipo de iniciativas en las áreas rurales de países en vías de desarrollo.

Bibliografía

- Ayo SA. (2009) *Design, Construction and Testing of an Improved Wood Stove* AU J.T. 13(1): 12-18.
- Bruce, N., McCracken, J., Albalak, R., Schei, M., Smith, K.R., Lopez, V., 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 14: S26-S33.
- Burwen, J., Levine, D.I. (2012) *A rapid assessment randomized-controlled trial of improved cookstoves in rural Ghana* Energy for Sustainable Development 16: 328-338.
- Consejo Municipal de Desarrollo (COMUDE) del Municipio de Aguacatán, Huehuetenango. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (Segeplan). (2010) *Plan de Desarrollo Aguacatán*. Guatemala: SEGEPLAN/DPT.
- Ezzati, M., Kammen, D. (2002) *Evaluating the health benefits of transition in household energy technologies in Kenya* Energy policy 30: 815-26.
- Fundación Solar-USAC (2018) *Estufas eficientes para la reducción del consumo de leña*. Catálogo coordinado por Fundación Solar para el Proyecto USAID/Desarrollo con Bajas Emisiones Estudios ejecutados por el Laboratorio de Tecnología de la Madera. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

- GACC. (2013) *Protocolo WBT* Recuperado de <http://cleancookstoves.org/technology-and-fuels/testing/protocols.html>
- Gifford, M.L. (2010) *A global review of cookstove programs* (Master's Dissertation).
- Global Alliance for Clean Cookstoves (GACC) (2004) *Protocolo CCT* Recuperado de <https://cleancookstoves.org/binary-data/DOCUMENT/file/000/000/80-1.pdf>
- Global Water Partnership (GWP) (2015) *Situación de los Recursos Hídricos en Centroamérica*. 42pp.
- Granderson, J., Sandhu, J.S., Vasquez, D., Ramirez, E., Smith, K.R. (2008) *Fuel use and design analysis of improved woodburning cookstoves in the Guatemalan Highlands* Biomass and Bioenergy 33: 306-315.
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) (2012) *Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012. Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo*. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar -IARNA- Serie Perfil Ambiental No. 12 Guatemala 2012.
- Instituto Nacional de Bosques (INAB) (2015) *Estrategia Nacional de Producción Sostenible y Uso Eficiente de Leña 2013 - 2014 Serie Institucional ES-002(2015)*. Guatemala. pp. 43.
- Instituto Nacional de Estadística -INE- (2013) *Mapas de Pobreza Rural En Guatemala 2011* Recuperado de: <https://www.ine.gov.gt/sistema/uploads/2015/09/28/V3KUhmHgUJ81djtDdf6H2d7eNm0sWDD.pdf>
- Inter-American Network of Academies of Sciences (IANAS) y Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCyT) (2012) *Diagnóstico del Agua en las Américas* Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCyT). México. 307pp.
- Kshirsagar, M.P. Kalamkar, V.R. (2014) *A comprehensive review on biomass cookstoves and a systematic approach for modern cookstove design* Renewable and Sustainable Energy Reviews 30: 580-603.
- McCracken, J.P., Smith, K.R. (1998) *Emissions and efficiency of improved woodburning cookstoves in highland Guatemala* Environment International, 24(7): 739-747.
- OMS (2011) *Guías para la calidad del agua de consumo humano* Cuarta edición que incorpora la primera adenda. Recuperado de <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2005) *Guía de calidad del aire de la OMS, relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*.
- OSHA (2019) *OSHA Occupational Chemical Database Occupational Safety and Health Administration*. Recuperado de <https://www.osha.gov/chemicaldata/>
- Rehfuess, E.A., Bruce, N.G., Smith, K.R. (2011) *Solid fuel use: health effect* In: Nriagu, J.O. (ed) *Encyclopedia of Environmental Health*, 5:150-61.
- Saravia, J.M. (2010) *Estudio Tecnológico integral de la madera y corteza del primer raleo de 4 especies de pino cultivadas con fines industriales* Proyecto FODECYT No. 03-03. CONCYT. Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (Segeplán) (2006) *Estrategia para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de Guatemala* Diagnóstico. Gobierno de la República de Guatemala Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. Banco Interamericano de Desarrollo. Guatemala. 86pp.
- Simón Fernández, X., Pérez Neira, D. Vázquez Meréns, D. (2004) *A Pegada Ecológica como ferramenta de avaliação ambiental: unha aplicación á produción láctea galega* Comunicación presentada en el V Congreso de Economía Agraria. Santiago de Compostela, septiembre 2004.
- Smith, K.R., Dutta, K., Chengappa, C., Gusain, P.P.S., Masera, O., Berrueta, V., Edwards, R., Bailis, R., Shields, K.N. (2007) *Monitoring and evaluation of improved biomass cookstove programs for indoor air quality and stove performance: conclusions from the Household Energy and Health Project* Energy Sustainable Development 11: 5-18.
- Vaccari, M., Vitali, F., Mazzù, A. (2012) *Improved cookstove as an appropriate technology for the Logone Valley (Chad e Cameroon): Analysis of fuel and cost savings* Renewable Energy 47: 45-54.

| Variable | Unidad | Descripción | Fórmula / Ejemplo |
|-----------------------------------|--------|---|---|
| Tiempo de cocinado | min | Tiempo que dura la prueba completa. Se tomó la hora al inicio y al final de la prueba. | $T = T_f - T_i$ $T = 10:00 - 11:27 = 87$ minutos |
| Leña húmeda consumida | g | Peso total de leña que la cocinera utiliza para el ciclo de cocinado. Al finalizar la prueba se pesa la leña que sobró para restar ambos valores y obtener el consumo total. | $L_H = L_f - L_s$ $L_H = 5,000 - 605 = 4,395$ gramos |
| Peso de alimento cocinado | g | Es la sumatoria de todos los alimentos cocinados al final de la prueba. | $P_{al} = P_c + P_t + P_{cf}$; $P_{al} = 4600 + 2412 + 1300 = 8,312$ gramos |
| Peso de carbón remanente | g | Carbón remanente que queda en la cámara de combustión al terminar el ciclo de cocinado | $C_r = 667$ gramos |
| Tasa de quema | g/min | Gramos de leña quemada por minuto. | $T_c = E_f / T$; $T_c = 2440 \text{ gr} / 87 \text{ minutos} = 28$ gramos por minuto |
| Consumo específico de combustible | g/kg | Consumo de leña por kilogramo de alimento cocinado | $C_e = E_f / P_{al}$; $C_e = 2,440 / 8,312 = 294$ gramos de leña por kilogramo de alimentos |
| Potencia | watts | Es la energía total suministrada a la estufa proveniente del poder calorífico de la leña | $P_i = E_f / T$; $P_i = 42926 / 87 = 8,208$ watts |
| Equivalente de leña seca | g | Es la masa de leña despreciando el agua proveniente de la humedad contenida en esta. | $E_f = L_H - C_r - L_H * H$; $E_f = 4,395 - 667 - 4395 * 29.3 = 2,440$ gramos |
| Tasa de consumo de energía | kJ/min | Es la velocidad con que se está consumiendo la energía | $P_i = E_f / T$; $P_i = 42,926 \text{ kJ} / 87 \text{ min} = 493$ kJ/min |
| Total de energía consumida | kJ | Es la energía total consumida en la estufa proveniente de la combustión de la leña | $E_f = P_c * E_f$; $17,592 * 2440 = 42,926$ kJ |

| Donde: | |
|----------|--|
| Símbolo | Descripción |
| T | Tiempo |
| T_f | Tiempo final |
| T_i | Tiempo inicial |
| L_H | Leña húmeda consumida |
| L_i | Leña pesada al inicio de la prueba |
| L_s | Leña pesada al final de la prueba |
| C_r | Peso del carbón remanente en la cámara de combustión |
| P_{al} | Peso del alimento cocinada |
| P_c | Peso del caldo |
| P_t | Peso de las tortillas |
| P_{cf} | Peso del café |
| T_c | Tasa de quema |
| E_i | Equivalente de leña seca |
| C_b | Consumo específico de combustible |
| P_f | Potencia |
| E_t | Energía total consumida |
| H | Humedad en la leña |
| P_f | Potencia |