



# Consumo de leña en fogones tradicionales en familias campesinas del oriente antioqueño\*

Juan Fernando Ramírez Quirama\*\*, Adolfo León Taborda Vergara\*\*\*

**Firewood consumption in traditional stoves among traditional peasant families from the Antioquian Eastern region**

**Consumo de lenha em fogões tradicionais em famílias camponesas do oriente antioqueño**

## RESUMEN

**Introducción.** El consumo de biomasa tiene un papel fundamental en la preparación de alimentos a nivel mundial, máxime en países en desarrollo, lo que ha generado un continuo aporte de carbono gaseoso a la atmósfera. **Objetivo.** Estimar el consumo de leña en fogones tradicionales por núcleos familiares, per cápita y tiempo de cocción para la preparación de alimentos en familias campesinas, y evaluar algunas problemáticas ambientales. **Metodología.** El trabajo se realizó en los municipios de Abejorral, Argelia, Nariño y Sonsón, donde se seleccionaron un total de 108 familias campesinas, que utilizaran fogones de leña tradicional para preparar su alimentación. Las familias fueron visitadas durante un día; realizando un censo de consumo de leña por familia y por persona, se identificó la especie forestal; se cuantificó el tiempo de cocción en horas que se gasta una familia en preparar los alimentos en un día; número de individuos por núcleo familiar. **Resultados.** En la región se liberan a la atmósfera 250 toneladas/día de carbono. En promedio cada persona y cada familia emiten 6.09 y 29.8 kg/día respectivamente, en un lapso de 7:51" ± 20" horas. En promedio las familias están integradas por 5 ± 0.36 personas. La especie vegetal que más utiliza leña es *Cupressus lusitánica*. El consumo de leña era proporcional al tamaño de la familia. **Conclusión.** Los sistemas tradicionales son

---

\*Artículo derivado del proyecto de investigación como trabajo de grado del estudiante Adolfo León Taborda Vergara, titulado "Consumo de leña en fogones tradicionales en familias campesinas del oriente antioqueño", realizado con el Grupo de Investigación y Desarrollo Agroambiental de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, financiado por CORNARE en el marco del proyecto HUELLAS "huertos y estufas leñeras, limpia ambiental y socialmente sostenibles". \*\* Ingeniero agroforestal, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). E-mail: adolfotv@gmail.com \*\*\* Ingeniero Forestal, M.Sc. Docente investigador UNAD. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. Grupo de Investigación y Desarrollo Agroambiental. Autor para correspondencia: juan.ramirez.quirama@gmail.com

altamente contaminantes y las emisiones pueden incluso ser mayores a las producidas por una persona o familia en la ciudad, por lo que se deben explorar alternativas como cocinas más eficientes.

**Palabras clave:** combustibles fósiles, emisión, fogones tradicionales, leña, Liberación de carbono.

## ABSTRACT

**Introduction.** The consumption of biomass has a fundamental role in the preparation of food worldwide, especially in developing countries, thus generating a continuous contribution to the carbon gas in the atmosphere. **Objective.** Estimate the firewood consumption in traditional stoves per family, per capita and cooking time for food preparation in peasant families and evaluate some environmental issues. **Methodology.** This work was developed in Abejorral, Argelia, Nariño and Sonsón towns, where 108 families that use traditional stoves to prepare their food were selected. The families were visited during one day, making a census of *firewood consumption per day and per person*; the *forest species used* was identified; the *cooking time* in hours consumed by one family to prepare food in one day was quantified and the number of individuals per *family nucleus* was accounted. **Results.** In the region, 250 tons /day of carbon are released into the atmosphere. Each person and each family emits 6.09 and 29.8 kg/day respectively, in a  $7:51'' \pm 20''$  hours period. The families are composed by  $5 \pm 0.36$  people. The most used plant species is *Cupressus lusitanica*. The firewood consumption was proportional to the number of family members. **Conclusion.** The traditional systems are highly polluting and the emissions can be even higher than those produced by a person or a family in a city. Therefore, alternatives such as more efficient kitchens must be explored.

**Key words:** fossil fuels, emission, traditional stoves, firewood, carbon release.

## RESUMO

**Introdução.** O consumo de biomassa tem um papel fundamental na preparação de alimentos a nível mundial, máxime em países em desenvolvimento, o que gerou um contínuo aporte de carbono gasoso à atmosfera. **Objetivo.** Estimar o consumo de lenha em fogões tradicionais por núcleos familiares, per capita e tempo de cocção para a preparação de alimentos em famílias camponesas, e avaliar algumas problemáticas ambientais. **Metodologia.** O trabalho se realizou nos municípios de Abejorral, Argélia, Nariño e Sonsón, onde se selecionaram um total de 108 famílias camponesas, que utilizassem fogões de lenha tradicional para preparar sua alimentação. As famílias foram visitadas durante um dia; realizando um censo de consumo de lenha por família e por pessoa, identificou-se a espécie florestal; quantificou-se o tempo de cocção em horas que se gasta uma família em preparar os alimentos num dia; número de indivíduos por núcleo familiar. **Resultados.** Na região se liberam à atmosfera 250 toneladas/dia de carbono. Em média cada pessoa e cada família emitem 6.09 e 29.8 kg/dia respectivamente, num lapso de  $7:51'' \pm 20''$  horas. Em média as famílias estão integradas por  $5 \pm 0.36$  pessoas. A espécie vegetal que mais utiliza lenha é *Cupressus lusitanica*. O consumo de lenha era proporcional ao tamanho da família. **Conclusão.** Os sistemas tradicionais são altamente contaminantes e as emissões podem inclusive ser maiores às produzidas por uma pessoa ou família na cidade, pelo que se devem explorar alternativas como cozinhas mais eficientes.

**Palavras importantes:** combustíveis fósseis, emissão, fogões tradicionais, lenha, Liberação de carbono.

## INTRODUCCIÓN

El consumo de leña para la preparación de alimentos en el sector rural es una constante; se estima que la mitad de la población del mundo, en su mayoría ubicada en los países en desarrollo, utiliza este tipo de biomasa para cocinar sus alimentos (Muro, Paredes & Bravo 2011; Aglionby, 2008). Estos países concen-

tran el 77 % de la población mundial, que utiliza el 76 % del total de la madera como fuente de energía, principalmente como biocombustible. Particularmente en América Latina el 81 % de la población está distribuida en áreas rurales, que tiene como fuente principal de combustible la leña, y en su mayoría de bosque natural. Algunas familias campesinas utilizan los fogones tradicionales como fuente directa de energía, mientras que los fogones a gas o a luz son utilizados como suplentes (FAO, 2008). En las familias la recolección de este material (la biomasa-leña) se relaciona con el rol de género y de edad; las mujeres y los niños, son los encargados de colectarla y preparar los alimentos (Stmitigs, 2006).

Durante mucho tiempo se consideró que la dinámica de uso de la leña era función directa del crecimiento de la población, el nivel adquisitivo y la preferencia de consumo (Aristizábal, 2010). Sin embargo, estudios muestran una relación más compleja, y consideran que es función de la interacción de factores relacionados con la oferta y la demanda, entre los que se destacan: los sistemas locales de producción, las condiciones biofísicas asociadas con el estado de los recursos naturales (Cabrera et al., 2004), variables socioculturales, sabor de los alimentos y desarrollo tecnológico (Sierra, Guerrero & Mejía, 2014).

Los principales problemas en el uso de la biomasa (leña) como fuente de energía son: primero, el poco conocimiento que se tiene sobre el consumo de combustible; segundo, el desconocimiento de las propiedades caloríficas de las especies; tercero, la contaminación dentro o cerca de las viviendas por la quema de la madera y las emisiones emitidas (combustión incompleta), dado que son usados todos los días en horas cuando generalmente las personas están presentes (amas de casa y niños), exponiéndolas gravemente a la inhalación de los gases y material particulado como cenizas y hollín, y cuarto, la presión real que se viene ejerciendo sobre los bosques y sobre las especies nativas, a escalas regional y nacional (Aguilar, 2014; Callieri, 1996)

El proceso de combustión incompleta de la leña genera residuos después de la combustión, entre ellos los inquemados y humos, ricos en monóxido de carbono, benceno, butadieno, formaldehído, hidrocarburos, poliaromáticos (Gonzalez, 1998), parte de las emisiones de gases con efecto invernadero: 4.3 mega toneladas al año (Maser, Ordóñez & Dirzo, 1997). Por ello, estudiar este tipo problemáticas es de importancia para estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, anticipando los efectos del cambio climático (Acquatella et al., 2008).

La región del oriente antioqueño cuenta con plantas y animales endémicos, cuyas poblaciones se han reducido por la fragmentación de ecosistemas, debido a la extracción selectiva de árboles para la utilización como madera para instalaciones, como tutores o como combustible; estos ecosistemas posteriormente terminan transformados en sistemas agrícolas y ganaderos convencionales. Lo anterior, sumado a la alta dispersión de la población en zonas apartadas de los centros poblados, los altos costos de uso de la energía eléctrica, la carencia de fuentes alternas de energía diferentes a la combustión de biomasa hacen que las comunidades utilicen básicamente la leña como principal combustible para la preparación de sus alimentos (González, Crivelli & Gortari, 2005).

Este trabajo busca estimar el consumo de leña en fogones tradicionales por núcleos familiares, per cápita y tiempo de cocción para la preparación de alimentos en familias campesinas. El trabajo se realizó en los municipios de Sonsón, Argelia, Nariño y Abejorral. Por lo anterior los resultados obtenidos nos permitirán conocer el uso de biomasa en el área de estudio, y algunos impactos ambientales con consecuencias locales y globales.

## REVISIÓN DE ALGUNOS CONCEPTOS

### Fogones tradicionales

Los fogones tradicionales o convencionales difieren en los diseños y materiales para construcción, desde la más simple, que consiste de tres piedras, hasta aquellos donde existe una canalización efectiva de los

gases generados en la combustión. Los materiales más utilizados son: el barro, la arena, los ladrillos, las piedras y metales. Los fogones son muy similares, tienen áreas de  $0.4 \text{ m}^2$  (largo x ancho), la altura es variable en promedio de 0.20 a 0.50 m, en su mayoría son de un solo puesto, o varios de manera lineal.

Pueden alcanzar una conversión del 90 % del poder calórico de la madera, pero solo una proporción pequeña de este, del orden del 10 % al 40 % llega a la olla. Esto, sumado a la poca eficiencia como se usa la leña, puede generar un gasto energético alto principalmente en lugares de gran oferta de leña, incluso para cocinar pequeñas cantidades de comida. En lugares donde los combustibles son más escasos, los fogones pueden ser controlados cuidadosamente y su eficiencia rivaliza con las estufas eléctricas y de gas (Cerdá, 2012).

Las principales características de un fogón tradicional abierto (figura 1) son: el calor generado por la combustión no se absorbe; el fuego choca contra la base y a veces con los lados de la olla, exponiendo una gran superficie de esta al calor. Son de fácil construcción y los materiales están disponibles en casi cualquier lugar, por lo que son más económicos; no poseen una canalización adecuada de los gases generados en la combustión, lo que conlleva incrementar la contaminación intra-domiciliaria por las emisiones y material particulado (Cortés & Ridley, 2013). Estas cocinas no controlan la aireación, el tipo de leña utilizada ni tiempo de quemado de la leña, que son los que dan eficiencia a los fogones (Sierra et al., 2014).

### La combustión de leña

La combustión es una reacción físico-química donde se desprende gran cantidad de calor y luz por medio de oxidación exotérmica. En esta reacción existe un elemento que arde (combustible) y otro que produce la combustión (comburente, materiales orgánicos que contienen carbono e hidrógeno); el segundo generalmente se encuentra en forma de  $\text{O}_2$  gaseoso. El proceso no es del todo eficiente (combustión incompleta), al generar residuos inquemados o "humus" algunos de los cuales son: el  $\text{CO}_2$  –dióxido de carbono–;  $\text{H}_2\text{O}$  –agua–,  $\text{SO}_2$  –dióxido de azufre (si el combustible contiene azufre)– y  $\text{NO}_x$  –óxidos de nitrógeno que depende de la temperatura de reacción;  $\text{H}_2$  –hidrogeno gaseoso–;  $\text{C}_n\text{H}_m$  –hidrocarburo–;  $\text{H}_2\text{S}$  –ácido sulfúrico– y  $\text{C}$  –carbón (Mejía, 2011). Para iniciar la combustión es necesario alcanzar una temperatura mínima, llamada temperatura de ignición, en  $^\circ\text{C}$  y a 1 atm (RAE 2014). Mientras más lento sea el proceso de combustión, a temperaturas elevadas (alrededor de  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ ), se genera lo que se conoce como doble combustión, o combustión completa, que representa mayor aprovechamiento del poder calórico del combustible y menor consumo del mismo, con menores residuos (Cerdá, 2012).

### La física-química del combustible

La capacidad que tienen los cuerpos de ganar y perder calor, debido a la combustión, genera procesos termodinámicos como la conducción, la convección y la radiación térmica. La conducción térmica se da cuando hay transferencia de energía térmica entre dos cuerpos, por medio del contacto directo de sus partículas (no hay flujo de materia). La convección térmica se produce por transferencia de calor, por medio de agentes fluidos como el aire y el agua, que transportan el calor entre zonas con diferentes temperaturas. La radiación térmica es la radiación calorífica emitida por un cuerpo debido a su temperatura. En los tres casos lo que busca el sistema es el equilibrio térmico, entre los diferentes cuerpos (Van Wylen, Sonntag & Obregón, 1967).

Las propiedades de combustión en biomasa están relacionadas con propiedades físicas de la madera como la densidad, la porosidad y la superficie interna. Los valores de las propiedades térmicas tales



como calor específico, conductividad térmica y emisividad varían con el contenido de humedad y la temperatura. La leña se caracteriza por su estructura química, donde los componentes principales son: hemicelulosa, resina, lignina, celulosa y agua. En el proceso de combustión la lignina se transforma principalmente en carbono fijo; los otros compuestos se liberan como elementos volátiles. La composición química de la madera seca es: 43 % de carbono (C), 7 % de hidrógeno (H) y 49 % de oxígeno (O) (Cerdá, 2012).



Figura 1. Clases de fogones tradicionales, en municipios del oriente antioqueño

La leña no es un combustible homogéneo y se pueden identificar varias etapas como:

*Secado de la madera.* Inicialmente la superficie exterior de leña recibe calor por radiación de las llamas, calentando el agua contenida en la madera por sobre su punto de evaporación y secando la madera. El calentamiento de la leña es inversamente proporcional al contenido de agua.

*Gasificación y oxidación de la materia volátil.* Al calentarse la madera seca por encima del punto de ebullición del agua, se inicia la segunda fase de pirólisis con la liberación de la materia volátil. En esta etapa, la leña comienza a humear con presencia de llamas largas y brillantes, que son características de la combustión de la leña seca. Si la materia volátil no se quema por completo en el interior del fogón, se emitirán gases no quemados que representan pérdida de eficiencia.

*Quemado del carbón residual.* Al liberarse completamente la materia volátil de la madera, permanece como producto residual el carbón sólido junto a la ceniza no combustible. Este compuesto sólido equivale al carbón de madera y se caracteriza por su combustión superficial con un resplandor rojo y llama muy pequeña que genera una alta temperatura entre 600 y 1000 °C.

## METODOLOGÍA

### Área de estudio

El área de estudio está localizada en el departamento de Antioquia-Colombia, suroriente antioqueño, en los municipios de Abejorral, Argelia, Nariño y Sonsón. La región cuenta con dos ríos, el Arma y el Samaná (figura 2).

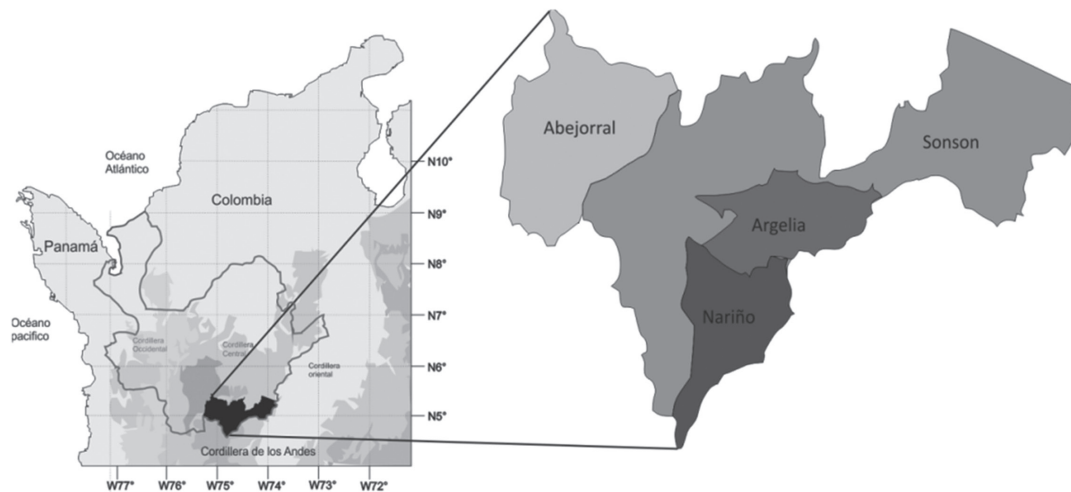


Figura 2. ubicación del área de estudio

En esta región la actividad económica se basa en el aprovechamiento de cultivos forestales y agrícolas (intensivos y tradicionales), y en la ganadería. El 52 % de la región está cubierta de bosques; de ellos 57 % son bosques naturales primarios intervenidos; el restante 43 % está configurado por rastrojos. Los bosques tienen un grado medio de fragmentación debido a la extracción indiscriminada de madera para construcciones civiles y para leña. Las poblaciones se ubican en zonas de vida pre-montana y montana, la humedad es alta, y las precipitaciones, medias. En sus bosques cuenta con especies endémicas de

plantas y animales; lo anterior resalta a estos ecosistemas de bosques por su importancia ecológica para la región (CORNARE, 1994).

Los municipios están ubicados a alturas similares, lo que origina temperaturas promedio similares; la menor temperatura se presenta en el municipio de Sonsón que también presenta la mayor altitud. La mayor precipitación la presenta el municipio de Sonsón; la menor la presenta el municipio de Argelia, que es el municipio con menor altitud sobre el nivel del mar. El área de cada uno de los municipios es diferente; el más pequeño es Argelia. El mayor porcentaje de población rural se presenta en Abejorral con 85.6 %, la menor se presenta en el municipio de Sonsón con un 39.4 % (tabla 1).

**Tabla 1. Caracterización de las zonas donde se levantó la información, línea base**

	Msnm	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Precipitación (mm)	Área del municipio(km <sup>2</sup> )
Abejorral	2125	17	88	2500	470
Argelia	1750	20	74	2000	254
Nariño	1650	20	75	2300	313
Sonsón	2475	13	90	3500	1323
<i>Municipio</i>	<i>Habitantes totales</i>	<i>Familias urbanas</i>	<i>Familias rurales</i>	<i>Habitantes rurales</i>	<i>hab/ km<sup>2</sup></i>
Abejorral	16 261	1710	2829	13 921	51.62
Argelia	7685	759	1156	4913	47.64
Nariño	10 441	769	1944	7258	46.87
Sonsón	40 626	4797	4388	16 024	32.30

Sisben 2011 municipios; anuario estadístico de Antioquia 2004.

## Recolección de la información

Para levantar la información se seleccionaron de la base de datos de la Corporación Autónoma Regional CORNARE, 108 familias que prepararan sus alimentos con leña en un fogón tradicional abierto; las familias fueron visitadas durante un día. A cada una de las familias se censó: *consumo de leña por familia*; se pesó el total de madera (seca al aire, más de ocho días de estar almacenada en los patios) que consume una familia para la preparación de los alimentos. Se identificó la *especie forestal* con nombre vulgar y nombre científico. Se cuantifico el *tiempo de cocción* en horas que se gasta una familia en preparar los alimentos en un día. Se censó cada *núcleo familiar* como número de personas que se alimentaban de comidas preparadas en ese fogón. Se midió la temperatura de combustión con un termómetro y se consultó en libros la densidad de la madera en gr cm<sup>-3</sup>

## Calculo del tamaño de la muestra

Para calcular el tamaño de la muestra se utilizó la siguiente ecuación (1):

$$n_c = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde: N, es el tamaño total de la muestra,  $Z_{\alpha}^2$ ; valor de la normal estándar con una precisión del 95 %;  $p$  = proporción esperada (5 % = 0.05);  $q$  = es la proporción no esperada  $1 - p$  (1-0.05 = 0.95),  $d$  = precisión (en este caso deseamos un 4 %).

## Análisis de datos

Para evaluar el consumo de madera en kg por núcleo familiar y por individuo, se midió *la variable dependiente*: peso de la leña consumida durante un día por núcleo familiar y peso de la leña consumida por un individuo (*per cápita*). Estas variables dependientes se compararon y relacionaron por medio de un modelo lineal generalizado (MLG) y unas pruebas de correlación de Pearson ( $R^2$ ), con las variables independientes de la investigación, que son: núcleo familiar (Nro. Pers.); tiempo de cocción (T. cocción); temperatura de combustión (T. combustión) y densidad de la madera. En cada una de las variables dependientes se evaluó la relación de la siguiente manera (ecuación 2).

$$\text{consumo madera} = \text{Nro.pers} + \text{T.coccion} + \text{T.combustion} + \text{densidad madera} + \varepsilon \quad (2)$$

Para evaluar el efecto significativo de cada una de las variables independientes sobre el modelo, se empleó la prueba de F ( $\alpha < 0.05$ ). Se evaluaron los supuestos de normalidad usando la prueba de Shapiro-Wilk ( $S_w$ ) y homocedasticidad por medio de la prueba de Levene's ( $L$ ). De otro lado, se analizó la relación de las variables número de personas, *Consumo/día*, *Consumo/día por individuo* y *tiempo de cocción*, por medio del coeficiente de correlación de Pearson ( $R^2$ ). Los anteriores cálculos se realizaron con el programa Statgraphics XVI, los análisis se realizaron con  $\alpha: 0.05$ .

Con el fin de disminuir el efecto de la pseudo-réplica y aumentar los grados de libertad se definió como unidad de análisis cada una de las unidades familiares ( $n: 108$ ). Con esta base de datos se realizaron cálculos por cada individuo (*per cápita*) y por familia para cada una de las variables independientes.

## Cálculo de consumo de liberación de carbono por fogones tradicionales

Para hallar el consumo o liberación de carbón en fogones tradicionales, se calculó el promedio ( $= \sum x_i / n$ ) *per cápita*, este promedio se multiplicó por la población que habitaba en las poblaciones rurales (reportada en el censo) y que se conocía que utilizaba el fogón tradicional como fuente energética para la preparación de alimentos; de esta manera se calculó el consumo por la población total. Asumimos que el 40 % del peso del material seco al aire era carbono (Gayoso & Guerra, 2005). Se calculó por especie el gasto. Por último se correlacionó la cantidad de madera con la densidad de la madera y con las propiedades caloríficas ( $\alpha=0.05$ ).

## RESULTADOS

### Medidas de resumen y correlaciones

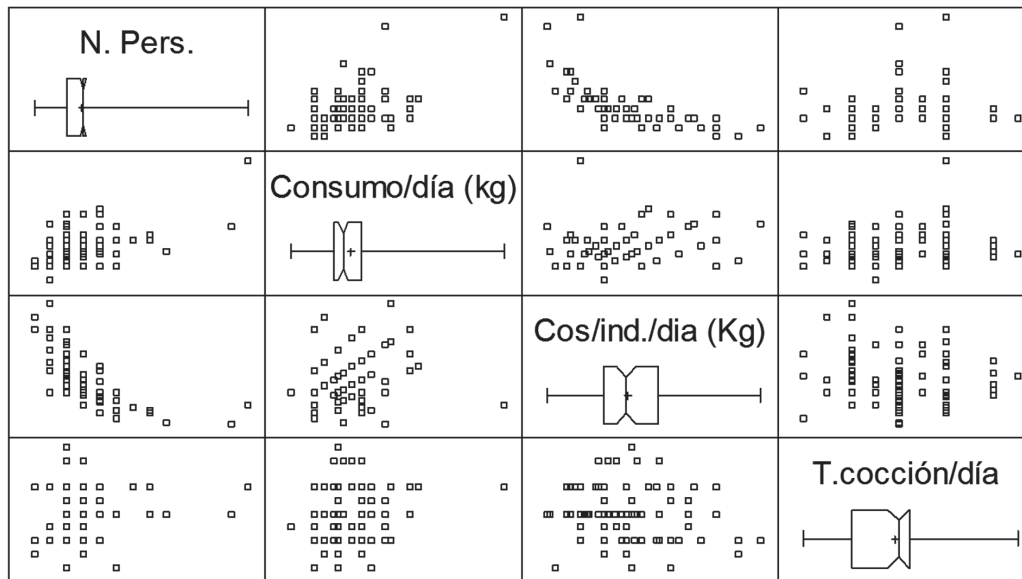
Los coeficientes de variación no son muy altos lo que se puede concluir un muestreo aceptable. El error estándar es cercano a cero para consumo día familia y para consumo *per cápita* lo que indica que la muestra puede ser un buen estimador de la variable dependiente. En promedio las familias están integradas por  $5 \pm 0.36$  personas; las más numerosas contienen 15 individuos; las menos numerosas están conformadas por 2 individuos. Estas familias mantienen encendido en promedio por día sus fogones tradicionales  $7:51'' \pm 20''$  horas, y consumen  $27.61 \pm 1.18$  kg/día de madera. Lo anterior evidencia los altos consumos de leña (tabla 2).

El consumo kilogramos/día por núcleo familiar tiene una correlación estadística significativa con el número de personas ( $R^2: 0.45$ ; Valor  $P < 0.05$ ); no se correlacionó con tiempo de cocción/día ( $R^2: 0.13$ ; Valor  $P: 0.175$ ). En el consumo por individuo-día (*per cápita*) se encontró una relación inversamente proporcional con el número de personas ( $R^2: -0.64$ ; Valor  $P < 0.05$ ); no correlacionó con el tiempo de cocción/día ( $R^2: -0.12$ ; Valor  $P: 0.230$ ; figura 3). Las nubes de puntos para los diferentes juegos de variables no muestran tendencias marcadas; el gráfico de cajas y bigotes permite ver un sesgo hacia la izquierda de las variables número de personas y consumo día por núcleo familiar.



**Tabla 2. Resumen de las variables indicadoras de consumo de leña en el oriente de Antioquia (g.l. 108)**

	Nro. Pers.	Consumo/día familia (kg)	Consumo/día individuo (Per cápita) (kg)	Tiempo de cocción horas/día
Media	4.90	27.61	6.09	7.85
Mediana	5	26.0	6.0	8.0
Moda	4	30.0	5.0	8.0
Varianza	3.51	37.57	3.42	3.27
Desviación Estándar	1.87	6.13	1.85	1.81
Coef. de Variación	38.2	22.2 %	30.3 %	23.0 %
Error Estándar	0.18	0.59	0.18	0.17
Mínimo	2.0	15.0	2.5	4.0
Máximo	15.0	60.0	12.0	13.0



**Figura 3. Gráficos de dispersión x-y, y de cajas y bigotes para las variables consumo kilogramo día por núcleo familiar y consumo kilogramo per cápita de leña, número de personas que integran el núcleo familiar y tiempo de cocción de alimentos día (g.l: 108).**

### Modelo lineal generalizado

La variable consumo día kg por familia (g.l. 108) no presenta distribución normal ( $S_w: 0.903$ , Valor  $P < 0.05$ ); es homocedástica según la prueba de Levene's ( $L: 0.606$ ; valor  $P: 0.695$ ) lo que indica que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las varianzas ( $\alpha=0.05$ ). El vector conformado por

la variable consumo por individuo (g.l. 108) tampoco evidenció que sus datos se distribuyeran como la función normal ( $S_w: 0.947$ , Valor  $P < 0.05$ ); sin embargo, la variable presenta tendencia homocedástica ( $L: 1.356$ ; valor  $P: 0.247$ ). Por lo anterior, los dos vectores configurados por las variables dependientes del modelo cumplen el supuesto fundamental de homocedasticidad, y podemos asumir la normalidad asintótica ( $n > 30$ ) por lo que se puede hacer el uso de la estadística paramétrica.

La variable Consumo/día de kg de leña por familia presentó que al menos una de las variables estudiadas tiene diferencias significativas (g.l: 107; Razón F: 2.51; Valor  $P < 0.05$ ). El modelo presenta un  $R^2$  de 54.93 % y un error estándar de 5.016. El modelo que tenía como variable dependiente consumo por individuo día resultó significativo (g.l: 107; Razón F: 5.28; Valor  $P < 0.05$ ), con un  $R^2$  de 71.96 % y un error estándar de 1.193. Para ambos modelos las variables que resultaron significativas son número de personas, y densidad de la madera (tabla 3).

**Tabla 3. ANAVA para MLG de consumo de madera en kg por núcleo familiar y por individuo (Per cápita), con relación a las variables independientes: núcleo familiar (Nro. Pers.); tiempo de cocción (T. cocción); Temperatura de combustión (T. combustión) y densidad de la madera. ( $\alpha = 0.05$ , g.l= 108)**

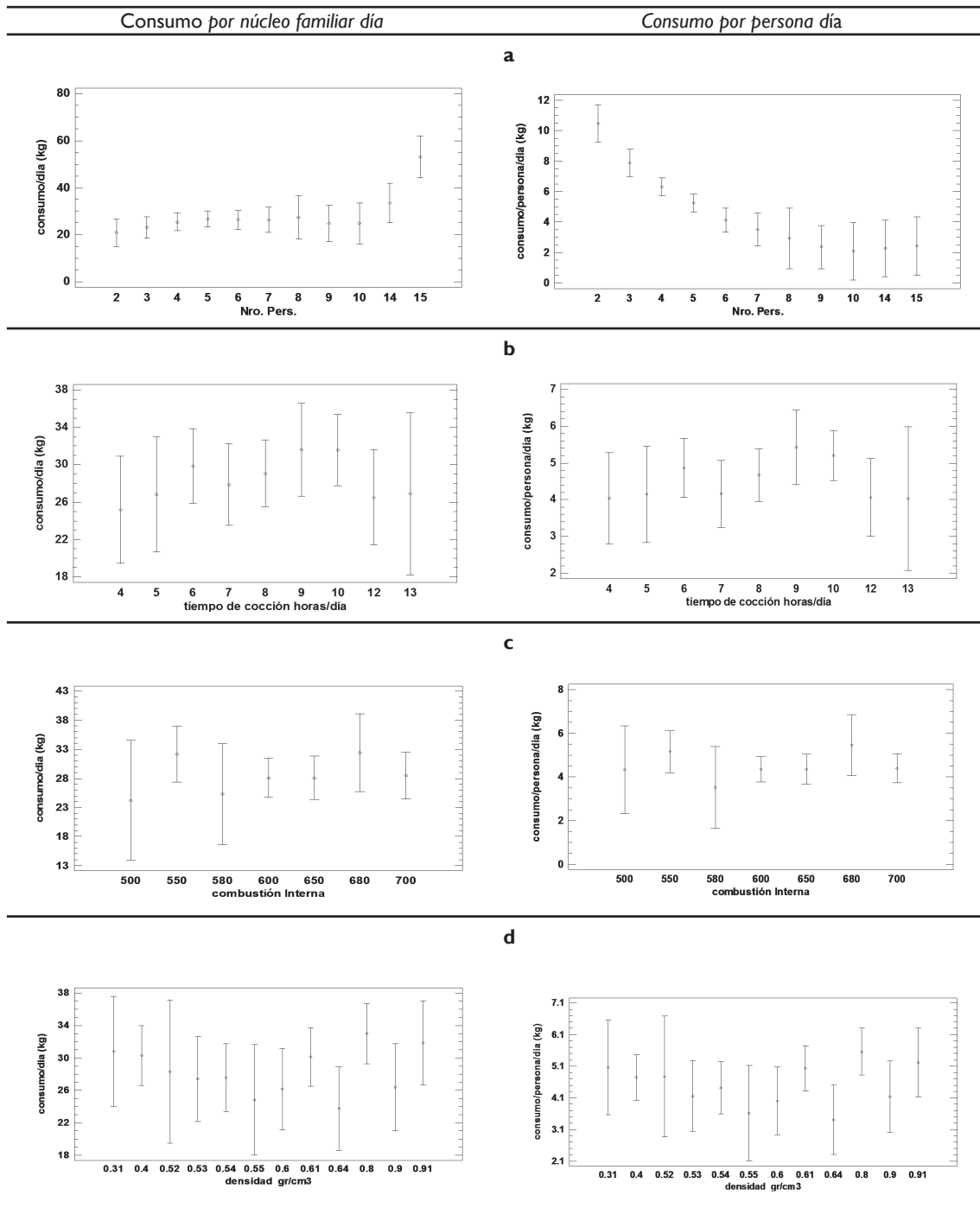
Fuente	g.l.	Por núcleo familiar			Per cápita		
		C.M.	F	P	C.M.	F	P
Nro. Pers.	10	88.38	3.51	0.001	18.53	13.02	0.000
T. cocción horas/día	8	25.33	1.01	0.439	1.351	0.95	0.482
Temperatura Combustión	6	25.26	1.00	0.430	0.914	0.64	0.696
Densidad gr/cm <sup>3</sup>	11	49.88	1.98	0.043	2.553	1.79	0.071
Residuo	72	25.16			1.423		

g.l.: grados de libertad; c.m.: cuadrado medio; F: valor de la razón de la prueba F; P: valor P

El comportamiento del consumo de leña varía en ambos modelos cuando se compara con el número de personas. Cuando se analizó la cantidad de kilogramos consumidos por familia en un día de preparación de sus alimentos, se encontró una relación directa con el número de personas, es decir, entre más numerosas son las familias, más consumo de leña generan. Lo contrario pasó en el modelo cuando se comparó el consumo *per cápita* con el número de personas: entre más pequeña sea la familia mayor es el consumo *per cápita* de elementos dendroenergéticos (figura 4a). El modelo no evidenció aumento o disminución de consumo de leña en el núcleo familiar y *per cápita*, según el tiempo de cocción (figura 4b), ni la combustión interna medida en el fogón (figura 4c). En cuanto a la variable densidad de la madera presentó diferencias estadísticas significativas por núcleo familiar y diferencias tangenciales (valor p cercano a  $\alpha = 0.05$ ) cuando el vector era compuesto por el consumo *per cápita* de leña, aunque en ninguno de los dos casos presenta tendencias claras, ni relaciones directas ( $R^2: 0.09$ , Valor  $P > 0.05$ ; figura 4d).

### Liberación de carbono por fogones tradicionales

En la región se liberan a la atmósfera 250 toneladas/día de carbono. En promedio cada persona que vive en la zona rural libera 6.09 kg/día; cada familia, en promedio 29.8 kg/día. La especie que más se utiliza como leña "liberación de carbono" es *Cupressus lusitánica*, seguido por el *Oreomunnea pterocarpa* (tabla 4). La cantidad de la madera utilizada no correlacionó con la densidad de la madera por núcleo familiar ( $R^2: 0.05$ ; n: 13; valor  $P: 0.84$ ), contrario lo que pasó por individuo que correlacionó de manera inversa y tangencial ( $R^2: -0.51$ ; n: 13; valor  $P: 0.07$ , cercano al  $\alpha$ ). El consumo de madera no correlacionó en ninguna de las dos variables dependientes con las propiedades caloríficas de la madera (valor  $P > 0.05$ ). oriente antioqueño



**Figura 4. Prueba de mínima diferencia significativa (LSD) para consumo de madera en kg por núcleo familiar y por individuo (per cápita), con relación a las variables independientes (a) núcleo familiar (Nro. Pers.); (b) tiempo de cocción (T. cocción); (c) temperatura de combustión (T. combustión) y (d) densidad de la madera ( $\alpha$ : 0.05; g.l.: 108).**

**Tabla 4. Propiedades de las especies utilizadas como dendroenergéticos y liberación de carbono en el oriente antioqueño**

Especie	Densidad aparente	Propiedades calóricas (kJ/kg)	Consumo total (kg)		Carbono liberado (kg)		CO <sub>2</sub> Liberado total (ton)
			Día/familia	Día/persona	Día/familia	Día/persona	
<i>Vismia sp</i>	0.64	14373	218	5	187.48	4.30	5.81
<i>Cojoba sp</i>	0.80		270	4.86	232.20	4.18	6.27
<i>C. lusitánica</i>	0.40	18117	581	5	499.66	4.30	13.55
<i>Weinmannia sp</i>	0.52		25	5	21.50	4.30	0.65
<i>Eucaliptus sp</i>	0.60	17433	120	5	103.20	4.30	3.23
<i>O. pterocarpa</i>	0.80	18087	565	5	485.90	4.30	10.97
<i>Inga sp</i>	0.54	17760	254	5.32	218.44	4.58	6.86
<i>Myrica sp</i>	0.55		49	5.53	42.14	4.76	1.43
<i>P. patula</i>	0.53	17253	97	5	83.42	4.30	2.58
<i>Q. humboldtii</i>	0.90	18020	92	5	79.12	4.30	2.58
<i>Tibouchina sp</i>	0.61	17890	503	4.96	432.58	4.27	11.52
<i>C. arabiga</i>	0.91	18400	152	5.17	130.72	4.45	3.34
<i>Cecropia sp</i>	0.31		56	6	48.16	5.16	1.55

Carate (*Vismia sp*), Carbonero (*Cojoba sp*), Ciprés (*Cupressus lusitánica*), Encenillo (*Weinmannia sp*), Eucalipto (*Eucaliptus sp*), Gavilán (*Oreomunnea pterocarpa*), Guamo (*Inga sp*), Laurel (*Myrica sp*), Pino patula (*Pinus patula*), Roble (*Quercus humboldtii*), Siete cueros (*Tibouchina sp*), Soca de café (*Coffea arabiga*) y Yarumo (*Cecropia sp*).

## DISCUSIÓN

Las familias consumen  $27.61 \pm 1.18$  kg/día de madera, en las 7:51"  $\pm 20$ " horas que tienen encendido el fogón tradicional; por persona consumen 5.5 kg/día. Este consumo de la región es alto comparado con reportes para fogones tradicionales o abiertos que reportan 5 kg/persona/día (Hernández 2014), y de 4.8 kg/persona/día (Valderrama and Linares 2008), y a los reportados en comunidades campesinas del Perú de 3 kg/persona/día (Muro, Paredes & Bravo, 2011). En México, el promedio de consumo de leña oscila entre 2 y 3 kg por persona por día (Maser, 2006).

El alto consumo puede deberse a la ineficiencia de los fogones y a que los pobladores sobre-explotan el recurso (Quiroz-Carranza & Orellana, 2010; Cabrera et al., 2004), buscando satisfacer las necesidades mínimas en cuanto a la preparación de alimentos (Muro et al., 2011). Este uso de leña involucra aspectos culturales, como usos y costumbres culinarias tradicionales que reflejan el vínculo de la gente con la tierra, con el bosque y sus recursos. Pero esta relación también se ve condicionada por la facilidad con que se accede al recurso, la disponibilidad del mismo o su menor costo con respecto a otras alternativas (Santos, Estrada & Rivas, 2012) lo que lleva a dificultades en el cambio del modo de uso de este recursos, por lo que se debe trabajar para aumentar la eficiencia de este tipo de sistemas, tecnificándolos.

El consumo kilogramos/día de leña está directamente relacionado con el número de personas en el núcleo familiar que utilizan como energía para preparar los alimentos, es decir, a familias con **más integrantes el consumo de leña es mayor**. Resultados similares fueron encontrados por Lemckert and Campos (1981) donde en familias numerosas el consumo de leña era mayor que en familias

de menos integrantes. De manera similar el consumo/día de kg de leña por familia presentó relación directa con la cantidad de leña consumida, En cuanto a la variable densidad de la madera presentó diferencias estadísticas significativas por núcleo familiar y diferencias tangenciales cuando el vector era compuesto por el consumo per cápita de leña, lo que evidencia una ineficiencia en el uso del recurso dendroenergético. Caso similar se encontró en cocinas eficientes donde, además, relacionaron la variable altitud (Pérez, Graciano & Gómez, 2014).

Otro factor influyente en el consumo de leña es el número de integrantes por familia que resulta en una relación inversa entre el consumo y número de integrantes, consumo por individuo-día (*Per cápita*), es decir, el gasto de un individuo en el momento de preparar sus alimentos en una familia pequeña es mayor a lo que consume un solo individuo en una familia grande. Esta relación sugiere una mayor eficiencia en el uso de la leña per cápita entre las familias grandes. El consumo de leña es 50-55 % menor en comparación con el consumo de familias de menos integrantes. La mayor parte de las familias son grandes y medianas ( $4.9 \pm 1.87$  integrantes), y logran un ahorro de leña al mantenerse agrupadas y utilizar la misma cocina. Resultados similares encontraron en México en comunidades cafetaleras de Chenalhó, Chiapas (Ramírez et al., 2012).

### **Liberación de carbono por fogones tradicionales**

En la región se liberan a la atmósfera 250 toneladas/día de carbono. En promedio cada persona que vive en la zona rural libera 2.7 kg/día; cada familia en promedio 13.5 kg/día. Según la FAO el consumo de biomasa (leña) en Antioquia fue de 1 000 000 de toneladas anuales para los años 90 (Acquatella et al., 2008). Por el alto consumo de biomasa y la poca eficiencia de los fogones tradicionales, se debe optimizar el consumo de este tipo de energías. La opción es implementar dispositivos con mayor tecnología (Cabrera et al., 2004) y de esta manera reducir los riesgos que tienen las personas por la ineficiencia de estos fogones que generan gran cantidad de residuos por la combustión incompleta (Maser et al., 1997), y aumentan la contaminación intradomiliar (Cortés & Ridley, 2013). Es de anotar que los altos consumos de los fogones abiertos pueden estar influidos por variables como el tipo de fogón, entrada de aire y biomasa utilizada, que pueden ser elementos de otras investigaciones (Sabillón, 2009). Este hecho hace que se desperdicien las buenas propiedades de la leña como combustible.

El 60 % de la madera extraída es utilizada como leña; esta actividad es causante de problemas ambientales, como la fragmentación de ecosistemas, pérdidas de hábitats, liberación de carbono al ambiente esto por la alta demanda que tiene la actividad en el mundo. A esto se suma el impacto social debido a que cada vez los pobladores realizan grandes recorridos para encontrar leña, en algunas de las ocasiones generan conflictos con sus vecinos (Acquatella et al., 2008); la poca cobertura sobre las necesidades básicas entre ellas la alimentación (cocción); el bajo acceso a la tecnología; la baja implementación de huertos leñeros y el poco conocimiento de especies que cumplan requisitos dendroenergéticos (Sabillón, 2009).

Por lo anterior, una de las preocupaciones a escala **técnica** es la poca iniciativa o reglamentación estatal para que los campesinos inicien procesos de siembra de materiales o especies con características dendroenergéticas que a mediano plazo suministren esta biomasa y de tal manera eviten la presión a los bosques nativos (CARMONA et al., 1999) y la pérdida, migración y extinción de especies, así como una paulatina pero constante degradación de los suelos (Muro et al. 2011). Si no se siembran huertos leñeros, a futuro va escasear este tipo de combustible y se estima una crisis debido a la escasez de la biomasa como fuente de energía (Callieri, 1996).

Otro de los impactos es que dadas las altas concentraciones de consumo, la población rural puede incluso estar emitiendo más carbono que las poblaciones que viven en los grandes centros urbanos (Maser et al., 1997). Esta actividad es considerada una de las principales fuentes de contaminantes de



aire local, especialmente hidrocarburos y partículas suspendidas (Korc & Quiñones, 2003), además del CO<sub>2</sub>, agua, y mezcla de gases inorgánicos (CO, NO, SO<sub>2</sub>) e hidrocarburos orgánicos volátiles (entre más completa la combustión menor es la cantidad de residuos). Los gases pueden afectar positivamente los sistemas productivos primarios al aumentar la precipitación seca, y efectos negativos en la población relacionados con síntomas respiratorios crónicos (Ramírez et al., 2012), por lo que se debe apuntar a aumentar la eficiencia en los mismos (UN & SISTÉMICO, 2008). En comunidades mexicanas encontraron que cuando los fogones eran más eficientes en la combustión disminuyeron las emisiones GEI y los problemas respiratorios (Ramírez et al., 2012).

## CONCLUSIÓN

Dado lo anterior, una de las sugerencias para disminuir las emisiones es generar cocinas campesinas comunitarias. Estas relaciones pueden estar sustentadas a que el tiempo de uso del fogón (cocción de alimentos/día) no diferenció cuándo se realizó el análisis por familias, es decir, una familia compuesta por un individuo gasta el mismo tiempo para preparar sus alimentos con relación a familias con más integrantes. También se debe buscar tecnificar las cocinas con nuevas tecnologías, para aumentar la eficiencia de los fogones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acquatella, J.; Mejía, C.; Oliveros, C. Sanz Uribe, E.; Moreno Cárdenas, L.; Rodríguez Hurtado, M.; Marchamalo Sacristán, D.; Pimentel, W. Lockeretz & Castro Salazar, R. (2008). Opciones de política y recomendaciones. Bosques y energía: cuestiones clave. *Estudio FAO Montes (FAO)*.
- Aglionby, J. (2008) Indonesia faces dispute over biofuels fields. *Financial Times*, 11.
- Aguilar, H. C. (2014). Usos de los bosques como leña y sus efectos en el ecosistema: el caso de la sierra central de Piura, Perú. *Espacio y Desarrollo*, 73-115.
- Aristizábal Hernández, J. D. (2010). Estufas mejoradas y bancos de leña: una alternativa de autoabastecimiento energético a nivel de finca para dependientes de los bosques de roble de la cordillera Oriental. *Colombia Forestal*, 13, 245-256.
- Cabrera, S., Flores, R.; Asesor, F.; Larios, L. & Asesor, J. (2004). Caracterización del consumo y comercialización de leña y carbón en las comunidades del Tule y Catarina del municipio de San Lorenzo, departamento de Boaco, Nicaragua. Nicaragua: CENIDA.
- Callieri, C. (1996). Degradación y deforestación del bosque nativo por extracción de leña. *Ambiente y Desarrollo*, 12, 41-48.
- CARMONA, A.; Villa, A.; Manrique, G. & Prieto, J. (1999). Diseño de un Proyecto Piloto Dendroenergético y Formulación de Lineamientos de Políticas, Estrategias e Instrumentos para el Fomento de Sistemas Dendroenergéticos en Colombia. Santa Fe de Bogotá: Minminas.
- Cerdá, E. (2012). La biomasa en España: una fuente de energía renovable con gran futuro. *Documento de trabajo DT*, 1.
- Cornare, C.A. R. R.-N. (1994). *Plan de manejo del Páramo de Sonsón, Argelia y Nariño*. Cornare.

- Cortés, A. & Ridley, I. (2013) Efectos de la combustión a leña en la calidad del aire intradomiciliario: La ciudad de Temuco como caso de estudio. *Revista INVI*, 28, 257-271.
- FAO, R. (2008). Oferta y demanda de energía: tendencias y perspectivas. Bosques y energía: cuestiones clave. *Estudio FAO Montes (FAO)*.
- Gayoso, J. & Guerra, J. (2005). Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque (Valdivia)*, 26, 33-38.
- González, A. D., E. Crivelli & Gortari, S. (2005). Uso racional de energía y conservación de bosques en la Patagonia Andina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 9, 7.10-7.16.
- González, F. (1998). Inventario preliminar de gases de efecto invernadero. fuentes y sumideros: Colombia-1990-Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. *Colección Jorge Álvarez Lleras*.
- Hernández, J. D.A. (2014). Validación y evaluación comparativa de la eficiencia de una estufa de leña mejorada bajo condiciones controladas y prueba de campo. *Revista Informador Técnico*, 78, 12-24.
- Korc, M. E. & Quiñones. M. (2003). Diagnóstico comparativo de la calidad del aire de los interiores de las viviendas de dos poblaciones indígenas del Perú. En: Diagnóstico comparativo de la calidad del aire de los interiores de las viviendas de dos poblaciones indígenas del Perú. Perú: CEPIS.
- Lemckert, A. & Campos, J. J. (1981). *Producción y consumo de leña en las fincas pequeñas de Costa Rica*. Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Masera, C. (2006). *La bioenergía en México: un catalizador del desarrollo sustentable*. México, D. F.
- Masera, O. R., Ordóñez, M. J. & Dirzo, R. (1997). Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long-term scenarios. *Climatic change*, 35, 265-295.
- Mejía, B. F. (2011). Implicaciones ambientales del uso de leña como combustible doméstico en la zona rural de Usme. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Muro, H. A., Paredes, J. N. & Bravo, C. A. (2011). Impacto ambiental producido por el uso de leña en el área de conservación regional Vilacota-Maure de la región Tacna. Perú: Centro de Energías Renovables de Tacna (CERT), Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann
- Pérez, J. Graciano, F. & Gómez, J. (2014.) Caracterización energética y emisiones de una estufa de cocción ecoeficiente con biomasa a diferentes altitudes. *Ingeniería Mecánica*, 16, 227-237.
- Quiroz-Carranza, J. & Orellana, R. (2010). Uso y manejo de leña combustible en viviendas de seis localidades de Yucatán, México. *Madera y bosques*, 16, 47-67.
- Ramírez, L., J., Ramírez, M. N. Cortina, V.H. & Castillo, M. (2012). Déficit de leña en comunidades cafetaleras de Chenalho, Chiapas. *Ra Ximhai*, 8, 27-39.
- Ramirez, M. E.; Mireles, L., Ramirez, P.S. & Gomora, L. (2012). La experiencia de las estufas ahorradoras de leña en dos comunidades indígenas del Estado de México. *Ambiente y Desarrollo*, 16, 91-105.
- Sabillón, P.M. (2009). Evaluación de la percepción social y económica en la utilización de las estufas mejoradas "La Justa" por el proyecto Mirador en Santa Bárbara, Honduras. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano.

- Santos, G.A.; Estrada, E. & Rivas, G. (2012). Uso de la leña y conservación del bosque en el volcán Huitepec, Chiapas, México. *LiminaR*, 10, 138-158.
- Sierra, F., Guerrero, C. & Mejía, F. (2014). Determinación de la eficiencia de la cocción con leña en las veredas de Usme, Bogotá. Bogotá. *Ingeniería Mecánica*, 17, 185-194.
- Stmitigs, D. (2006). Género, leña y sostenibilidad: el caso de una comunidad de los Altos de Chiapas. *Economía, Sociedad y Territorio*, 6, 151-175.
- Un, C. & Sistémico, E. (2008) Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. *Energética*, 19-34.
- Valderrama, E. & Linares, E. (2008). Uso y manejo de leña por la comunidad campesina de San José de Suaita (Suaita, Santander, Colombia). *Revista Colombia Forestal*, 11, 19-34.
- Van Wylen, G. J. ; Sonntag, R. E. & Obregón, X. C. (1967). *Fundamentos de termodinámica*. México: Limusa-Wiley.