



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ECOLOGÍA

**CARACTERIZACIÓN DEL USO Y CALIDAD DE ESPECIES NATIVAS PARA LEÑA  
EN COMUNIDADES DE ACATEPEC, GUERRERO CON FINES DE  
RESTAURACIÓN**

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

**OMAR SALGADO TERRONES**

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. ELIANE CECCON  
CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIONES MULTIDISCIPLINARIAS (CRIM)

COMITÉ TUTOR: DR. ALEJANDRO CASAS FERNÁNDEZ  
DR. OMAR RAÚL MASERA CERUTTI  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD (IIES)

**MÉXICO, D.F. JUNIO, 2015**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.





**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ECOLOGÍA

**CARACTERIZACIÓN DEL USO Y CALIDAD DE ESPECIES NATIVAS PARA LEÑA  
EN COMUNIDADES DE ACATEPEC, GUERRERO CON FINES DE  
RESTAURACIÓN**

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

**OMAR SALGADO TERRONES**

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. ELIANE CECCON  
CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIONES MULTIDISCIPLINARIAS (CRIM)

COMITÉ TUTOR: DR. ALEJANDRO CASAS FERNÁNDEZ  
DR. OMAR RAÚL MASERA CERUTTI  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD (IIES)

**MÉXICO, D.F. JUNIO, 2015**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
FACULTAD DE CIENCIAS  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

OFICIO FCIE/DEP/338/15

ASUNTO: Oficio de Jurado

**Dr. Isidro Ávila Martínez**  
**Director General de Administración Escolar, UNAM**  
**Presente**

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día **9 de marzo de 2015** se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en el campo de conocimiento de **Ecología** de del (la) alumno (a) **SALGADO TERRONES OMAR** con número de cuenta **301863722** con la tesis titulada **"Caracterización del uso y calidad de especies nativas para leña en comunidades de Acatepec, Guerrero con fines de restauración"**, realizada bajo la dirección del (la) **DRA. ELIANE CECCON**:

Presidente: DR. MIGUEL MARTÍNEZ RAMOS  
Vocal: DRA. ANA ISABEL MORENO CALLES  
Secretario: DR. OMAR RAÚL MASERA CERUTTI  
Suplente: DRA. TUYENI HEITA MWAMPAMBA  
Suplente: DR. ALEJANDRO CASAS FERNÁNDEZ

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**Atentamente**  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria, D.F., a 27 de mayo de 2015

Dra. María del Coro Arizmendi Arriaga  
Coordinadora del Programa



DIVISIÓN DE ESTUDIOS  
DE POSGRADO

## Agradecimientos

Al Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM por permitirme continuar con mi formación académica y humana.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la manutención durante la maestría, bajo el CVU: 480174 y número de becario: 282024.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), por el financiamiento para la realización del trabajo de campo y de laboratorio y por la beca de manutención otorgada para la conclusión de este trabajo de investigación; específicamente a los proyectos PAPIIT-UNAM con clave IN300112, IN101712, IN105015 e IN300615.

A mi tutora de tesis, la Dra. Eliane Ceccon, por creer en mí aún sin contar con una formación biológica; por ser directriz en todo momento; por darme la libertad de satisfacer mis curiosidades científicas; por su comprensión en mi proceso de aprendizaje y por permitirme este acercamiento a las ciencias biológicas y así, cumplir uno de mis más grandes sueños. ¡Gracias en verdad por ser mi mentor!

A mi comité tutorial integrado por el Dr. Alejandro Casas Fernández y por el Dr. Omar Raúl Masera Cerutti; a ellos, por aceptar el reto; por ser puntos de referencia a lo largo de este camino; por el valioso tiempo dedicado; por su visión multidisciplinaria y por permitirme impregnarme un poco de su amplio conocimiento y experiencia.

Al grupo de sinodales integrado por la Dra. Ana Isabel Moreno Calles, por la Dra. Tuyeni Heita Mwampamba y por el Dr. Miguel Martínez Ramos; a ellos, por su visión objetiva, concisa y constructiva para la culminación de este trabajo y por hacerme ver la luz...

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental San Martinito, Tlahuapan, Puebla; por permitirme realizar una estancia de capacitación en la cual llevé a cabo los análisis de laboratorio para el presente trabajo de investigación. Un agradecimiento especial al equipo de trabajo del laboratorio de materiales lignocelulósicos y en particular al Dr. José Amador Honorato Salazar, por su disposición, paciencia, comprensión e invaluable dirección en esta tarea, por el tiempo y los recursos invertidos y por facilitar esta interesante vinculación entre el sector académico y gubernamental.

## **Agradecimientos a título personal**

A Francisco Salgueiro, por ese comentario que cambió mi vida...

A Diego Hernández por ser mi apoyo académico durante todo mi trabajo de campo; y apoyo psicológico en los tiempos difíciles...

A Margarita Muciño por abrirme las puertas de Xuajin Mephaa A.C y dejar entrar en mí toda esa gama de experiencias de vida que guardo nítidas en mi memoria. Además del profundo agradecimiento, mi más sincero reconocimiento y admiración por tu labor. ¡Enhorabuena Maggy!

A Mónica Borda, ¡tan linda! Por su valioso apoyo en la identificación de las especies; por ser mi confidente en las giras de campo; por enseñarme lo que es caminar en las montañas y por ayudarme a cruzar ese desfiladero.

A Aarón, Marcial, Isidoro, Benito y Melitón por la logística de transportación y por los intensos rebotes incluidos, tanto en la cuatrimoto como en la 4x4. A otros compañeros de Xuajin Mephaa A.C. que quizá esté omitiendo, por brindarme su apoyo desinteresadamente...

A la gente de La Montaña... A Fausto y “su bosque de las abejas”, por la confianza que transmite y por su profesionalismo... A Natalio, por hacernos sentir como en casa tantas veces...

A José Luis, Flor y Gertrudis, por su supervisión y asistencia constante durante mi estancia en el laboratorio; sin ustedes, no habría sido posible.

A todos los tesisistas del laboratorio: Angélica, Laura, Nilton, Oscar<sup>2</sup>, Raymundo; por su compañía en las largas noches de desvelos, por amenizar mis constantes frustraciones y por los buenos momentos.

### **Otros...**

A la flaca, por ser mi compañía animal y mi guardián por las noches; por sus peludos pero afectuosos abrazos y por sus jugueteos bruscos y punzocortantes que siempre aliviaban mi estrés.

Al Iztaccíhuatl, que adornó muchos de mis amaneceres....

A los bosques de La Montaña de Guerrero, que aferrándose a su otrora omnipresencia, transmiten esa paz que ha moldeado mi cosmovisión por siempre...

## **Dedicatoria**

A Lázaro Salgado, mi padre...que está sin estar...y quizá quien más necesite tener una evidencia por escrito de lo mucho que lo quiero y de lo mucho que le agradezco. ¡Para ti papá, con cariño, este logro en mi vida!

# Índice

<b>Resumen</b>	1
<b>Abstract</b>	2
<b>1. Introducción</b>	3
<b>2. Antecedentes</b>	7
2.1 Efectos de la extracción de leña en la dinámica de los bosques	8
2.2 Enfoques de restauración y la elección de las especies	12
2.3 Estufas ahorradoras de leña	16
2.4 La combustión de la madera y el Índice de Valor Energético	20
<b>3. Objetivos</b>	23
<b>4. Metodología</b>	24
4.1 Descripción del sitio de estudio	24
4.2 Caracterización del uso de especies como leña en un gradiente altitudinal	26
4.2.1 Diseño del muestreo	26
4.2.2 Diseño del cuestionario	30
4.2.3 Diseño de los métodos de medición del consumo de leña	33
4.2.4 Aplicación del cuestionario y las mediciones del consumo de leña	34
4.2.5 Selección de 10 especies	36
4.2.6 Determinación de la disponibilidad real de leña	36
4.3 Análisis de la calidad como leña	37
4.3.1 Recolección de muestras de madera	37
4.3.2 Determinación del Índice de Valor Energético	41
4.4 Priorización de especies con el mayor potencial para la restauración	47
4.4.1 Definición y asignación de valores a las variables	47
4.4.2 Ponderación de las variables	49
<b>5. Resultados</b>	51
5.1 Uso de especies arbóreas como combustible en un gradiente altitudinal	51
5.2 Selección de las especies	66
5.3 Consumo de leña	67
5.3.1 Consumo de leña según el método Día Promedio	67
5.3.2 Consumo de leña según el método Medición Directa	68
5.3.3 Comparación entre métodos de medición de consumo de leña	68
5.3.4 Disponibilidad real de leña	70
5.4 Análisis de la calidad como leña	71
5.4.1 Variables relacionadas con el valor energético	71
5.4.2 Índice de Valor Energético	81
5.5 Aspectos botánicos y ecofisiológicos de las especies	83
5.6 Especies con el mayor potencial para la restauración	91
<b>6. Discusión</b>	96
6.1 Caracterización del consumo	96
6.2 Especies utilizadas y su distribución natural	106
6.3 Especies preferidas y su calidad como combustible	108
6.4 Calificación del potencial de las especies para la restauración	114
<b>7. Conclusiones</b>	117
<b>8. Literatura citada</b>	119
<b>Anexo I. Cuestionario</b>	134

## Abstract

Dependency on natural resources by local communities such as the subsistence use of firewood is still very high and widespread in the "La Montaña" region of the Southeastern part of the Mexican State of Guerrero. The aim of this thesis was to characterize and quantify tree species utilized for firewood along an altitudinal gradient and to assess the ecological and social potential to incorporate them in restoration projects in this region.

To estimate firewood consumption, species utilized and preference for species, 60 households were surveyed in three localities at different altitudes. The quantity of fuelwood consumed was measured over a period of seven days using a weight survey method. Fuelwood quality (based on Fuel Value Index) was tested and some relevant eco-physiological characteristics in the field of restoration were determined from existing literature for 10 representative species selected from the household surveys. Lastly, a quantitative system, composed of ecological and social variables was established in order to prioritize those species with the highest potential for restoration across three degradation scenarios.

Per capita daily consumption of firewood among the households surveyed was 2.06 and 1.70 kg for the estimation technique and measurement method, respectively. The 10 major tree species used for fuelwood were *Byrsonima crasifolia*; *Clethra lanata*; *Lysiloma acapulcense*; *Quercus candicans*; *Q. conspersa*; *Q. elliptica*; *Q. glaucescens*; *Q. magnoliifolia*; *Q. obtusata* and *Q. scytophylla*. Preferred species coincided with those trees having the highest fuel wood quality according to the Fuel Value Index, they were: *Q. elliptica*, *Q. magnoliifolia*, *Q. conspersa*, and *Q. glaucescens*. According to the quantitative system developed, species with the highest potential for inclusion in restoration projects given ecological and social criteria, and under environments with different levels of degradation were: *Q. elliptica*; *Q. magnoliifolia*; *Q. glaucescens*; *L. acapulcense* and *B. crasifolia*.

The importance of this work lay in combining empirical with scientific knowledge in order to establish a practical and integral framework for the selection of restoration species that could be replicable and adaptable to other sites with high environmental degradation and high dependence on forests by local inhabitants.

## Resumen

La Montaña, en el estado de Guerrero, es una región que aún muestra una alta y generalizada dependencia de los habitantes locales hacia sus recursos naturales; el uso de leña para subsistencia es un ejemplo de esto. El objetivo de esta tesis fue caracterizar y cuantificar el uso para leña de especies arbóreas en un gradiente altitudinal y evaluar su potencial ecológico y social para ser incorporadas en proyectos de restauración productiva.

Para estimar el consumo de leña e identificar las especies utilizadas y preferidas, 60 viviendas fueron encuestadas en tres localidades a diferentes altitudes. La cantidad de leña consumida fue medida para un periodo de 7 días usando un método basado en el peso. La calidad como leña fue determinada en laboratorio basada en el Índice de Valor Energético y algunas características eco-fisiológicas relevantes para la restauración fueron descritas a partir de literatura existente para 10 especies representativas seleccionadas a partir de las encuestas. Por último, se estableció un sistema cuantitativo compuesto por variables ecológicas y sociales para priorizar aquellas especies con el mayor potencial para la restauración bajo diferentes escenarios de degradación.

El consumo diario per cápita de leña resultó de 2.06 y de 1.70 kg para los métodos de estimación y medición respectivamente. Las 10 especies más utilizadas fueron *Byrsonima crasifolia*, *Clethra lanata*, *Lysiloma acapulcense*, *Quercus candicans*, *Q. conspersa*, *Q. elliptica*, *Q. glaucescens*, *Q. magnoliifolia*, *Q. obtusata* y *Q. scytophylla*. Las especies preferidas por los usuarios coincidieron con las de mayor calidad como leña según el Índice de Valor Energético; estas fueron *Q. elliptica*, *Q. magnoliifolia*, *Q. conspersa*, y *Q. glaucescens*. De acuerdo con el sistema cuantitativo desarrollado, las especies con el mayor potencial para incluir en proyectos de restauración, bajo criterios ecológicos y sociales, y en ambientes con diferentes niveles de degradación, son *Q. elliptica*, *Q. magnoliifolia*, *Q. glaucescens*, *L. acapulcense* y *B. crasifolia*.

La importancia de este trabajo radicó en la combinación de conocimiento empírico y científico que llevó al establecimiento de un esquema práctico e integral para la selección de especies en proyectos de restauración que puede ser replicable y adaptable a otros sitios con una alta degradación ambiental y una alta dependencia de la población local hacia los bosques.

# 1. Introducción

Los bosques han sido alterados por el hombre desde su surgimiento como especie. Pero la intensidad con la que lo ha efectuado ha cambiado a través del tiempo; particularmente en las últimas décadas, la transformación de las áreas forestales ha sido más acelerada que en cualquier momento de la historia (Abramovitz, 1998; Williams, 2003; Chazdon, 2008). La tasa anual de deforestación en el mundo durante la última década estimada por la FAO (2000-2010) fue en promedio de 5.2 millones de hectáreas (FAO, 2010a). Aunado a esta pérdida total de cobertura vegetal, la degradación de los bosques también es un grave problema principalmente en los países en vías de desarrollo (Simula, 2009). La degradación implica cambios, ya sean temporales o permanentes, en la densidad, estructura y composición de la cobertura vegetal (OIMT, 2005; Chidumayo & Gumbo, 2013) además de una disminución en la productividad o capacidad para producir bienes y servicios (FAO, 2002b; Chidumayo & Gumbo, 2013); sin embargo, su evaluación es difícil, por lo que se desconoce la superficie real que ocupan los bosques degradados a nivel mundial (Simula, 2009).

Esta pérdida y degradación de los bosques, es consecuencia de las demandas de espacio y recursos de una creciente población humana, así como de un proceso de industrialización y desarrollo económico ambicioso de los recursos naturales. Este aprovechamiento de los recursos naturales, el crecimiento poblacional y los procesos de industrialización se presentan de manera diferenciada en las distintas regiones, asociados a la etapa de desarrollo económico, político y social en que se encuentra el país en cuestión (Panayotou, 1993; Lambin et al., 2001). De esta forma, los países en vías de desarrollo, mientras su población crece y sus economías se expanden, poseen una mayor demanda de espacios y recursos (Panayotou, 1993).

La deforestación en México es un fenómeno complejo. La causa principal es la expansión de las actividades del sector primario, específicamente la agricultura y la ganadería, mismas que han sido promovidas por políticas gubernamentales mal diseñadas incentivando la conversión de zonas boscosas en terrenos productivos en aras de alcanzar un bienestar social, mismo que también podría alcanzarse empleando algunas alternativas de aprovechamiento sustentable que han sido pobremente implementadas (Barbier & Burgess, 1996).

Sin embargo no todo es la demanda de espacio para actividades agropecuarias, la demanda de recursos maderables también es una causa importante no solo de deforestación sino también de degradación. Por una parte, una actividad que incide considerablemente en la deforestación es la extracción de madera con fines comerciales, más aún si se considera que los proyectos forestales en México carecen de una visión integral de aprovechamiento (Alix-García et al, 2003). Por otra parte, actividades como la producción de carbón y la extracción de leña, ya sea para consumo doméstico o comercial, son las principales causas de degradación de los boques no sólo en México sino en la mayor parte del mundo, con excepción del continente europeo (Geist & Lambin, 2002; Lund, 2009; Simula, 2009).

El uso de leña en México es muy frecuente. En años recientes se ha estimado que el consumo nacional anual de este combustible es de alrededor de 30 millones de metros cúbicos (Caballero-Deloya, 2010), contando con un total de usuarios de alrededor de 22 millones de personas (INEGI, 2010a). Algunos autores en diferentes periodos han encontrado que entre el 28% y el 45% de la energía del sector residencial en México era generada a través de la leña (Masera, 1993; Sheinbaum et al., 1996; SENER, 2012).

Se calcula que el 80% de los recursos forestales remanentes de México pertenecen a ejidos y comunidades, que son las formas predominantes de tenencia de la tierra en el sector rural (Alix-García et al., 2003). El 80% del uso de la leña en México está concentrado precisamente en este sector, teniendo un uso preponderantemente doméstico y siendo el autoabasto la forma más común de satisfacer la demanda (Masera et al., 2005). Dicho autoabasto consiste en utilizar bosques nativos cercanos como fuente de leña, empleando diferentes métodos de extracción y traslado (Escobar-Ocampo et al., 2009).

Atendiendo a la relación entre la concentración de la demanda de leña y la concentración de la propiedad de la tierra, ambas en el sector rural, se puede vislumbrar que el uso no sostenible de leña puede ser un factor de degradación a gran escala geográfica en México (SEMARNAT, 2005). Sin embargo, la degradación no es homogénea, sino que presenta un patrón diversificado y asociado a los diferentes niveles de saturación en el uso de leña, teniendo mayor concentración en determinadas regiones del país (Masera et al., 2005).

Así mismo, las implicaciones sociales del uso de la leña son complejas; es posible asociar geográficamente niveles de pobreza y marginación con los focos rojos de utilización de leña (Masera et al., 2005), considerando además que en la mayoría de los casos la leña es recolectada en los bosques sin incurrir en un costo económico para los usuarios más allá del tiempo empleado en la recolección del recurso (Wunder, 2001; Ghilardi, 2009; Baland et al., 2010). Los factores culturales también son importantes, ya que incluso cuando las familias pueden acceder a otros combustibles más sofisticados, continúan utilizando la leña para la cocción de platillos tradicionales como tortillas, tamales y otros (Masera et al. 2000).

En este contexto de problemática ambiental y social, intervenciones como la restauración pueden ser muy útiles (Aronson et al., 2006), ya que contribuyen a que los bosques degradados recuperen su estructura y funciones biológicas (Simula, 2009) o más aún, a que recuperen su productividad, con los consecuentes beneficios que esto implica para la población local (Chazdon, 2008; Ceccon, 2013). De manera simplificada, estos beneficios que los habitantes obtienen de los bosques pueden ser llamados servicios ecosistémicos (Benayas et al., 2009). Para restaurar los servicios ecosistémicos, es importante conocer la cantidad extraída del recurso y sus reservas disponibles (Aronson et al., 2006); de esta manera, para restaurar los servicios de provisión de leña, es importante conocer la cantidad de leña extraída así como las especies que son más utilizadas por la población y su importancia ecológica, socio-económica y cultural, para integrarlas a programas de restauración con una dimensión social (Chazdon, 2008; Ceccon, 2013).

En primera instancia, en este trabajo se pretendió describir el proceso de utilización de leña: conociendo las especies utilizadas y preferidas, determinando la cantidad consumida e identificando hábitos de consumo, métodos de extracción del recurso y usos adicionales a la utilización de una especie como combustible. Se documentaron algunas características ecofisiológicas de las especies, se evaluó su calidad como combustible y por último, su afinidad para perseguir objetivos de restauración desde una perspectiva ecológica y social.

Poseer la información derivada de este proyecto de investigación, es vital para proponer sistemas de restauración productiva (Ceccon, 2013) enfocados a satisfacer de manera sustentable la demanda de leña, en donde la producción del recurso se mantenga estable en el tiempo y se proporcionen otros beneficios como la restauración del suelo y la recomposición de los bosques con especies arbóreas nativas de gran estima para la población local. En primer lugar, conocer la cantidad de leña extraída ayudará a dimensionar parámetros técnicos del proyecto de restauración, como el área o los recursos necesarios. Por su parte, determinar la calidad como combustible ayudará a proponer un esquema eficiente en el aprovechamiento de la energía y finalmente, calificar la aceptación local de las especies utilizadas para leña ayudará a mantener el interés de los habitantes locales en la implementación del proyecto de restauración.

Mediante la combinación del conocimiento empírico tradicional y el conocimiento científico y como fin último del presente trabajo de investigación, se espera poder establecer en el corto plazo prácticas sustentables de extracción de leña y sentar las bases para una posterior restauración de los bosques nativos.

## 2. Antecedentes

La información acerca de la pérdida y la recuperación de los bosques es escasa, y esto puede limitar el entendimiento de las consecuencias que origina la extracción de biomasa de los bosques para su utilización como carbón o leña (Mwampamba, 2007); sin embargo, una idea generalmente aceptada es que la extracción de leña produce degradación (Geist & Lambin, 2002; Lund, 2009; Simula, 2009).

Para disminuir los efectos de la extracción de leña se debe buscar que dicha extracción sea sustentable; para lograrlo, las reservas de biomasa del ecosistema deberían incrementarse o al menos mantenerse estables en el tiempo (Bailis et al., 2015). Bajo esta perspectiva, disminuir la demanda del recurso y/o implementar estrategias para incrementar las reservas disponibles parecen ser opciones viables. Por un lado, se ha mostrado en diversos estudios que el empleo de estufas eficientes de leña puede disminuir significativamente el consumo (Barnes et al., 1994; Jetter & Kariherb, 2009; Anenberg et al., 2013). Por otro lado, la utilización de plantaciones energéticas o la restauración ecológica (con sus diferentes enfoques) son estrategias efectivas para incrementar la biomasa disponible; sin embargo, estas estrategias suelen ser más ambiciosas (dependiendo de los objetivos perseguidos) y con resultados en el largo plazo (Aronson et al., 2006).

También es importante considerar que cuando la disponibilidad de leña es escasa, se amplía el espectro de especies utilizadas (Madubansi & Shackleton, 2007), es decir, las especies preferidas son sustituidas por otras especies de mayor disponibilidad aunque de menor calidad, lo que a su vez provoca un incremento en el consumo (Ramírez-López et al., 2012). Es por eso que especies con una alta eficiencia en la combustión deberían ser seleccionadas en estrategias de restauración que buscan lograr la sustentabilidad de los servicios de provisión de leña.

## **2.1 Efectos de la extracción de leña en la dinámica de los bosques**

Se entiende por disturbio una fuerza física, un agente o proceso biótico o abiótico que causa cambios en un componente o sistema ecológico; una perturbación, será entonces el efecto o consecuencia, es decir, la respuesta de dicho componente o sistema al disturbio (Rykiel, 1985). Utilizando esta relación causa-efecto se puede analizar la extracción de la leña bajo un enfoque teórico y estrictamente ecológico. De esta manera, la extracción de leña puede ser considerada como un disturbio destructivo, debido a que la biomasa existente es reducida en cantidad (Grime 1979; Rykiel, 1985), pero también de interferencia, ya que los procesos de intercambio de materia y energía son inhibidos (Rykiel, 1985). Así mismo, dependiendo de la forma en que es llevada a cabo la extracción de leña, ésta puede ser considerada como un disturbio crónico (Singh, 1998), entendiendo por disturbio crónico el resultado de actividades antropogénicas de baja intensidad por largos periodos de tiempo en dónde otros disturbios ocurren antes de que los efectos de un primer disturbio hayan sido enmendados, produciéndose efectos acumulativos (Martorell & Peters; 2008).

El hecho de que la extracción de leña sea un disturbio, no significa que no se pueda llevar a cabo de manera sustentable. Después de un disturbio, los ecosistemas muestran una capacidad de regenerarse, ya sea a través de nuevos brotes o rebrotes; sólo cuando la tasa de extracción de leña sobrepasa la tasa de regeneración natural, ocurre una extracción no sustentable (Barnes et al., 1994; Anenberg et al., 2013; Bailis et al., 2015).

Más allá de la sustentabilidad de la extracción de leña, existen efectos en la dinámica de los bosques que ocurren una vez iniciado el disturbio (Rykiel, 1985). Los cambios observados en zonas perturbadas por la extracción de leña, dependerán en gran medida de la intensidad de la extracción (cantidad de biomasa extraída; Bailis et al., 2015) y de la distancia al sitio de aclareo (Thapa & Chapman, 2010; Furukawa et al., 2011). Así mismo, se verá influenciada por la forma de crecimiento de la vegetación afectada y circundante (Shankar et al., 1998; Kumar & Shahabuddin, 2005) y por los métodos de extracción empleados (Masera, 1993; Quiroz-Carranza & Orellana, 2010).

Los métodos de extracción son variados y pueden llevarse a cabo utilizando individuos completos o ramas, vivos o muertos. La extracción de ramas muertas se considera como un método de bajo impacto; por el contrario, la extracción de individuos completos vivos es la que mayor impacto genera en los bosques (Quiroz-Carranza & Orellana, 2010) y generalmente su utilización refleja escases del recurso (Madubansi & Shackleton, 2007).

Por un lado, la extracción de biomasa muerta o dañada puede alterar algunas funciones básicas del ecosistema y en menor medida a la biodiversidad. El principal efecto es la reducción de fuentes de suministro de materia orgánica hacia el suelo, alterando la compleja cadena de descomposición y afectando a especies vitales en este proceso (Toivanen et al., 2012), así como a mamíferos pequeños, aves o insectos que dependen de la madera muerta para utilizarla como nido, comida o refugio (Du Plessis, 1995). Sin embargo, también tiene efectos benéficos para el bosque, ya que reduce la probabilidad de ocurrencia de incendios y la mortalidad por plagas (Maser, 1993).

Por otro lado, la extracción de leña proveniente de elementos vivos, y en particular de individuos completos, tiene efectos en los diferentes estratos del bosque. A nivel del suelo puede aumentar la disponibilidad de luz, alterando el microhábitat, favoreciendo procesos de regeneración (Toivanen et al., 2012) e incrementando la tasa de crecimiento, al menos en los primeros años posteriores al disturbio (Toledo et al., 2011). En los estratos superiores, la extracción de árboles o arbustos completos vivos genera cambios en cuanto a la estructura, composición y diversidad de especies vegetales (Arnold & Pearson, 2003). Para evaluar estos cambios, algunos autores han utilizado variables como área de dosel o cobertura vegetal (en sotobosque), densidad de individuos, área basal (medida a la altura del pecho), altura y riqueza de especies.

De esta forma, en las áreas donde se extraen individuos completos vivos se presentará una menor densidad y consecuentemente una menor área de dosel o cobertura vegetal (en el sotobosque) comparada con las áreas no perturbadas o más alejadas del sitio de perturbación (Shankar et al., 1998; Sekercioglu, 2002; Luoga et al., 2004; Kumar & Shahabuddin, 2005; Thapa & Chapman, 2010).

El área basal y la altura son variables que se ven afectadas dependiendo de la abundancia relativa de individuos en diferentes estadios del ciclo de vida y del tamaño o diámetro a la altura del pecho (DAP) preferido para la extracción (Murali et al. 1996; Singh et al. 1998; Bhuyan et al., 2003; Sagar et al., 2003; Kumar & Shahabuddin, 2005; Thapa & Chapman, 2010).

En cuanto a la riqueza, el número de especies arbóreas disminuye (Shackleton, 1993; Shankar et al., 1998; Kumar & Shahabuddin, 2005; Thapa & Chapman, 2010), sobre todo cuando existe extracción selectiva o cuando las especies extraídas tienen bajos umbrales de tolerancia a la perturbación (Thapa & Chapman, 2010; Furukawa et al., 2011). Sin embargo, la riqueza neta de especies vegetales se incrementa (Shankar et al., 1998; Kumar & Shahabuddin, 2005), ya que los huecos creados en el dosel pueden permitir que otras especies, incluyendo especies invasoras del sotobosque, aparezcan y colonicen áreas perturbadas (Kumar & Shahabuddin, 2005; Furukawa et al., 2011).

Las consecuencias de la extracción de leña en la comunidad animal de los estratos superiores del bosque, han sido particularmente estudiadas en la avifauna (Du Plessis, 1995; Skowno & Bond, 2003; Laiolo et al. 2004; Shahabuddin & Kumar, 2007) debido a que son altamente sensibles a los cambios en el hábitat causados por actividades antropogénicas (Raman et al., 1998; Thiollay, 1999; Lohr et al., 2002), y en el caso de la extracción de leña es precisamente su hábitat específico el que es impactado de manera directa.

La riqueza de especies de aves presenta una disminución en las áreas perturbadas por la extracción de leña; así mismo, las abundancias relativas se ven alteradas debido a la selección del hábitat de cada especie, ya que algunas especies prefieren sitios perturbados mientras que otras especies los evitan (Skowno & Bond, 2003; Shahabuddin & Kumar, 2007).

Algunas de las variables que resultan más importantes para el establecimiento de comunidades de aves son la cobertura del dosel, el área basal, la densidad y la heterogeneidad en la altura de los árboles y arbustos (Skowno & Bond, 2003; Shahabuddin & Kumar, 2007); por lo tanto, los cambios en la estructura del bosque serán más determinantes que los cambios en la composición de especies (Du Plessis, 1995; Raman et al., 1998; Lohr et al., 2002; Shahabuddin & Kumar, 2007).

Por ejemplo, una reducción en el área de dosel o cobertura vegetal y en la altura de los árboles o arbustos tiene el potencial de afectar a las aves en funciones básicas como la construcción de sus nidos y la búsqueda de comida (Shahabuddin & Kumar, 2007). Sin embargo, la composición de especies adquiere mayor relevancia cuando existen especies de aves especialistas de ciertas especies vegetales extraídas (Raman, 2006; Shahabuddin y Kumar, 2007).

Por todo lo anterior, es necesaria una investigación profunda respecto a los efectos directos que la extracción de leña tiene en la dinámica de los bosques, ya que estos efectos solo se pueden medir en el mediano o largo plazo y han sido poco estudiados. También hace falta estudiar con mayor detalle el papel que juega el método utilizado para la extracción. Así, por ejemplo, no es lo mismo cortar una rama que cortar un árbol completo, ni hacerlo con un hacha o con motosierra, o cortar elementos agrupados o dispersos, o individuos jóvenes o reproductivos. Sin embargo, de manera general se sabe que la extracción puede favorecer a algunos grupos tanto de animales como de plantas pero en detrimento de otros grupos de seres vivos; además de que estos efectos pueden darse en los distintos estratos que conforman el bosque y pueden depender de una interrelación de factores; de ahí la importancia de tener un esquema sustentable de extracción leña que minimice los efectos adversos y esté adaptado al entorno local.

## 2.2 Enfoques de restauración y la elección de las especies

Las estrategias prácticas para la restauración son complejas y para llevarlas a cabo con éxito se deben comprender muchos procesos a nivel tanto individual como colectivo; algunos de los puntos clave que subyacen a la complejidad de la restauración son las áreas a restaurar, las especies a utilizar, los procesos a mitigar y las funciones a recuperar (Lindenmayer et al., 2002). Con respecto a la elección de las especies para la restauración, existen diferentes enfoques que van desde el pragmatismo hasta la fundamentación profunda en aspectos teóricos de la ecología de comunidades.

Resulta importante destacar la gran variedad de enfoques utilizados en la restauración y puntualizar que todos ellos tienen limitaciones (Lindenmayer et al., 2002), que la estrategia elegida debe ser la que mejor se adapte a los objetivos perseguidos (Holmes & Richardson, 1999; Lindenmayer et al., 2002; Brudvig et al., 2008; Ceccon, 2013) y más aún, emplear una mezcla de distintas estrategias (Lindenmayer et al., 2002; Ceccon, 2013). Estas estrategias deben de tomar en cuenta la teoría ecológica, la realidad social, política y económica (Lindenmayer et al., 2002; Ren et al., 2009), basarse en la información disponible (Lindenmayer et al., 2002) e involucrar a la población local (Ceccon, 2013). Además, debe resultar atractiva para los dueños de la tierra (Lindenmayer et al., 2002) y adaptarse a la escala a la cual los proyectos deben ser implementados (Holmes & Richardson, 1999).

Una práctica común es llevar a cabo una restauración con un enfoque funcional, es decir basada en la recuperación de algunas funciones (Lockwood & Pimm, 1999) o de ciertos aspectos de la funcionalidad del ecosistema (Ceccon, 2013), entendiendo tales funciones como procesos que mantienen activo al ecosistema; básicamente el paso de energía y nutrientes a través de los niveles tróficos visto como un sistema que se mantiene en el tiempo (Palmer et al., 1997). Las especies pueden cumplir funciones redundantes dentro de un ecosistema; por lo tanto, bajo este enfoque, mientras las funciones del ecosistema a restaurar sean cubiertas, no es necesario incorporar una combinación específica de especies basada en parámetros de biodiversidad (Palmer et al., 1997; Holmes & Richardson, 1999; Lockwood & Pimm, 1999) y tampoco se requiere que sean nativas (Aronson et al., 1993). Para lograr este enfoque de restauración es necesario identificar atributos en las especies que aceleren los procesos de recuperación

(Ceccon, 2013, Hernández-Muciño et al. 2014). De esta forma, se utilizan grupos funcionales; estos son grupos de especies categorizadas de acuerdo a características generalmente ecofisiológicas que permiten mejorar alguna función específica del sitio degradado, por ejemplo especies fijadoras de nitrógeno o especies de rápido o lento crecimiento (Lamb et al., 2005). El enfoque funcional puede ser útil en ambientes muy degradados (Palmer et al., 1997; Ceccon, 2013, Hernández-Muciño et al. 2014), en áreas con mucha pendiente, en casos donde también se busca la productividad de la tierra (Ceccon, 2013) o cuando no existe un sistema de referencia ya que la comunidad muestra un flujo estocástico en la composición y abundancia de especies (Palmer et al., 1997).

Cuando se desea recuperar la estructura del ecosistema, entendiendo estructura como medidas específicas en función de la composición de especies (Lockwood & Pimm, 1999), es cuando la selección de las especies candidatas para la restauración surge como un problema a resolver. En este sentido, uno de los enfoques más utilizados es el enfoque sucesional, que aprovecha el conocimiento de las etapas de la sucesión ecológica permitiendo predecir la dinámica de las especies en el tiempo, proporcionando un marco de referencia y permitiendo emplear estrategias de manejo adecuadas (Ceccon, 2013).

Si la estructura de la comunidad es predecible en el tiempo es posible llevar a cabo una restauración a nivel de comunidad ecológica (Palmer et al., 1997); este esquema consiste en una aplicación práctica del concepto de acervo de especies, desde un punto de vista histórico y espacial (Zobel et al., 1998). Sin embargo uno de los problemas de este esquema es que el acervo de especies generalmente es demasiado grande como para trabajar con todas las especies y surge la necesidad de desarrollar métodos para crear listas manejables de especies clave para la restauración (Brudvig et al., 2008). Herramientas como los modelos de la sucesión ecológica son útiles para decidir el orden de las especies a introducir y saber cuándo dejar de intervenir (Palmer et al., 1997).

Desde el punto de vista de la restauración de comunidades, no sólo se necesita saber qué especies son parte del acervo sino también cuáles tienen el potencial de entrar a la comunidad (Zobel et al., 1998), por tanto en la implementación de este enfoque de restauración se necesitan tomar en cuenta varios factores como el contexto del paisaje inclusive a nivel regional, el reclutamiento, la colonización, la dispersión, la germinación,

las interacciones bióticas (Palmer et al., 1997; Zobel et al., 1998; Young et al., 2001), el régimen de disturbios naturales (Holmes & Richardson, 1999) y las especies invasoras (Young et al., 2001).

Continuando con el enfoque sucesional, existen esquemas de restauración más arriesgados que consideran que especies exóticas con capacidad invasiva pueden ser útiles en la restauración, aunque el beneficio mayor sólo sea en las primeras etapas de la sucesión ecológica; sobre todo en ecosistemas muy degradados donde se persigue en primera instancia el mantenimiento o recuperación del suelo (D'Antonio & Meyerson, 2002; Ren et al., 2009) o cuando existen limitaciones en el conocimiento y disponibilidad de las especies nativas (Ewel & Putz, 2004). En este sentido se busca que las especies introducidas mejoren la fertilidad del suelo y actúen como especies pioneras o nodrizas (Ewel & Putz, 2004; Ren et al., 2009). Sin embargo, estas especies pueden ser vistas como sujeto y objeto de la restauración, ya que por una parte pueden ser herramientas útiles, pero por otro lado existen casos en los que la restauración consiste exclusivamente en eliminar dichas especies (D'Antonio & Meyerson, 2002).

Otro enfoque importante en la restauración es el fitosociológico o fitogeográfico que es utilizado cuando no existe información ecológica sobre la sucesión de determinado ecosistema y consiste en realizar inferencias sobre la distribución espacial de las especies identificando cuáles especies ocurren en el lugar donde se realizará la restauración a través de consultas bibliográficas o análisis florísticos de fragmentos conservados que funcionen como ecosistemas de referencia (Ceccon, 2013).

En un contexto ecológico, aunque no precisamente con un enfoque sucesional ni fitosociológico, se han utilizado esquemas basados en taxones como especies sombrilla, especies bandera, especies indicador, entre otras (Lindenmayer et al., 2002). Un esquema basado en el concepto de especies sombrilla es el método de la especie focal, que consiste en identificar procesos amenazantes para la biota de un paisaje y definir el taxón o especie más sensible a cada uno de estos procesos (Lambeck, 1997). Aunque algunos autores sostienen que este método no es válido, entre otras razones, porque especies del mismo gremio responden de manera diferente frente a un determinado disturbio, también porque los procesos amenazantes no son independientes sino que existen combinaciones de interacciones entre ellos y por último, porque la selección de los procesos amenazantes, así como de la especie más sensible a estos, es un proceso

que puede estar sesgado a nivel taxonómico-cultural al no incluir especies poco estudiadas o no descritas y por la preferencia sobre especies más carismáticas (Lindenmayer et al., 2002).

Algunos otros esquemas consisten en establecer filtros basados en ciertos atributos ecológicos con los cuáles se reduce el acervo a un número manejable de especies (Brudvig et al., 2008) o inclusive considerar las listas rojas como especies candidatas para la restauración sobre todo cuando se persiguen objetivos de conservación (Bakker et al., 2000).

Por otra parte, más allá de la restauración en un marco exclusivamente ecológico existe el enfoque utilitario, en donde se persiguen objetivos específicos en el corto o mediano plazo a través del uso de especies nativas ventajosas tanto para la población local como para el ecosistema (Ceccon, 2013). Sin embargo, lograr esta tarea no es fácil, ya que se requiere de un involucramiento guiado de la sociedad para no dejar de lado los aspectos ecológicos y lograr un equilibrio (Ceccon, 2013). Además, el reto más importante de este enfoque es encontrar las especies adecuadas que cumplan con ambos objetivos; que permitan la recuperación del ecosistema en el corto plazo y que además produzcan en primera instancia servicios ecosistémicos de aprovisionamiento para la población local. En este orden de ideas la restauración productiva surge como una relación de elementos socio-culturales y ecológicos, ya que consiste en la recuperación de algunos elementos de la estructura y función del ecosistema original combinado con una productividad de la tierra de manera sustentable (Ceccon, 2013).

Por último, una estrategia simple que puede ser vista como una combinación de enfoques de restauración es el empleo de plantaciones forestales (principalmente especies latifoliadas en monocultivo) que al modificar las condiciones microclimáticas del suelo puedan acelerar los procesos de recuperación del mismo y facilitar los procesos sucesionales, es decir, funcionen como catalizadoras de la regeneración (Parrotta et al., 1997); procurando que sean especies preferentemente nativas para prevenir posibles procesos invasivos (Parrotta et al., 1997), así como especies multipropósito para asegurar la recuperación de la productividad del ecosistema (Parrotta, 1992); de esta forma se producen bienes y servicios que son aprovechados por la población local mientras se da paso a la regeneración natural.

## 2.3 Estufas ahorradoras de leña

Diversos estudios sostienen que el uso de estufas ahorradoras permite no sólo la reducción de la cantidad utilizada de leña, sino que tiene implicaciones muy importantes en otros aspectos fundamentales como la salud humana, la presión local sobre los recursos maderables y el cambio climático (Barnes et al., 1994; Jetter & Kariherb, 2009; Anenberg et al., 2013).

Históricamente, los primeros programas de estufas ahorradoras surgen en la década de los 70's en ambientes urbanos y semiurbanos donde ya existía el concepto de sustitución de combustibles; este proceso se dio como consecuencia del aumento de los derivados del petróleo, lo que impidió a muchas personas el utilizar combustibles fósiles cuando los biocombustibles se tornaban escasos (Barnes et al., 1994). Actualmente, a pesar de que alrededor de tres mil millones de personas en el mundo se alimentan utilizando combustibles sólidos tradicionales como leña, excremento de animales, residuos agrícolas o carbón vegetal, la implementación de estufas ahorradoras permanece insuficiente (OMS, 2008; FAO, 2014).

Con respecto a la salud humana, los grupos que resultan más afectados son las mujeres y niños, quienes por permanecer más tiempo dentro de la casa están más expuestos a los contaminantes (OMS, 2008). Algunos estudios señalan que los gases de combustión están formados por compuestos como monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, formaldehído, entre otros hidrocarburos simples y compuestos en niveles entre 10 y 20 veces arriba de los recomendados por la Organización Mundial de la Salud (Smith, 1987) y hasta 50 veces más para partículas con diámetro menor a 2.5 micras (PM2.5; Anenberg et al., 2013). Esto se traduce en infecciones respiratorias agudas, enfermedades pulmonares crónicas y cáncer (Smith, 1987).

Los combustibles avanzados como etanol, gas licuado de petróleo (GLP) y biogás son más limpios y eficientes que los combustibles sólidos tradicionales (Anenberg et al., 2013); sin embargo, su adopción es un proceso complicado, no lineal y es influenciado por una interrelación de factores como ingreso en el hogar, cultura local y condiciones macroeconómicas de la región; además, no en todos los casos se garantiza un beneficio integral. Por ejemplo, las estufas de GLP, a pesar de ser hasta tres veces más eficientes

que las estufas de leña, no están adaptadas a muchas de las prácticas locales de cocinado; así mismo, el GLP es muchas veces difícil de conseguir o muy caro para las familias (Maserá et al., 2000).

En general, al hablar de estufas eficientes de leña se deben de tener en cuenta tres aspectos fundamentales: la tecnología en el diseño, el potencial de uso y el programa de implementación (Troncoso et al., 2011). En lo referente al diseño, este debe estar orientado a lograr una mayor eficiencia y una menor emisión y/o concentración de contaminantes; debe tomar en cuenta hábitos de cocina, necesidades de los usuarios, facilidad de uso y cuestiones ergonómicas (Barnes et al., 1994; Jetter & Kariherb, 2009; Troncoso et al., 2011; Anenberg et al., 2013).

Se busca que la eficiencia de la estufa se presente tanto en la transferencia de energía como al momento de la combustión (Anenberg et al., 2013), en este sentido, el empleo de los materiales adecuados en la construcción de la estufa y el flujo correcto de oxígeno son fundamentales. Se buscan materiales que tengan buena durabilidad, costo accesible, adaptabilidad a las necesidades del usuario, que transfieran la energía eficientemente (Jetter & Kariherb, 2009), que sean de secado rápido y que tengan un origen local en la medida de lo posible (Troncoso et al., 2011). Para asegurar un flujo correcto de oxígeno y mejorar la combustión es importante considerar tamaño y forma de la cámara de combustión (Troncoso et al., 2011; Wang et al., 2013), así como el empleo de sistemas de aireación forzado o ventiladores, que además reducen la emisión de PM<sub>2.5</sub> (Anenberg et al., 2013). La chimenea evita que los gases de combustión se queden al interior de la cocina y con ello mejoran la salud humana, además de lograr el manejo eficiente de los flujos de calor (Barnes et al., 1994).

El diseño de la estufa debe darse con una perspectiva integral y equilibrada, considerando todas las variables involucradas. En este orden de ideas, existen diseños que sólo cumplen con su objetivo de manera parcial. Un ejemplo de esto es la estufa Lorena o Tipo Lorena impulsada en la década de los 70's, que incorporó la chimenea y una cámara de combustión cerrada como sus principales mejoras tecnológicas, demostrando un moderado ahorro energético y que actualmente han caído en desuso (Wang et al., 2013).

Un ejemplo de diseño integral podría ser la estufa Patsari, desarrollada por GIRA A.C. y el CIECO/UNAM, que consta de chimenea, dos o más superficies para cocinado, una grande y una o más de tamaño pequeño, la cámara de combustión está revestida con un material cerámico y los túneles transportan los gases de combustión a la(s) superficie(s) de cocinado secundaria(s), utilizando el principio de cogeneración y aprovechamiento de la energía (Berrueta et al., 2008; Pine et al., 2011).

Un aspecto relevante relacionado con el diseño de la estufa es la fabricación de la misma, en este sentido se distinguen dos modelos, las fabricadas in situ y las fabricadas industrialmente; las primeras son flexibles para adaptarse a costumbres particulares pero no se garantiza el desempeño correcto. Por otro lado las industriales presentan inconvenientes logísticos de transportación que se pueden ver reflejados en el costo, pero la calidad y el desempeño están garantizados (Wang et al., 2013). Cabe mencionar que el precio promedio de una estufa fabricada industrialmente ronda los US\$150 (Wang et al., 2013) y se podrá elegir uno u otro grupo según sean los objetivos particulares perseguidos sin perder de vista que en la adopción de estufas eficientes, los beneficios sociales, ambientales y de salud superan por mucho el costo (Pine et al., 2011).

Además, existe lo que se conoce como “paradoja del diseño”, lo cual implica que el desempeño bajo condiciones de laboratorio resulta mejor que aquel bajo condiciones de uso real, por lo tanto una mejora en la eficiencia entre el 10 y 20% es insignificante y se necesitará una mejora entre el 30 y 50% para garantizar un ahorro en condiciones reales (Barnes et al., 1994). Con relación a este aspecto, se ha encontrado que las estufas eficientes actuales proporcionan ahorros de combustible que van del 50 a 90% en condiciones de laboratorio (Berrueta et al., 2008; Wang et al., 2013).

Por otra parte, no se puede entender el ahorro de combustible a través del uso de estufas eficientes sin un adecuado programa de implementación. Para lograr un programa de implementación exitoso se necesita un enfoque sistémico y multidisciplinario, incluyendo innovación tecnológica, desarrollo del mercado, un esquema innovador de financiamiento (Masera et al., 2005) y considerar las necesidades y prioridades de los usuarios (Masera et al., 2005; Troncoso et al., 2011; Anenberg et al., 2013). Este programa de implementación debe integrar estrategias de difusión y capacitación a gente local en primera instancia, y llevadas a cabo por la misma gente local en etapas posteriores aprovechando redes de comunicación existentes como aquellas de los

programas sociales gubernamentales (Troncoso et al., 2011); también debe considerar el seguimiento a través de encuestas y/o pruebas de desempeño en campo (Barnes et al., 1994; Masera et al., 2005; Troncoso et al., 2011; Anenberg et al., 2013). Además debe incorporar aspectos de género, considerando que las mujeres (usuarias principales), estén convencidas de usar la estufa (Anenberg et al., 2013). Por otro lado, los hombres, regularmente los proveedores de leña en los hogares, deben entender claramente los beneficios derivados de su uso (Troncoso et al., 2007). Por último al momento de evaluar el éxito del programa, éste debe fundamentarse en el uso de las estufas a través del tiempo más que con el número de estufas construidas o instaladas (Pine et al., 2011).

En México, en la mayoría de los casos, la combustión de leña se sigue realizando en fuegos abiertos (Troncoso et al., 2007). Esto por una parte refleja un impulso gubernamental insuficiente a los programas de implementación de estufas eficientes; por otro lado, refleja la baja tasa de éxito de este tipo de programas, rescatando el papel fundamental que han jugado las ONG's en los pocos casos de éxito (Masera et al., 2005; Troncoso et al., 2011).

Los programas de implementación de estufas eficientes en México no han tenido el éxito esperado debido a la orientación hacia las mejoras tecnológicas, sin considerar las necesidades de los usuarios y/o aspectos culturales. Un ejemplo emblemático es que en la cocina tradicional mexicana se necesita una alta temperatura para cocinar el nixtamal y una baja y constante temperatura para cocinar las tortillas, por lo que el diseño de la estufa mejorada debería tomar estas características en consideración empleando la tecnología adecuada (Troncoso et al., 2007).

Los problemas derivados del consumo de la leña se presentan en diversas partes del mundo, aunque siguiendo esquemas parecidos. En este contexto global surge la necesidad de crear estandarizaciones, certificaciones y puntos de referencia en el desempeño, como una forma de incentivar tanto la investigación y desarrollo como el mercado de las estufas eficientes. En este sentido, gracias al trabajo de una asociación público-privada estadounidense (Global Alliance for Clean Cookstoves) en el año 2012 surgió una norma ISO en este rubro, siendo el primer sistema internacional para evaluar estufas a través de indicadores específicos como son: cantidad de combustible usado (Eficiencia), total de emisiones (Monóxido de Carbono y PM2.5), emisión intramuros y seguridad de los usuarios (Anenberg et al., 2013).

## **2.4 La combustión de la madera y el Índice de Valor Energético**

La combustión de madera es un proceso que a pesar de su cotidianidad y simplicidad pragmática en la vida de muchos seres humanos alrededor del planeta, es complejo desde el punto de vista termodinámico. La degradación térmica de la madera ocurrida durante la combustión, atraviesa varias etapas conforme la temperatura aumenta (White & Dietsberger, 2001). Cerca de los 65°C la madera empieza a perder estabilidad; cerca de los 100°C los enlaces químicos empiezan a romperse; entre los 100 y los 200°C la madera se deshidrata produciendo vapor de agua y otros gases no combustibles; entre los 200 y 300°C comienza a ocurrir la pirolisis; entre los 300°C y los 450°C se producen una gran cantidad de volátiles flamables; por último a temperaturas mayores a 450°C tanto los gases volátiles como el carbón remanente se queman (White & Dietsberger, 2001). Esta oxidación del carbón es la que produce la mayor parte del calor útil (Baker, 1982).

Diversos estudios indican que la combustión de madera presenta una gran variabilidad, pues depende de múltiples factores como las condiciones ambientales, el tipo de madera (mayor o menor densidad) y los dispositivos de combustión o estufas (Mc Donald et al., 2000). Cabe destacar la propia variabilidad intrínseca a la madera; inclusive árboles de la misma especie que crecen en lugares distintos pueden presentar una marcada diferencia en cuanto a su calidad como combustible (Bushnell et al., 1989).

Los principales componentes de la madera son la hemicelulosa, celulosa, lignina, extractos y carbón, y cada uno de estos componentes presenta diferentes propiedades dendroenergéticas (Baker, 1982); esta variabilidad en la composición química produce no solo variabilidad en la liberación de energía sino que también en la producción de desechos de combustión. Sin embargo, de manera general se puede mencionar que la combustión de madera libera contaminantes dañinos como benceno, tolueno, xileno, formaldehído e hidrocarburos policíclicos aromáticos (Hedberg et al., 2002; Mc Donald et al., 2002)

Algunas propiedades importantes en el análisis macroscópico de la combustión de madera son propiedades físicas como el poder calorífico, contenido de humedad, densidad, tamaño de partícula y contenido de cenizas (Ragland et al., 1991).

Existe un índice que incorpora cuatro de las propiedades físicas inherentes a la combustión y las relaciona matemáticamente para obtener un solo valor; este índice es denominado Índice de Valor Energético (IVE). Para calcularlo se divide, el producto del poder calorífico y la densidad, entre, el producto del contenido de cenizas y el contenido de humedad (Purohit & Nautiyal, 1987):

$$IVE = \left( \frac{\text{Poder calorífico} \left( \frac{Kj}{g} \right) \times \text{Densidad básica} \left( \frac{g}{cm^3} \right)}{\text{Contenido de cenizas} \left( \frac{g}{g} \right) \times \text{Contenido de humedad} \left( \frac{g}{g} \right)} \right)$$

Las cuatro propiedades o variables consideradas en este índice representan características que los usuarios finales de la leña consideran importantes en la combustión y por tanto, el IVE resulta ser una herramienta útil para comparaciones entre especies utilizadas para leña en ambientes domésticos (Abbot & Lowore, 1999). Este índice ha sido utilizado en diversos estudios en diferentes partes del mundo como una forma de medir el potencial de las especies para su uso como combustible (Goel & Behl, 1996; Tabuti et al., 2003; Bhatt et al., 2004; Ramos et al., 2008).

La primera variable considerada en el IVE es el poder calorífico, ésta se define como la cantidad de energía liberada durante la combustión completa de un combustible y generalmente es usada como base para realizar balances de energía o calcular eficiencias en calderas y estufas y en otras comparaciones relacionadas con combustibles (Bushnell et al., 1989). Las otras variables que integran el IVE guardan una relación perceptible con esta primera variable.

El cálculo del IVE involucra a su vez la densidad de la madera; se ha encontrado que las especies con una densidad alta producen una flama más constante y ésta es una característica que los usuarios consideran importante para la elección de esa especie (Abbot & Lowore, 1999). Además, una mayor densidad produce un mayor poder calorífico

(Jenkins et al., 1998; Munalula & Meincken, 2009) ya que las maderas más densas poseen una mayor cantidad de elementos que participan en la combustión y además arden durante más tiempo; por el contrario, las maderas con menor densidad son porosas y tienen mayor cantidad de oxígeno que acelera la combustión (Padilla et al., 2000).

Otra de las variables que integran el índice es el contenido de humedad, que afecta el tiempo que puede durar el fuego, la temperatura que éste puede alcanzar y el volumen de gases de combustión; de esta forma especies con un bajo contenido de humedad producirán una flama de mayor temperatura y un mayor tiempo de ignición (Abbot & Lowore, 1999) lo que significa un incremento en el poder calorífico y una disminución en el volumen de gases generados (Bushnell et al., 1989). Visto desde un enfoque integral, un bajo contenido de humedad resulta en una alta eficiencia en la combustión (Nikoo & Bushnel, 1987; Munalula & Meincken, 2009) debido a que no se tiene que desperdiciar mucha energía en transformar el agua contenida en la madera de su fase líquida a su fase gaseosa (Jenkins et al., 1998; Munalula & Meincken, 2009)

Por último, el contenido de cenizas es otra de las variables a tomar en cuenta para el IVE, éste juega un papel importante en la medición de la eficiencia de la combustión aunque sólo sea posible relacionarla de manera parcial con el poder calorífico, pues la naturaleza mineral de las cenizas no contribuye a la combustión pero los elementos contenidos en ella pueden funcionar como catalizadores de la descomposición térmica (Jenkins et al., 1998).

### **3. Objetivos**

Objetivo general:

Caracterizar y cuantificar el uso y la calidad como leña de diez especies arbóreas nativas con el fin de priorizar su utilización en sistemas de restauración productiva en comunidades de Acatepec, Guerrero.

Objetivos particulares:

1. Caracterizar el uso cotidiano de especies arbóreas como combustible en un gradiente altitudinal.
2. Evaluar la percepción de los usuarios respecto a las diferentes especies utilizadas.
3. Analizar la calidad como combustible de 10 especies.
4. Priorizar de manera cuantitativa, desde un punto de vista ecológico y social, las especies con el mayor potencial para ser incorporadas a un sistema de restauración productiva.

#### **Hipótesis**

Existen determinadas especies arbóreas nativas que favorecen un uso más sustentable de la leña al poseer una mayor calidad para la combustión, que además son aceptadas socialmente y tienen el potencial para incorporarse en sistemas de restauración.

## **4. Metodología**

### **4.1 Descripción del sitio de estudio**

El presente estudio se llevó a cabo en tres localidades (Nuevo Aguacate, Lomatepec y Agua Tordillo) pertenecientes al municipio de Acatepec, que a su vez forma parte de la región de La Montaña en el estado de Guerrero. La Montaña es considerada una región con una profunda problemática social y ambiental (Landa et al., 1997; Cervantes et al., 2001), por lo que la metodología seguida en este estudio podría ser útil en la selección de especies para la restauración de sitios con una alta degradación ambiental y una alta dependencia de la población local hacia sus recursos naturales (Landa-Ordaz, 2000); específicamente, de sitios prioritarios en cuanto a utilización de leña y disponibilidad de los recursos naturales (Masera et al., 2005).

#### **Aspectos socio-ambientales**

La Montaña de Guerrero es una región que presenta uno de los más altos índices de marginación y pobreza de México, (Landa et al., 1997; Cervantes et al., 2001). Entre los 50 municipios con mayor rezago en desarrollo humano del país, ocho se ubican en la región de La Montaña: Acatepec, Alcozauca de Guerrero, Atlixac, Copanatoyac, Metlatónoc, Tlacoachistlahuaca, Xalpatláhuac y Xochistlahuaca, por lo que esta región es considerada una de las más marginadas del país (PNUD-México, 2011). En cuanto al Índice de Desarrollo Humano, el municipio de Acatepec ocupa (en orden descendente ) el lugar número 76 de 81 entre los municipios que conforman el estado, con un valor de 0.57 en una escala de 0 a 1 (PNUD-México, 2011). Cabe destacar que este municipio es habitado por población mayoritariamente indígena, siendo los tlapanecos el grupo más numeroso, seguido por los mixtecos (INEGI, 2010b).

Aunado a los problemas sociales que enfrenta la región, en términos ambientales el panorama no luce muy distinto. La Montaña es una región climática y topográficamente heterogénea, donde desde finales de la década de los noventa se reconocía el deterioro ambiental de casi el 50% de su territorio (Landa et al., 1997). Los principales problemas son la deforestación, la degradación de los bosques y la erosión del suelo (Landa et al., 1997; Cervantes et al., 2001), con la consecuente pérdida de importantes servicios ambientales. Así mismo, esta región incluye a un grupo de municipios prioritarios en

cuanto a utilización de leña y disponibilidad de los recursos naturales (Maserá et al., 2005). Un signo claro de que la disponibilidad de leña se está reduciendo es el incremento en los tiempos de búsqueda y recolección del recurso (Barnes et al., 1994). En este orden de ideas, estudios recientes muestran que la recolección de leña en la región se caracteriza por requerir una alta inversión de tiempo al recorrer grandes distancias (Miramontes et al., 2012).

### Aspectos geográficos y ecológicos

La ubicación geográfica del Municipio de Acatepec se distribuye entre los paralelos 17° 00' y 17° 22' de latitud norte; los meridianos 98° 49' y 99° 11' de longitud oeste; su altitud sobre el nivel del mar varía entre 300 y 2600 m. De acuerdo a la clasificación propuesta por Köppen y adaptada por García (García, 1998a), hacia el norte del municipio el clima es semicálido subhúmedo con régimen de lluvias en verano (A(C)w<sub>0</sub>), con una temperatura media anual mayor a 18°C y una precipitación menor de 40 mm en el mes más seco; hacia el sur el clima cambia a cálido subhúmedo con una temperatura media anual mayor a 22°C y una precipitación menor a 60 mm en el mes más seco (Aw<sub>0</sub>) (García, 1998a); la precipitación anual total oscila entre 1500 y 1700 mm (García, 1998b). Colinda al norte con los municipios de Quechultenango, Chilapa de Álvarez, Atlixac y Zapotitlán Tablas; al este con los municipios de Zapotitlán Tablas, Tlacoapa y San Luis Acatlán; al sur con los municipios de San Luis Acatlán y Ayutla de los Libres y al oeste con los municipios de Ayutla de los Libres y Quechultenango. Además ocupa el 1% de la superficie del estado, contando con 113 localidades y una población total de 28 525 habitantes (INEGI, 2010b).

Específicamente el municipio de Acatepec se caracteriza por ser un territorio preponderantemente agrícola con una orografía mayormente accidentada, ya que el relieve montañoso ocupa el 70% de la superficie total, 20% está compuesto por regiones semi-planas y sólo 10% por planicies (INEGI, 2009). La mayor parte del municipio está ubicado dentro de la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur y la vegetación predominante es bosque con estrato arbóreo compuesto por especies holárticas de los géneros *Pinus* y *Quercus* y sotobosque compuesto por elementos neotropicales (Rzedowski, 2006); sin embargo en las partes bajas se reconocen áreas de selva baja caducifolia (Landa-Ordaz, 1992).

## **4.2 Caracterización del uso de especies como leña en un gradiente altitudinal**

### **4.2.1 Diseño del muestreo**

El presente estudio se desarrolló en colaboración con la Asociación Civil Xuajin Mephaa A.C. (comunidad Mephaa, en tlapaneco). Esta organización fue formada en 2007 por líderes de catorce localidades del Municipio de Acatepec, con el propósito de gestionar recursos para la implementación de proyectos de desarrollo social, productivos y de manejo sostenible de los recursos naturales; trabaja directamente con alrededor de 330 familias y produce principalmente jamaica y miel orgánicas (Margarita Muciño, información personal). Por tanto, se aprovechó la estructura de Xuajin Mephaa A.C y el impacto que ésta tiene en la región para recopilar la información necesaria en este trabajo de investigación.

El universo de estudio, en términos político-geográficos, corresponde a tres localidades pertenecientes al municipio de Acatepec en el estado de Guerrero. Estas localidades se eligieron tomando en cuenta la red de 14 localidades con las que trabaja la organización Xuajin Mephaa A.C. y considerando un estudio florístico previo, basado en la topografía de tres microcuencas hidrográficas y que comprendió un área total de 135 km<sup>2</sup> dentro del municipio de Acatepec (Borda-Niño, 2014). Se establecieron tres rangos altitudinales (muy aproximados a los establecidos en Borda-Niño (2014) ya que, a manera de hipótesis previa para el objetivo particular 1, se planteó una posible relación entre las especies de mayor abundancia y las de mayor utilización como leña en cada rango altitudinal. Se definió el rango bajo de 600 a 900 m, el rango medio de 900 a 1200 y el rango alto por arriba de los 1200 m. Por tanto, se eligieron tres localidades ubicadas dentro del área comprendida por las tres microcuencas, que a su vez formaran parte de la red de Xuajin Mephaa A.C. y que estuviesen distribuidas en los tres rangos altitudinales definidos; así, se eligieron las localidades: Nuevo Aguacate (675 m, bajo), Lomatepec (957m, medio) y Agua Tordillo (1702 m, alto).

**Unidad de muestreo:** Dado que el objeto de estudio es el uso residencial de la leña y este adquiere significancia a nivel de la unidad familiar, las unidades de muestreo fueron las viviendas.

**Marco muestral:** El municipio de Acatepec cuenta con una población total de 32,792 habitantes; la totalidad de ellos asentados en localidades rurales (con menos de 2500 habitantes, INEGI, 2010b). Para contextualizar, el universo de estudio (la población total de las tres localidades) cubrió una población de 1,837 habitantes representando el 5.6% de la población total del municipio. En términos de una unidad de muestreo equivale a 363 viviendas (Tabla 1); las 363 viviendas son la suma del total de viviendas en cada una de las tres localidades de estudio y representan el 5.54% de las viviendas totales del municipio (Tabla 1). Además representan el 75.3% de la población asentada dentro de las tres microcuencas hidrográficas planteadas por Borda-Niño (2014).

**Tabla 1. Porcentaje de la población estudiada para el uso de leña en cada localidad respecto a la población total y viviendas habitadas del municipio de Acatepec**

Nombre de la Localidad	Población (habitantes)	Porcentaje de la población total del municipio	Viviendas habitadas	Porcentaje de las viviendas totales del municipio
Agua Tordillo (A)	731	2.23%	165	2.52%
Lomatepec (M)	475	1.45%	88	1.34%
Nuevo Aguacate (B)	631	1.92%	110	1.68%
<b>Total</b>	<b>1837</b>	<b>5.60%</b>	<b>363</b>	<b>5.54%</b>

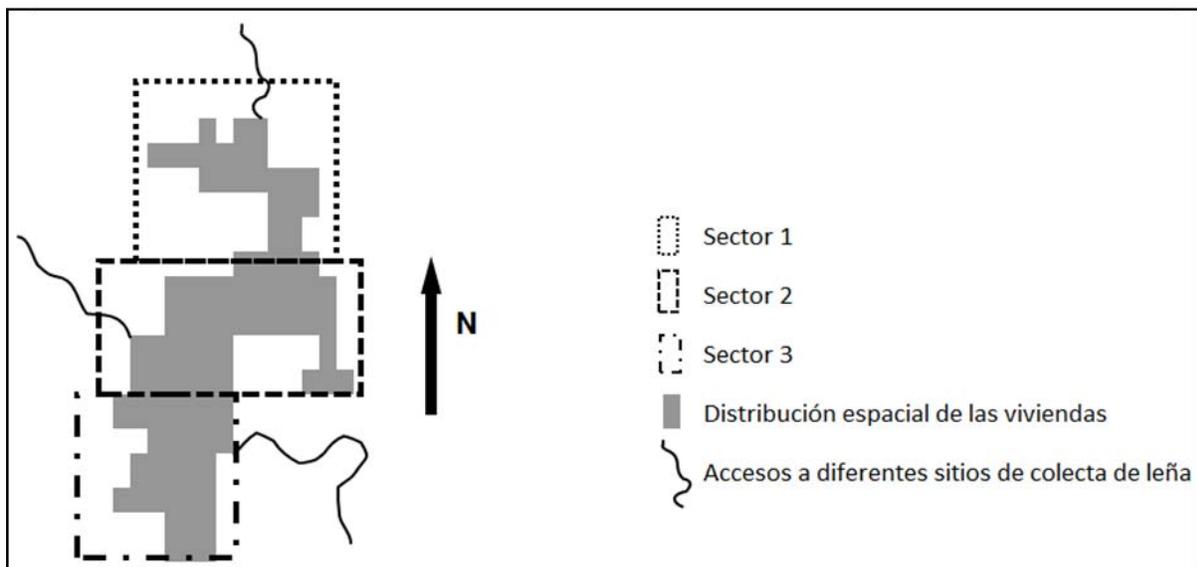
**Tipo de muestreo:** Se sabía de manera previa que, dependiendo de la orientación, accesibilidad y/o cercanía de las viviendas a cierto remanente de bosque, se tomaban diferentes rutas de extracción de leña; es decir, las personas realizaban la extracción del recurso en zonas bien establecidas dentro del bosque circundante. Considerando lo anterior y la forma irregular en la distribución geográfica de las viviendas, se dividió conceptualmente cada localidad en sectores, procurando que cada sector considerara aproximadamente el mismo número de viviendas y representara la heterogeneidad en la accesibilidad a los sitios de colecta de leña (Figura 1).

Debido a estas características se optó por combinar dos tipos de muestreo para la selección de las viviendas; se eligió un muestreo aleatorio simple combinado con un muestreo por conglomerados o estratificado. A este tipo de muestreo se le conoce como muestreo aleatorio estratificado y es aquel en el que se divide la población de N individuos, en k subpoblaciones o estratos, atendiendo a criterios que puedan ser importantes en el estudio y realizando en cada una de estas subpoblaciones muestreos

aleatorios simples, ya que cada subpoblación funciona independientemente de las demás (Casal & Mateu, 2003).

Así, los estratos quedaron definidos dentro de cada localidad, es decir, los sectores marcados geográficamente funcionaron como un estrato dentro del cual se tomó una muestra aleatoria. La principal ventaja de este tipo de muestreo para nuestro caso fue que aseguró que en la muestra estuvieran representados todos los accesos principales a los sitios de colecta, lo cuál hubiera sido muy difícil con un muestreo aleatorio simple. De esta forma, en la localidad de Agua Tordillo (A) se marcaron cuatro sectores diferentes, escogiendo cinco viviendas al azar en cada uno de ellos. Para las localidades de Lomatepec (M) y Nuevo Aguacate (B) sólo se establecieron dos sectores, visitando 10 viviendas por sector en cada una de ellas. En la localidad de Lomatepec (M) las casas se distribuyen a lo largo de una única calle que la divide en dos partes prácticamente homogéneas; en Nuevo Aguacate (B) en cambio, el cauce de un río que divide a la localidad funcionó como frontera entre un sector y otro.

Figura 1. Esquema conceptual del establecimiento de sectores para el muestreo de las viviendas en localidades de la Montaña de Guerrero



**Tamaño de la muestra:** Para el cálculo del tamaño de muestra en el sector residencial para la variable consumo específico de leña se utilizó el modelo del Anexo III de la Guía para encuestas de demanda, oferta y abastecimiento de combustibles de madera (Tabla 3; FAO, 2002).

**Tabla 3. Cálculo del tamaño de la muestra (número de viviendas) para consumo específico de leña según FAO en 2002**

Universo N	Muestra n			
	e=10%	e=15%	e=20%	e=30%
40	28	21	15	9
50	33	23	16	9
60	37	25	17	9
100	50	30	20	10
150	59	34	21	10
200	66	36	22	10
250	71	37	22	10
300	74	38	23	11
350	77	39	23	11
400	79	39	23	11
500	82	40	23	11
600	85	41	24	11
700	86	41	24	11
800	88	42	24	11
900	89	42	24	11
1000	90	42	24	11
2500	95	43	24	11
5000	97	43	25	11

Donde e = porcentaje de error y considerando un Coeficiente de Variación = 0.50 de la variable consumo específico de leña en el sector residencial y un nivel de confianza = 0.95 (FAO, 2002).

Dado el universo de tamaño 513 (número de viviendas habitadas en las tres localidades de estudio), se interpoló entre los valores para N = 500 y N = 600 y se obtuvo un tamaño de muestra n = 82 viviendas considerando un error del 10% y un tamaño de muestra n = 40 viviendas considerando un error del 15%. Sin embargo para fines prácticos, se tomó el promedio de n, quedando definida **n = 60 viviendas** repartidas equitativamente entre las tres localidades de estudio (20 viviendas por cada localidad).

## 4.2.2 Diseño del cuestionario

Para el diseño del cuestionario, se tomaron como base los parámetros propuestos por la Guía para encuestas de demanda, oferta y abastecimiento de combustibles de madera (FAO, 2002) que son **Demanda, Abastecimiento y Oferta**. De la misma manera, se consultaron ejemplos de cuestionarios de monitoreo de leña realizados por GIRA A.C., y otros trabajos de investigación (Valencia, 2004; Magallanes, 2006; Troncoso, 2010; Zamora 2011).

Sin embargo, más allá de las grandes aportaciones producto de la revisión e integración de varios trabajos similares, el cuestionario estuvo diseñado de acuerdo a las necesidades de la investigación, ya que indaga específicamente sobre el **“Uso y preferencia de especies”**. Así mismo, se abordaron preguntas relativas a la **“Percepción del Impacto ambiental”**, con el objetivo de describir de manera cualitativa si los encuestados asociaban la extracción de leña con cambios ocurridos en los bosques nativos a través del tiempo. Por último, se formularon preguntas relativas a la **“Salud de las personas”**, para indagar de manera general la asociación entre los gases producto de la combustión y las enfermedades o padecimientos en los usuarios.

De esta manera se establecieron los seis principales factores a tomar en cuenta para este estudio: Demanda, Oferta, Abastecimiento, Uso y preferencia de especies, Salud de las personas y Percepción del impacto ambiental. Para cada uno de estos factores, se definieron variables asociadas. El cuestionario fue estructurado con preguntas que recabaran información sobre una o más variables de forma simultánea (convergentes) o por el contrario, con un conjunto de preguntas que indagaran sobre una variable en particular (divergentes). El cuestionario final quedó integrado por **45 preguntas** (35 cerradas y 10 abiertas).

### Factor Demanda

Este factor incluyó preguntas que abordan principalmente las razones por las cuáles se utiliza el combustible, qué actividades de la vida diaria son satisfechas mediante él, las formas de obtenerlo, caracterización de la extensión e intensidad de su uso así como existencia de sustitución o complementariedad con otros combustibles.

Las variables a considerar en este factor son (FAO, 2002): fuentes de abastecimiento, saturación o penetración (representa el porcentaje de utilización de leña en el universo de estudio), uso múltiple (uso de diferentes tipos de combustible), sustitución y complementariedad (uso de leña junto con otros combustibles y la forma en la cual se lleva a cabo el cambio de un combustible a otro), usos finales, dispositivos de combustión y estacionalidad en el consumo.

### **Factor abastecimiento**

Este factor consideró preguntas que abordan principalmente la forma en la cual las personas adquieren el combustible, caracterizando periodicidad y frecuencia así como los costos implicados en dicha adquisición. Las variables asociadas para este factor son (FAO, 2002): tipo de abastecimiento (autoabasto o abasto comercial local), periodicidad y frecuencia del abastecimiento y costo de la leña (monetario o asociado al tiempo que invierte el recolector).

### **Factor oferta**

Debido a que el patrón de suministro es el autoabasto, la oferta está constituida exclusivamente por las fuentes directas de suministro, es decir, los árboles que conforman las comunidades vegetales circundantes. Este factor fue abordado a través del cuestionario sólo de manera cualitativa, al identificar la percepción de los encuestados respecto a la disponibilidad actual de leña y los cambios en la oferta a través del tiempo.

Sin embargo, con base en el estudio florístico/fitosociológico previo, el cual caracterizó los bosques nativos respecto a composición de especies, abundancias relativas y tamaño de los individuos, se pudo determinar de manera cuantitativa la oferta actual de leña para las tres microcuencas definidas en Borda-Niño (2014).

### **Factor Uso y preferencia de especies**

Uno de los objetivos primordiales de la aplicación del cuestionario fue identificar las especies arbóreas que son utilizadas para leña. Se incluyeron preguntas para indagar cuáles son estas especies y para conocer aquellas que la población considera muy

buenas para su uso como combustible, incluyendo las razones o características por las que se prefiere dicha especie. Así mismo se indagó sobre las especies que tenían un uso adicional o sobre aquellas que brindaban un beneficio adicional además de su uso tradicional en los fogones.

### **Factor Salud de las Personas y Percepción del Impacto ambiental**

Estos factores fueron abordados de manera somera y cualitativa ya que proporcionaron información complementaria a los objetivos perseguidos en esta investigación.

### **4.2.3 Diseño de los métodos de medición del consumo de leña**

Los métodos utilizados para medir el consumo de leña también estuvieron basados en la Guía para encuestas de demanda, oferta y abastecimiento de combustibles de madera de la FAO (2002); estos fueron la medición del día promedio y la medición directa.

#### ***Medición del consumo de leña por el método "día promedio"***

Para la medición del "día promedio" se pidió al usuario del fogón (encuestados del sexo femenino) que agrupara toda la leña que usaba en un día común; se dio oportunidad al usuario de revisar y corregir si fuera el caso. Se pesó la cantidad de leña (con una báscula con rango de operación de 0 a 25 kg y una resolución de 0.1 kg) y en un leño al azar se determinó el contenido de humedad mediante un higrómetro LUTRON modelo PMS-713 con un rango de operación de 0 a 40% de humedad; así mismo, con ayuda de expertos en campo, se pudo identificar y registrar para cada caso la especie de la que se trataba.

Los resultados para este método están expresados como *Consumo diario per cápita*. Este concepto considera que la cantidad de leña consumida en una vivienda guarda relación con el número de personas que consumieron alimentos en dicha vivienda durante el periodo estudiado, y por tanto indica la cantidad diaria promedio de leña empleada para alimentar a una persona típica de esa vivienda. Este dato se obtiene dividiendo la cantidad total de leña (kg) consumida en la vivienda durante el periodo de medición, entre el número de días que duró la medición y entre el número promedio de personas que se alimentaron cada día en dicha vivienda.

A los resultados se les aplicó el método de puntuación estándar para eliminar valores atípicos potenciales (Shiffler, 1988); posteriormente fueron analizados estadísticamente mediante ANOVA de una vía con niveles de significación de 0.01 y 0.05 para evaluar posibles diferencias en el consumo atribuidas al rango altitudinal.

### ***Medición directa del consumo de leña***

A pesar de que la metodología más extendida para obtener datos sobre consumo de leña y otros productos no maderables está basada en cuestionarios estructurados, esta herramienta puede ser susceptible de sesgo (Shankar et al., 1998). El método de medición directa puede reducir este sesgo ya que elimina la percepción del usuario, sin embargo debido a su complejidad y por razones de tiempo y de recursos, sólo fue posible su utilización como una metodología complementaria para estimar el consumo.

Este método se basó en el registro del consumo real de leña en las viviendas de estudio en un periodo de tiempo determinado. Para realizar la medición directa se identificó con una marca distintiva color rojo gran parte de la leña almacenada en cada vivienda y que estaba próxima a ser utilizada; de tal forma que se pudo realizar una rastreabilidad de la madera. Se pidió a los usuarios que utilizaran exclusivamente la leña marcada y que no incrementaran su stock en un periodo de 7 días o hasta el regreso del encuestador. Además se midió la humedad de la madera conforme a lo indicado en el método "medición del día promedio". Una vez transcurrido el periodo de 7 días, se regresó a las viviendas y se pesó la leña sobrante aproximadamente a la misma hora en que se hizo la primera medición para evitar una variabilidad en el contenido de humedad. Debido a la complejidad de este método, sólo fue llevado a cabo en el 25% de los hogares encuestados (quince), es decir, cinco viviendas en cada una de las tres localidades. Al igual que para el método día promedio, los resultados de la medición fueron expresados como *Consumo diario per cápita* y los valores obtenidos recibieron el mismo tratamiento estadístico.

#### **4.2.4 Aplicación del cuestionario y la medición del consumo de leña**

La aplicación del cuestionario consistió en una visita a las viviendas seleccionadas de acuerdo a nuestro método de muestreo previamente definido, usando como base el cuestionario y documentando por escrito las respuestas. Se requirió el apoyo de una persona en cada localidad que hizo las veces de guía y que a su vez se desempeñó como traductor o intérprete de la lengua tlapaneca; aunado a ellos, se contó con un guía general que apoyó la investigación en campo en todo momento.

Antes de visitar las viviendas, se explicó exhaustivamente el cuestionario a los guías, aclarando el objetivo de cada pregunta y haciendo las recomendaciones básicas de no inducir respuestas cuando las preguntas fueran abiertas.

El método de medición del día promedio fue realizado al final de la aplicación del cuestionario y los datos fueron registrados en la misma hoja de respuestas. En cambio, el método de medición directa fue realizado en una fecha posterior, haciendo una segunda visita a 15 de las viviendas seleccionadas.

De acuerdo con el tamaño de muestra, se aplicaron 20 cuestionarios en cada localidad, teniendo una duración aproximada de 30 minutos cada una, incluyendo el tiempo empleado en la medición del día promedio pero sin contar traslados entre casa y casa. En la mayoría de los casos se logró encuestar a ambos jefes de familia, enriqueciendo el trabajo ya que la mujer es el usuario final pero el hombre es el que abastece el recurso en la mayoría de los casos. Sólo en algunas viviendas se encuestó exclusivamente al sexo femenino, sin embargo en estos casos eran las mismas mujeres las que proveían el combustible, por lo que no hubo dificultad en abordar temas como el abasto o la oferta. Solo se registró un caso en el que el único encuestado fue una persona del sexo masculino.

#### **4.2.5 Selección de 10 especies**

Debido a limitaciones en los recursos monetarios y de tiempo disponibles para este proyecto de investigación, se optó por establecer de manera previa, un límite máximo de 10 especies para trabajar en los análisis de laboratorio y para la cuantificación de su potencial para la restauración. No se conocía el número total de especies utilizadas en el sitio de estudio, por tanto, la elección del grupo de 10 especies se realizó con base en los resultados del cuestionario respecto al factor Uso y preferencia de especies y procurando que este grupo fuese representativo de todo el sitio de estudio, independientemente del rango altitudinal. De esta manera, se cruzaron datos referentes a utilización, preferencia y otros usos que presentaran las especies en las tres localidades de estudio.

#### **4.2.6 Determinación de la disponibilidad real de leña**

Este aspecto fue abordado de manera cualitativa durante el cuestionario; sin embargo, fue posible abordarlo de manera cuantitativa una vez que se conocieron las especies utilizadas para leña y haciendo uso de información complementaria del estudio florístico existente para el sitio de estudio. De esta manera, se pudo calcular la cantidad de leña (biomasa en troncos) presente en los bosques nativos de las tres microcuencas (Borda-Niño, 2014) para las 10 especies seleccionadas y tomando en cuenta únicamente los individuos con el tamaño adecuado para la extracción, según la declaración de los usuarios (documentada en el cuestionario).

Así mismo, se usaron tres modelos alométricos semi-empíricos reportados en literatura; uno para *Quercus sp.*, otro para *Clethra sp.* y uno más para especies tropicales (*B. crassifolia* y *L. acapulcense*). Estos modelos emplean el DAP de los árboles como única variable independiente (Acosta-Mireles et al., 2002; Návar, 2009; Gómez-Díaz, 2011) y permitieron obtener la cantidad de madera susceptible a ser utilizada para leña (kg) en los sitios muestreados por Borda-Niño (2014). De esta forma se obtuvo la cantidad de leña disponible por hectárea, y se extrapoló a las tres microcuencas dentro del municipio de Acatepec. Esto es una superficie total de 13,468.9 ha en la cuál se encuentran asentadas seis localidades culturalmente homogéneas (incluyendo las tres localidades del presente estudio; Borda-Niño, 2014).

### **4.3 Análisis de la calidad como leña**

A partir de esta sección solo se trabajó con el grupo de 10 especies seleccionadas, para las cuales se recolectaron muestras de madera que fueron analizadas en laboratorio con el fin de determinar su calidad como combustible de acuerdo con Purohit y Nautiyal (1987); es decir, en esta sección se aborda el objetivo particular número 3.

#### **4.3.1 Recolección de muestras de madera**

Como se ha mencionado en diversas ocasiones, la extracción de leña por parte de los habitantes de la región es llevada a cabo en su totalidad, en los bosques nativos circundantes. Por tanto, la recolección de muestras de madera se realizó en fragmentos de bosque semiconservado que han sido y siguen siendo sometidos a extracción.

Debido a que las variables involucradas en la medición de la calidad de la leña como combustible pueden presentar variación entre individuos incluso de la misma especie, se recolectaron muestras de al menos tres individuos diferentes por especie.

Una técnica recomendada para obtener muestras de madera es extraer discos transversales del tronco que implican la muerte del individuo; otra técnica muy utilizada es la extracción de muestras lineales con ayuda de taladros o barrenas especializadas (Williamson & Wiemann, 2010).

Sin embargo, considerando la logística de transportación de las muestras, las implicaciones ambientales y la dificultad para conseguir el equipo especializado, se optó por descartar la extracción completa del individuo. Por tanto, se decidió utilizar ramas elegidas al azar dentro de un mismo individuo para la obtención de las muestras, de tal forma que el tamaño de la rama permitiera extraer un cilindro de aproximadamente 10 cm de diámetro y 20 cm de largo (regularmente ramas a una altura de cuatro a cinco metros). En total fueron muestreados 30 individuos (tres individuos por especie).

Por otro lado, como base para el diseño de las rutas de muestreo se consultó el estudio de fitosociología arbórea y arbustiva llevado a cabo en el sitio de estudio por Borda-Niño (2014) de donde se obtuvo el Índice de Valor de Importancia Relativo (IVIR) de cada especie en los tres rangos altitudinales (Tabla 13).

De esta manera, conociendo la distribución espacial de cada una de las diez especies que nos ocupan, se diseñó un muestreo por cuotas en el que se conocían las especies presentes y el número de individuos a recolectar en cada rango altitudinal. Para aquellas especies que presentaban una distribución espacial en más de un rango altitudinal, se recolectaron uno o dos individuos por rango dependiendo de su abundancia (Tabla 13).

**Tabla 13. Guía para recolección de muestras de leña en localidades de la Montaña de Guerrero basada en el Índice de Valor de Importancia Relativo (IVIR) de cada especie en cada rango altitudinal**

Rango	Bajo		Medio		Alto	
	(520 a 1071 m)		(1072 a 1606 m)		(1607 a 2606 m)	
Especie	IVIR	Cantidad de individuos muestreados	IVIR	Cantidad de individuos muestreados	IVIR	Cantidad de individuos muestreados
<i>Quercus magnolifolia</i>	0.4	0	14.5	1	0.3	2
<i>Quercus elliptica</i>	-	0	19.3	1	8.7	2
<i>Quercus glaucescens</i>	3.6	1	8.0	2	-	0
<i>Quercus obtusata</i>	-	0	0.7	1	13.3	2
<i>Byrsonimia crasifolia</i>	0.7	2	5.0	1	-	0
<i>Quercus conspersa</i>	1.7	3	6.2	0	-	0
<i>Quercus scytophyla</i>	-	0	-	0	22.5	3
<i>Lysiloma acapulcense</i>	-	2	0.3	1	-	0
<i>Quercus candicans</i>	-	0	-	0	1.6	3
<i>Clethra lanata</i>	0.4	1	8.9	0	13.3	2

Los rangos altitudinales corresponden al estudio florístico de Borda –Niño (2014).

El fragmento de bosque en el rango alto fue ubicado muy cerca de la localidad de Agua Tordillo (A); según declaración del guía local, era una porción de bosque destinada a la conservación; sin embargo, dentro de él se realizaba extracción de leña de manera esporádica. Para las especies *Quercus candicans* y *Quercus scytophyla* que tenían su distribución exclusivamente en ese rango altitudinal, se realizó la totalidad del muestreo en el mismo fragmento de bosque (tres individuos para cada especie).

El fragmento de bosque en el rango medio, no pudo ser ubicado en zonas circundantes a Lomatepec (M) debido a cuestiones logísticas y de seguridad del equipo de trabajo. Por tanto, se eligieron fragmentos de bosque en los alrededores de la localidad El limón (1149 msnm). De esta forma, para las especies que ya se habían muestreado en el rango alto y que compartían distribución con el rango medio, se completó el muestreo hasta llegar a tres individuos por especie. Para las especies que

compartían distribución con el rango bajo, se buscó llegar a dos muestras por especie y de esta forma, reducir el esfuerzo de muestreo en la siguiente y última etapa.

Por las mismas razones logísticas, no fue posible llegar a un fragmento de bosque ubicado en un rango bajo y que estuviese cercano a algún asentamiento humano. Por tanto, esta última etapa del muestreo se basó en completar las cuotas de especies e individuos mientras se recorría el camino de regreso hacia tierras bajas (en diferentes fragmentos cercanos a la carretera).

De esta forma se recolectaron muestras de 30 individuos diferentes pertenecientes a diez especies; 14 individuos fueron muestreados en un rango alto, siete en un rango medio y nueve en un rango bajo de altitud (Tabla 14). Los individuos muestreados fueron georreferenciados y los cilindros de madera se resguardaron en bolsas plásticas con cierre hermético para disminuir la pérdida de humedad y etiquetados con un número de identificación para no perder rastreabilidad tanto de la especie como del sitio de colecta.

**Tabla 14. Georreferenciación y clasificación en rangos altitudinales de los individuos muestreados para el análisis del valor energético de la leña (Rango bajo, de 520 a 1071 m; rango medio, de 1072 a 1606; rango alto, de 1607 a 2606 m)**

ID	Especie	Longitud	Latitud	Altitud (m)	Rango
1	<i>Quercus obtusata</i>	500619	1904056	1869	Alto
2	<i>Clethra lanata</i>	500654	1904050	1859	Alto
3	<i>Quercus elliptica</i>	500644	1904043	1847	Alto
4	<i>Quercus candicans</i>	500616	1904024	1861	Alto
5	<i>Quercus scytophyla</i>	500511	1904033	1821	Alto
6	<i>Quercus scytophyla</i>	500413	1904245	1899	Alto
7	<i>Quercus elliptica</i>	500915	1904031	1804	Alto
8	<i>Clethra lanata</i>	501014	1904045	1708	Alto
9	<i>Quercus magnoliifolia</i>	501001	1903999	1768	Alto
10	<i>Quercus obtusata</i>	500973	1904102	1774	Alto
11	<i>Quercus candicans</i>	500931	1904119	1770	Alto
12	<i>Quercus scytophyla</i>	500873	1904138	1765	Alto
13	<i>Quercus candicans</i>	500936	1904158	1748	Alto
14	<i>Quercus magnoliifolia</i>	500418	1904255	1831	Alto
15	<i>Lysiloma acapulcense</i>	492884	1883400	916	Bajo
16	<i>Lysiloma acapulcense</i>	493946	1883674	984	Bajo
17	<i>Quercus elliptica</i>	494455	1888850	1072	Medio
18	<i>Quercus glaucescens</i>	494377	1888912	1035	Bajo
19	<i>Byrsonimia crasifolia</i>	494234	1889021	1012	Bajo
20	<i>Quercus conspersa</i>	494282	1889028	1008	Bajo
21	<i>Quercus conspersa</i>	494249	1889086	1007	Bajo
22	<i>Clethra lanata</i>	494257	1889085	1004	Bajo
23	<i>Byrsonimia crasifolia</i>	494213	1889107	1006	Bajo
24	<i>Quercus conspersa</i>	494201	1889173	1012	Bajo
25	<i>Quercus magnoliifolia</i>	494618	1887477	1193	Medio
26	<i>Quercus obtusata</i>	494787	1887213	1249	Medio
27	<i>Lysiloma acapulcense</i>	494771	1887186	1223	Medio
28	<i>Quercus glaucescens</i>	494307	1886461	1334	Medio
29	<i>Quercus glaucescens</i>	494308	1886305	1337	Medio
30	<i>Byrsonimia crasifolia</i>	NA	NA	1122	Medio

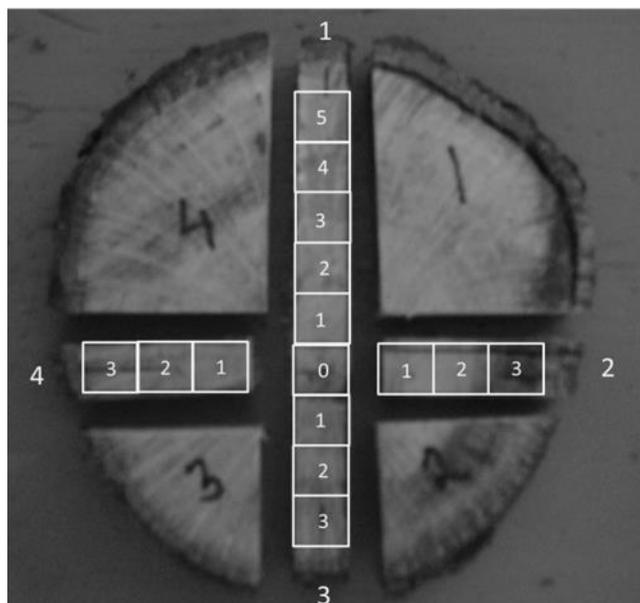
Los rangos altitudinales corresponden al estudio florístico de Borda –Niño (2014).

### 4.3.2 Determinación del Índice de Valor Energético

El índice de valor energético de la leña está integrado por las variables: poder calorífico, densidad, contenido de cenizas y humedad (Purohit y Nautiyal, 1987; Abbot y Lowore, 1999). Este índice ha sido utilizado en diversos estudios en diferentes partes del mundo como una forma de medir el potencial de las especies para su uso como combustible; es decir, su calidad como leña (Goel & Behl, 1996; Tabuti et al., 2003; Bhatt et al., 2004; Ramos et al., 2008).

Para determinar el índice de valor energético de las especies, las muestras de leña fueron analizadas en las instalaciones del Campo Experimental San Martinito (Tlahuapan, Puebla) perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Las muestras fueron preparadas de tal forma que se evitara la variabilidad radial (de forma transversal a los anillos de crecimiento) en algunas propiedades físicas de la madera como la densidad y físico-químicas como el poder calorífico (Figura 15; Williamson y Wiemann, 2010).

Figura 15. Esquema de preparación de las muestras (secciones transversales de ramas) para la determinación de las propiedades energéticas de especies utilizadas para leña en localidades de La Montaña de Guerrero



El objetivo de estos análisis fue en primera instancia, evaluar la variabilidad existente entre individuos de diferentes especies. La variabilidad dentro de un mismo individuo atribuida a la compleja anatomía de la madera fue secundaria a los objetivos perseguidos; por tanto, se manejaron solo dos categorías: madera y corteza. El término madera se refirió indistintamente a duramen o albura; así mismo, el término corteza hizo referencia, además de la corteza propiamente dicha, al cambium y al floema.

Para la preparación de las muestras de leña, se cortó una sección transversal de ocho mm de espesor en cada uno de los cilindros. Sobre la sección transversal obtenida se identificó el diámetro máximo y se trazó un eje paralelo (eje 1-2) y otro perpendicular a este diámetro que pasara por el centro de la médula (eje 2-4); se trazaron cuadrados de ocho mm de lado partiendo del centro de la médula y siguiendo el patrón en forma de cruz formado por ambos ejes (Figura 15). Se numeraron los cuatro segmentos de la cruz otorgando el número uno al segmento más largo (de radio máximo) y la numeración fue seguida en el mismo sentido de las manecillas del reloj. Entre cada dos segmentos se formó un cuadrante y se numeró siguiendo el mismo sentido. Así mismo, se numeraron los cuadrados en forma ascendente del centro hacia afuera, considerando como cero el cuadrado ubicado exactamente en el centro y dejando la corteza como un cuadrado independiente, identificado con el número del segmento o radio al que pertenecía.

Se hicieron los cortes y para cada sección transversal se obtuvieron cuatro cuadrantes de madera y sus cuatro cortezas, cuatro cubos de corteza y un promedio de diez cubos de madera (el número de cubos fue determinado por la forma y diámetro del cilindro de madera).

- **Determinación del contenido de humedad y densidad básica**

El contenido de humedad y la densidad básica se calcularon utilizando tres secciones transversales por especie (una sección transversal por individuo). Considerando que de cada sección transversal se extrajeron ocho piezas de corteza y catorce piezas de madera (en promedio), para cada especie el tamaño de muestra fue de 24 y 42 para corteza y madera respectivamente. Se evaluaron un total de 671 muestras (227 de corteza y 445 de madera) para las 10 especies.

Como un paso indispensable para calcular el contenido de humedad, se determinó el peso de cada muestra inmediatamente después del corte (peso verde) mediante una báscula digital con una resolución de 0.0001 g. Sin embargo, es importante mencionar que las muestras tuvieron un periodo de espera de aproximadamente 7 días antes de llegar al laboratorio experimental y dar inicio a las evaluaciones, tiempo durante el cual permanecieron dentro de bolsas herméticas para disminuir la pérdida de humedad.

Después de determinar el peso verde, todas las muestras fueron saturadas en agua destilada por un tiempo de dos horas (si todas las piezas se hundían e inmediatamente tocaban fondo) o por 24 horas (si al menos una de las piezas flotaba). Después de este tiempo de espera, las piezas se retiraron del agua, se quitó el exceso de humedad y se determinó nuevamente el peso con el mismo equipo (peso saturado). De manera inmediata se midió el volumen mediante el método de desplazamiento (determinación del peso del agua desplazada); para esto se utilizó un recipiente con agua destilada y una aguja que ayudara a sumergir la pieza. Se registró el peso del líquido desplazado, que en el caso del agua destilada (densidad = 1g/cm<sup>3</sup>) es igual al volumen desplazado.

Las piezas fueron expuestas al ambiente para evaporar el exceso de humedad y posteriormente fueron colocadas en una estufa a una temperatura de 103 +/- 2°C durante 48 horas. Las muestras se retiraron de la estufa y fueron estabilizadas durante diez minutos en un desecador; una vez estabilizadas se inició una tercera determinación del peso (peso anhidro).

El contenido de humedad fue calculado relacionando el peso del agua contenida en cada pieza de manera natural, con el peso de la pieza totalmente seca, es decir el peso verde menos el peso anhidro, expresado como una proporción del peso anhidro (Ecuación 1). Para el caso de la densidad básica, esta fue expresada como una razón entre el peso anhidro y el volumen saturado de cada pieza (Ecuación 2).

$$(1) \textit{Contenido de humedad} = \left( \frac{\textit{peso verde} - \textit{peso anhidro}}{\textit{peso anhidro}} \right)$$

$$(2) \text{Densidad básica} = \left( \frac{\text{peso anhidro}}{\text{volumen saturado}} \right)$$

- **Determinación del poder calorífico**

Para la determinación del poder calorífico se seleccionaron al azar ocho cubos por individuo (seis de madera y dos de corteza). De esta forma, se analizaron 24 muestras por especie (tres individuos) haciendo un total de 240 muestras (para las 10 especies). Para realizar estas mediciones se utilizó un calorímetro de bomba Isoperibol 1266 PARR cuyo funcionamiento se basa en la transferencia de calor (al momento de la combustión) de un recipiente metálico en contacto con el agua. Debido a que la determinación del poder calorífico se llevó a cabo en una fecha posterior a la determinación de la densidad básica y humedad, se requirió volver a llevar las muestras a un estado anhidro (dentro de la estufa a una temperatura de 103 +/- 2°C durante 48 horas).

- **Determinación del contenido de cenizas**

La determinación del contenido de cenizas fue llevada a cabo exclusivamente en cubos de madera (omitiendo cortezas) que fueron cortados en secciones muy finas para garantizar que el proceso de combustión se llevara a cabo correctamente conforme a lo indicado en la norma TAPPI T211 para la determinación de cenizas en la madera y en la pulpa (TAPPI Standards, 2014).

Dado que estas mediciones fueron realizadas en una tercera estancia en el laboratorio, previamente a la determinación de las cenizas se requirió llevar las muestras nuevamente a un estado anhidro. Una vez fuera de la estufa y estabilizadas, las muestras se pesaron, se colocaron en crisoles y fueron introducidas en un horno de mufla de alta temperatura, antes de que el horno alcanzara los 100°C. En una primera fase, las muestras fueron llevadas gradualmente a una temperatura de 300°C; alcanzada dicha temperatura, el incremento fue rápido hasta llegar a 575°C +/- 25°C. Esta temperatura se mantuvo por seis horas y una vez transcurrido ese lapso de tiempo las muestras fueron retiradas y estabilizadas durante 45 minutos. Se pesó el residuo y se calculó su porcentaje tomando como base la madera anhidra (Ecuación 3).

$$(3) \text{ Contenido de cenizas} = \left( \frac{\text{peso del residuo}}{\text{peso anhidro}} \right)$$

- **Consideraciones generales para las variables**

Con el fin de obtener un valor más cercano a la realidad (en la práctica los usuarios utilizan la leña con corteza), resultó necesario obtener un valor integrado (incluyendo valores para madera y para corteza) por especie para tres de las variables (contenido de humedad, densidad básica y poder calorífico). Para tal fin se calculó el volumen teórico total de cada cilindro de leña (con base en las dimensiones de sus diámetros y su longitud), así como la proporción volumétrica de madera y corteza; posteriormente los valores de volumen se convirtieron a valores de masa (utilizando los valores de densidad promedio obtenidos). Con la proporción en masa de madera y corteza, se estimó un valor integrado por individuo y por especie para cada una de las tres variables. En cambio, para el contenido de cenizas sólo se obtuvieron resultados para madera (esta variable no fue evaluada para la corteza).

Es importante mencionar que a los valores obtenidos para las variables contenido de humedad, densidad básica y poder calorífico (tanto en madera como en corteza) y contenido de cenizas en madera se les aplicó una prueba de homogeneidad para eliminar datos inconsistentes; posteriormente los datos fueron analizados mediante ANOVA de una vía y comparación múltiple de medias por Tukey (Zar, 1999).

Para los valores integrados (madera y corteza) de las variables contenido de humedad, densidad básica y poder calorífico, así como para los valores del IVE<sup>1</sup> e IVE<sup>2</sup>, los datos fueron analizados mediante pruebas no paramétricas (Kruskal-Wallis) y se realizó la agrupación de subconjuntos homogéneos mediante el test de Dunn (Zar, 1999).

- **Cálculo del Índice de Valor Energético**

Una vez cuantificadas las variables densidad básica, poder calorífico, contenido de cenizas y porcentaje de humedad, sus valores fueron integrados matemáticamente para calcular el Índice de Valor Energético (IVE) por especie.

Cabe aclarar que existen muchas formas de evaluar el IVE empleando diversas combinaciones con algunas de las cuatro variables antes mencionadas (Deka et al., 2007). Regularmente las combinaciones de dos o tres variables se han utilizado cuando resulta inviable la determinación de alguna o algunas de ellas (Bhatt y Todaria, 1992; Abbot et al., 1997). Es común el uso de una versión simplificada o parsimoniosa de este índice, incorporando únicamente como característica positiva la densidad básica y como característica negativa el contenido de humedad, descartando las variables poder calorífico y contenido de cenizas (Ramos et al., 2008).

En el presente estudio el contenido de cenizas no pudo ser determinado para la corteza, por tanto exclusivamente los resultados para madera fueron integrados utilizando la versión completa del IVE, tal como fue definido originalmente en Purohit y Nautiyal (1987) (Ecuación 4).

$$(4) IVE^1 = \left( \frac{\text{Poder calorífico} \left( \frac{Kj}{g} \right) \times \text{Densidad básica} \left( \frac{g}{cm^3} \right)}{\text{Contenido de cenizas} \left( \frac{g}{g} \right) \times \text{Contenido de humedad} \left( \frac{g}{g} \right)} \right)$$

Sin embargo, con los valores integrados de contenido de humedad, densidad básica y poder calorífico se calculó una versión simplificada del IVE (Ecuación 5, Deka et al., 2007).

$$(5) IVE^2 = \left( \frac{\text{Poder calorífico} \left( \frac{Kj}{g} \right) \times \text{Densidad básica} \left( \frac{g}{cm^3} \right)}{\text{Contenido de humedad} \left( \frac{g}{g} \right)} \right)$$

## 4.4 Priorización de especies con el mayor potencial para la restauración

### 4.4.1 Definición y asignación de valores a las variables

La evaluación de las diez especies arbóreas seleccionadas se basó en ocho variables pertenecientes tanto a la dimensión social como ecológica de su uso como leña. Con una perspectiva ecológica y mediante una investigación en la literatura disponible, se obtuvo información cualitativa referente a la **tasa de crecimiento** y a la **capacidad para mejorar las condiciones del suelo**, mismas que representan características deseables en especies propias para la restauración (Pérez-Cruz, 2012). Así mismo, utilizando como fuente de información el reciente estudio florístico/fitosociológico en el mismo sitio de estudio (Borda–Niño, 2014), fue posible emplear de manera cuantitativa el **Índice de Valor de Importancia Relativo** (Curtis & McIntosh, 1951) como otra de las variables en este rubro. Además utilizando como fuente de información las bases de datos del estudio antes mencionado y con observaciones empíricas en campo, se pudo determinar de manera cuantitativa la **capacidad de rebrote** (Tabla 15).

El enfoque socio-cultural fue considerado en el sistema al incluir la variable denominada **Preferencia de la especie**, que representa las preferencias que la población posee de una especie sobre otra para su utilización como leña. Además se incluyó otra variable que representó los propios conocimientos y costumbres de los habitantes evaluando la calidad como combustible desde la percepción de los usuarios, de una forma similar al reportado en Abbot et al. (1997) y se denominó **Percepción de la calidad como combustible**. La tercera variable social se basó en los usos adicionales que los locales están dando a la especie y se le nombró como **Otros usos o beneficios**; esta variable al igual que las dos variables anteriores fue evaluada mediante la aplicación de la encuesta (Tabla 15).

Como una variable técnica que dio solidez a la evaluación de la especie como combustible, se utilizó el **Índice de Valor Energético** como otra de las variables del sistema. Esta variable fue evaluada mediante pruebas experimentales en laboratorio tal como se mostró en la sección 5.2 (Tabla 15).

**Tabla 15. Clasificación, fuentes de información y asignación de valores para cada una de las variables con las que se evaluó a las especies utilizadas como leña en localidades de la Montaña de Guerrero**

Nombre de la variable	Categoría	Fuente de información			Asignación de valor
		Literatura	Encuesta	Experimental	
Tasa de crecimiento	Ecológica	X			Alta = 1, Media =0.667, Baja = 0.333
Capacidad para mejorar las condiciones del suelo	Ecológica	X			Alta = 1, Media =0.667, Baja = 0.333
Capacidad de rebrote	Ecológica	X			Máximo valor = 1
Índice de Valor de Importancia Relativo	Ecológica	X			Máximo valor = 1
Índice de Valor Energético	Técnica			X	Máximo valor = 1
Preferencia de la especie	Social		X		Frecuencia máxima = 1
Percepción de calidad como combustible	Social		X		Frecuencia máxima = 1
Otros usos o beneficios	Social		X		Frecuencia máxima = 1

Por otra parte, las variables analizadas forman un conjunto heterogéneo de parámetros tanto cualitativos como cuantitativos. Sin embargo, debido al objetivo perseguido en esta sección, se establecieron algoritmos para poder asignar un valor numérico a aquellas variables cualitativas. Las variables claramente cuantitativas fueron “Índice de Valor de Importancia Relativo” y el “Índice de Valor Energético”. Las variables parcialmente cualitativas fueron “Tasa de crecimiento”, “Capacidad para mejorar las condiciones del suelo”, “Capacidad de rebrote” así como las tres variables de la categoría social (Tabla 15). Cabe mencionar que para todas las variables se realizó una normalización de los datos de tal forma que los valores se ubicaron en un rango entre cero y uno (valor máximo exactamente igual a uno).

Para la determinación de los valores de las variables “Tasa de crecimiento” y “Capacidad para mejorar las condiciones del suelo”, dada la escueta información disponible en la literatura, sólo se pudo categorizar (a nivel de género) en tres grupos: alta, media y baja, considerando un valor igual a uno, dos tercios y un tercio respectivamente (1, 0.667, 0.333).

La “Capacidad de rebrote” fue determinada a través de la proporción de individuos que presentaron dos o más tallos con DAP mayor a 2.5 cm (en Borda-Niño, 2014 y al momento de la colecta).

Para las variables “Preferencia de la especie” y “Otros usos o beneficios”, el valor asignado se basó en la frecuencia de mención de cada especie en dichos rubros en la encuesta.

Para la variable “Percepción de la calidad como combustible”, en primera instancia se utilizaron las ocho características que los encuestados consideraron como deseables en especies utilizadas para leña (Tabla 8), se cuantificó la presencia (al menos una mención) de estas características en las especies preferidas y se asignó el valor de uno a la especie con el mayor número de características atribuidas.

#### **4.4.2 Ponderación de las variables**

Bajo la hipótesis de que las variables sociales o ecológicas pueden jugar un papel de mayor o menor relevancia en la selección de las especies según la óptica con la que se les analice y según el enfoque del proyecto de restauración en cuestión, se realizó un análisis de sensibilidad otorgando diferentes ponderaciones para cada grupo de variables sociales, ecológicas y técnicas.

Se utilizaron cuatro tipos de ponderaciones. Utilizando un criterio equitativo se otorgó la misma ponderación (33.3%) a cada grupo de variables; en este criterio la dimensión social, ecológica y técnica pueden contribuir indistintamente al éxito del proyecto de restauración y este criterio podría ser apropiado para sitios con degradación moderada. Si la degradación del sitio es alta es posible que la recuperación de las funciones básicas del ecosistema sea la meta más importante de alcanzar en el corto plazo y se dé prioridad a aquellas especies que funcionan como catalizadoras de la restauración; por tanto tomando en cuenta este criterio se otorgó una ponderación mayor al grupo de variables ecológicas con un 75% y una ponderación de 15% y 10% a las variables sociales y técnicas respectivamente. Si el sitio presenta una degradación baja es posible que muchos de los servicios ecosistémicos que presta el bosque aún estén presentes, y para que un esquema de restauración en estas condiciones resulte más atractivo para los pobladores locales las variables socio-culturales podrían considerarse por encima de las demás variables; desde este punto de vista se otorgó una ponderación de 50% para las variables de la dimensión social y 25% a cada uno de los dos grupos restantes.

Por último tomando en cuenta un enfoque de productividad en el aprovechamiento, las especies útiles para la población local tendrían que verse favorecidas y la variable técnica ayudaría a seleccionar aquellas especies que puedan brindar un beneficio mayor empleando una menor cantidad de recursos (en este caso particular se buscó obtener mayor energía con la menor cantidad de biomasa); tomando en consideración este criterio se asignó un peso de 50% a la variable técnica y un 25% a cada uno de los grupos restantes.

Cabe mencionar que la ponderación se realizó a nivel de grupo de variables, por lo que la ponderación otorgada fue prorrateada de manera equitativa entre el número de variables que contenía cada grupo. De esta forma, se encontraron las constantes de ponderación  $a, b, c, d, e, f, g, h$  tales que su suma fuera igual a uno y que cada una de estas fuera diferente de cero, es decir:  $a+b+c+d+e+f+g+h = 1$  y  $(a, b, c, d, e, f, g, h) \neq 0$ .

El sistema general se formó al realizar la sumatoria del producto de cada constante de ponderación por cada variable analizada; la sumatoria de las variables fue ajustada para obtener valores en una escala del 0 al 10 (Ecuación 6).

$$(6) Y = (ax_1 + bx_2 + cx_3 + dx_4 + ex_5 + fx_6 + gx_7 + hx_8) \times (10)$$

En dónde Y es el potencial de las especie (en una escala del 0 al 10) para incorporarse en un sistema de restauración productiva.

## 5. Resultados

### 5.1 Uso de especies arbóreas como combustible en un gradiente altitudinal

Los resultados del cuestionario se describen en el mismo orden metodológico con el que éste fue diseñado; de esta forma se abordan en primera instancia los factores: “Demanda”, “Abastecimiento” y “Oferta”, seguidos por los factores “Uso y preferencia de especies”, “Salud de las personas y “Percepción del impacto ambiental”.

La población encuestada mostró una estructura equilibrada en cuanto a proporción de hombres y mujeres (48% y 52% respectivamente); sin embargo cabe hacer notar que aproximadamente hasta la edad de 20 años la población masculina es ligeramente superior a la femenina; esta tendencia se invierte a partir de los 21 años. Así mismo, el 48% de los habitantes de las viviendas visitadas es menor de 14 años.

Con respecto a las actividades económicas, el 93% de los jefes de familia de las viviendas visitadas practican la agricultura generalmente de subsistencia, de los cuales el 67% realiza exclusivamente esta actividad. El 7% que es ajeno a la agricultura, realiza actividades de venta de productos (abarrotes o productos cultivados localmente como la jamaica) o lleva a cabo labores remuneradas. El 26% lleva a cabo actividades mixtas (agricultura con alguna otra de las mencionadas).

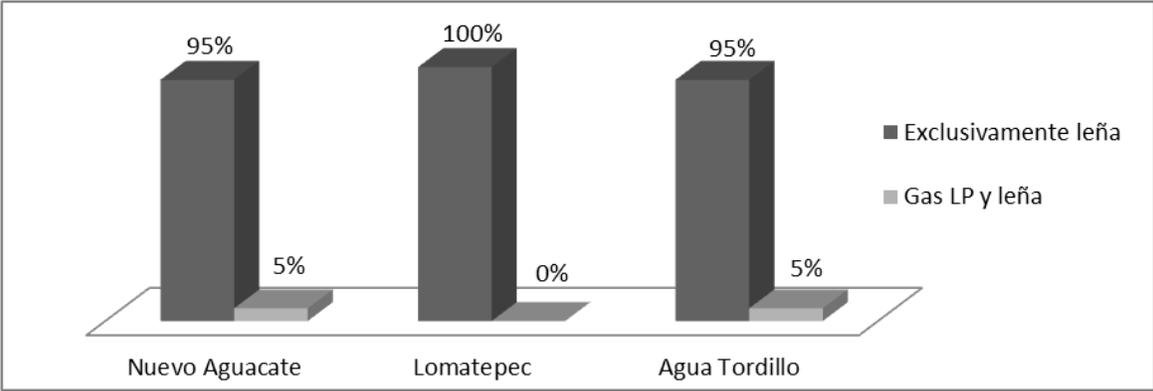
#### ○ **Demanda**

En las tres localidades de estudio se observó una *saturación o penetración* del consumo del 100%, ya que en todas las viviendas se utiliza leña para cocinar los alimentos de manera diaria. Así mismo, la totalidad de los encuestados realiza la extracción del recurso en terrenos comunales circundantes.

También se pudo observar que el *uso múltiple* de combustibles es muy bajo. De manera general, en el 97% de las viviendas visitadas se utiliza exclusivamente leña; sólo en el 3% de los casos se combina la leña con algún otro combustible. Los resultados por localidad muestran que en Nuevo Aguacate (B) y en Agua Tordillo (A), solo en el 5% de

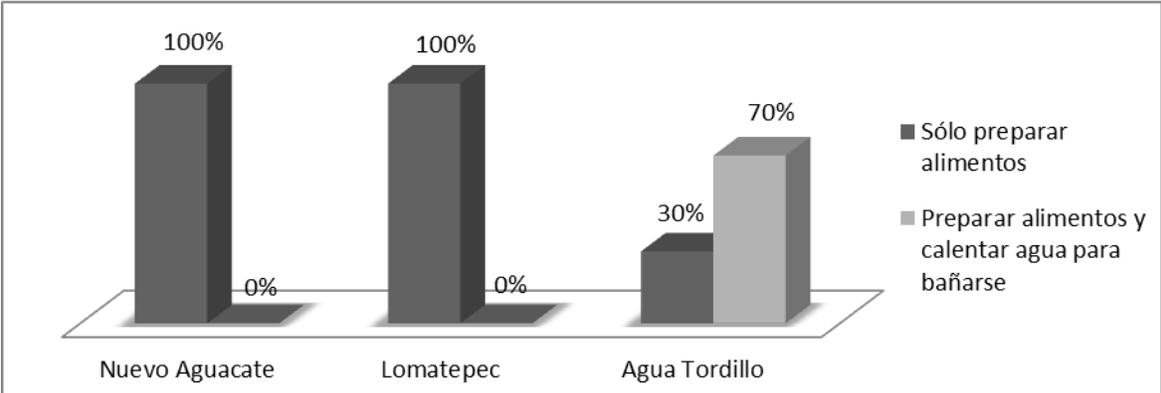
las viviendas visitadas se utiliza GLP en combinación con la leña; en Lomatepec no se registró la utilización de un combustible adicional a la leña (Figura 2).

Figura 2. Porcentaje de uso de leña y otros combustibles en tres localidades de La Montaña de Guerrero



En general, el 100% de los encuestados utiliza la leña para la preparación de los alimentos; sin embargo, en la localidad de mayor altitud se presenta una variante en el uso final del combustible: “Calentar agua para bañarse” (Figura 3).

Figura 3. Usos finales que se da a la leña en tres localidades de La Montaña de Guerrero



Los dispositivos de combustión encontrados variaron desde el más básico (fogón de tres piedras) hasta el más sofisticado que fue la estufa ahorradora tipo Lorena (fogón cerrado con plancha y chimenea). Otros dispositivos de combustión encontrados son fogón abierto con chimenea, fogón cerrado con plancha y anafre metal con chimenea (Figura 4).

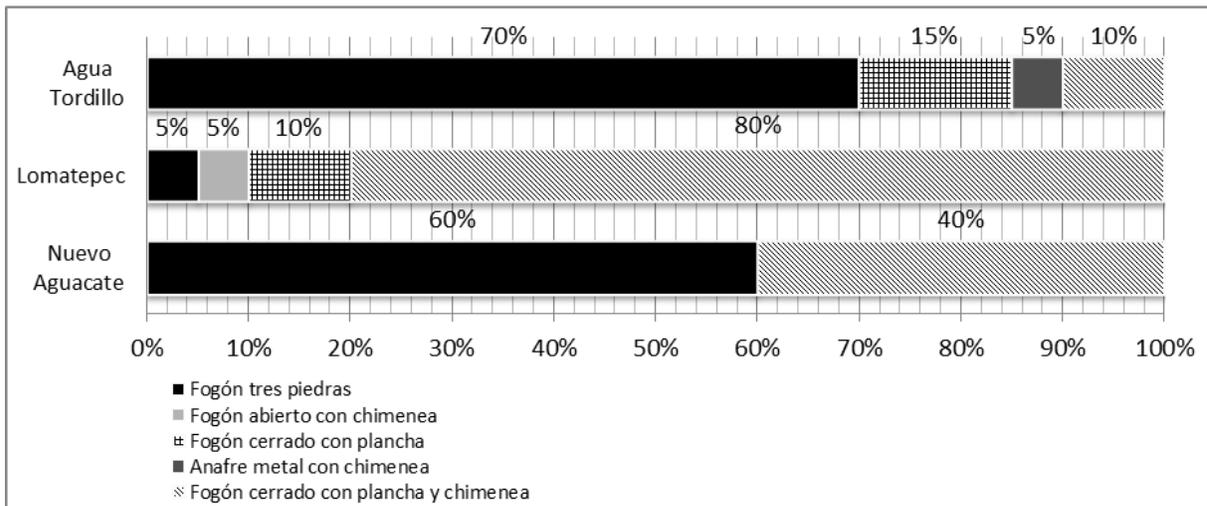
Figura 4. Dispositivos para combustión de leña utilizados en localidades de la Montaña de Guerrero



(A) Fogón cerrado con plancha (B) Fogón cerrado con plancha y chimenea (estufa ahorradora tipo Lorena). Foto: Omar Salgado

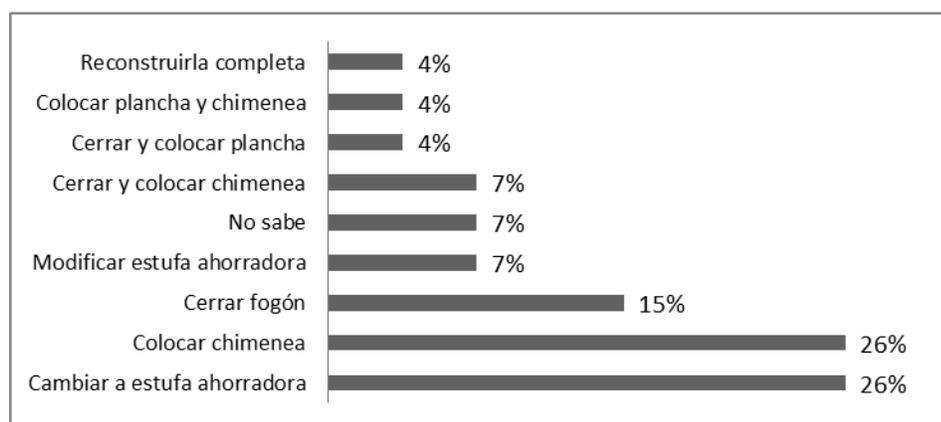
El fogón de tres piedras fue el dispositivo de combustión más frecuente en las localidades de Nuevo Aguacate (B) y Agua Tordillo (A), sin embargo en la localidad de Lomatepec (M) la estufa tipo Lorena fue el dispositivo más encontrado en los hogares (Figura 5).

Figura 5. Porcentajes de utilización de diferentes dispositivos para combustión de leña en tres localidades de La Montaña de Guerrero



También se preguntó si la persona estaba satisfecha con el funcionamiento de su dispositivo de combustión, y en caso de que la respuesta fuera negativa, se indagaron sobre los cambios que la persona implementaría para mejorarla. De manera general, el 47% de los encuestados no se mostraron satisfechos con el desempeño de su dispositivo de combustión; de ellos, el 26% indicaron que cambiarían a una estufa ahorradora si pudieran costear su construcción. Otro 26% indicó que adaptaría una chimenea a su dispositivo actual y 15% cerraría su fogón como medida de mejora. Ninguna persona indicó la incorporación de una plancha como medida única de mejora, sin embargo 8% la señaló en combinación con otras modificaciones (Figura 6).

Figura 6. Posibles modificaciones a los dispositivos de combustión de leña que las personas insatisfechas con el desempeño del mismo llevarían a cabo en localidades de la Montaña de Guerrero

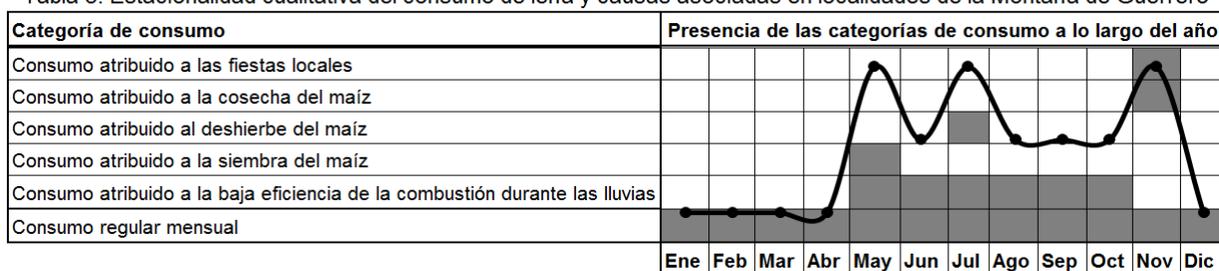


El consumo de leña en el sitio de estudio se mantiene continuo pero no constante a lo largo del año, ya que el 65% de las personas encuestadas aseguraron que existe cierta *estacionalidad* (Tabla 3). Del total de personas que consideraron esta variación, el 50% consideró que se da un incremento en el consumo de leña durante la época lluviosa (Tabla 3). La explicación que los encuestados dieron a este patrón fue, que debido a las lluvias la madera se moja o humedece y de esta forma la combustión es menos eficiente. Así mismo, dado que las localidades estudiadas son básicamente agrícolas y siendo el maíz el cultivo más generalizado, el 32% de la variación en el consumo fue atribuida a las labores de cultivo de este producto. Estas labores de cultivo se desarrollan en tres diferentes periodos: la siembra se lleva a cabo previamente a la temporada de lluvias (en el mes de mayo), el deshierbe del cultivo se realiza durante el apogeo de la temporada de lluvias (mes de agosto) y la cosecha típicamente sucede durante el mes de noviembre (Tabla 3).

Los encuestados mencionaron que para llevar a cabo estas labores de cultivo tienen que colaborar en equipo con otros miembros de la localidad, preparar mayor cantidad de alimentos y consecuentemente consumir más leña.

Aunque en menor proporción (18%), los encuestados también mencionaron un incremento en el consumo de leña durante las fiestas locales de día de muertos llevadas a cabo en la primera semana del mes de noviembre, a causa de la gran variedad y cantidad de alimentos preparados únicamente durante dichas celebraciones.

Tabla 3. Estacionalidad cualitativa del consumo de leña y causas asociadas en localidades de la Montaña de Guerrero



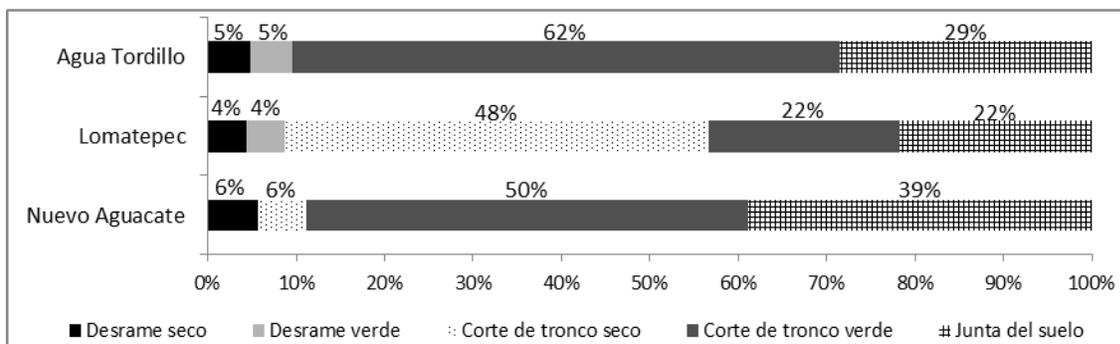
### ○ **Abastecimiento**

Una estacionalidad en el abastecimiento de la leña también fue mencionada por 65% de los encuestados; de ellos, en el 50% de los casos se indicó un incremento en el abastecimiento los días previos al inicio de las primeras lluvias, para evitar que la leña se moje. Es decir, se mencionó una recolección masiva y anticipada del recurso durante las primeras semanas del mes de mayo.

Respecto a la forma de abastecer la leña, se encontró que la gran mayoría de los encuestados practica el autoabasto (93%), solamente 5% compra y 2% utiliza ambas formas de abastecimiento. Los pocos casos de compra de leña se presentaron en las localidades de Nuevo Aguacate (B) y Agua Tordillo (A). El proceso de compra fue descrito como un pago monetario a cambio del tiempo de la persona (mano de obra) y en algunas ocasiones se realiza un pago de alrededor de \$400.00 por día a manera de renta de un vehículo para el traslado de la leña. Sin embargo no se considera, en ningún caso, un costo intrínseco al bien extraído.

En lo referente a los métodos de extracción, el corte completo del árbol es el método más utilizado en las localidades estudiadas (68% de los encuestados); 47% extrae árboles vivos (tronco verde) y 21% afirmó que sólo corta árboles muertos (tronco seco; Figura 7). Así mismo, dentro de los que cortaban el tronco verde, el 70% indicó que una vez talado el árbol, no hay rebrote del tronco. Mencionaron que sólo los juveniles rebrotan mientras que la extracción está dirigida a los árboles adultos. El 32% de las personas encuestadas declararon que uno de sus métodos de extracción es juntar leña del suelo del bosque y se encontró que esto ocurre principalmente cuando la especie extraída es *Byrsonima crassifolia* (indicaron que es una especie que produce mucha madera muerta). Los resultados por localidad indican que tanto en Nuevo Aguacate (B) como en Agua Tordillo (A) el método de extracción más utilizado es el corte de tronco verde con un 50% y 62% de menciones respectivamente; sin embargo, en estas mismas localidades el segundo método de extracción más utilizado es juntar leña del suelo en el 39% de los casos para Nuevo Aguacate (B) y en el 29% de los casos para Agua Tordillo (A). En Lomatepec (M), el método más utilizado es el corte de tronco seco, seguido por el corte de tronco verde y junta del suelo, ambos mencionados en el 22% de los casos (Figura 7).

Figura 7. Métodos de extracción de leña identificados en tres localidades de la Montaña de Guerrero



Respecto al medio de transporte de la leña, se identificaron cuatro formas básicas; se identificó que el 41% de las personas encuestadas transportan la leña a pie, cargando en la espalda una cantidad equivalente a 40 leños (44.8 kg en promedio), otro segmento de 41% lo hace en una bestia, trasladando una carga de cada lado del animal (1 carga = 56 kg en promedio). Aunque con mucha menor frecuencia (16%), también se registró el transporte de leña en vehículos (camioneta tipo pick up de 1.5 ton) principalmente en la localidad de Lomatepec (M).

También se analizó la *periodicidad* y la *frecuencia del abastecimiento* y se encontró que están directamente relacionadas con el método de extracción. Las personas que realizan una extracción de tronco completo suelen hacerlo de manera más espaciada debido al volumen de madera extraído, por el contrario, las personas que juntan del suelo, trasladan el recurso en pequeñas cantidades regularmente a pie, lo cual incrementa la frecuencia y modifica la periodicidad. Cuando se extrae el árbol completo, este dura 2.5 meses en promedio (0.4 árboles por mes), dependiendo del volumen del tronco, del número de habitantes por vivienda y sus hábitos alimenticios. En cambio cuando se junta leña del suelo, una carga puede durar en promedio 2.8 días (2.5 cargas por semana).

El costo de la leña en el sitio de estudio es un concepto poco claro; como se mencionó previamente, no se asigna un valor propio a la madera que es extraída. Por tanto, el costo fue determinado de manera general (válido para las tres localidades de estudio) con base en el tiempo promedio empleado durante un mes en las labores de extracción (de acuerdo al método de extracción e incluyendo traslado al sitio y el regreso a la vivienda) y con base en el costo unitario de la hora laboral en la región; tanto para el autoabasto como para la compra.

Comparando por tipo de abastecimiento, el autoabasto resultó menos productivo que la compra; en la compra, toda la madera del árbol es trasladada en un único viaje (en vehículo; Tabla 4). Comparando por método de extracción, las personas que juntan leña del suelo son las que emplean una mayor cantidad de tiempo, es decir, lo hacen con mayor frecuencia e invierten más tiempo en traslados; aunque algo no muy diferente sucede con las personas que se autoabastecen cortando el tronco completo, ya que regularmente dejan el tronco en el sitio de corte y regresan por una cantidad moderada de madera cada vez que es necesario (Tabla 4).

Tabla 4. Cálculo del costo de la leña con base en el tiempo empleado en la recolección y el costo unitario de la hora laboral en la Montaña de Guerrero

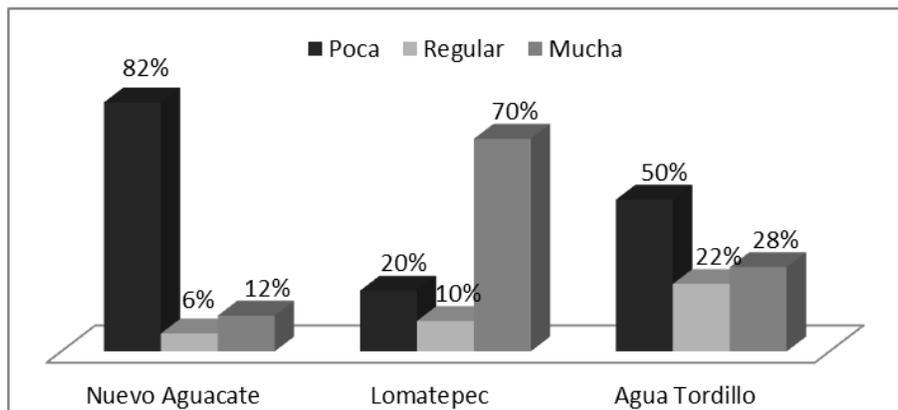
Tipo de abastecimiento	Método de extracción	Tiempo unitario de la actividad (horas)	Número de veces que realiza la extracción en un mes	Horas empleadas en un mes	Costo unitario hora laboral	Costo monetario mensual
<b>Autoabasto</b>	Corte tronco verde o seco	2.5	6	15		\$75.00
<b>Autoabasto</b>	Junta del suelo	2.5	10	25	\$5.00	\$125.00
<b>Compra</b>	Corte tronco verde o seco	8	1.2	9.6		\$48.00

Cabe mencionar que para calcular el costo de la compra de leña, no se consideró la cuota por la renta del vehículo (aproximadamente 400 pesos), pues se buscó comparar solo en términos del tiempo empleado.

- **Oferta**

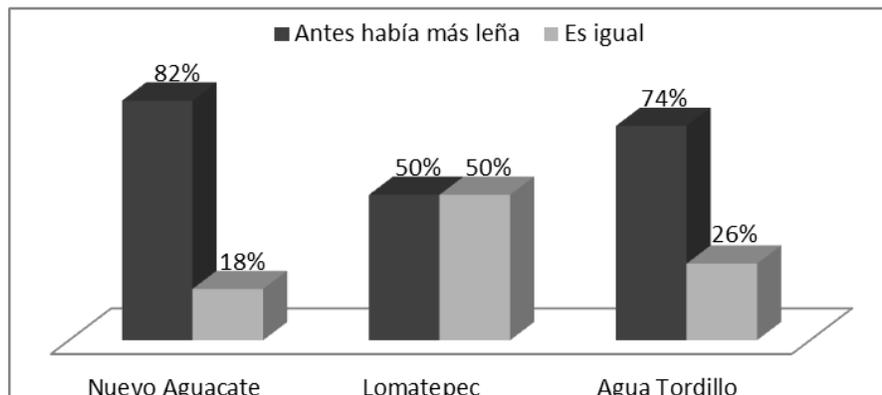
La *disponibilidad* es la principal variable relacionada con la oferta. Respecto a la *disponibilidad* actual de leña, se presentaron diferencias sustanciales entre localidades, destacando la localidad de Nuevo Aguacate (B) donde fue señalada una baja existencia del recurso; por el contrario, en la localidad de Lomatepec (M) se señaló una alta disponibilidad del mismo (Figura 8).

Figura 8. Percepción de la disponibilidad actual de leña en tres localidades de la Montaña de Guerrero



Así mismo, la percepción de la disponibilidad de leña a través del tiempo indica en términos generales un agotamiento crónico del mismo, aunque nuevamente en la localidad de Lomatepec (M) se presentó una percepción más favorable (Figura 9).

Figura 9. Percepción de la disponibilidad de leña a través del tiempo en tres localidades de la Montaña de Guerrero



- **Uso y preferencia de especies**

**Especies utilizadas**

En las tres localidades estudiadas, se registraron un total de quince especies arbóreas utilizadas como combustible; de las cuales catorce son nativas y solo una es introducida (*Mangifera indica*). Estas especies se distribuyen en seis familias y seis géneros diferentes, siendo la familia Fagaceae y el género *Quercus* los predominantes (Tabla 5).

**Tabla 5. Especies arbóreas utilizadas para leña en localidades de la Montaña de Guerrero**

Familia	Especie		Autor
Malpighiaceae	<i>Byrsonima</i>	<i>Crasifolia</i>	(L.) Kunth
Clethraceae	<i>Clethra</i>	<i>Lanata</i>	
Leguminosae	<i>Lysiloma</i>	<i>Acapulcense</i>	(Kunth) Benth.
Anacardiaceae	<i>Mangifera</i>	<i>Indica</i>	L.
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>sp.</i>	
Pinaceae	<i>Pinus</i>	<i>Maximinoi</i>	H.E. Moore
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Magnoliifolia</i>	Née
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Glaucescens</i>	Bonpl.
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Elliptica</i>	Née
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Conspersa</i>	Benth.
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Obtusata</i>	Falta
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Martinezii</i>	C.H. Mull.
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Scytophylla</i>	Liebm.
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Castanea</i>	Née
Fagaceae	<i>Quercus</i>	<i>Candicans</i>	Née

Los resultados indican que existe cierta variabilidad en las especies utilizadas en los tres rangos altitudinales; la localidad de Agua Tordillo (A) fue la que presentó mayor número de especies utilizadas (11); Nuevo Aguacate (B) y Lomatepec (M) reportaron 9 y 8 especies respectivamente.

Así mismo, existen especies que son utilizadas en los tres rangos altitudinales como *Quercus magnoliifolia*, *Quercus elliptica* y *Byrsonima crasifolia*. Además, se encontraron seis especies que tienen su nicho de utilización en una sola localidad; para Nuevo Aguacate (B) es *Mangifera indica* y para Agua Tordillo (A) *Quercus candicans*, *Quercus castanea*, *Quercus scytophylla*, *Pinus maximinoi* y *Clethra lanata*. Por último sólo una especie, *Lysiloma acapulcense*, fue encontrada en rangos altitudinales no continuos, es decir, es utilizada en la localidad baja y alta, pero no en la localidad media.

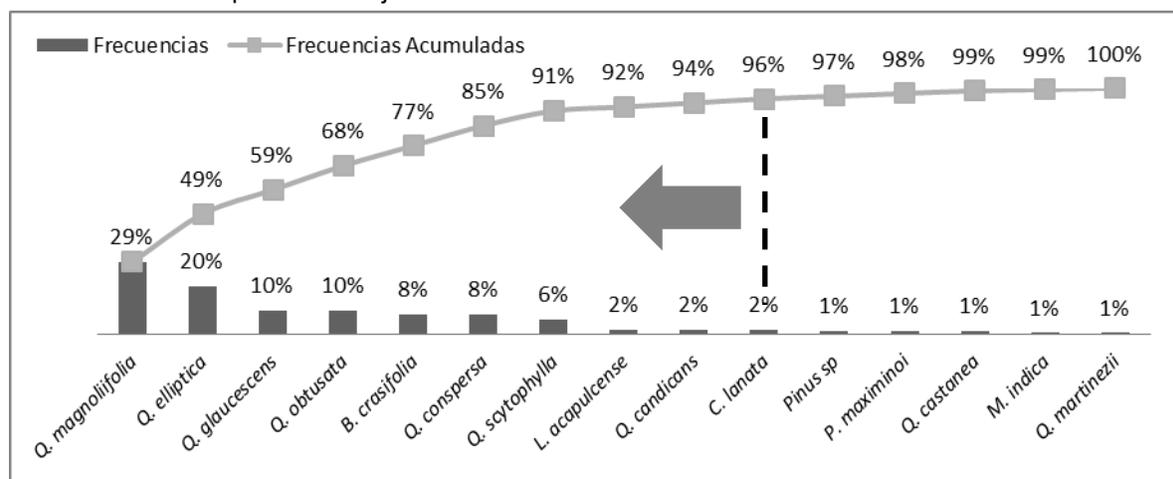
Por otro lado, si dejamos de lado el espectro completo de especies y nos enfocamos en las cinco especies más utilizadas por los habitantes en cada localidad, las diferencias entre localidades disminuyen. Destaca la especie *Quercus magnoliifolia* por ocupar el primer lugar de utilización en los tres rangos altitudinales con una saturación de más del 24% en cada localidad. Así mismo, *Quercus elliptica* también ocupa un lugar muy importante en las tres localidades de estudio (Tabla 6).

**Tabla 6. Especies arbóreas más utilizadas para leña en tres localidades de la Montaña de Guerrero**

Nuevo Aguacate (B)		Lomatepec (M)		Agua Tordillo (A)	
Especie	Porcentaje de utilización	Especie	Porcentaje de utilización	Especie	Porcentaje de utilización
<i>Q. magnoliifolia</i>	34%	<i>Q. magnoliifolia</i>	30%	<i>Q. magnoliifolia</i>	24%
<i>Q. glaucescens</i>	19%	<i>Q. elliptica</i>	18%	<i>Q. elliptica</i>	24%
<i>B. crasifolia</i>	17%	<i>Q. conspersa</i>	17%	<i>Q. obtusata</i>	16%
<i>Q. elliptica</i>	13%	<i>Q. glaucescens</i>	14%	<i>Q. scytophylla</i>	15%
<i>Q. conspersa</i>	9%	<i>B. crasifolia</i>	9%	<i>Q. candicans</i>	4%

Tomando en cuenta los resultados generales (para los tres rangos altitudinales) se puede observar que las 10 especies más utilizadas forman un conjunto representativo de la extracción de leña en el sitio de estudio, ya que las cinco especies más utilizadas en cada localidad están contenidas dentro de este grupo de 10 especies generales. Así mismo, al seleccionar este conjunto de 10 especies y analizar sus porcentajes acumulados se obtiene una saturación del 96%. Es decir, esto indica que el 96% de las veces que se extrae leña del bosque nativo, alguna de estas 10 especies es seleccionada y sólo 4% de las veces se extrae alguna de las 5 especies restantes (Figura 10).

**Figura 10. Frecuencia de utilización y frecuencia de utilización acumulada para las quince especies manejadas en tres localidades de la Montaña de Guerrero**



## Especies preferidas

Además de indagar sobre las especies que regularmente son utilizadas, se registraron las especies que las personas preferirían por considerarlas más aptas para la utilización como combustible (Tabla 7); determinando de igual manera las características que las distinguían de las demás (Figura 11). Cabe hacer la aclaración que si una determinada especie resulta ser la más utilizada, no necesariamente implica que sea la preferida por los usuarios, ya que en el proceso de utilización intervienen otros aspectos como la disponibilidad del recurso o la facilidad para conseguirlo.

En cuanto a la preferencia de especies el resultado más importante de destacar es que para las tres localidades, las dos especies preferidas son *Quercus elliptica* y *Quercus magnoliifolia*, con valores de preferencia mayores al 40% en todos los casos (Tabla 7).

A pesar de que la localidad de Agua Tordillo (A) mostró un espectro amplio de especies utilizadas (Tabla 6), en cuanto a preferencias tuvo un patrón cerrado (sólo dos especies) (Tabla 7). Por el contrario, la localidad de Lomatepec (M) tuvo la menor cantidad de especies reportadas como utilizadas para leña (Tabla 6) y presentó el patrón más diverso en cuanto a especies preferidas (Tabla 7).

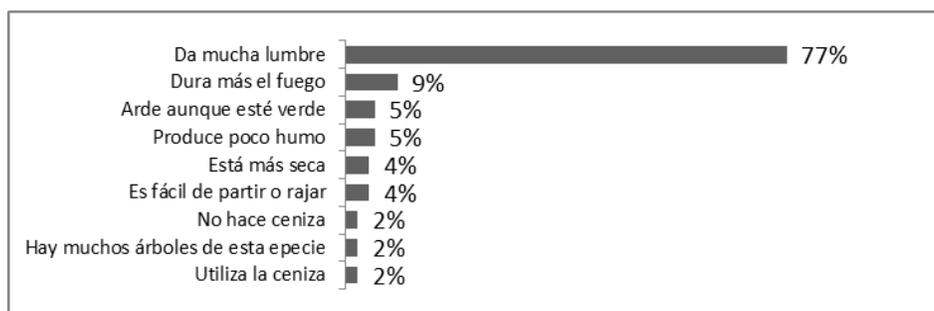
**Tabla 7. Especies arbóreas preferidas por los habitantes para su utilización como leña en tres localidades de la Montaña de Guerrero**

Nuevo Aguacate (B)		Lomatepec (M)		Agua Tordillo (A)	
Especie	Preferencia	Especie	Preferencia	Especie	Preferencia
<i>Q. elliptica</i>	59%	<i>Q. elliptica</i>	45%	<i>Q. elliptica</i>	75%
<i>Q. magnoliifolia</i>	41%	<i>Q. magnoliifolia</i>	40%	<i>Q. magnoliifolia</i>	40%
<i>Q. conspersa</i>	6%	<i>Q. conspersa</i>	20%		
		<i>B. crasifolia</i>	10%		
		<i>Q. glaucescens</i>	5%		

Con respecto a las razones por las cuáles se prefiere a estas especies, las frases “Da más lumbre” y “Dura más el fuego” fueron las respuestas más comunes y a pesar de parecer sinónimos, se hizo la distinción entre ellas ya que una se refiere a la intensidad y la otra a la duración, ambas características muy importantes en una combustión eficiente. Las seis principales razones para la preferencia de las especies están relacionadas con características intrínsecas de la madera; las primeras tres, con el poder calorífico y los gases de combustión, y las siguientes tres, con la densidad y la humedad de la madera (Figura 11).

De esta manera, puede existir una especie cuya madera tenga un poder calorífico muy alto pero la reacción exotérmica sea tan intensa que la duración de la combustión se vea reducida. Por último, se detectaron algunas causas de la preferencia de algunas especies que nada tienen que ver con la combustión per se, pero que algunas personas las consideraron importantes, tales como el uso de un subproducto de la combustión (ceniza) y la abundancia de la especie.

Figura 11. Razones por las cuáles las personas prefieren una especie sobre otra para su utilización como leña en localidades de la Montaña de Guerrero



En este orden de ideas, las razones por las que se prefiere una especie se pueden considerar como una característica positiva o atributo deseado en cualquier especie ocupada como leña, a excepción de la utilización de la ceniza por considerarse también como un uso adicional (Figura 12). De esta forma se identificaron las especies preferidas y sus características distintivas que las hacen tener una alta calidad como combustible de acuerdo a la percepción del usuario (Tabla 8). La especie *B. crasifolia* fue mencionada como una especie preferida pero no se pudo identificar alguna causa asociada.

Tabla 8. Percepción de la calidad como combustible a través de características que los usuarios consideran como deseables en algunas especies utilizadas como leña en localidades de la Montaña de Guerrero

Característica	Especies			
	<i>Q. elliptica</i>	<i>Q. magnolifolia</i>	<i>Q. conspersa</i>	<i>Q. glaucescens</i>
Alta producción de calor (da mucha lumbre)	Sí	Sí	Sí	Sí
Gran duración del fuego	Sí			
Baja producción de humo	Sí	Sí		
Facilidad para arder (aunque esté verde)	Sí			
Facilidad para rajar	Sí	Sí		
Baja humedad			Sí	
Baja producción de ceniza	Sí			
Gran abundancia de la especie		Sí		

## Otros usos para las especies

En general, un alto porcentaje de los habitantes de la región están dando otros usos a las especies ocupadas primordialmente como combustible. Las especies *Quercus magnoliifolia* y *Quercus elliptica* se distinguen por ser las especies más utilizadas para otros fines en los tres rangos altitudinales. *Quercus magnoliifolia* presenta valores arriba del 55% en las tres localidades, representando la especie a la cual la mayoría de las personas le está dando un uso alterno; esto quiere decir que más del 55% de los encuestados utiliza esta especie para fines adicionales a la combustión (Tabla 9).

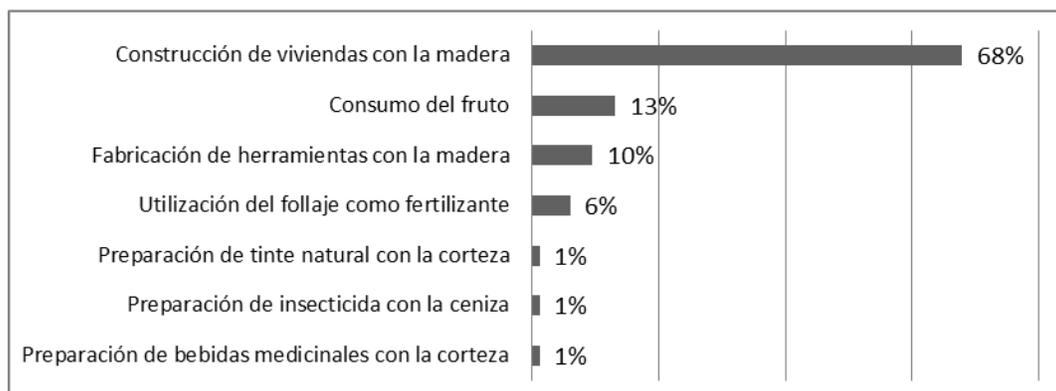
**Tabla 9. Porcentaje de habitantes que dan otros usos a algunas de las especies arbóreas utilizadas como leña en tres localidades de la Montaña de Guerrero**

Nuevo Aguacate (B)		Lomatepec (M)		Agua Tordillo (A)	
<i>Q. magnoliifolia</i>	55%	<i>Q. magnoliifolia</i>	60%	<i>Q. elliptica</i>	75%
<i>B. crasifolia</i>	40%	<i>B. crasifolia</i>	25%	<i>Q. magnoliifolia</i>	65%
<i>Q. glaucescens</i>	30%	<i>Q. glaucescens</i>	20%	<i>Q. obtusata</i>	40%
<i>Q. elliptica</i>	20%	<i>Q. conspersa</i>	20%	<i>Q. scytophylla</i>	40%
<i>Q. conspersa</i>	20%	<i>Q. elliptica</i>	15%	<i>P. maximinoi</i>	20%
<i>M. indica</i>	5%	<i>Q. obtusata</i>	10%	<i>L. acapulcense</i>	5%

Aunado a esto, se detectó que independientemente de la especie, el principal uso adicional que los habitantes dan a los árboles es la fabricación de horcones (incluyendo su utilización como estructura de construcción más elaborada); también es el principal uso adicional que se le da a *Quercus magnoliifolia*. Por otra parte, en la localidad de Agua Tordillo (A) el valor que le dan a la especie *Quercus elliptica* es particularmente alto debido a su utilización para fabricación de horcones y herramientas.

Entre otros usos adicionales se menciona “Fruto comestible”, que a pesar de no ser un uso propiamente dicho, este aporta un valor agregado a la especie y en este caso particular se hace referencia exclusivamente a la especie *Byrsonima crasifolia*, a pesar de que en la práctica este fruto no es tan valorado por los habitantes locales (Figura 11). Por último, cabe destacar dos usos poco comunes mencionados en las encuestas, estos son “Ceniza como insecticida” y “Corteza como tinte natural”; ambos corresponden a la especie *Quercus elliptica* y fueron mencionados por una sola persona en la localidad de Agua Tordillo (A) (Figura 12).

Figura 12. Principales usos adicionales que las personas dan a las mismas especies arbóreas utilizadas como leña en localidades de la Montaña de Guerrero



○ **Salud de las personas**

Poco más de la mitad de los encuestados (54%) afirma sufrir molestias debido al humo generado por la combustión de la leña, indicando que las principales molestias son ardor de ojos y dificultad para respirar. Es importante señalar que esta información fue recabada exclusivamente con las personas que estaban involucradas en las labores de la cocina en cada vivienda (en todos los casos del sexo femenino).

Así mismo, como una forma de profundizar en la preocupación por la salud de las personas se pidió a los encuestados que señalaran alguna enfermedad asociada con el humo, más allá de las simples molestias temporales. El 18% de las encuestadas respondió que ella o algún miembro de su familia habían sufrido enfermedades respiratorias y los niños son considerados como más vulnerables.

○ **Percepción del impacto ambiental**

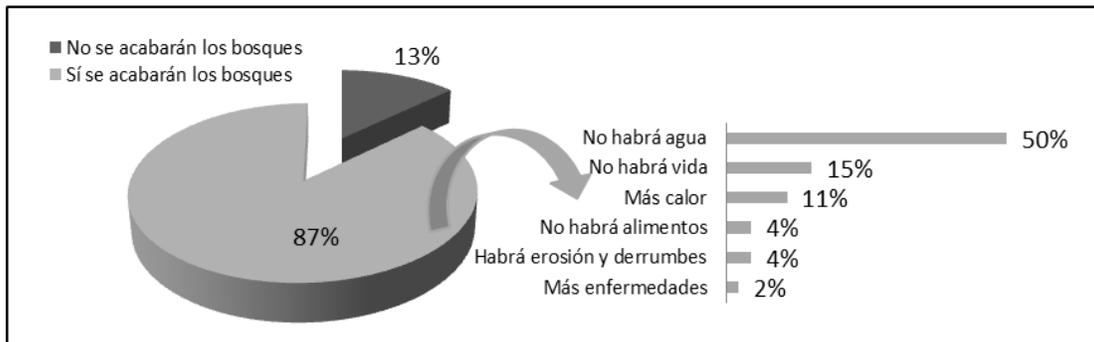
Respecto al impacto de la extracción de la leña en la dinámica de los bosques, los encuestados tienen opiniones equilibradas, siendo ligeramente superior la proporción que piensa que no afecta al bosque con dicha actividad (57%). Los principales aspectos que se señalan como importantes para mantener el equilibrio de los ecosistemas locales son la extracción planificada (llevada a cabo en diferentes sitios), que exista una regeneración natural suficiente, que las cantidades extraídas sean bajas y que sólo se realice la extracción de individuos adultos y no juveniles.

Así mismo, se observó una relación directa entre el método de extracción y la conciencia de afectación al bosque, ya que el 100% de las personas que juntan la leña del suelo tienen claro que su actividad no afecta al bosque y esto constituye un aliciente para continuar haciéndolo de la misma manera.

En términos generales los resultados indican que la población es consciente de las implicaciones que puede provocar un mal manejo de los bosques, sin embargo se pudieron identificar visiones individualistas, ya que inclusive los que reconocen que la extracción de leña puede afectar al bosque, difícilmente aceptaron su propia contribución en este proceso.

Por último, se planteó la posibilidad de que los bosques se agotaran. El 13% de los encuestados consideran esa posibilidad como muy remota dadas las condiciones de oferta y demanda actuales. El restante 87% indicó que sí ve el agotamiento de los bosques como una posibilidad real y que esto puede tener consecuencias nocivas para el ser humano (Figura 13). Las principales consecuencias señaladas son el agotamiento del agua y pérdida de la vida (biodiversidad, incluyendo al ser humano) (Figura 13).

Figura 13. Percepción de la afectación a los bosques locales debido a la extracción de leña y las principales consecuencias asociadas en localidades de la Montaña de Guerrero



## 5.2 Selección de las especies

Para la realización de los análisis posteriores, se seleccionaron 10 especies (de las quince especies utilizadas). Se eligió a las 10 especies más utilizadas para leña en todo el sitio de estudio, es decir, independientemente del rango altitudinal. Entre los argumentos para esta decisión destacan, por un lado, que las cinco especies más utilizadas para leña en cada localidad formaron un sub conjunto de este grupo, garantizando así su representatividad para todo el sitio de estudio. Por otro lado, todas las especies mencionadas como preferidas para leña en cada localidad estuvieron contenidas en este grupo. Además, las cinco especies con el mayor número de usos adicionales en cada localidad también quedaron representadas (a excepción de *Pinus maximinoi*).

De esta forma, las especies seleccionadas fueron *Byrsonima crasifolia*, *Clethra lanata*, *Lysiloma acapulcense*, *Quercus candicans*, *Q. conspersa*, *Q. elliptica*, *Q. glaucescens*, *Q. magnoliifolia*, *Q. obtusata* y *Q. scytophylla*.

## 5.3 Consumo de leña

### 5.3.1 Consumo de leña según el método Día Promedio

El Consumo diario per cápita (CDpc) general (incluyendo las tres localidades) resultó de  $2.06 \pm 1.19$  kg, es decir, el rango estimado de consumo va de 0.87 a 3.25 kg. Así mismo, el CDpc por localidad presentó cierta variabilidad. Se encontró el consumo menor en Lomatepec (M) con 1.7 kg y el consumo mayor en Nuevo Aguacate (B) con 2.37 kg; para Agua Tordillo (A) el consumo se estimó en 2.16 kg (Tabla 10). Sin embargo no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $F= 1.526$ ,  $GL= 53$ ,  $P>0.05$ ).

**Tabla 10. Cantidad de leña consumida expresada como Consumo Diario per cápita (CDpc) determinada mediante el Método "Día promedio" y la proporción de estufas ahorradoras consideradas en el cálculo en tres localidades de la Montaña de Guerrero**

Promedio de consumo diario per cápita (CDpc) en kilogramos	Porcentaje de estufas ahorradoras	Promedio CDpc considerando sólo estufas ahorradoras (kg)	Promedio CDpc considerando sólo estufas abiertas (kg)	
<b>General</b>	2.06 ( +/- 1.19)	61%	1.92 (n = 33)	2.19 (n = 21)
<b>Nuevo Aguacate (B)</b>	2.37	81%	2.27 (n =13)	2.82 (n =3)
<b>Lomatepec (M)</b>	1.70	84%	1.75 (n = 16)	1.47 (n = 3)
<b>Agua Tordillo (A)</b>	2.16	20%	1.44 (n = 4)	2.35 (n = 15)

Nota: \*Se denominó "estufa ahorradora" exclusivamente a la estufa cerrada, con plancha y chimenea o tipo Lorena. En la categoría "estufa abierta" se incluyeron todas las demás categorías de dispositivos de combustión encontrados.

Dado que en años recientes en la región de estudio se llevó a cabo un programa de implementación de estufas eficientes, se encontró que muchas de las viviendas visitadas usan este tipo de dispositivo (61%). Al realizar una separación de los datos de acuerdo al tipo de dispositivo de combustión (\*estufa abierta y estufa ahorradora) se encontró de manera general un promedio de consumo menor en las viviendas con estufa ahorradora; sin embargo no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $F= 1.30$ ,  $GL= 53$ ,  $P>0.05$ ). Al realizar este mismo análisis por localidad, tampoco se encontraron diferencias estadísticamente significativas: en Nuevo Aguacate (B) ( $F= 0.46$ ,  $GL= 15$ ,  $P>0.05$ ), en Lomatepec (M) ( $F= 0.29$ ,  $GL= 18$ ,  $P>0.05$ ) y en Agua Tordillo (A) ( $F= 1.36$ ,  $GL= 18$ ,  $P>0.05$ ).

### 5.3.2 Consumo de leña según el método Medición Directa

El consumo diario per cápita general resultó de  $1.70 \pm 0.58$  kg, es decir, el rango estimado de consumo va de 1.12 a 2.28 kg. Se encontró el menor consumo en la localidad de Agua Tordillo (A) con 1.66 kg, seguida muy de cerca por Lomatepec (M) donde se registró un consumo de 1.67 kg; para Nuevo Aguacate (B) el consumo resultó ligeramente mayor con 1.76 kg. Sin embargo estas diferencias no fueron estadísticamente significativas ( $F= 0.108$ ,  $GL= 14$ ,  $P>0.05$ ).

**Tabla 11. Cantidad de leña consumida expresada como Consumo Diario per cápita (CDpc) determinada mediante el Método "Medición Directa" y la proporción de estufas ahorradoras consideradas en el cálculo en tres localidades de la Montaña de Guerrero**

Promedio de consumo diario per cápita (CDpc) en kilogramos	Porcentaje de estufas ahorradoras	Promedio CDpc considerando sólo estufas ahorradoras (kg)	Promedio CDpc considerando sólo estufas abiertas (kg)	
General	1.70 ( +/- 0.58)	73%	1.69 (n = 11)	1.72 (n = 4)
Nuevo Aguacate (B)	1.76	80%	1.78 (n = 4)	-
Lomatepec (M)	1.67	80%	1.75 (n = 4)	-
Agua Tordillo (A)	1.66	60%	1.49 (n = 3)	1.93 (n=2)

Nota: \*Se denominó "estufa ahorradora" exclusivamente a la estufa cerrada, con plancha y chimenea o tipo Lorena. En la categoría "estufa abierta" se incluyeron todas las demás categorías de dispositivos de combustión encontrados.

Al realizar la separación de los datos de acuerdo al dispositivo de combustión, de manera general no se encontraron diferencias significativas en el consumo de leña entre las viviendas con estufas ahorradoras y las viviendas con estufas abiertas ( $F= 1.126$ ,  $GL= 14$ ,  $P>0.05$ ). Debido al tamaño de la muestra para cada dispositivo de combustión no se pudo llevar a cabo este mismo análisis por localidad.

### 5.3.3 Comparación entre métodos de medición de consumo de leña

Los resultados indican que de manera general (incluyendo las tres localidades de estudio) el promedio de CDpc de leña mediante el método Medición Directa es ligeramente menor y presenta una menor variabilidad que el obtenido mediante el método Día Promedio ( $1.70 \pm 0.58$  kg y  $2.06 \pm 1.19$  kg respectivamente). Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre métodos ( $F= 0.445$ ,  $GL= 68$ ,  $P>0.05$ ).

Se sabe que estos métodos pueden presentar diferencias en cuanto a su exactitud y precisión, tanto inherentes a la propia metodología como a otras variables externas que pueden incidir en los resultados. Entre los factores externos más importantes para este caso se encuentran el tipo de estufa y la especie arbórea utilizada. Para determinar si estos factores incidían en la variabilidad de los datos de consumo de leña, se realizó un análisis separando los datos mediante los criterios de exclusión “estufa ahorradora”, “especie más utilizada” (*Q. magnolifolia*) y ambos criterios de manera simultánea. Para el método Día promedio se encontró una media menor (comparada con la utilización de todos los datos) en el CDpc aplicando cualquiera de los criterios de exclusión, así como una menor variabilidad de los datos al considerar sólo aquellos en donde se registró el uso de *Q. magnolifolia*. En cambio para el método Medición Directa se encontraron tanto un valor medio de CDpc como una variabilidad menor utilizando sólo los datos de las viviendas con estufa ahorradora.

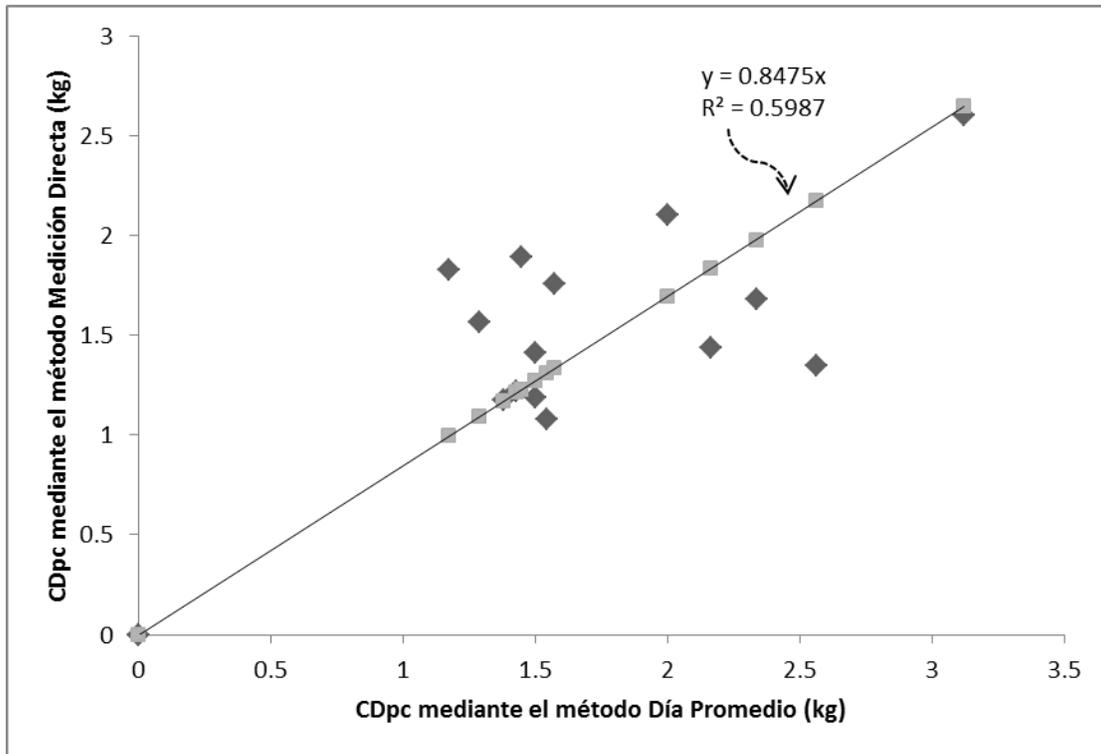
**Tabla 12. Variabilidad en los resultados de CDpc de leña en localidades de la Montaña de Guerrero tras la aplicación de criterios de exclusión**

Criterio de exclusión	Consumo Diario per cápita (Día promedio)			Consumo Diario per cápita (Medición Directa)		
	Media	D.E	C.V	Media	D.E	C.V
<b>Ninguno (Todos los datos)</b>	2.06	1.19	57.6%	1.70	0.58	34.1%
<b>Sólo estufa ahorradora</b>	1.92	0.99	51.5%	1.69	0.46	27.4%
<b>Sólo especie más utilizada (<i>Q. magnolifolia</i>)</b>	1.86	0.89	47.8%	1.81	0.68	37.3%
<b>Sólo estufa ahorradora y especie más utilizada</b>	1.76	1.05	59.4%	1.86	0.79	42.8%

Por otra parte, considerando que el método de Medición Directa (n menor) es más exacto, se pensó que este podía utilizarse como un factor de corrección o ajuste para el método Día promedio (n mayor).

De esta forma, se calculó la correlación entre los valores de CDpc obtenidos mediante ambos métodos y se encontró una correlación positiva altamente significativa por Pearson ( $\alpha < 0.01$ ) aunque moderadamente baja al aplicar un modelo de regresión lineal simple ajustado al origen (coeficiente de determinación  $R^2 = 0.4212$ ). Dada esta baja correlación entre métodos, se descartó la utilización del método de Medición Directa como factor de corrección (Figura 14).

Figura 14. Correlación entre métodos de medición del consumo de leña en localidades de la Montaña de Guerrero



### 5.3.4 Disponibilidad real de leña

Tomando en consideración las diez especies seleccionadas y únicamente aquellos individuos con diámetro a la altura del pecho (DAP, 1.30 m) mayor a 35 cm (los encuestados señalaron que realizan la extracción de individuos adultos con DAP promedio de 35 cm) se estimó que el I total de leña disponible (biomasa en troncos) en las tres microcuencas (13, 468.9 ha) es de **214,106 toneladas** para una población de 2,439 personas (población de las seis localidades asentadas dentro de las tres microcuencas; INEGI, 2010b). Considerando un consumo diario per cápita de leña de 2.06 kg, anualmente se extraerían del bosque alrededor de 1,834 toneladas, lo que, asumiendo una tala completa de todos los árboles equivaldría a 44.3 ha de bosque conservado.

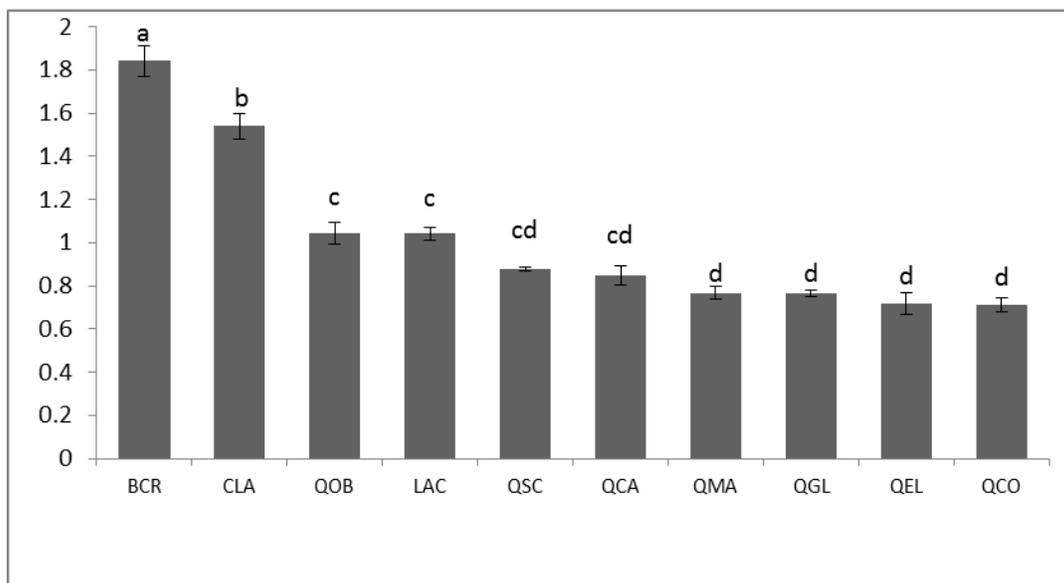
## 5.4 Análisis de la calidad como leña

### 5.4.1 Variables relacionadas con el valor energético

#### ○ Contenido de humedad

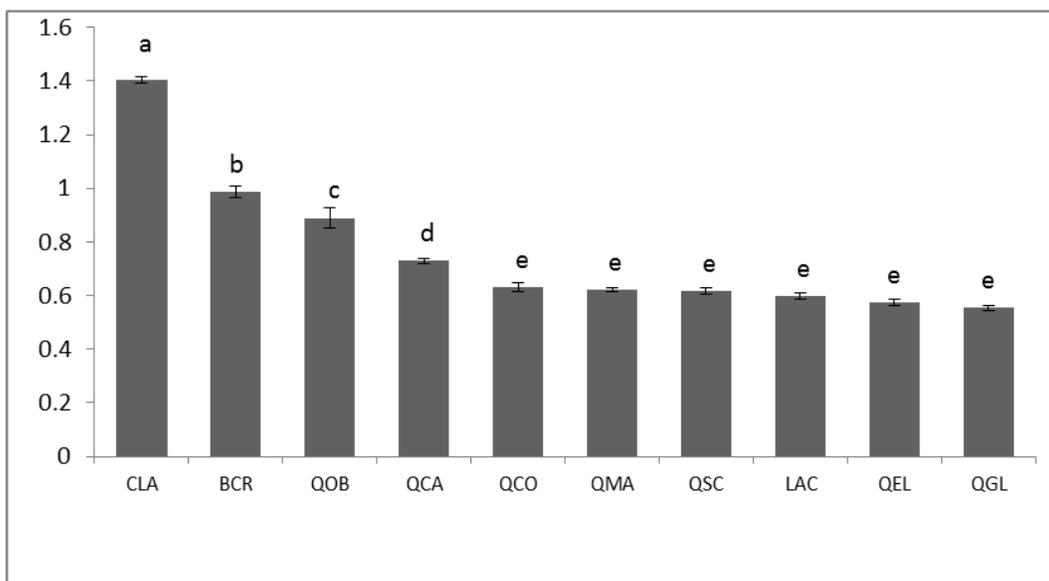
Los resultados del contenido de humedad en la corteza oscilaron entre 0.878 y 1.842 g.g<sup>-1</sup> y se encontraron diferencias altamente significativas entre algunas especies (F= 75.66, GL= 9, P<0.01). La especie que tuvo significativamente el mayor contenido de humedad fue *B. crasifolia* con 1.842 g.g<sup>-1</sup>, seguida por *C. lanata* con 1.539 g.g<sup>-1</sup>; ambas fueron significativamente diferentes a las demás. *Q. obtusata* con 1.045 g.g<sup>-1</sup> y *L. acapulcense* con 1.042 g.g<sup>-1</sup> fueron similares entre sí y significativamente menores que las anteriores; sin embargo resultaron algo similares a *Q. scytophylla* con 0.878 g.g<sup>-1</sup> y *Q. candicans* con 0.847 g.g<sup>-1</sup>.y tuvieron valores significativamente más altos que el grupo de especies que llevan la letra d. Este último grupo de especies presentó significativamente el menor contenido de humedad y estuvo formado por *Q. magnolifolia* con 0.768 g.g<sup>-1</sup>, *Q. glaucescens* 0.766 g.g<sup>-1</sup>, *Q. elliptica* con 0.716 g.g<sup>-1</sup> y *Q. conspersa* con 0.711 g.g<sup>-1</sup>. (Figura 16).

Figura 16. Contenido de humedad (g/g) en la corteza para las diferentes especies utilizadas como leña en localidades de la Montaña de Guerrero. (BCR = *B. crasifolia*, CLA = *C. lanata*, QOB = *Q. obtusata*, LAC = *L. acapulcensis*, QSC = *Q. scytophylla*, QCA = *Q. candicans*, QMA = *Q. magnolifolia*, QGL = *Q. glaucescens*, QEL = *Q. elliptica* y QCO = *Q. conspersa*). Las especies con letras distintas poseen valores significativamente diferentes (P< 0.05).



Los valores de contenido de humedad en la madera resultaron entre 0.574 y 1.405 g.g<sup>-1</sup> y se encontraron diferencias altamente significativas entre algunas especies (F= 172.02, GL= 9, P<0.01). La especie que tuvo significativamente el mayor contenido de humedad en la madera fue *C. lanata* con 1.405 g.g<sup>-1</sup> seguida por *B. crasifolia* con 0.986 g.g<sup>-1</sup>, que fue significativamente mayor que *Q. obtusata* con 0.890 g.g<sup>-1</sup>; esta última resultó a su vez significativamente mayor que *Q. candicans* con 0.730 g.g<sup>-1</sup>. Las especies *Q. conspersa* con 0.630 g.g<sup>-1</sup>, *Q. magnolifolia* con 0.622 g.g<sup>-1</sup>, *Q. scytophylla* con 0.618 g.g<sup>-1</sup>, *L. acapulcense* con 0.599 g.g<sup>-1</sup>, *Q. elliptica* con 0.574 g.g<sup>-1</sup> y *Q. glaucescens* con 0.553 g.g<sup>-1</sup> presentaron significativamente el menor contenido de humedad y fueron similares entre sí (Figura 17).

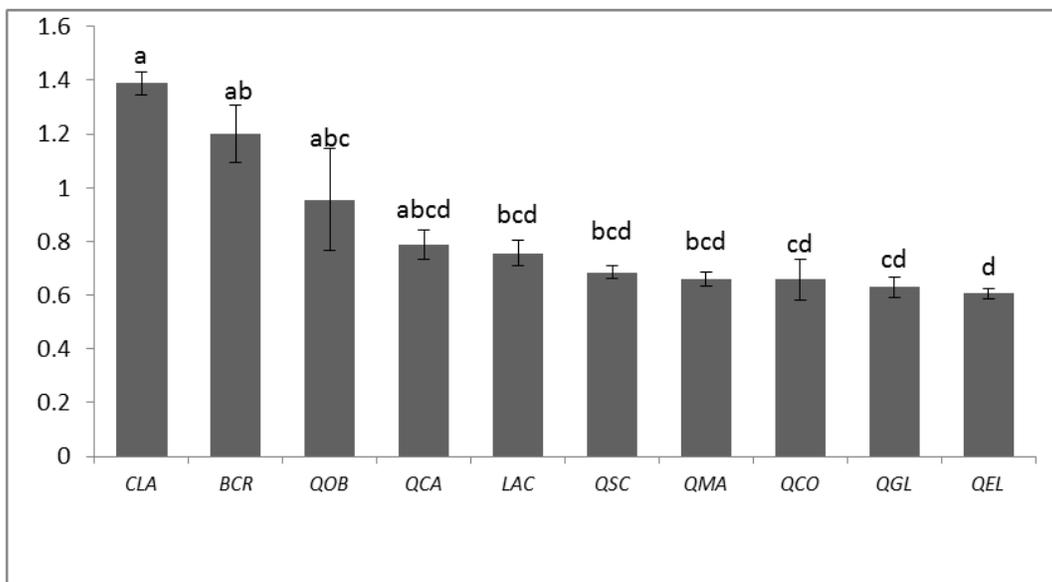
Figura 17. Contenido de humedad (g/g) en la madera para las diferentes especies utilizadas como leña en localidades de la Montaña de Guerrero. (CLA = *C. lanata*, BCR = *B. crasifolia*, QOB = *Q. obtusata*, QCA = *Q. candicans*, QCO = *Q. conspersa*, QMA = *Q. magnolifolia*, QSC = *Q. scytophylla*, LAC = *L. acapulcensis*, QEL = *Q. elliptica* y QGL = *Q. glaucescens*). Las especies con letras distintas poseen valores significativamente diferentes (P<0.05).



De manera general, se encontró que los valores de contenido de humedad en la madera fueron significativamente menores que los encontrados en la corteza, independientemente de la especie (F= 66.02, GL= 414, P<0.01).

Los valores integrados de humedad utilizando la proporción experimental de madera y corteza en las muestras, resultaron para cada especie mayores a los valores de la madera y menores a los valores de la corteza. Se presentaron diferencias altamente significativas entre algunas especies (Chi-cuadrado = 23.108, gl = 9, p = 0.006). La especie con el mayor valor integrado de contenido de humedad fue *C. lanata* con 1.388 g.g<sup>-1</sup> y la especie con el menor valor fue *Q. elliptica* con 0.606 g.g<sup>-1</sup>; se presentaron diferencias significativas entre ambas especies (Figura 18). Las demás especies no presentaron diferencias claramente significativas.

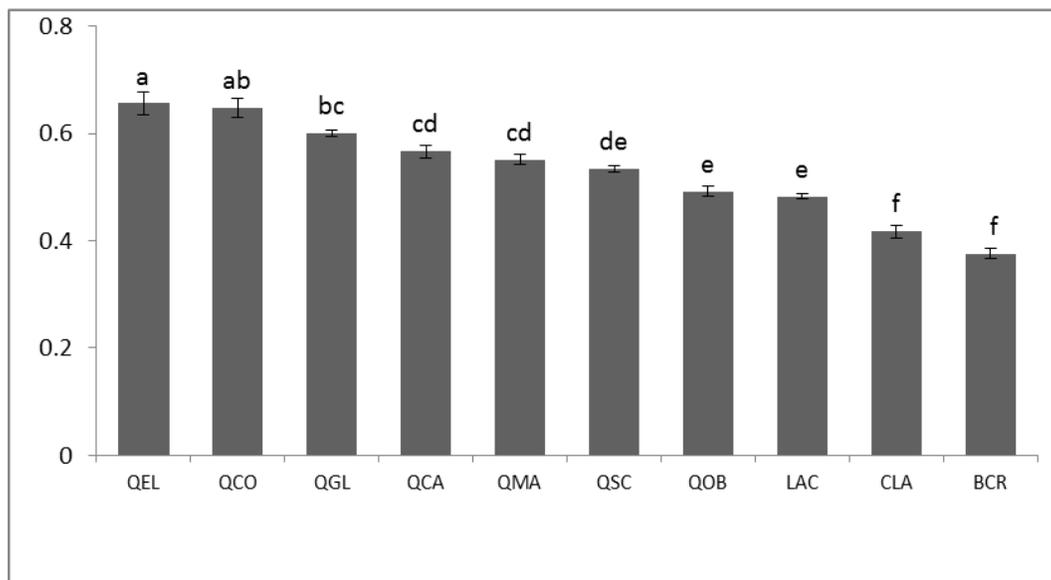
Figura 18. Valores integrados del Contenido de humedad (g/g) para las diferentes especies utilizadas como leña en localidades de la Montaña de Guerrero. (CLA = *C. lanata*, BCR = *B. crasifolia*, QOB = *Q. obtusata*, QCA = *Q. candicans*, LAC = *L. acapulcense*, QSC = *Q. scytophyla*, QMA = *Q. magnolifolia*, QCO = *Q. conspersa*, QGL = *Q. glaucescens* y QEL = *Q. elliptica*). Las especies con letras distintas poseen valores significativamente diferentes (P < 0.05).



### ○ Densidad básica

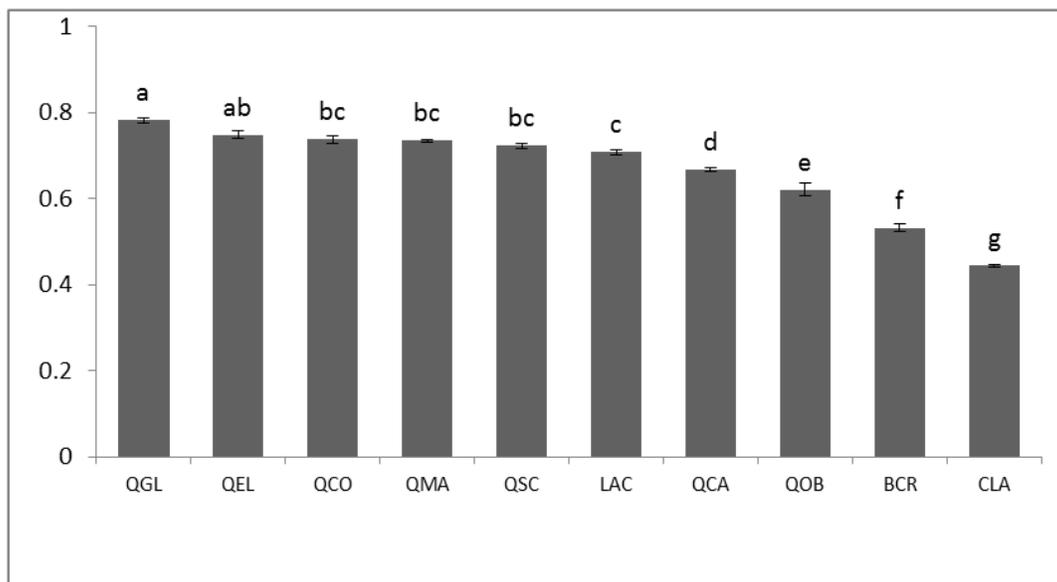
Los valores obtenidos para la densidad básica de la corteza se ubicaron entre 0.376 y 0.656 g.cm<sup>-3</sup> y se encontraron diferencias altamente significativas entre algunas especies (F= 55.58, GL= 9, P<0.01). La especie que presentó el valor significativamente más alto fue *Q. elliptica* con 0.656 g.cm<sup>-3</sup> aunque resultó similar a *Q. conspersa* con 0.647 g.cm<sup>-3</sup>. (Figura 19). Se encontraron dos grupos significativamente diferentes y con los valores más bajos de contenido de humedad, el primero estuvo formado por *Q. obtusata* con 0.492 g.cm<sup>-3</sup> y *L. acapulcense* con 0.483 g.cm<sup>-3</sup> y el segundo por *C. lanata* con 0.417 g.cm<sup>-3</sup> y *B. crasifolia* con 0.376 g.cm<sup>-3</sup>.

Figura 19. Densidad básica de la corteza (g/cm<sup>3</sup>) para las diferentes especies utilizadas como leña en localidades de la Montaña de Guerrero. (QEL = *Q. elliptica*, QCO = *Q. conspersa*, QGL = *Q. glaucescens*, QCA = *Q. candicans*, QMA = *Q. magnifolia*, QSC = *Q. scytophyla*, QOB = *Q. obtusata*, LAC = *L. acapulcensis*, CLA = *C. lanata* y BCR = *B. crasifolia*). Las especies con letras distintas poseen valores significativamente diferentes (P<0.05).



Con respecto a la densidad básica de la madera, los valores obtenidos se ubicaron entre 0.444 y 0.782 g.cm<sup>-3</sup> y se encontraron diferencias altamente significativas entre algunas especies (F= 148.30, GL= 9, P<0.01). El valor más alto correspondió a *Q. glaucescens* con 0.782 g.cm<sup>-3</sup> y fue significativamente diferente a otras especies. En seguida se encontró un grupo de especies formado por *Q. elliptica* con 0.749 g.cm<sup>-3</sup>, *Q. conspersa* con 0.738 g.cm<sup>-3</sup>, *Q. magnolifolia* con 0.734 g.cm<sup>-3</sup> y *Q. scytophyla* con 0.722 g.cm<sup>-3</sup> que presentó diferencias moderadamente significativas con otras especies. Las especies con la menor densidad en la madera fueron en orden decreciente *L. acapulcense* con 0.708 g.cm<sup>-3</sup>, *Q. candicans* con 0.667 g.cm<sup>-3</sup>, *Q. obtusata* con 0.621 g.cm<sup>-3</sup>, *B. crasifolia* con 0.532 g.cm<sup>-3</sup> y *C. lanata* con 0.444 g.cm<sup>-3</sup>; todas significativamente diferentes entre sí (Figura 20).

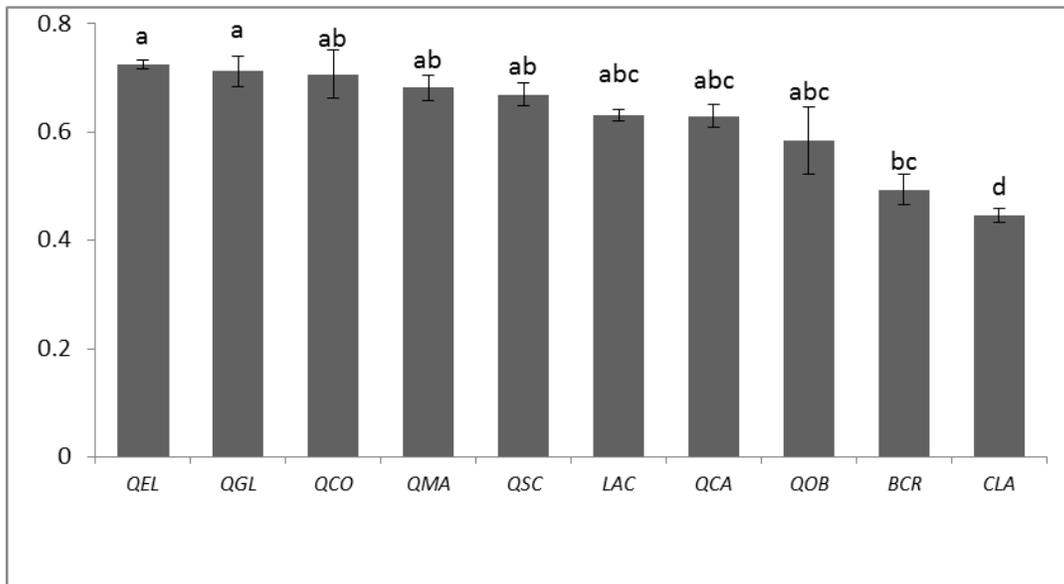
Figura 20. Densidad básica de la madera (g/cm<sup>3</sup>) para las diferentes especies utilizadas como leña en localidades de la Montaña de Guerrero. (QGL = *Q. glaucescens*, QEL = *Q. elliptica*, QCO = *Q. conspersa*, QMA = *Q. magnolifolia*, QSC = *Q. scytophyla*, LAC = *L. acapulcensis*, QCA = *Q. candicans*, QOB = *Q. obtusata*, BCR = *B. crasifolia* y CLA = *C. lanata*) Las especies con letras distintas poseen valores significativamente diferentes (P< 0.05).



En general, independientemente de la especie, el valor de densidad para la madera resultó significativamente mayor al de la corteza (F= 136.50, GL= 413, P<0.01).

Los valores integrados de densidad básica utilizando la proporción experimental de madera y corteza en las muestras, resultaron para cada especie menores a los valores de la madera y mayores a los valores de la corteza. Se presentaron diferencias altamente significativas entre algunas especies (Chi-cuadrado = 21.975, gl = 9, p = 0.009). Los valores integrados de densidad básica significativamente más altos correspondieron a *Q. elliptica* con 0.725 g.cm<sup>-3</sup> y *Q. glaucescens* con 0.713 g.cm<sup>-3</sup>, que fueron similares entre sí; este par de especies difirió significativamente sólo de las especies con los valores más bajos: *B. crasifolia* con 0.493 g.cm<sup>-3</sup> y *C. lanata* con 0.447 g.cm<sup>-3</sup>. Las especies con valores medios no presentaron diferencias claramente significativas; estas especies fueron *Q. conspersa* con 0.707 g.cm<sup>-3</sup>, *Q. magnolifolia* con 0.682 g.cm<sup>-3</sup>, *Q. scytophyla* con 0.670 g.cm<sup>-3</sup>, *L. acapulcense* con 0.631 g.cm<sup>-3</sup>, *Q. candicans* con 0.630 g.cm<sup>-3</sup> y *Q. obtusata* con 0.585 g.cm<sup>-3</sup> (Figura 21).

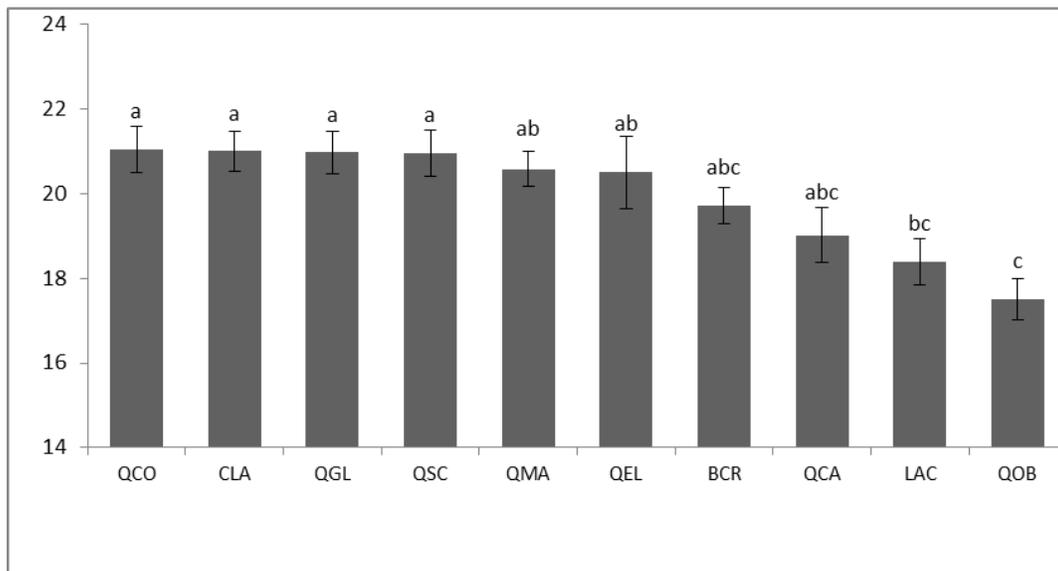
Figura 21. Valor integrado de Densidad básica (g/cm<sup>3</sup>) para las diferentes especies utilizadas como leña en localidades de la Montaña de Guerrero. (QEL = *Q. elliptica*, QGL = *Q. glaucescens*, QCO = *Q. conspersa*, QMA = *Q. magnolifolia*, QSC = *Q. scytophyla*, LAC = *L. acapulcense*, QCA = *Q. candicans*, QOB = *Q. obtusata*, BCR = *B. crasifolia* y CLA = *C. lanata*) Las especies con letras distintas poseen valores significativamente diferentes (P < 0.05).



○ **Poder calorífico**

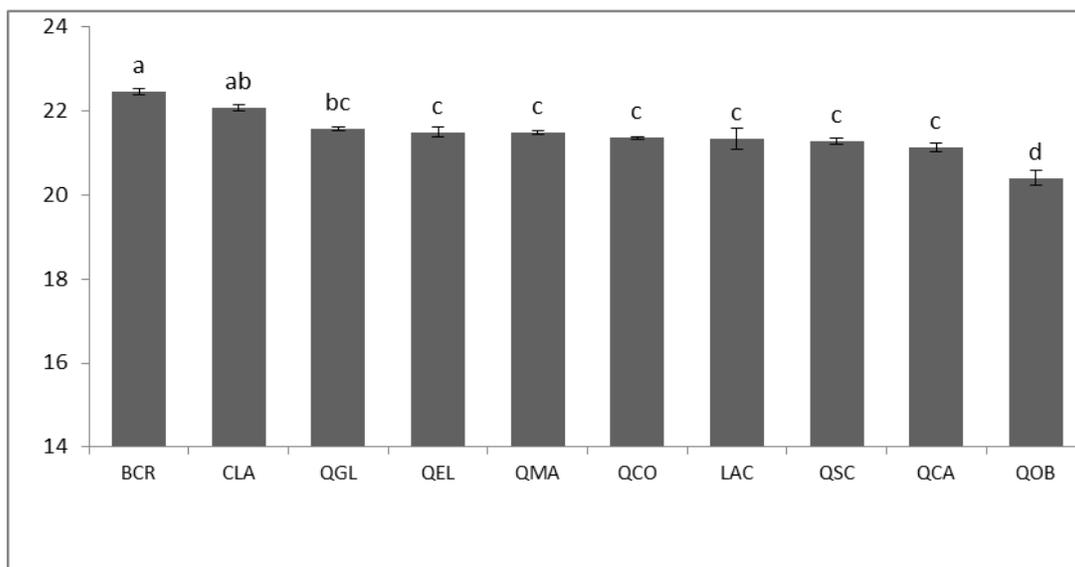
Los valores obtenidos para el poder calorífico en la corteza se ubicaron entre 17.51 y 21.04 kJ.g<sup>-1</sup> y se encontraron diferencias altamente significativas entre algunas especies (F= 5.58, GL= 9, P<0.01). Las especies que presentaron un valor significativamente más alto que las demás fueron *Q. conspersa* con 21.04 kJ.g<sup>-1</sup>, *C. lanata* con 21.01 kJ.g<sup>-1</sup>, *Q. glaucescens* con 20.98 kJ.g<sup>-1</sup> y *Q. scytophyla* con 20.97 kJ.g<sup>-1</sup>; y fueron similares entre sí. En orden decreciente siguieron las especies *Q. magnolifolia* con 20.59 kJ.g<sup>-1</sup>, *Q. elliptica* con 20.51 kJ.g<sup>-1</sup>, *B. crasifolia* con 19.72 kJ.g<sup>-1</sup>, *Q. candicans* con 19.02 kJ.g<sup>-1</sup> y *L. acapulcense* con 18.39 kJ.g<sup>-1</sup>; este grupo de especies presentó diferencias moderadamente significativas entre ellas. La especie que obtuvo el menor valor fue *Q. obtusata* con 17.51 kJ.g<sup>-1</sup> y fue significativamente diferente a las demás especies (Figura 22).

Figura 22. Valores de poder calorífico (KJ/g) en corteza para las especies utilizadas como leña en localidades de la Montaña de Guerrero. (QCO = *Q. conspersa*, CLA = *C. lanata*, QGL = *Q. glaucescens*, QSC = *Q. scytophyla*, QMA = *Q. magnolifolia*, QEL = *Q. elliptica*, BCR = *B. crasifolia*, QCA = *Q. candicans*, LAC = *L. acapulcensis* y QOB = *Q. obtusata*). Las especies con letras distintas poseen valores significativamente diferentes (P< 0.05).



Los valores obtenidos para el poder calorífico en la madera se ubicaron entre 20.41 y 22.47 kJ.g<sup>-1</sup> y se encontraron diferencias altamente significativas entre algunas especies (F= 19.65, GL= 9, P<0.01). La especie que presentó el valor significativamente más alto fue *B. crasifolia* con 22.47 kJ.g<sup>-1</sup> y fue diferente a las demás especies. En orden decreciente le siguieron *C. lanata* con 22.09 kJ.g<sup>-1</sup> y *Q. glaucescens* con 21.58 kJ.g<sup>-1</sup> y se encontraron diferencias moderadamente significativas entre ellas. El grupo de especies formado por *Q. elliptica* con 21.50 kJ.g<sup>-1</sup>, *Q. magnolifolia* con 21.48 kJ.g<sup>-1</sup>, *Q. conspersa* con 21.36 kJ.g<sup>-1</sup>, *L. acapulcense* con 21.34 kJ.g<sup>-1</sup>, *Q. scytophyla* con 21.28 kJ.g<sup>-1</sup> y *Q. candicans* con 21.14 kJ.g<sup>-1</sup>, no presentaron diferencias significativas entre sí. La especie que tuvo el valor significativamente más bajo de todas fue *Q. obtusata* con 20.41 kJ.g<sup>-1</sup> (Figura 23).

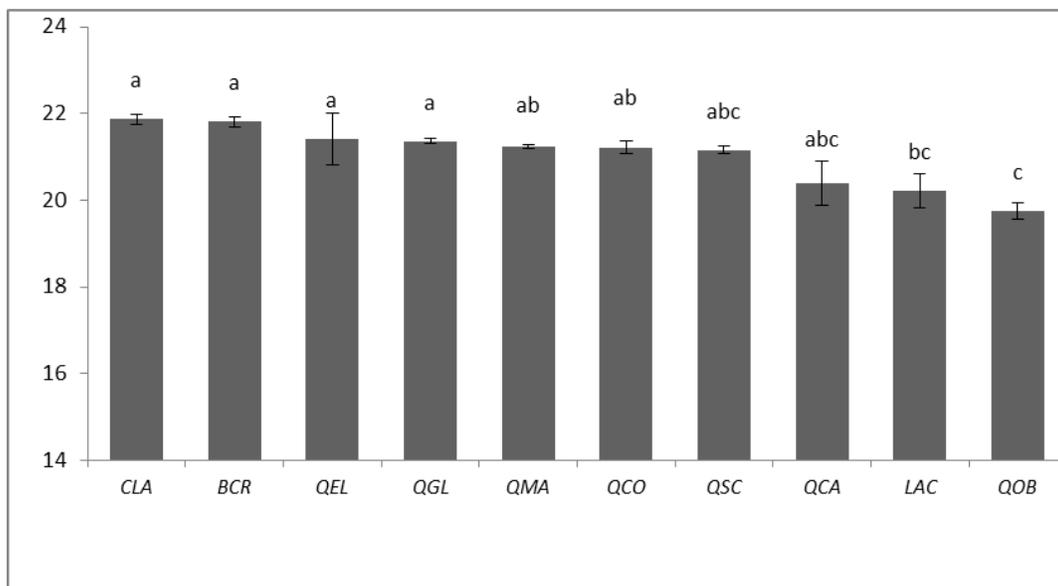
Figura 23. Valores de poder calorífico (KJ/g) en madera para las especies utilizadas como leña en localidades de la Montaña de Guerrero. (BCR = *B. crasifolia*, CLA = *C. lanata*, QGL = *Q. glaucescens*, QEL = *Q. elliptica*, QMA = *Q. magnolifolia*, QCO = *Q. conspersa*, LAC = *L. acapulcensis*, QSC = *Q. scytophyla*, QCA = *Q. candicans* y QOB = *Q. obtusata*). Las especies con letras distintas poseen valores significativamente diferentes (P< 0.05).



En general, independientemente de la especie, el valor de poder calorífico para la madera resultó significativamente mayor al de la corteza (F= 72.97, GL= 225, P<0.01).

Los valores integrados de poder calorífico utilizando la proporción experimental de madera y corteza en las muestras, resultaron para cada especie menores a los valores de la madera y mayores a los valores de la corteza. Se presentaron diferencias altamente significativas entre algunas especies (Chi-cuadrado = 22.067, gl = 9, p = 0.009). Los valores significativamente más altos y similares entre sí correspondieron a las especies *C. lanata* con 21.87 kJ.g<sup>-1</sup>, *B. crasifolia* con 21.81 kJ.g<sup>-1</sup>, *Q. elliptica* 21.42 kJ.g<sup>-1</sup> y *Q. glaucescens* con 21.36 kJ.g<sup>-1</sup>; sólo resultaron significativamente diferentes a las especies que presentaron el menor valor: *L. acapulcense* con 20.23 kJ.g<sup>-1</sup> y *Q. obtusata* con 19.74 kJ.g<sup>-1</sup>. Se distinguió un grupo de especies con valores medios que no presentaron diferencias claramente significativas; este grupo estuvo formado por las especies *Q. magnolifolia* con 21.24 kJ.g<sup>-1</sup>, *Q. conspersa* con 21.22 kJ.g<sup>-1</sup>, *Q. scytophyla* con 21.16 kJ.g<sup>-1</sup> y *Q. candicans* con 20.39 kJ.g<sup>-1</sup> (Figura 24).

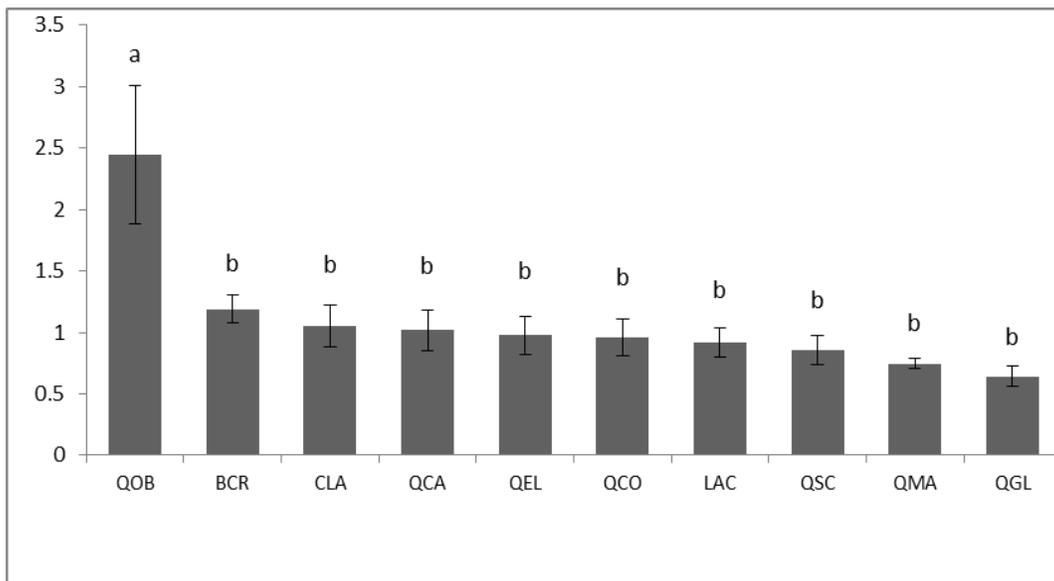
Figura 24. Valores integrados del poder calorífico (KJ/g) para las especies utilizadas como leña en localidades de la Montaña de Guerrero. (CLA = *C. lanata*, BCR = *B. crasifolia*, QEL = *Q. elliptica*, QGL = *Q. glaucescens*, QMA = *Q. magnolifolia*, QCO = *Q. conspersa*, QSC = *Q. scytophyla*, QCA = *Q. candicans*, LAC = *L. acapulcense* y QOB = *Q. obtusata*). Las especies con letras distintas poseen valores significativamente diferentes (P < 0.05).



- **Contenido de cenizas**

Los valores obtenidos para el contenido de cenizas en la madera se ubicaron entre 0.641 y 2.446 g.g<sup>-1</sup> y se encontraron diferencias altamente significativas entre algunas especies (F= 5.07, GL= 9, P<0.01). La especie que tuvo el valor más alto fue *Q. obtusata* con 2.446 g.g<sup>-1</sup> y fue significativamente diferente al resto de las especies, que fueron similares entre sí (Figura 25).

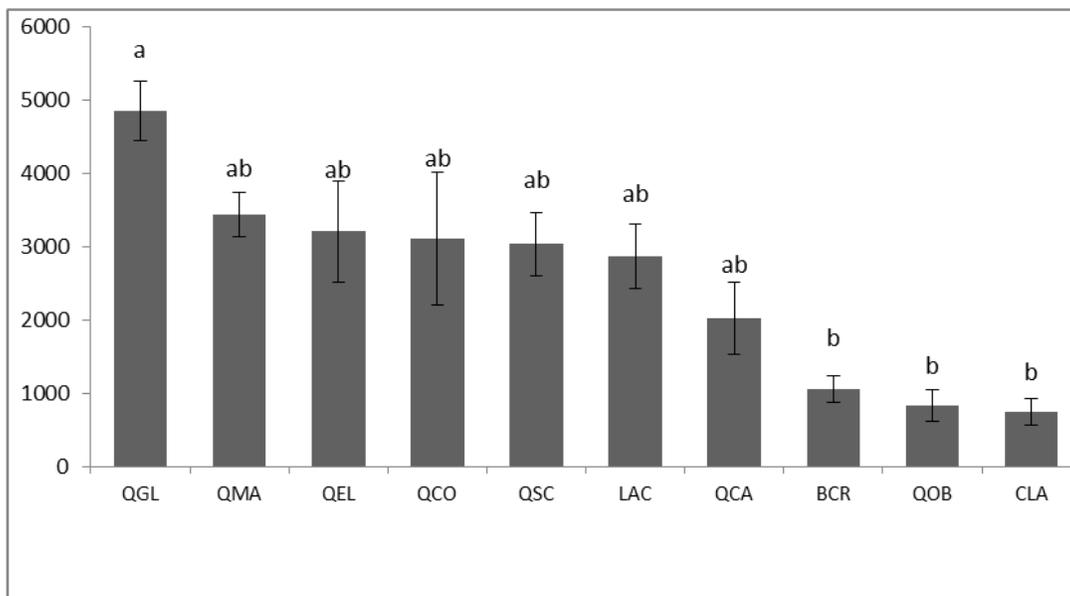
Figura 25. Contenido de cenizas de la madera como porcentaje de peso anhidro en especies utilizadas para leña en localidades de la Montaña de Guerrero. (QOB = *Q. obtusata*, BCR = *B. crasifolia*, CLA = *C. lanata*, QCA = *Q. candicans*, QEL = *Q. elliptica*, QCO = *Q. conspersa*, LAC = *L. acapulcensis*, QSC = *Q. scytophyla*, QMA = *Q. magnolifolia* y QGL = *Q. glaucescens*). Las especies con letras distintas poseen valores significativamente diferentes (P< 0.05).



## 5.4.2 Índice de Valor Energético

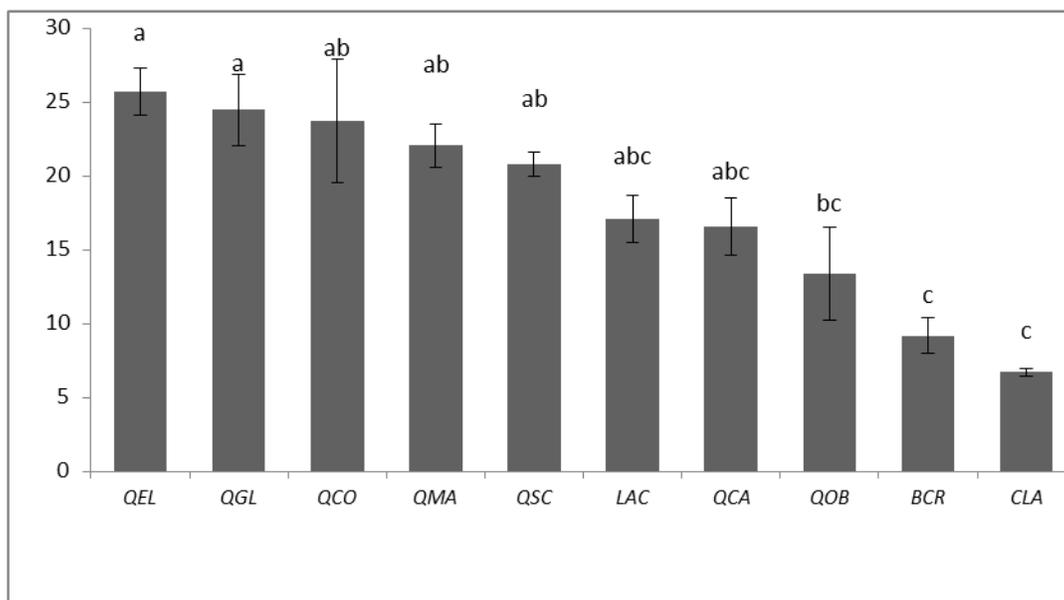
Los resultados para la versión completa del IVE (IVE<sup>1</sup>) estuvieron entre 739.2 y 4848.7 kJ.cm<sup>-3</sup> y se encontraron diferencias altamente significativas entre algunas especies (F = 7.792, GL = 29, P < 0.01). *Q. glaucescens* fue la especie con el valor significativamente más alto con 4849.7 kJ.cm<sup>-3</sup>; fue significativamente diferente al grupo de especies con los valores más bajos: *B. crasifolia* con 1057.7 kJ.cm<sup>-3</sup>, *Q. obtusata* con 827.2 kJ.cm<sup>-3</sup> y *C. lanata* con 739.2 kJ.cm<sup>-3</sup>. Se distinguió un grupo de especies con valores medios formado por *Q. magnolifolia* con 3438.2 kJ.cm<sup>-3</sup>, *Q. elliptica* con 3205.0 kJ.cm<sup>-3</sup>, *Q. conspersa* con 3107.8 kJ.cm<sup>-3</sup>, *Q. scytophyla* con 3031.9 kJ.cm<sup>-3</sup>, *L. acapulcense* con 2873.2 kJ.cm<sup>-3</sup> y *Q. candicans* con 2023.9 kJ.cm<sup>-3</sup>; no se encontraron diferencias claramente significativas entre este grupo y las demás especies (Figura 26).

Figura 26. Índice de Valor Energético de la madera (KJ/cm<sup>3</sup>) en especies utilizadas para leña en localidades de la Montaña de Guerrero. (QGL = *Q. glaucescens*, QMA = *Q. magnolifolia*, QEL = *Q. elliptica*, QCO = *Q. conspersa*, QSC = *Q. scytophyla*, LAC = *L. acapulcense*, QCA = *Q. candicans*, BCR = *B. crasifolia*, QOB = *Q. obtusata*, CLA = *C. lanata*). Las especies con letras distintas poseen valores significativamente diferentes (P < 0.01).



Los valores para la versión simplificada del IVE (IVE<sup>2</sup>) resultaron entre 6.72 y 25.73 kJ.g.cm<sup>-3</sup> y se encontraron diferencias altamente significativas entre algunas especies (F = 7.792, GL = 29, P < 0.01). Las especies con los valores más altos fueron *Q. elliptica* con 25.73 kJ.g.cm<sup>-3</sup> y *Q. glaucescens* con 24.46 kJ.g.cm<sup>-3</sup>; este par de especies presentó diferencias significativas sólo con las especies que obtuvieron los valores más bajos: *B. crasifolia* con 9.19 kJ.g.cm<sup>-3</sup> y *C. lanata* con 6.72 kJ.g.cm<sup>-3</sup>. Se distinguió un grupo de especies con valores medios y que no presentaron diferencias claramente significativas entre ellas ni con otros grupos de especies; este grupo estuvo formado por *Q. conspersa* con 23.72 kJ.g.cm<sup>-3</sup>, *Q. magnolifolia* con 22.06 kJ.g.cm<sup>-3</sup>, *Q. scytophylla* con 20.80 kJ.g.cm<sup>-3</sup>, *L. acapulcense* con 17.06 kJ.g.cm<sup>-3</sup>, *Q. candicans* con 16.59 kJ.g.cm<sup>-3</sup> y *Q. obtusata* con 13.40 kJ.g.cm<sup>-3</sup> (Figura 27).

Figura 27. Índice de Valor Energético de la madera (KJ\*g/cm<sup>3</sup>) en especies utilizadas para leña en localidades de la Montaña de Guerrero. (QEL = *Q. elliptica*, QGL = *Q. glaucescens*, QCO = *Q. conspersa*, QMA = *Q. magnolifolia*, QSC = *Q. scytophylla*, LAC = *L. acapulcense*, QCA = *Q. candicans*, QOB = *Q. obtusata*, BCR = *B. crasifolia* y CLA = *C. lanata*). Las especies con letras distintas poseen valores significativamente diferentes (P< 0.05).



Considerando únicamente los valores integrados de densidad básica, poder calorífico y contenido de humedad.

## 5.5 Aspectos botánicos y ecofisiológicos de las especies

Las especies estudiadas pertenecen a los géneros *Quercus*, *Clethra*, *Byrsonima* y *Lysiloma*. Los géneros *Quercus* y *Clethra* están asociados a bosques de climas subtropicales a templados (González-Villarreal, 1986; Williams-Linera, 1996); mientras que *Byrsonima* y *Lysiloma* regularmente están asociados a zonas de transición o climas cálidos y particularmente a bosques tropicales estacionalmente secos (Cervantes et al., 2001; Langlois, 2004; Alanís-Rodríguez et al., 2010).

- Género *Quercus*

El género *Quercus* es el más diverso de la familia Fagaceae y uno de los mayores centros de diversidad de este género en el mundo se encuentra en las regiones montañosas hacia el centro y sur de México (Valencia-Ávalos, 1995; Valencia, 2004). En términos generales este género presenta árboles o arbustos monoicos de 15 a 40 m; hojas persistentes o deciduas, pecioladas, simples, de margen entero, crenado o dentado con o sin mucrones, espinas o aristas; con inflorescencia masculina formada por un amento de flores apétalas pequeñas arregladas en amentos péndulos alargados, mientras que la inflorescencia femenina es un amento reducido con raquis leñoso y duro; su fruto es una nuez contenida en una copa, unilocular con una semilla proveniente de un óvulo, los restantes son abortivos adheridos a la envoltura de la semilla (Valencia-Ávalos, 1995). La época de floración para estas especies se presenta de enero a mayo teniendo su máximo en el mes de marzo; la fructificación se presenta principalmente de junio a noviembre teniendo su máximo en julio (Valencia-Ávalos, 1995).

Por otra parte, los encinos (nombre común del género) se caracterizan por tener raíces profundas, hojas esclerófilas con una conductancia estomática y una transpiración cuticular bajas; esto les permite un comportamiento hidroestable (Valladares et al., 2004).

Presentan una baja tasa de crecimiento, razón por la cuál son de larga vida; además ésta se da en forma de pulsos de crecimiento relativamente rápidos que tienen una marcada estacionalidad (Vázquez-Yanes et al., 1999; Rzedowski, 2008). Se han reportado para algunas especies de este género crecimientos diamétricos entre 0.12 y 0.21 cm por año (Mayor et al., 1994; Williams-Linera, 1996; León & Giraldo, 2000).

Así mismo, presentan un reclutamiento densodependiente y una mortalidad alta en estadios tempranos de vida, por lo que su regeneración natural es baja (Zavala-Chávez, 2001; Olvera-Vargas et al., 2006) ya que pueden requerir condiciones muy específicas para una regeneración exitosa (Bonfil-Sanders, 1998). Tienen una gran importancia en el reciclaje de nutrientes ya que la mayoría de las especies de este género son caducifolias y la abscisión de sus hojas aporta gran cantidad de biomasa para la descomposición, por lo que se les considera importantes formadores de suelo (Vázquez-Yanes et al., 1999); además son capaces de adaptarse a diversas condiciones del medio como el relieve, la altitud, la pendiente, la exposición, el régimen climático y el tipo de suelo (Espejel-Rodríguez et al., 1999).

Los individuos de *Q. candicans* son árboles que presentan alturas entre 8 y 25 m y diámetros desde 0.2 hasta 1.2 m; su corteza es café con grietas irregulares; presentan hojas de forma elíptica-lanceolada, elíptica-oblancoada, obovada u ovada de 9 a 26 cm de largo por 3.5 a 14 cm de ancho, aristadas y bifaciadas con el haz verde oscuro, lustroso y glabro (excepto la vena media) y el envés cubierto totalmente de una pubescencia pálida aterciopelada; su fruto es bianual, solitario o en pares, la bellota es ovoide de 20 a 24 mm de largo por 19 mm de diámetro; florece en marzo y presenta frutos maduros en julio y agosto; se les puede encontrar formando parte de bosques mesófilos de montaña y bosques de pino-encino; se desarrollan en altitudes de 1200 a 2700 m en suelos profundos con abundante hojarasca o sobre suelos pedregosos en cañadas o a orillas de arroyos; (Valencia-Ávalos, 1995; Arizaga et al., 2009). En lengua local de la región de estudio (tlapaneco) recibe el nombre de *ixi ixtuctí*.

*Q. conspersa* presenta individuos entre 3 y 30 m de altura con troncos que van de 0.1 hasta 1.0 m de diámetro; poseen una corteza oscura, cuadriculada y áspera; sus hojas son de forma elíptica a ovada y obovada u oblancoada de 5 a 33 cm de largo por 2 a 16 cm de ancho; coriáceas con el margen ligeramente dentado; haz verde olivo, liso y brillante y envés amarillento ocasionalmente glabro o con presencia de pelos glandulares vermiformes color amarillo-ámbar; su fruto es bianual, solitario o en grupos de tres, la bellota es ovoide o redonda y de 10 a 14 mm de largo por 9 a 11 mm de diámetro con cúpula enrollada en el margen; florecen en abril y mayo y presentan frutos maduros en julio y agosto; están asociados a bosques de pino-encino aunque también se encuentran en bosques tropicales subcaducifolios; se desarrollan en altitudes que van desde 800

hasta 2600 m y en laderas y barrancas principalmente templadas y semihúmedas con suelos rojos derivados de calizas, pedregosos o arcillosos (Valencia-Ávalos, 1995; Arizaga et al., 2009). En la región de estudio es conocido como encino gris o *ixi xtein* en lengua tlapaneca.

Los individuos de *Q. elliptica* van de 2 a 25 m de altura y poseen troncos entre 0.1 y 0.6 m de diámetro; su corteza es café oscura a casi negra y áspera; su hoja es de forma obovada, elíptico-acuminada o elíptico-lanceolada de 5 a 15 cm de largo por 2 a 6.7 cm de ancho; haz verde, liso y brillante, envés verde claro casi glabro; el fruto es bianual, solitario o en pares, la bellota es ovoide de 16 a 22 mm de largo por 11 a 15 mm de diámetro; florecen de febrero a mayo y presenta frutos maduros de junio a agosto (Valencia-Ávalos, 1995; Arizaga et al., 2009). Se le atribuye afinidad mesófila (González-Villarreal, 1986; Valencia-Ávalos, 1995) aunque frecuentemente forma parte de bosque de encino, bosque de pino-encino y bosque tropical caducifolio (Valencia-Ávalos, 1995). Se desarrollan en altitudes entre 500 y 2500 m en laderas de poca pendiente, cañadas y laderas de arroyo, sobre suelos arcillosos, pedregosos, rojos, amarillos o negros, profundos o poco profundos derivados de rocas calizas (Valencia-Ávalos, 1995; Arizaga et al., 2009). Localmente es llamado encino rojo o *ixi xtamaña* en lengua tlapaneca.

Con respecto a los individuos de *Q. glaucescens*, estos desarrollan tallas entre 6 y 15 m de altura y troncos que van de 0.15 a 0.4 m de diámetro; las hojas son de forma oblanceolada a obovada de 9 a 18 cm de largo por 3 a 6 cm de ancho; margen 3 a 5 dientes a cada lado; haz verde café; envés verde claro o verde café glabro o glabrescente, conservando algunos pelos estrellados de radios largos en la vecindad de la vena media o en las axilas de las venas secundarias, sin embargo algunos ejemplares de Guerrero conservan el envés totalmente cubierto por pelos estrellados muy finos; el fruto es anual y solitario, la bellota es ovoide redondeada de 20 a 24 mm de largo por 13 a 18 mm de diámetro; florecen de marzo a mayo y presentan frutos maduros de junio a agosto; forman parte de bosques de pino-encino, bosques de encino, pastizales inducidos o zonas de transición que van de bosque tropical subcaducifolio a bosque de encino; se desarrollan en altitudes de 400 a 1750 m, en sitios planos o casi planos sobre suelos arcillosos, o arenosos amarillos con abundante hojarasca; o en suelos arenoso-pedregosos en laderas y barrancas (Valencia-Ávalos, 1995; Arizaga et al., 2009). Localmente es conocido como encino amarillo o *ixi xaboó* en lengua tlapaneca.

*Q. magnifolia* presenta individuos entre 5 y 25 m de alto con troncos de 0.15 a 0.6 m de diámetro; su corteza es café clara a oscura y agrietada; su hoja es de forma obovada de 7.5 a 23 cm de largo por 3.5 a 13 cm de ancho y margen con 12 a 17 dientes a cada lado; el haz es verde lustroso y casi glabro, mientras que el envés es verde pálido tomentoso y su vena primaria y secundaria presenta pelos estrellados; el fruto es anual y solitario, la bellota es ovoide de 17 a 21 mm de largo por 11 a 12 mm de diámetro; los individuos de esta especie florecen durante marzo y abril y presentan frutos maduros de mayo a julio; pueden formar bosques monoespecíficos o estar asociados a otros *Quercus*, también forman parte de bosques de pino-encino o pueden encontrarse en zonas de transición con bosque tropical caducifolio; el rango altitudinal en el que se presentan oscila entre 170 y 2800 m, toleran climas calurosos y secos, pueden desarrollarse en laderas con pendientes ligeras o pronunciadas y en suelos someros pedregosos derivados de rocas calizas (Valencia-Ávalos, 1995; Arizaga et al., 2009). Recibe el nombre común de encino blanco o *ixi ixtapá* en lengua nativa.

Los individuos de la especie *Q. obtusata* pueden medir de 3 a 20 m de altura y tener troncos entre 0.1 y 0.7 m de diámetro; su corteza es gris y escamosa; su hoja tiene forma obovada o elíptica de 5 a 21 cm de largo por 2 a 13.5 cm de ancho y margen con 4 a 8 dientes a cada lado; el haz es verde lustroso y tomentoso en la base mientras que el envés es verde amarillento con pubescencia; el fruto es anual, en grupos de 2 ó 3 y la bellota es ovoide de 16 a 18 mm de largo por 13 a 15 mm de diámetro; los individuos de esta especie florecen de marzo a abril y sus frutos maduran de julio a noviembre; pueden formar parte de bosques exclusivos de encinos, bosques de pino-encino, bosques mesófilos, bosques riparios o matorral subtropical; su distribución altitudinal va de 600 a 2600 m, en lugares templados húmedos, fríos o calurosos secos, en laderas con inclinación moderada, desarrollándose sobre suelos profundos arcillosos o arenosos con hojarasca (Valencia-Ávalos, 1995; Arizaga et al., 2009). Localmente es llamado encino negro o *ixi xoó* en lengua nativa.

En lo referente a *Q. scytophyla*, los individuos de esta especie pueden medir entre 6 y 20 m de altura y tener un tronco entre 0.3 y 0.5 m de diámetro; la corteza es café rojiza a negra; la hoja es oblanceolada a lanceolada de 6 a 17 cm de largo por 2.5 a 11.5 cm de ancho y margen con 3 a 7 aristas a cada lado; el haz es verde lustroso con venas impresas mientras que el envés es blanquecino y tomentoso; el fruto es anual y solitario,

la bellota es ovoide de 10 a 15 mm de largo por 9 mm de diámetro; los individuos de esta especie florecen en febrero y marzo y presentan frutos maduros de julio a septiembre; esencialmente forman parte de bosques mesófilos de montaña, aunque también están presentes en bosques de pino-encino; se desarrollan en altitudes que van de los 1500 a 2600 m, en cañadas o lugares templados húmedos y en suelos someros o profundos derivados de roca caliza o ígnea, gravosos, arcillosos o pedregosos (Valencia-Ávalos, 1995; Arizaga et al., 2009). En lengua tlapaneca recibe el nombre de ixi xano.

- Género *Clethra*

Por su parte *Clethra* es un género único dentro de la familia Clethracea; presenta especies con características tanto arbustivas como arborescentes que se distribuyen en ambos hemisferios, aunque la mayoría de estas son propias de Asia y de las zonas tropicales de América (González-Villarreal, 2005; Valencia & Cruz, 2011). La diversidad del género *Clethra* aún es imprecisa, sin embargo en México se estiman alrededor de 30 especies (González-Villarreal, 2005) con una marcada afinidad mesófila (González-Villarreal, 1996; Valdez et al., 2003; Libreros-Rosas, 2011; Santiago-Pérez et al., 2011).

Este género presenta árboles o arbustos siempre verdes o caducifolios, a menudo provistos de pelos estrellados o fasciculados; hojas alternas, papiráceas a coriáceas, distribuidas en las partes distales de las ramillas, dejando grandes cicatrices en las porciones proximales; inflorescencias básicamente racimosas, pero en muchos casos paniculiformes, los racimos a menudo angostos y alargados, brácteas por lo general efímeras, pedicelos acrescentes con la edad de la flor y del fruto; flores actinomorfas, hermafroditas y pentámeras, fragantes; semillas aplanadas y aladas (González-Villarreal, 1996).

Las especies de este género pueden ser consideradas como de bajo crecimiento; para algunas especies se han reportado incrementos en diámetro de entre 0.3 y 0.34 cm en un año (Williams-Linera, 1996).

Específicamente *Clethra lanata* es una especie que presenta árboles corpulentos de hasta 30 metros de altura y 1 metro de diámetro; su tronco liso, todas sus estructuras densamente pubescentes y de color amarillento; las hojas están concentradas al final de

las ramas, láminas de entre 20-25 cm de longitud y 8-12 cm de ancho, pecíolo de 2-3 cm, margen dentada y base irregular; la inflorescencia es erecta y abierta, en racimos de hasta 25 cm, las basales axilares y las terminales ramificadas basalmente; fruto en capsulas de 3 mm de longitud (Vargas, 2002); pueden formar parte principalmente de bosques mesófilos de montaña así como de los bosques de encinos y coníferas más húmedos (González-Villarreal, 1996), aunque también están presentes en bosques tropicales perenifolios; su distribución altitudinal va de 1000 a 2500 m principalmente sobre suelos de origen volcánico (REDDEAM, 2013).

- Género *Byrsonima*

El género *Byrsonima* pertenece a la familia Malpighiaceae, posee alrededor de 150 especies y es el género más diverso dentro de esta familia; todas sus especies están distribuidas en América (Jaimes-Albíter, 2009). Se distribuye desde el sur de los Estados Unidos hasta Sudamérica, crece por debajo de los 1500 metros sobre el nivel del mar, en climas secos de regiones tropicales a templadas (López, 1999).

*Byrsonima crassifolia* es un árbol o arbusto perenifolio o caducifolio en bosques secos (Vázquez-Yanes et al., 1999) con troncos de 2 a 15 metros de altura y diámetros que alcanzan 0.4 m (Pennington y Sarukhan, 2005) aunque el tamaño del árbol puede disminuir a medida que las condiciones hídricas son adversas (Santos-Ciriaco, 2013); externamente su corteza es escamosa, se desprende en pedazos rectangulares y es de color café oscuro a moreno claro; internamente la corteza es de color crema rosado que puede cambiar a pardo rosado; las hojas son alargadas, decusadas, simples de 5 a 15 cm de largo por 2 a 7.5 cm de ancho, elípticas con el margen entero; verde oscuras y casi glabras en el haz y verde amarillentas grisáceas pubescentes en el envés (Vázquez-Yanes et al., 1999); el fruto se presenta en infrutescencias péndulas de 10 a 15 cm de largo, son drupas globosas de 1.7 a 2 cm de diámetro, amarillentas a ligeramente anaranjadas con una abundante carne agrídulce rodeando a un hueso grande y duro, una semilla por fruto (Vázquez-Yanes et al., 1999); florece de noviembre a julio y principalmente entre marzo y junio, los frutos maduran de julio a octubre y principalmente entre agosto y septiembre (Vázquez-Yanes et al., 1999).

Forma parte del pastizal y bosque tropical caducifolio (Niembro, 1990) aunque también se encuentra en climas semicálidos y templados (Vázquez-Yanes et al., 1999) y en zonas de transición entre estos dos climas (Bayuelo-Jiménez et al., 2006); se puede encontrar en altitudes que van de 0 a 1400 metros (REDDEAM, 2013); se adapta a una gran variedad de suelos e inclusive se desarrolla exitosamente en áreas con suelos degradados (Martínez-Moreno et al., 2006). El nombre común de esta especie en la región de estudio es nanche o ixi luxu en lengua tlapaneca.

Esta especie es de crecimiento relativamente rápido (comparada con las otras especies analizadas en este estudio). Se ha reportado que pueden incrementar su altura hasta 1.005 m en un año, inclusive muy por arriba de algunas especies pioneras (Vandermeer et. al., 1998); así mismo puede incrementar su diámetro hasta 0.6 cm anualmente (Carvajal-Vanegas & Calvo-Alvarado, 2013).

Es considerada como una especie prioritaria para la restauración de ecosistemas ya que mejora la fertilidad del suelo aportando materia orgánica de fácil desintegración y además posee una gran adaptación a diferentes condiciones ambientales incluso a suelos muy degradados (Vázquez-Yanes et al., 1999).

- Género *Lysiloma*

El género *Lysiloma* pertenece a la familia Leguminosae y sub familia Mimosoideae; presenta árboles caducifolios pequeños a medianos que están adaptados a climas estacionalmente secos o desérticos y que se distribuyen en los trópicos y sub trópicos del continente americano (Gale & Pennington, 2004), desde el sur de Estados Unidos hasta el norte de Costa Rica, incluyendo las islas antillanas (Thompson, 1980; Gale & Pennington, 2004). Frecuentemente asociados a bosques tropicales secos secundarios o degradados, aunque también se encuentran en sabanas, bosques subcaducifolios y perenifolios y se desarrollan sobre dunas costeras, suelos someros derivados de rocas calizas o en suelos pedregosos a altitudes medias o inclusive a más de 2000 metros (Gale & Pennington, 2004). La principal característica que distingue a este género de otros de la misma familia es que los frutos no presentan dehiscencia periférica, pues las costillas del mismo se mantienen permanentemente cerradas (Gale & Pennington, 2004).

Se ha reportado que algunas especies de este género pueden incrementar su altura entre 10 y 26 cm al año (Cervantes et al., 1998; Negreros-Castillo & Martínez-Salazar, 2011) e incrementar su diámetro entre 0.15 y 0.45 cm al año (Carvajal-Vanegas & Calvo-Alvarado, 2013). Además pueden presentar una excelente capacidad para mejorar las condiciones del suelo ya que no sólo aportan hojarasca para la descomposición sino que al pertenecer a la familia de las leguminosas pueden desempeñarse como excelentes fijadoras de nitrógeno atmosférico mediante asociaciones simbióticas con bacterias del género *Rhizobium* (Cervantes et al., 1998).

*Lysiloma acapulcense* es un árbol de pequeño a mediano, regularmente de 4 a 12 metros de alto aunque puede llegar a 20 metros (Gale & Pennington, 2004) y con un diámetro de hasta 0.7 metros (Pennington y Sarukhan, 2005); corteza de color gris oscuro a casi negra, con fisuras a lo largo, divididas en escamas cortas y gruesas en forma rectangular ; las hojas son de 7 a 19 cm de largo con una glándula irregular grande en la base o en el ápice, son doblemente compuestas con 28 a 65 pares de foliólulos por foliolo, cada foliólulo de 2.5 a 8 mm de largo por 0.5 a 1.2 mm de ancho; las flores en amentos de 2 a 8 cm de largo, normalmente estas se presentan en grupos de 2 a 7; las flores individuales son de color blanco y dulcemente perfumadas; el fruto es grande alargado a elíptico de 8 a 23 cm de largo por 2.2 a 5.4 cm de ancho, de color café claro con exocarpo grueso, coriáceo y segmentado (Gale & Pennington, 2004); las semillas son grandes (con un volumen de aproximadamente 0.56 cm<sup>3</sup>) y poseen una alta capacidad germinativa, inclusive después de dos años de almacenamiento (Cervantes et al., 2014); florece de marzo a junio y fructifica de junio a septiembre (Barrance, 2003); se encuentra en el bosque tropical seco, desde el nivel del mar hasta 1750 m sobre suelos pobres y rocosos y crece exitosamente en áreas perturbadas (Gale & Pennington, 2004). El nombre común de esta especie en la región de estudio es tepehuaje o ixi ixtaá en lengua tlapaneca.

## 5.6 Especies con el mayor potencial para la restauración

La información recopilada en literatura y descrita en la sección 5.4 sólo permitió obtener conclusiones a nivel de género (a excepción de *B. crasifolia*) para las variables “Tasa de crecimiento” y “Capacidad para mejorar las condiciones del suelo”.

Para la variable “Tasa de crecimiento”, se encontró que los mayores incrementos en altura se dan en *B. crasifolia* (1.005 m en un año; Vandermeer et al., 1998); para especies del género *Lysiloma* se reportaron incrementos en altura de no más de 0.26 m anuales (Cervantes et al., 1998; Negreros-Castillo & Martínez-Salazar, 2011) y para las especies del género *Quercus* se reportó un crecimiento altitudinal de muy pocos centímetros al año ya que su desarrollo es sumamente lento y con una marcada estacionalidad (Vázquez-Yanes et al., 1999; Rzedowski, 2008). También se encontraron valores del incremento anual en el diámetro del tronco; nuevamente para *B. crasifolia* se reportó el mayor incremento con 0.6 cm anuales (Carvajal-Vanegas & Calvo-Alvarado, 2013), seguida por las especies del género *Lysiloma* con incrementos diamétricos de hasta 0.45 cm al año (Carvajal-Vanegas & Calvo-Alvarado, 2013); para algunas especies del género *Clethra* se reportaron incrementos en diámetro de hasta 0.34 cm anuales (Williams-Linera, 1996) y de hasta 0.21 cm anuales para especies del género *Quercus* (Mayor et al., 1994; Williams-Linera, 1996; León & Giraldo, 2000). *B. crasifolia* fue la especie con los mayores valores reportados tanto para el crecimiento anual en altura como en diámetro del tronco y se le otorgó el valor de 1; las especies del género *Lysiloma* ocuparon el segundo lugar en cuanto a crecimiento anual en altura y en diámetro del tronco y por tanto *L. acapulcense* fue clasificada en una categoría media (0.667); debido a los bajos valores de crecimiento reportados, todas las especies del género *Quercus* así como *C. lanata* fueron ubicadas en la categoría más baja (0.333; Tabla 16).

En lo referente a la variable “Capacidad de mejorar las condiciones del suelo”, se determinó que *L. acapulcense* es la especie que sobresale de las demás ya que no sólo aporta hojarasca para la descomposición, sino que al pertenecer a la familia de las leguminosas puede desempeñarse como excelente fijadora de nitrógeno atmosférico mediante asociaciones simbióticas con bacterias del género *Rhizobium* (Cervantes et al., 1998) y por tanto se le asignó el valor más alto (1.0); *B. crasifolia* fue ubicada en la categoría media (con un valor de 0.667) ya que es considerada como una especie

prioritaria para la restauración de ecosistemas al mejorar la fertilidad del suelo mediante materia orgánica de fácil desintegración y además posee una gran adaptación a diferentes condiciones ambientales, incluso a suelos muy degradados (Vázquez-Yanes et al., 1999). Al resto de las especies se les asignó un valor bajo (0.333) ya que no se reportó ninguna característica importante más allá de la aportación de biomasa para la descomposición (Garrido et al., 1989; Espejel-Rodríguez et al., 1999; Vázquez-Yanes et al., 1999; Tabla 16).

Para la “Capacidad de rebrote”, la especie que obtuvo el mayor valor fue *B. crasifolia*, ya que presentó la mayor proporción de individuos con más de un tallo (39%, valor normalizado igual a 1.0). Le siguieron *Q. obtusata* con 33% (valor normalizado igual a 0.8), *C. lanata* con 28% (valor normalizado igual a 0.7), *Q. candicans* con 20% (valor normalizado igual a 0.5), *Q. magnoliifolia* con 19% (valor normalizado igual a 0.5), *Q. elliptica* con 14% (valor normalizado igual a 0.4), *Q. glaucescens* con 11% (valor normalizado igual a 0.3), *Q. conspersa* con 9% (valor normalizado igual a 0.2), *Q. scytophylla* con 7% (valor normalizado igual a 0.2) y *L. acapulcense* que no presentó individuos con más de un tallo (valor normalizado igual a 0.0; Tabla 16).

Se utilizó el Índice de Valor de Importancia Relativo de Borda-Niño (2014) de manera global (incluyendo los tres rangos altitudinales como una sola matriz florística) de acuerdo con dos criterios. El primer criterio tomó en cuenta que en un proyecto de restauración se debe considerar la matriz florística original como sistema de referencia (SER, 2002). Sin embargo, como segundo criterio, también fue importante tomar en cuenta a las especies que mostraron indicios de una reducción en sus poblaciones debido a causas antrópicas. Cabe mencionar que Borda-Niño (2014) estimó que algunas especies, sobre todo de selva baja caducifolia, mostraron este patrón de reducción en sus poblaciones. En este sentido se utilizó tanto el valor directo del IVIR (primer criterio) como el valor inverso (segundo criterio) y se calculó el promedio normalizado de ambos valores; se encontró que las especies con los valores máximos y mínimos de IVIR fueron las mayormente beneficiadas. De esta forma *L. acapulcense* y *Q. elliptica* obtuvieron el valor más alto con 1.00. Le siguieron *Q. scytophylla* con 0.94, *C. lanata* con 0.90, *Q. obtusata* con 0.56, *Q. magnoliifolia* con 0.54, *Q. glaucescens* con 0.40, *Q. conspersa* con 0.30 y *B. crassifolia* con 0.23 y *Q. candicans* con 0.20 (Tabla 16).

Respecto al Índice de Valor Energético (IVE<sup>1</sup>), los resultados en kJ.cm<sup>-3</sup> se mencionaron en el apartado II.2.2. Los valores normalizados de esta variable resultaron para *Q. glaucescens* de 1.0, para *Q. magnolifolia* de 0.71, para *Q. elliptica* de 0.66, para *Q. conspersa* de 0.64, para *Q. scytophylla* de 0.63, para *L. acapulcense* de 0.59, *Q. candicans* de 0.42, para *B. crasifolia* de 0.22, para *Q. obtusata* de 0.17 y para *C. lanata* de 0.15 (Tabla 16).

Respecto a la variable “Preferencia de la especie”, los resultados de la encuesta indicaron que las especies mayormente preferidas por los usuarios (tal como se señaló en la sección 5.1) así como sus valores de preferencia normalizados, son *Q. elliptica* con 1.0, *Q. magnolifolia* con 0.68, *Q. conspersa* con 0.15, *B. crasifolia* con 0.06 y *Q. glaucescens* con 0.03. El resto de las especies tuvo un valor nulo para esta variable (Tabla 16).

Para la “Percepción de calidad como combustible”, los resultados indican que a *Q. elliptica* se le atribuye el mayor número de características positivas y su valor normalizado asignado fue 1.0. El valor normalizado resultó de 0.67 para *Q. magnolifolia*, de 0.33 para *Q. conspersa* y de 0.17 para *Q. glaucescens*. El resto de las especies obtuvo un valor nulo para esta variable (Tabla 16).

Por último, para la variable “Otros usos o beneficios”, los valores normalizados resultaron para *Q. magnoliifolia* de 1.00, para *Q. elliptica* de 0.61, para *B. crasifolia* de 0.36, para *Q. glaucescens* de 0.28, para *Q. obtusata* de 0.28, *Q. scytophylla* de 0.22, *Q. conspersa* de 0.17, para *L. acapulcense* de 0.03, para *Q. candicans* de 0.03 y para *C. lanata* de 0.0 (Tabla 16).

Los resultados para el sistema de variables socio-ecológicas evaluadas en los cuatro escenarios presentaron ligeras deferencias. De acuerdo con el enfoque equitativo, las especies mejor posicionadas fueron *Q. elliptica* con un valor (en escala 0 a 10) de 6.79, seguida de cerca por *Q. magnolifolia* con 6.37; aunque un poco alejada de las anteriores, *Q. glaucescens* ocupó el tercer sitio con 4.99. Siguieron en orden descendente, *L. acapulcense* con 4.23, *Q. conspersa* con 3.86, *Q. scytophylla* con 3.82, *B. crasifolia* con 3.61, *Q. obtusata* con 2.61, *Q. candicans* con 2.57 y *C. lanata*, 2.40 (Figura 20a).

Considerando el enfoque ecológico, se distinguió un grupo de cuatro especies con los valores más altos, encabezado por *B. crasifolia* con 5.86, seguido por *Q. elliptica* con 5.75, *L. acapulcense* con 5.61 y *Q. magnolifolia* con 5.04. Le siguieron *C. lanata* con 4.41, *Q. obtusata* con 4.20, *Q. scytophyla* con 4.09, *Q. glaucescens* con 3.78, *Q. conspersa* con 3.22 y *Q. candicans* 3.01 (Figura 28b).

**Tabla 16. Valores de las variables socio-ecológicas y técnica para las especies arbóreas más utilizadas como leña en tres localidades de la Montaña de Guerrero**

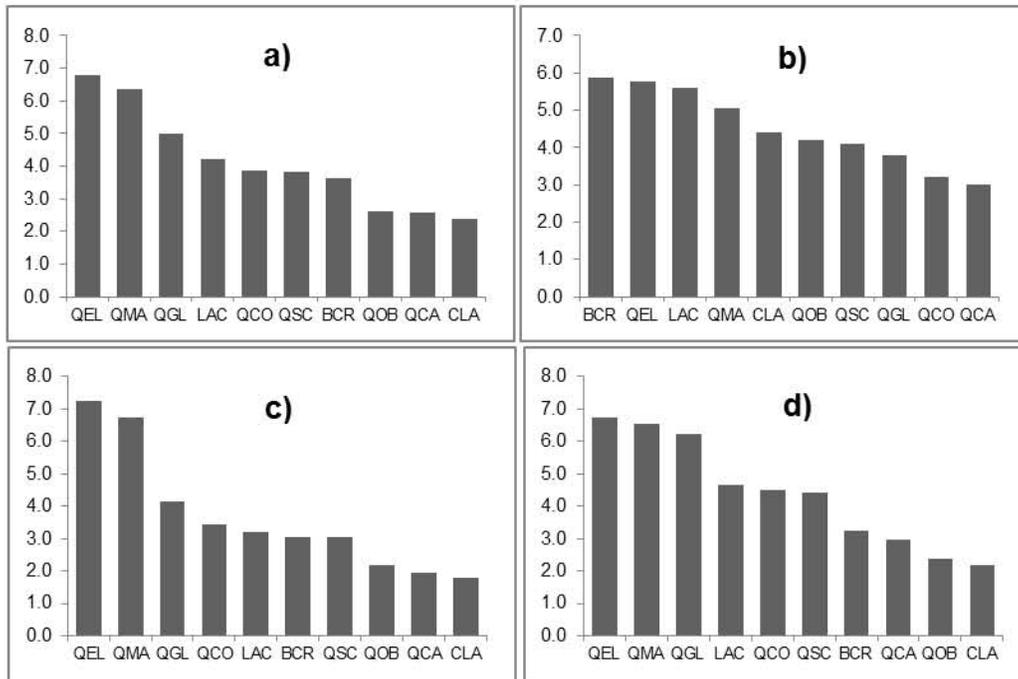
Especie	Rango altitudinal en el que se presenta la especie	Variables Ecológicas				Variable Técnica	Variables sociales		
		Tasa de crecimiento	Capacidad de rebrote	Capacidad para mejorar las condiciones del suelo	Índice de Valor de Importancia Relativo	Índice de Valor Energético	Preferencia de la especie	Percepción de calidad como combustible	Otros usos o beneficios
<i>B. crasifolia</i>	B y M	1.00	1.00	0.67	0.23	0.22	0.06	0.00	0.36
<i>C. lanata</i>	B, M y A	0.33	0.70	0.33	0.90	0.15	0.00	0.00	0.00
<i>L. acapulcense</i>	M	0.67	0.00	1.00	1.00	0.59	0.00	0.00	0.03
<i>Q. candicans</i>	A	0.33	0.51	0.33	0.20	0.42	0.00	0.00	0.03
<i>Q. conspersa</i>	B y M	0.33	0.24	0.33	0.30	0.64	0.15	0.33	0.17
<i>Q. elliptica</i>	M y A	0.33	0.35	0.33	1.00	0.66	1.00	1.00	0.61
<i>Q. glaucescens</i>	B y M	0.33	0.29	0.33	0.40	1.00	0.03	0.17	0.28
<i>Q. magnolifolia</i>	B, M y A	0.33	0.47	0.33	0.54	0.71	0.68	0.67	1.00
<i>Q. obtusata</i>	A	0.33	0.85	0.33	0.56	0.17	0.00	0.00	0.28
<i>Q. scytophyla</i>	A	0.33	0.18	0.33	0.94	0.63	0.00	0.00	0.22
<b>Promedio de la variable</b>		0.43	0.46	0.43	0.61	0.52	0.19	0.22	0.30

B = bajo (520 a 1071 m), M = medio (1072 a 1606 m), A = alto (1607 a 2606 m)

Mediante al enfoque social, *Q. elliptica* se distinguió claramente de las demás con un valor de 7.27; *Q. magnolifolia* ocupó el segundo sitio con 6.73 y *Q. glaucescens* el tercero con 4.14. Le siguieron *Q. conspersa* con 3.43, *L. acapulcense* con 3.19, *B. crasifolia* con 3.06, *Q. scytophyla* con 3.05, *Q. obtusata* con 2.19, *Q. candicans* con 1.95 y *C. lanata* con 1.80 (Figura 28c).

Por último y de acuerdo con el enfoque técnico, se distinguió un grupo de tres especies con los valores más altos; *Q. elliptica* en primer lugar con 6.74, seguida por *Q. magnolifolia* con 6.55 y por *Q. glaucescens* con 6.24. Le siguieron *L. acapulcense* con 4.65, *Q. conspersa* con 4.49, *Q. scytophyla* con 4.43, *B. crasifolia* con 3.25, *Q. candicans* con 2.97, *Q. obtusata* con 2.38 y *C. lanata* con 2.18 (Figura 28d).

Figura 28. Especies potenciales para incorporar en proyectos de restauración en localidades de la Montaña de Guerrero bajo los enfoques a) Equitativo, b) Ecológico, c) Social y d) Técnico.



QEL = *Q. elliptica*, QMA = *Q. magnifolia*, QGL = *Q. glaucescens*, LAC = *L. acapulcense*, QCO = *Q. conspersa*, QSC = *Q. scytophyla*, BCR = *B. crasifolia*, QOB = *Q. obtusata*, QCA = *Q. candicans*, y CLA = *C. lanata*.

En dónde el eje Y representa el potencial cuantitativo de las especie para ser incorporada en un sistema de restauración productiva (en una escala del 0 al 10).

## 6. Discusión

### 6.1 Caracterización del consumo

Algunos estudios sobre el uso de la leña a nivel nacional sostienen que las regiones prioritarias de consumo de leña se caracterizan entre otros aspectos, por un alto grado de marginación y crecimiento de usuarios de leña (Masera, 2003). En la encuesta realizada se abordaron preguntas para brindar un panorama general de la demografía del sitio de estudio y de ello se pudo inferir una alta tasa de natalidad, tal como lo señala el último censo poblacional oficial (INEGI, 2010b), ya que se encontró que el 48% de los habitantes de las viviendas visitadas es menor de 14 años, además de que el número de hijos promedio por familia (vivienda visitada) resultó de 3.2. Así mismo, la disminución de la proporción de hombres respecto a mujeres a partir de los 21 años es posible que se deba a la morbilidad asociada a las actividades económicas o a fenómenos migratorios (Villela, 2011); lo que implicaría a su vez una cobertura insuficiente del sistema de salud local además de escasas fuentes de empleo en la región

Respecto al consumo generalizado de leña encontrado en el sitio de estudio (100% utiliza leña y solo el 3% utiliza leña en combinación con GLP; Figura 2), las razones principales pueden ser, además de los usos y costumbres de la región, las características socioeconómicas o de poder adquisitivo de la población, ya que se encontró una relación directa entre el poco uso de GLP y la existencia de fuentes de ingreso alternas a la agricultura de subsistencia (venta de productos no perecederos o tiendas de abarrotes); además una alta dependencia de los habitantes sobre los recursos forestales deja ver carencias económicas (Tabuti et al., 2003). También hay que tomar en cuenta que no se encontró un costo asociado a la extracción de leña, más allá del esfuerzo físico y el tiempo que emplea la persona que realiza la extracción; de la misma forma que reportaron Bhatt & Sachan (en 2004) y Singh et al. (2010) en regiones templadas de la India. Otra razón de la saturación en el consumo de leña puede ser la dificultad logística para hacer llegar combustibles sustitutos o complementarios a las localidades, muchas veces poco accesibles (Bhatt & Sachan, 2004).

La baja utilización de GLP como combustible sustituto o complementario fue similar a lo reportado en regiones templadas de la India con una utilización menor al 2% (Bhatt & Sachan, 2004; Singh et al., 2010). En el sitio de estudio, las razones por las cuáles se lleva a cabo el cambio de leña a GLP son por “comodidad” y por la disminución en la disponibilidad de la leña. En el primer caso, se puede hablar de *complementariedad* ya que la persona encuestada utiliza la leña exclusivamente cuando necesita preparar alimentos con un tiempo de cocción muy prolongado y el uso de ambos tipos de combustible puede darse de manera simultánea. En el segundo caso se puede identificar un patrón de *sustitución*, ya que la utilización de uno u otro combustible se lleva a cabo en periodos de tiempo definidos y prolongados pero no de manera simultánea.

Además de la alta dependencia de la leña, se encontró una utilización prioritaria en la preparación de alimentos (Figura 3), que es un patrón generalizado en los diferentes estudios sobre el consumo (Syndriyal & Sharma, 1996; Contreras-Hinojosa et al., 2003; Tabuti et al., 2003; Naughton-Treves et al., 2006).

En lo referente al consumo, mediante la medición directa, la cantidad promedio de leña utilizada por una persona típica en un día resultó de 1.70 kg y fue similar a la cantidad reportada en otros estudios en lugares ecológica y climáticamente similares al sitio de estudio: 1.90 kg/per cápita/día en regiones estacionalmente secas de la India (Shankar et al., 1998), 1.82 kg/per cápita/día en regiones templadas de ese mismo país (Bhatt & Sachan, 2004) o 1.4 kg/per cápita/día en regiones tropicales de Sri Lanka (Wijesinge, 1984). Sin embargo los resultados estuvieron muy por debajo de los obtenidos en regiones cafetaleras de Chiapas donde se reportó un consumo de 3.7 kg/per cápita/día durante la temporada seca; es posible que estas diferencias se deban a que en dichas zonas cafetaleras el 79% de las especies utilizadas para leña son consideradas de baja calidad energética, comúnmente provenientes de los sistemas agroforestales (Ramírez et al., 2012).

Para el método día promedio, el consumo resultó de 2.06 kg/per cápita/día y fue similar al reportado en una amplia región tropical estacionalmente seca de Yucatán con un valor de 2.06 kg/per cápita/día (Quiroz-Carranza & Orellana, 2010) y ligeramente superior al reportado en una región templada de Oaxaca con 1.8 kg/per cápita/día (Contreras-Hinojosa et al., 2003) o en una región tropical de Suazilandia con 1.9 kg/per

cápita/día (Allen et al., 1988). Masera en 2005 señaló que el consumo de leña para el ámbito rural en México ronda los 2.0 kg/per cápita/día con una gran variación dependiendo de la región específica del país.

Por otro lado, aunque no se hizo una medición del consumo de leña en diferentes épocas del año, la mayoría de los usuarios declaró que existe estacionalidad en el consumo, incrementándose considerablemente en algunos periodos (Tabla 3).

Se reconoció principalmente un incremento del consumo durante la época de lluvias, lo que coincide con lo reportado en trabajos similares; sin embargo en estos trabajos el origen de este incremento no es atribuido a la ineficiencia de la combustión por la humedad adquirida en la madera como declararon los encuestados, sino que se debe a que las personas permanecen durante todo el día en sus viviendas y en lugar de utilizar el fogón dos veces al día (regularmente el segundo alimento del día lo hacen en la parcela o lugar de trabajo, pero se cocina simultáneamente con el primer alimento) lo hacen en tres ocasiones (Shankar et al., 1998; Chettri et al., 2002).

Respecto al incremento en el consumo de leña atribuido a las labores de cultivo del maíz no se encontró alguna referencia similar en la literatura y es posible que la percepción del usuario esté sobreestimada y si existe tal incremento, éste sea muy bajo. Los encuestados argumentaron que debido a que los hombres de una misma localidad trabajan en equipo (ayudan con las labores de cultivo de manera rotacional en las diferentes parcelas), se reúnen y comen en una misma vivienda. En términos netos, es la misma cantidad de personas que hacen uso del recurso (dentro de una misma localidad). Sin embargo, que exista congregación de personas ajenas al hogar en una determinada vivienda no siempre implica que dejen de consumir el recurso en sus respectivas viviendas. Considerando una mayor eficiencia en el uso de la leña al incrementarse la cantidad de personas que se alimentan de un mismo fogón (Ramírez et al., 2012), se presenta tanto un incremento en la eficiencia del uso de la leña en la vivienda ayudada como una disminución de la eficiencia en las viviendas respectivas de los hombres que prestan dicha ayuda (mujeres y niños permaneces en sus viviendas y hacen un uso normal del fogón).

El incremento en el consumo de leña atribuido a las festividades locales (principalmente día de muertos) debido a la preparación de diversos platillos exclusivos de esa época del año, es una expresión del gran arraigo cultural de los habitantes del sitio de estudio y una muestra de que los aspectos culturales influyen en el grado de impacto hacia el medio ambiente; un incremento de esta naturaleza se reportó en regiones de Yucatán (Quiroz-Carranza & Orellana, 2010) y de manera similar en Uganda (Tabuti et al., 2003).

Así mismo, resulta importante destacar que no se encontró una percepción de incremento en el consumo durante el invierno como se ha reportado en algunas regiones templadas de la India (Shankar et al., 1998; Bhatt & Sachan, 2004). Por una parte, este hecho puede atribuirse a las características climáticas del sitio de estudio, ya que al estar localizada dentro de los trópicos, las temperaturas presentan una baja variabilidad a lo largo del año, con presencia de inviernos no tan severos sobre todo en las partes bajas; sin embargo en las partes altas esta variabilidad en la temperatura se acentúa (Rzedowski, 2006). Por otra parte, las diferencias en el consumo de leña bajo diferentes regímenes de temperatura está estrechamente relacionado con los hábitos de los usuarios, al realizar tareas como calentar el agua para bañarse o calentar el ambiente, como se señala en algunos estudios (Bhatt & Sachan, 2004). En este sentido, resultó coherente que no se hayan encontrado diferencias significativas en el consumo de leña entre localidades; especialmente entre Nuevo Aguacate (B) y Lomatepec (M), donde no se detectó un consumo de la leña adicional a la utilizada para preparar alimentos. Sin embargo en Agua Tordillo(A), donde 70% de los encuestados (23% del total) declararon utilizar leña para calentar agua para bañarse, se habría esperado un consumo significativamente mayor. En este sentido un aspecto que podría aportar variabilidad es la presencia de personas de la tercera edad o niños pequeños (menores a 5 años), ya que se observó una relación entre las viviendas en donde se calienta agua para bañarse y la presencia de personas en estos grupos de edades.

El hecho de que no se hayan encontrado diferencias significativas en el consumo de leña entre localidades no es contundente, y es posible un sesgo atribuido a la época del año en la cual la medición fue llevada a cabo (primavera, antes de las primeras lluvias); por tanto habría que extender la medición (principalmente al invierno) para poder descartar un efecto altitudinal; en otros estudios se ha encontrado que las diferencias en

el consumo entre rangos altitudinales se acentúan durante la época fría (Bhatt & Sachan, 2004). La ausencia de diferencias en el consumo entre rangos altitudinales contrasta con lo reportado en regiones tropicales de la India donde se encontró un mayor consumo a una mayor altitud (Shankar et al., 1998; Bhatt & Sachan, 2004). Así mismo los resultados concuerdan con lo encontrado en comunidades cafetaleras del estado de Chiapas donde a pesar de encontrarse diferencias significativas entre diferentes localidades, esta diferencia no fue atribuida al gradiente altitudinal (Ramírez et al., 2012).

Independientemente del rango altitudinal, para una misma localidad también podría esperarse que el consumo de leña se incremente en otras épocas del año tal como se reportó en otros estudios, en donde durante la época lluviosa el consumo se incrementó entre 6 y 100% (con respecto de la época seca) y durante la época fría entre 50% y 120% (también con respecto de la época seca; Shankar et al., 1998; Bhatt & Sachan, 2004; Ramírez, 2012).

Aunado a la estacionalidad en el consumo, también se detectó estacionalidad en el aprovisionamiento de la leña. Éste se incrementa durante las semanas previas al inicio de las lluvias, debido a que una cantidad suficiente para toda la temporada lluviosa es resguardada en las viviendas; de esta manera se evita que la madera adquiera mayor humedad. Este patrón de abastecimiento también ha sido reportado en varios países tropicales de África (Tabuti et al., 2003) y en regiones templadas de la India (Singh et al., 2010).

Así mismo, respecto a las nulas diferencias significativas encontradas entre el consumo de leña en estufas ahorradoras y estufas no ahorradoras (método día promedio), es posible que estén asociadas a las características del programa de implementación en el sitio. Se sabe que en el año 2007 la ONG Xuajin Me'Phaa A.C. consiguió financiamiento y emprendió la fabricación e instalación de 600 estufas ahorradoras en varias localidades incluyendo Nuevo Aguacate (B) y Lomatepec (M); las estufas estuvieron basadas en el diseño tipo Lorena, muy común en diversas regiones del país. Durante 2009 se realizó una segunda implementación de estufas ahorradoras (aunque a una escala mucho menor), siguiendo el mismo diseño y con la misma mano de obra local pero de manera independiente a la ONG; en esta segunda implementación se instalaron algunas estufas en la localidad de Agua Tordillo (A) y otras localidades. Esta es

la razón por la cuál en Nuevo Aguacate (B) y Lomatepec (M) se encontró una mayor proporción de estufas ahorradoras que en Agua Tordillo (A). Así mismo, dejando de lado los factores intrínsecos a un diseño poco exitoso de la estufa tipo Lorena (Wang et al., 2013), es posible que la vida útil de los materiales empleados haya llegado a su fin (considerando además un esquema de mantenimiento nulo) y que esto sea la razón del poco significativo o nulo ahorro de leña encontrado. La falta de un esquema de mantenimiento se hace notar si consideramos que algunas clasificaciones que se hicieron a los dispositivos de combustión encontrados en el sitio de estudio pueden derivar de un otrora dispositivo ahorrador; este es el caso de “fogón abierto con chimenea” y “fogón cerrado con plancha (sin chimenea)”. Paradójicamente los resultados indicaron que los conceptos “Estufa ahorradora” y “Fogón cerrado” sí están asociados con el ahorro de leña en la idiosincrasia local.

Más allá de las implicaciones ecológicas, es posible que en el ámbito social sí exista un balance positivo respecto a la implementación de estas estufas. Por una parte se pudo apreciar que el concepto como tal “Estufa ahorradora” se encuentra afianzado y es aceptado por los habitantes en general, lo cual es bueno en términos de educación ambiental, concientización de la población y disposición al cambio si se pensara en futuros proyectos de sustitución de dispositivos de combustión. Así mismo se observó que el concepto “Chimenea” también tiene una gran aceptación y que los usuarios lo asocian con su propia salud y comodidad y no tanto con la eficiencia de la combustión; el 54% manifestó molestias debido al humo generado por la combustión y reconoció el uso de la chimenea como sumamente útil en este sentido. Es de destacar que diversos estudios sostienen las nocivas implicaciones que el humo de leña tiene en la salud de las personas, principalmente mujeres y niños (Barnes et al., 1994; Saatkamp et al., 2000; Smith et al., 2000; Bates et al., 2005; Berrueta & Magallanes, 2012); se reporta que las principales afectaciones a la salud son infecciones respiratorias agudas, bronquitis crónica, obstrucción bronquial crónica, bajo peso al nacer, trastornos perinatales, cáncer de pulmón y nasofaríngeo y fibrosis pulmonar (Romieu, et al 2009).

En lo referente a la aceptación de las estufas ahorradoras, cabe mencionar que de acuerdo con el responsable de la implementación, al principio se encontró cierta resistencia entre los usuarios directos por el uso de un dispositivo que no se adaptaba a los usos y costumbres específicos. Sin embargo, a partir de la instalación de las primeras

estufas se inició un proceso de aceptación. Este proceso común de aprehender y aceptar ideas nuevas que se incrustan en el lenguaje y que permiten interpretar información y otorgarle un significado propio es denominado “discurso” (Dryzek, 1998). Considerando que los fenómenos construidos socialmente, son considerados como "verdaderos" y articulados en forma de discurso (Hewitt, 2009), y que en esa articulación como discurso influye tanto el “quién” como el “dónde” (Hajer, 1995), el hecho de que fueran miembros de cada localidad quienes, a través de la propia experiencia transmitían los pormenores de la utilización de los dispositivos, ayudó a acelerar la apropiación del concepto “Estufa ahorradora”.

En otro orden de ideas, la cantidad consumida de leña se ubicó dentro del rango comúnmente reportado en muchas regiones, por lo tanto no se podría hablar de una extracción exacerbada de los recursos. Sin embargo, un aspecto fundamental que sí puede determinar el grado de alteración en la dinámica del bosque es el método de extracción, siendo la extracción de un árbol vivo el que mayor impacto produce. Aun suponiendo que cortar el tronco no mata al árbol y permite el rebrote, al menos disminuye significativamente el vigor de crecimiento del mismo, por lo que la producción de biomasa se puede ver mayormente afectada; además se altera la estructura y función del parche y se abren condiciones para herbáceas y arbustivas inútiles como fuente de leña (Quiroz-Carranza & Orellana, 2010).

La práctica de los métodos “corte tronco verde” y “corte tronco seco”, llevados a cabo por el 47% y el 21% de los encuestados respectivamente, contrastó considerablemente con los reportes de otros estudios en donde indican una predominancia (mayor al 50%) de la recolección de ramas muertas en regiones tropicales de Uganda y México (Tabuti et al., 2003; Quiroz-Carranza & Orellana, 2010 respectivamente) así como en regiones templadas de la India (Singh et al., 2010); estos mismo autores señalan el corte completo del árbol solo en el 2% y hasta el 10% de los casos. Sin embargo existe un estudio en localidades del municipio de Tlapa de Comonfort (perteneciente a La Montaña de Guerrero) en donde se indica que el árbol completo es derribado vivo entre el 52% y 100% de las veces (Arias, 1997).

Considerando que el municipio de Acatepec y el municipio de Tlapa de Comonfort forman parte de una región geográfica, ecológica y culturalmente homogénea, es posible

pensar en que este método de extracción es una expresión de los usos y costumbres locales o que simplemente es una adaptación de los habitantes locales a un ambiente extensivamente degradado y con una baja productividad de recursos.

Aunque no hay que dejar de lado que una proporción importante de los usuarios (32%) señaló “juntar leña del suelo” como uno de sus métodos de extracción, lo que sin duda ayuda a disminuir el impacto ecológico, ya que este método no altera la estructura y función esenciales del bosque y mantiene la productividad relativamente estable y constante (Quiroz-Carranza & Orellana, 2010).

Otro aspecto importante de mencionar es que los hombres resultaron los principales realizadores de la extracción de leña, lo que contrastó con lo reportado en otros estudios en donde se afirma una mayoritaria participación de las mujeres en estas labores, aunque mayoritariamente como recolectoras (Tabuti et al., 2003; Bhatt & Sachan, 2004). Así mismo, en el sitio de estudio se observó una relación entre el sexo del leñador y el método de extracción llevado a cabo; los métodos “corte de tronco verde” y “corte de tronco seco” son llevados a cabo exclusivamente por personas del sexo masculino; por el contrario, el método “junta del suelo” fue detectado como exclusivo para el sexo femenino. En este sentido Abbot & Lowore (1999) también sugieren una relación entre el sexo del leñador y el método de extracción; esta relación es atribuida al esfuerzo físico requerido en los diferentes métodos y las diferencias en la capacidad natural entre ambos sexos.

Por otra parte, algunos autores sostienen la idea de que una recolección de leña que requiera distancias cortas y poco tiempo empleado demuestra una alta disponibilidad de recursos (Tabuti et al., 2003; Ramírez et al., 2012). Aunque en el presente estudio no se midió la distancia recorrida por los campesinos durante la colecta, sí se indagó sobre la duración de la misma; la mayoría de los encuestados afirmaron realizar una recolección con una duración de 2.5 a 3 horas lo que resultó ligeramente superior a lo encontrado por estos mismos autores. Así mismo dentro del área de influencia del presente estudio, algunos autores analizaron las trayectorias seguidas por los campesinos al momento de la recolección de leña (juntar del suelo), las cuáles mostraron un patrón al azar (estrategia de búsqueda diferente a los vuelos de Lévy) lo que sugiere una alta degradación de los bosques y un agotamiento de los recursos (Miramontes et al., 2012).

La percepción de los habitantes locales también confirma lo encontrado por Miramontes et al., en 2012 sobre un agotamiento del recurso, pues la mayoría afirmó encontrar una cantidad de leña baja o regular; además reconocieron que es un problema que se ha agudizado con el tiempo. Para el caso particular de Lomatepec (M), en dónde la percepción de la disponibilidad del recurso fue más favorable, es importante mencionar que de acuerdo con Borda-Niño (2014) se fortalece esta idea, ya que las dos especies más utilizadas tuvieron un IVIR concentrado en ese rango altitudinal: para *Q. magnolifolia* el IVIR en el rango alto y bajo fue 0.3% y 0.4% respectivamente, mientras que en el rango medio fue de 14.5%; para *Q. elliptica* el IVIR en el rango alto y bajo respectivamente fue 8.7% y 0.0%, mientras que en el rango medio fue de 19.3%. Además, el IVIR acumulado para las 10 especies más utilizadas también resultó mayor en el rango medio (Borda-Niño, 2014).

Así mismo, a pesar de que no necesariamente la escasez de leña refleja que esta actividad sea la principal causa de la deforestación, sino que pueden ser otros factores como la agricultura extensiva los que verdaderamente estén acabando con los bosques cercanos a las localidades (Bailis et al., 2015), los usuarios de leña aceptaron el papel preponderante que pueden tomar sus acciones a nivel colectivo en el deterioro de los bosques locales, aunque no muy claramente en lo individual. Resultó de particular interés la asociación que los habitantes hicieron de la pérdida de los bosques con ideas básicas pertenecientes a un concepto más elevado, como es el cambio climático o el efecto invernadero. Esto puede reflejar un conocimiento profundo de los habitantes locales sobre el medio ambiente o un intento de construcción de un discurso ambiental por parte del sistema educativo local (tal como se pudo apreciar durante algunas de las visitas al sitio de estudio), que resultó relativamente exitoso y pudo estar basado en metáforas para convencer a los oyentes a través de experimentar una clase de idea en términos de otra (Dryzek, 1998).

Bajo la idea de que determinado fenómeno sólo puede ser concebido como un “problema ambiental” si logra un significado en el acervo de conocimientos, valores y experiencias de la vida de las personas (Izazola, 1999), se puede inferir un alto sentido de pertenencia entre los habitantes del sitio de estudio y el medio ambiente. Sin embargo, considerando que todo actor social es un ser pensante, creativo y actuante, es posible que la subjetividad ocupe un lugar fundamental dentro de la diversidad de factores que

determinan las acciones de los individuos en relación con su entorno (Izazola, 1999) y que esta sea la razón por la cuál a pesar de reconocer el problema de manera colectiva, en lo individual no reconozcan su propia contribución. La mayoría de los usuarios consideró que su propio método de extracción (en lo individual) no contribuye al deterioro ya que lleva a cabo una extracción selectiva sobre individuos de gran tamaño (dando oportunidad a los juveniles de ocupar esos nichos) y/o porque realiza la extracción en sitios donde la especie seleccionada es abundante (sitios donde la especie muestra regeneración y reclutamiento exitosos).

Algo importante de resaltar fue que algunos usuarios mencionaron un tipo de permiso “a palabra” que el comisariado o persona sobre la cuál recae la autoridad de la localidad, otorga a una familia para poder extraer un árbol del bosque bajo ciertas condiciones de periodicidad; sin embargo no se encontró evidencia suficiente para afirmar que este proceso se cumple en todos los casos. Este mecanismo o mecanismos parecidos tendrían que ser fortalecidos, si bien no de manera formal o legal, al menos a nivel cultural y de esta manera ayudar a la gestión eficiente de los bienes de uso común y evitar su colapso (Ostrom, 1990).

## 6.2 Especies utilizadas y su distribución natural

Respecto a las especies utilizadas como leña en el sitio de estudio, destacó la predominancia del género *Quercus* sobre otros géneros; en total nueve de las quince (60%) especies utilizadas son encinos y siete de las diez (70%) especies más utilizadas son de este género.

En cuanto al número total de especies utilizadas (15) es difícil realizar una comparación con otros sitios; donde se reportan cantidades que van desde 41 hasta 140 especies arbóreas y arbustivas utilizadas, sin embargo es posible que el área de influencia sea mayor para dichos estudios (Tabuti et al., 2003; Naughton-Treves et al., 2006; Quiroz-Carranza & Orellana, 2010; Singh et al., 2010; Ramírez et al., 2012). Sin embargo una forma de contextualizar el impacto de la utilización de las especies es compararla con la riqueza o el acervo local de especies. En este sentido, Singh et al. (2010) reportan que en un área con una riqueza florística de 74 especies arbóreas, 54 (73%) fueron utilizadas para leña. En el área de influencia del presente estudio, se distribuyen un total de 85 especies arbóreas (la mayoría se presentan en selva baja caducifolia aunque un número importante es de afinidad boreal, Borda-Niño, 2014); solo el 17.4% de las especies presentes en la matriz son utilizadas para leña.

Por otra parte, algunos autores sostienen la idea de que casi cualquier especie es utilizada para leña dependiendo de su abundancia (Bhatt & Sachan, 2004); la mayoría de las especies de este estudio presentó un porcentaje de utilización asociado a su distribución natural en los diferentes rangos altitudinales de acuerdo con Borda-Niño (2014).

Las especies *Q. scytophyla* y *Q. candicans* fueron dos de las cinco especies más utilizadas en Agua Tordillo (A) y exclusivamente utilizadas en dicha localidad; precisamente se reportó su distribución natural sólo en el rango alto ocupando el 1ero y el 5to lugar en cuanto a valor de importancia relativo (Borda-Niño, 2014). Así mismo, la especie *Q. obtusata* fue registrada como utilizada para leña en Lomatepec (M) aunque no formó parte de las cinco especies más utilizadas; en ese mismo rango altitudinal se reportó un bajo valor de importancia relativo para la especie. Esta misma especie fue la tercera más utilizada en Agua Tordillo (A) y ocupó el segundo lugar en cuanto al valor de

importancia relativo en el rango alto (Borda-Niño, 2014). De igual forma las especies *Q. cosnpera*, *Q. glaucescens* y *B. crasifolia* fueron de las más utilizadas en Lomatepec (M) y ocuparon los lugares siete, cinco y nueve respectivamente en cuanto a su valor de importancia relativo en el rango medio (Borda-Niño, 2014). Todo esto refuerza la idea de una utilización relacionada con la disponibilidad.

Sin embargo, las especies *Q. magnolifolia* y *Q. elliptica* resultaron las especies más utilizadas independientemente de la localidad y no mostraron una relación clara con su distribución natural en cada rango altitudinal (sólo en el rango medio de altitud). Si bien es cierto que *Q. magnolifolia* tuvo presencia en los tres rangos altitudinales, tanto en el rango bajo como en el alto, esta presencia fue mínima. Por su parte *Q. elliptica* tuvo el mayor valor de importancia relativo en el rango medio pero no resultó la más utilizada en ese rango; para el rango alto tuvo un valor de importancia relativo mucho menor que muchas otras de las especies utilizadas y aun así fue la segunda más utilizada en ese rango altitudinal. Es posible que estas dos especies sean mayormente utilizadas debido a sus características intrínsecas (en este caso su calidad como leña).

Por tanto es posible que exista una extracción basada en la disponibilidad para la mayoría de las especies, pero también una extracción selectiva para algunas de ellas como *Q. magnolifolia* y *Q. elliptica*. Es posible que el proceso de utilización de las especies pueda estar moldeando el IVR de cada especie en el ecosistema, ya que se encontró una gran abundancia de juveniles y pocos adultos en las especies utilizadas para leña (Borda-Niño, 2014), lo que puede sugerir de que la extracción selectiva está generando nichos adecuados para la regeneración por semilla o que los individuos adultos extraídos tienen capacidad de rebrote (Martínez-Ramos & Álvarez-Buylla, 1995; Ajbilou et al., 2003 en Borda-Niño, 2014).

### 6.3 Especies preferidas y su calidad como combustible

El hecho de que de las 15 especies utilizadas como leña solamente 5 hayan resultado preferidas por los usuarios (*Q. elliptica*, *Q. magnoliifolia*, *Q. conspersa*, *B. crasifolia* y *Q. glaucescens*), concuerda con lo sugerido por algunos autores en el sentido de que pocas especies son realmente preferidas, pero la baja disponibilidad u otros factores pueden ampliar el espectro de especies utilizadas (Singh et al., 2010; Ramírez et al., 2012).

La idea de que las especies preferidas coinciden con las de mayor abundancia (Quiroz-Carranza & Orellana, 2010) solo se reflejó de manera parcial en el presente estudio, particularmente en la localidad de Lomatepec (M) en donde se encontraron cinco especies preferidas y estas mismas cinco especies ocupan los primeros nueve lugares en importancia ecológica en el rango altitudinal medio. Sin embargo en las localidades de Nuevo Aguacate (B) y Agua Tordillo (A) sólo se reportó la preferencia hacia dos especies y en ambos casos, estas especies no tienen una representación ecológica importante en su respectivo rango altitudinal.

Sin embargo más allá de la posible relación entre especies preferidas y su disponibilidad, algunos autores sugieren la idea de que la preferencia de las especies está más relacionada con su calidad como leña (Ramírez et al., 2012). Al analizar cualitativamente los resultados obtenidos para el IVE se puede observar que las cuatro especies que mejor se desempeñaron en las pruebas técnicas coinciden (aunque no en el mismo orden) con cuatro de las cinco especies mencionadas como preferidas (*Q. elliptica*, *Q. magnoliifolia*, *Q. conspersa*, y *Q. glaucescens*). Cabe mencionar que *B. crasifolia* tuvo un mal desempeño como leña desde el punto de vista técnico y a pesar de que fue mencionada como preferida por los usuarios, estos no le atribuyeron ninguna característica deseable para su utilización como leña tal como lo hicieron con las otras especies preferidas (Tabla 8). Por tanto es posible que la preferencia hacia esta especie en particular, esté más asociada a su disponibilidad o a alguna otra característica no identificada ni evaluada mediante el IVE. También es importante mencionar que *Q. glaucescens* tuvo el mejor desempeño en las pruebas técnicas pero no fue la especie preferida por los usuarios, algo similar fue reportado en la India por Rai et al. en 2002; pero difirió de lo encontrado por Chettri & Sharma en 2009 en ese mismo país.

Las características que los encuestados consideraron deseables en especies utilizadas como leña fueron “alta producción de calor”, lo que en términos técnicos equivale a un alto poder calorífico; “gran duración del fuego”, que está relacionado con la densidad (Abbot & Lowore, 1999; Padilla et al., 2000) y el contenido de humedad (Abbot & Lowore, 1999); “baja producción de humo”, que está relacionado con el contenido de humedad (Bushnell et al., 1989); “facilidad para arder aunque esté verde”, relacionado con el contenido de compuestos volátiles orgánicos (Demirbas, 2003), “facilidad para rajarse” relacionado con la organización estructural de las fibras de la madera; además de “baja humedad”, “baja producción de ceniza” y “gran abundancia de la especie”. Considerando que el IVE toma en cuenta la mayoría de estas características, era de esperarse que el grupo de especies preferidas por los usuarios guardara una gran similitud con las especies con el mejor desempeño técnico (especies con el mayor IVE). Estas características coinciden con algunas de las señaladas como deseables por usuarios de leña en diferentes estudios (Abbot et al. 1997; Shankar et al., 1998; Rai et al, 2002; Contreras-Hinojosa et al., 2003; Quiroz-Carranza & Orellana, 2010); también se encontraron reportes de otras características no mencionadas durante la encuesta como “alta tasa de pérdida de humedad”, “alta luminosidad de la flama”, “no producción de chispas” y “alta resistencia a las termitas” (Abbot et al. 1997) además de “madera pesada o dura” (Rai et al, 2002; Contreras-Hinojosa et al., 2003; Quiroz-Carranza & Orellana, 2010). Así mismo algunos autores sugieren una relación entre las características deseables en las especies para leña y los usos finales que se le dan a dichas especies (Abbot et al. 1997); en este sentido, por ejemplo, resultó lógico que una “alta luminosidad de la flama” no fuera mencionada por los encuestados ya que ellos no utilizan leña para la iluminación de los espacios (utilizan energía eléctrica).

El hecho de que exista un reducido grupo de especies con la mayor calidad como leña desde el punto de vista social y técnico y que además la gente considere la disponibilidad de la especie como una característica deseable, refuerza la idea de que las especies de menor calidad son utilizadas en mayor medida debido a su disponibilidad (Ramírez et al., 2012). Este puede ser el caso particular de *C. lanata* que aunque tuvo el peor desempeño como leña en las pruebas técnicas (entre las 10 especies evaluadas) su uso es relativamente común, posiblemente debido a su presencia ecológica en los tres rangos altitudinales, particularmente importante en los rangos medio y alto.

Con la información recopilada en el presente estudio y con la valiosa información de Borda-Niño (2014) es posible sugerir que la recolección de las especies preferidas o mejores para leña se ha tornado difícil debido a una baja disponibilidad, como se ha planteado en otros estudios (Bhatt & Sachan, 2004); sin embargo para comprobar si la extracción de las especies preferidas se tornará insostenible en el corto plazo, habría que evaluar otros parámetros como la regeneración o analizar la estructura poblacional de estas especies y de todas las demás que son utilizadas para leña. Entender este proceso y tomar acciones al respecto es de vital importancia para el sitio de estudio, sobre todo considerando que la sustitución de especies preferidas para leña por otras de mayor disponibilidad pero de menor calidad, conlleva a un incremento en el consumo (Ramírez et al., 2012)

Así mismo cabe reconocer el conocimiento empírico de los usuarios para distinguir especies buenas para leña (Quiroz-Carranza & Orellana, 2010) y para identificar en ellas características que las hacen adecuadas para la combustión; además de destacar el papel fundamental que juega la praxis en este proceso de aprendizaje.

Por otro lado, al analizar de manera cuantitativa los valores obtenidos para las variables densidad básica, contenido de humedad, poder calorífico y contenido de cenizas, así como para el IVE, se puede afirmar que estuvieron dentro de los rangos reportados en otros estudios en los que también se analizan propiedades energéticas de la madera para especies utilizadas como leña en diversas partes del mundo (principalmente la India ya que casi la totalidad de la literatura disponible en este tema corresponde a dicho país). Para fines de comparación, se utilizarán dos grupos de especies: un primer grupo formado por especies templadas o de afinidad boreal como las especies del género *Quercus* y *C. lanata* y un segundo grupo formado por especies tropicales como *L. acapulcense* y *B. crasifolia*,

Para el contenido humedad en muestras de madera de las especies templadas, los valores obtenidos oscilaron entre 0.55 y 1.41 g.g<sup>-1</sup> y se ubicaron por arriba del rango reportado en diversos estudios en la India (entre 0.25 y 0.71 g.g<sup>-1</sup>; Batt & Todaria, 1990 y 1992; Jain, 1992; Rai et al., 2002; Chettri & Sharma, 2009); y también por arriba de lo reportado en España (entre 0.4 y 0.7 g.g<sup>-1</sup>; Núñez-Regueira et al., 1997) y en Turquía (entre 0.53 y 0.61 g.g<sup>-1</sup>; Demirbas, 2003).

Para el contenido humedad en muestras de madera de las especies tropicales, los valores obtenidos estuvieron entre 0.60 y 0.99 g.g<sup>-1</sup> y se ubicaron por arriba del rango reportado en diversos estudios en la India (entre 0.24 y 0.74 g.g<sup>-1</sup>; Batt & Todaria, 1990 y 1992; Jain, 1994; Goel & Behl, 1996; Jain & Singh, 1999; Batt & Tomar, 2002; Rai et al., 2002; Batt et al., 2010; Kumar et al., 2011).

Los valores de contenido de humedad en muestras de corteza para todas las especies (templadas y tropicales) oscilaron entre 0.71 y 1.84 g.g<sup>-1</sup> y los valores integrados entre 0.61 y 1.39 g.g<sup>-1</sup>; sin embargo no se encontraron trabajos que reportaran contenido de humedad para muestras de corteza o mixtas (madera y corteza) aunque es de esperarse que estos valores también estén por arriba de los rangos normales. Esta gran proporción de agua encontrada en las muestras puede atribuirse a la época del año en la cuál se desarrolló la colecta (finales de la época lluviosa, segunda mitad de octubre) ya que el contenido de humedad en los árboles varía dependiendo de la época del año (Batt et al., 2010). Independientemente de la especie, al momento de la colecta las muestras se encontraban muy cerca del punto de saturación (diferencia mínima entre el peso verde y el peso saturado).

Para la densidad básica en muestras de madera de las especies templadas, los valores obtenidos estuvieron entre 0.44 y 0.78 g.cm<sup>-3</sup> y se ubicaron dentro del rango reportado en diversos estudios en la India (entre 0.32 y 0.86 g.cm<sup>-3</sup>; Batt & Todaria, 1990 y 1992; Jain, 1992; Rai et al., 2002; Chettri & Sharma, 2009); sin embargo estuvieron un poco arriba de lo reportado en Nueva Zelanda (entre 0.26 y 0.48 g.cm<sup>-3</sup>; Snelga & Sims, 1999). Para el caso de la densidad básica en muestras de corteza de estas mismas especies, los resultados obtenidos se ubicaron entre 0.42 y 0.66 g.cm<sup>-3</sup> y se ubicaron por encima del rango reportado en Nueva Zelanda (entre 0.27 y 0.40 g.cm<sup>-3</sup>; Snelga & Sims, 1999). Los valores integrados de densidad básica de estas especies oscilaron entre 0.45 y 0.73 g.cm<sup>-3</sup> y estos valores resultaron similares a lo reportado en un análisis de muestras mixtas (madera, corteza y hojas) en España (entre 0.59 y 0.89 g.cm<sup>-3</sup>; Núñez-Regueira et al., 1997)

Respecto a la densidad básica en muestras de madera de las especies tropicales, los valores obtenidos estuvieron entre 0.53 y 0.71 g.cm<sup>-3</sup> y se ubicaron dentro del rango

reportado en diversos estudios en la India (entre 0.27 y 1.0 g.cm<sup>-3</sup>; Batt & Todaria, 1990 y 1992; Jain, 1994; Goel & Behl, 1996; Jain & Singh, 1999; Batt & Tomar, 2002; Rai et al., 2002; Batt et al., 2010; Kumar et al., 2011 ); dentro del rango reportado en Uganda (entre 0.28 y 0.88 g.cm<sup>-3</sup>; Tabuti et al., 2003) y ligeramente debajo de lo reportado en Malawi (entre 0.6 y 0.72 g.cm<sup>-3</sup>; Abbot et al. 1997; Abbot & Lowore, 1999). Los valores de densidad básica en muestras de corteza para estas mismas especies oscilaron entre 0.38 y 0.48 g.cm<sup>-3</sup> y los valores integrados entre 0.49 y 0.63 g.cm<sup>-3</sup>; sin embargo no se encontraron trabajos con especies tropicales que reportaran densidad básica para muestras de corteza o mixtas (madera y corteza).

Para el caso del poder calorífico en muestras de madera de las especies templadas, los resultados oscilaron entre 20.4 y 22.1 kJ.g<sup>-1</sup> y se ubicaron dentro del rango reportado en la India (entre 9.0 y 23.6 kJ.g<sup>-1</sup>; Batt & Todaria, 1990 y 1992; Jain, 1992; Rai et al., 2002; Chettri & Sharma, 2009); aunque por arriba de lo reportado en diferentes regiones de Europa (entre 16.5 y 19.7 kJ.g<sup>-1</sup>; Ledin, 1996; Demirbas, 2003; Gruenewald et al., 2007) y en Nueva Zelanda (19.6 kJ.g<sup>-1</sup>; Snelga & Sims, 1999). Los resultados del poder calorífico en muestras de corteza para estas mismas especies oscilaron entre 17.5 y 21.0 kJ.g<sup>-1</sup>, que resultó muy parecido al único reporte encontrado para muestras de corteza llevado a cabo en Nueva Zelanda (entre 17.8 y 20.6 kJ.g<sup>-1</sup>; Snelga & Sims, 1999). El valor integrado de poder calorífico para estas especies osciló entre 19.7 y 21.9 kJ.g<sup>-1</sup>; resultando casi dentro del rango reportado en un análisis para muestras mixtas (madera, corteza, hojas) en España (entre 17.1 y 21.3 kJ.g<sup>-1</sup>; Núñez-Regueira et al., 1997).

Respecto al poder calorífico en muestras de madera de las especies tropicales, los resultados oscilaron entre 21.3 y 22.5 kJ.g<sup>-1</sup> y se ubicaron dentro del rango reportado en diferentes regiones de la India (10.0 y 24. kJ.g<sup>-1</sup>; Batt & Todaria, 1990 y 1992; Jain, 1994; Goel & Behl, 1996; Jain & Singh, 1999; Batt & Tomar, 2002; Rai et al., 2002; Batt et al., 2010; Kumar et al., 2011). Los valores de poder calorífico en muestras de corteza para estas mismas especies oscilaron entre 19.7 y 21.0 kJ.g<sup>-1</sup> y los valores integrados entre 20.2 y 21.8 kJ.g<sup>-1</sup>; sin embargo no se encontraron trabajos con especies tropicales que reportaran poder calorífico para muestras de corteza o mixtas (madera y corteza).

En cuanto al contenido de cenizas en muestras de madera de las especies templadas, los valores obtenidos oscilaron entre 0.0064 y 0.0245 g.g<sup>-1</sup> y se ubicaron

dentro de lo reportado en diferentes trabajos en la India (entre 0.002 y 0.037 g.g<sup>-1</sup>; Batt & Todaria, 1990 y 1992; Jain, 1992; Rai et al., 2002; Chettri & Sharma, 2009); resultaron algo similares a lo encontrado en Nueva Zelanda (entre 0.007 y 0.014 g.g<sup>-1</sup>; Snelga & Sims, 1999) y ligeramente por abajo de lo encontrado en algunas regiones de Europa (entre 0.015 y 0.061 g.g<sup>-1</sup>; Demirbas, 2003; Gruenewald et al., 2007).

Para el contenido de cenizas en muestras de madera de las especies tropicales, los valores obtenidos oscilaron entre 0.0092 y 0.0119 g.g<sup>-1</sup> y se ubicaron en la parte inferior del rango reportado para diferentes regiones de la India (entre 0.009 y 0.072 g.g<sup>-1</sup>; Batt & Todaria, 1990 y 1992; Jain, 1994; Goel & Behl, 1996; Jain & Singh, 1999; Batt & Tomar, 2002; Rai et al., 2002; Batt et al., 2010; Kumar et al., 2011)

En lo referente al IVE<sup>1</sup> en muestras de madera de las especies templadas, los valores oscilaron entre 739 y 4849 kJ.cm<sup>-3</sup> y se ubicaron dentro del rango reportado en diferentes trabajos en la India (entre 334 y 22678 kJ.cm<sup>-3</sup>; Batt & Todaria, 1990 y 1992; Rai et al., 2002; Chettri & Sharma, 2009); aunque pareciera que los valores obtenidos en este estudio para las especies templadas resultaron bajos, cabe señalar que son pocas las especies templadas que reportaron valores de IVE por arriba de los 2000 kJ.cm<sup>-3</sup> y sólo algunos ejemplos excepcionales alcanzaron valores como el de 22678 kJ.cm<sup>-3</sup>.

Para el IVE<sup>1</sup> en muestras de madera de las especies tropicales los valores oscilaron entre 1058 y 2873 kJ.cm<sup>-3</sup> y se ubicaron dentro del rango reportado en diferentes estudios en la India (entre 267 y 4620 kJ.cm<sup>-3</sup>; Batt & Todaria, 1990 y 1992; Jain, 1994; Goel & Behl, 1996; Jain & Singh, 1999; Batt & Tomar, 2002; Rai et al., 2002; Batt et al., 2010; Kumar et al., 2011).

## 6.4 Calificación del potencial de las especies para la restauración

Bajo el enfoque ecológico, el hecho de que *B. crasifolia* haya resultado la especie mejor evaluada tiene que ver con las altas calificaciones que obtuvo en variables como “tasa de crecimiento” y “capacidad de rebrote”; por su parte *L. acapulcense* resultó bastante favorecida mediante este enfoque (escalando hasta el tercer sitio) debido principalmente a su alta calificación en el Índice de Valor de Importancia Relativo así como en la “capacidad para mejorar las condiciones del suelo”, variables en las cuáles obtuvo el valor máximo. Bajo el enfoque social era de esperarse que *Q. elliptica* y *Q. magnolifolia* fueran las especies mejor evaluadas debido a que ambas son muy apreciadas por los habitantes locales para su uso como leña y para otros fines. *Q. glaucescens* ocupó el tercer lugar y su calificación resultó muy alejada de los dos primeros lugares; fue una especie pocas veces preferida y con pocas características deseables para su utilización como leña, sin embargo se le atribuyeron otros usos. *Q. conspersa* ocupó el cuarto lugar debido a que fue apreciada para leña y otros usos. Bajo el enfoque técnico, *Q. elliptica* y *Q. magnolifolia* se mantuvieron en los dos primeros lugares debido a que ambas especies tuvieron un desempeño adecuado en las pruebas experimentales. Aunque *Q. glaucescens* se mantuvo en el tercer sitio, se redujo la brecha entre ésta y el segundo lugar, debido sobre todo a su excelente desempeño en las pruebas de laboratorio. *L. acapulcense* ocupó el cuarto lugar a pesar de tener un desempeño medio en las pruebas experimentales. Bajo el enfoque equitativo las especies *Q. elliptica*, *Q. magnolifolia*, *Q. glaucescens* y *L. acapulcense* resultaron las mejores evaluadas. Esto coincidió con lo encontrado mediante el enfoque técnico.

Se distinguió un grupo de cinco especies que acumularon las calificaciones más altas (sumatoria de su calificación mediante los diferentes enfoques): *Q. elliptica*, *Q. magnolifolia*, *Q. glaucescens*, *L. acapulcense* y *B. crasifolia*. La selección de este grupo de especies es consistente con los objetivos del estudio, ya que *L. acapulcense* y *B. crasifolia* pueden ayudar a recuperar algunos procesos ecológicos, *Q. elliptica* y *Q. magnolifolia* cumplen las expectativas sociales y *Q. glaucescens* puede favorecer un consumo más eficiente, al poseer la mayor calidad como leña. Además las cinco especies tienen distribución en el rango medio (entre 1072 y 1606 m; Borda-Niño, 2014) y esto ayudaría a que las adaptaciones climáticas no sean un factor determinante, pensando en una posible introducción de estas especies en diferentes sitios (con diferentes altitudes).

Además del uso como leña, existen otros beneficios que las personas pueden obtener de los árboles, ya sea la utilización de la madera para otra actividad o la obtención de un producto o subproducto maderable o no maderable, aportando así un valor agregado a la especie. Esto se puede traducir en un incentivo para el manejo sustentable de dicha especie (Tabuti et al., 2003). En este sentido, el hecho de que bajo el enfoque social tanto *L. acapulcense* como *B. crasifolia* hayan resultado mal evaluadas sugiere que son especies subvaloradas por los habitantes locales.

Para el caso específico de *B. crasifolia*, sólo el 22% de los encuestados reconocieron hacer uso del fruto a pesar de su gran potencial tanto nutricional (Jaimes-Albiter, 2009) como económico (Bayuelo-Jiménez et al., 2006; Jaimes-Albiter, 2009; Santos-Ciriaco, 2013); inclusive se ha reportado también que la corteza de esta especie tiene propiedades antibacterianas y antioxidantes (Granados-Pineda, 2012), sin embargo mediante la encuesta no se detectó un uso similar. Así mismo, esta especie mostró una baja densidad y una alta humedad en laboratorio, razón por la cual bajo el enfoque técnico tampoco figuró como una de las especies mejor evaluadas. Sin embargo, es importante mencionar que obtuvo el valor más alto (significativamente diferente a las otras especies) de poder calorífico para la madera ( $22.5 \text{ kJ.g}^{-1}$ ) por lo que el empleo de procesos tecnológicos adecuados podría potencializar su uso como combustible, reduciendo su humedad y modificando su densidad. Por todo esto, resulta imprescindible considerar a *B. crasifolia* en el grupo final de especies.

Estudios previos con especies utilizadas para leña han propuesto iniciar plantaciones dendroenergéticas con especies preferidas por los usuarios (Quiroz-Carranza & Orellana, 2010); otros sugieren que en estas plantaciones también se consideren aspectos como tasa de crecimiento y productividad (Batt & Tomar, 2002; Kumar et al., 2011) así como supervivencia (Batt & Tomar, 2002). Más allá de las plantaciones energéticas, algunos autores han propuesto la restauración de bosques nativos con especies de alta calidad como combustible (Rai et al, 2002).

Por otra parte existen propuestas bastante completas que establecen criterios para seleccionar las especies adecuadas para la restauración, tomando en cuenta aspectos ecológicos y sociales (Meli et al., 2014); similar a lo realizado en este estudio pero incorporando variables como: el potencial de regeneración natural, la adaptación a diferentes regímenes climáticos así como aspectos técnicos de la implantación in situ.

La evaluación que se llevó a cabo en el presente estudio pretendió tomar en cuenta una visión integral pero sin salirse del marco conceptual de la utilización de las especies para leña (la principal fuente de disturbio en el sitio de estudio).

Por tanto es posible que las especies *Q. elliptica*, *Q. magnolifolia*, *Q. glaucescens*, *L. acapulcense* y *B. crasifolia* puedan ser utilizadas en plantaciones energéticas como una medida correctiva (en el corto plazo) y/o en sistemas agroforestales como una medida preventiva (en el largo plazo) tal como se ha propuesto en otros estudios llevados a cabo en la Montaña de Guerrero (Cervantes-Gutiérrez et al., 2014). Tampoco se puede descartar su utilización para perseguir objetivos específicos de restauración, utilizándolas para prevenir la degradación del suelo o mejorar la estructura y composición de la vegetación (enriquecimiento florístico). Para poner en práctica cualquiera de estos escenarios, algo que resultará imprescindible es tomar en cuenta el conocimiento y trabajo de los habitantes locales.

Por último, puntualizar que este estudio debe ser seguido por otros que evalúen aspectos a gran escala: ecológicos como la regeneración natural de los bosques, el secuestro de carbono o variaciones climatológicas, y económicos como los beneficios monetarios que representa la utilización de los bosques o la incorporación de mecanismos de comercialización de leña en la región (Hernández-Barrios et al., 2015). Esto podrá permitir un manejo sostenible del recurso utilizando especies como *Q. elliptica*, *Q. magnolifolia*, *Q. glaucescens*, *L. acapulcense* y *B. crasifolia*., de modo que la extracción de corto, mediano y largo plazo no lleve a comprometer la disponibilidad de leña para generaciones futuras.

## 7. Conclusiones

El objetivo de esta tesis fue caracterizar y cuantificar el uso para leña de especies arbóreas en un gradiente altitudinal y evaluar su potencial ecológico y social para ser incorporadas en proyectos de restauración productiva. La mayoría de los resultados obtenidos se pudieron generalizar para todo el sitio de estudio ya que no se encontraron diferencias a lo largo del gradiente altitudinal evaluado; en algunos casos particulares se sugiere extender la investigación para indagar sobre estas diferencias.

Respecto a las características del consumo leña en el sitio de estudio, se encontró una gran saturación en el consumo ya que en la totalidad de las viviendas se utiliza leña de manera diaria y en el 97% de los casos no se combina con ningún otro combustible. Sin embargo, la cantidad consumida de leña estuvo dentro de los rangos reportados en otras regiones del país y del mundo, por lo que no se podría hablar de una extracción exacerbada de los recursos. El análisis de estacionalidad en el consumo no permitió obtener conclusiones contundentes, por tanto, para saber si este se mantiene relativamente constante o incrementa en otro momento del año, habría que extender la medición a invierno o verano, para poder evaluar tanto el efecto estacional (posibles diferencias en el consumo de leña en una misma localidad en diferentes épocas del año) como el efecto altitudinal (posibles diferencias en el consumo de leña entre localidades en una misma época del año).

Dado que en el presente estudio no se profundizó en los factores asociados a la deforestación en la zona, no se pudo conocer si la extracción de leña es una causa de deforestación local. Aunque, considerando que también existe degradación en la zona y tomando en cuenta que el método de extracción más común es el corte de árboles vivos, habría que establecer esquemas adecuados de aprovechamiento sustentable de la leña para prevenir daños futuros a los remanentes de bosque conservado así como frenar y revertir el daño en los fragmentos degradados.

Aunado a esto, hay que considerar que el consumo de leña entre dispositivos ahorradores y no ahorradores, no presentó diferencias estadísticamente significativas; esto significa que los dispositivos ahorradores no están reduciendo la extracción del recurso y posiblemente se deba a una obsolescencia de los materiales de construcción.

En lo referente a las especies utilizadas, se sugiere que existe una extracción selectiva sobre *Q. magnoliifolia* y *Q. elliptica* así como una extracción mayormente basada en la abundancia para el resto de las especies. Por su parte, las especies preferidas por los usuarios resultaron las mejor evaluadas a través de los análisis técnicos (aunque no en el mismo orden): *Q. elliptica*, *Q. magnoliifolia*, *Q. conspersa*, y *Q. glaucescens*.

Las especies *Q. elliptica*, *Q. magnoliifolia*, *Q. glaucescens*, *L. acapulcense* y *B. crasifolia* son especies adecuadas para incorporar en proyectos de restauración productiva enfocados a satisfacer las demandas futuras de energía y en ambientes con diferentes niveles de degradación, ya que poseen características deseables desde el punto de vista ecológico, técnico y social y su utilización puede ser de suma importancia en esquemas sustentables de extracción de leña. Por tanto, es posible que este grupo de cinco especies antes mencionadas puedan ser utilizadas en plantaciones energéticas, en sistemas agroforestales o para perseguir objetivos específicos de restauración (enriquecimiento florístico). Por último, para poner en práctica cualquiera de estos escenarios, algo que resultará imprescindible es tomar en cuenta el conocimiento y trabajo de los habitantes locales.

Cabe destacar el conocimiento empírico de los usuarios para reconocer especies buenas para leña y para identificar en ellas las características específicas que las hacen adecuadas para la combustión, ya que las características que los usuarios reconocen en las especies coinciden con las variables evaluadas a través del IVE.

La importancia de este trabajo radicó en la combinación de conocimiento empírico y científico para el establecimiento de un esquema práctico e integral que ayuda en la selección de las especies para la restauración, que puede ser replicable y a la vez adaptable a otros sitios con una alta degradación ambiental y una alta dependencia de la población local hacia los bosques; en dónde existan necesidades de subsistencia que al ser satisfechas se produzca un gran impacto para el entorno, como lo fue el uso de la leña en el sitio de estudio. De acuerdo con este esquema propuesto, en primera instancia se tendría que caracterizar y cuantificar una necesidad local y la elección de las especies para la restauración tendría que estar, en parte, enfocada a satisfacer dicha necesidad.

## 8. Bibliografía

1. Abbot, P. G., & Lowore, J. D. (1999). Characteristics and management potential of some indigenous firewood species in Malawi. *Forest Ecology and Management*, 119(1), 111-121.
2. Abbot, P. G., & Lowore, J. D. (1999). Characteristics and management potential of some indigenous firewood species in Malawi. *Forest Ecology and Management*, 119(1), 111-121.
3. Abbot, P., Lowore, J., Khofi, C., & Werren, M. (1997). Defining firewood quality: A comparison of quantitative and rapid appraisal techniques to evaluate firewood species from a southern African savanna. *Biomass and Bioenergy*, 12(6), 429-437.
4. Abramovitz, J. N. (1998). Sustaining the world's forests. *State of the World*, 21-40.
5. Acosta-Mireles, M., Vargas-Hernández, J., Velázquez-Martínez, A. & Etchevers-Barra, J.D. (2002). Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*, 36(6), 726.
6. Ajbilou, R., Marañón, T., & Arroyo, J. (2003). Distribución de clases diamétricas y conservación de bosques en el norte de Marruecos. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 12(2), 111-123.
7. Alanís-Rodríguez, E., Aranda-Ramos, R., Mata-Balderas, J. M., Canizales-Velázquez, P. A., Jiménez-Pérez, J., Uvalle-Sauceda, J. I., Valdecantos-Dema A. & Ruíz-Bautista, M. G. (2010). Riqueza y diversidad de especies leñosas del bosque tropical caducifolio en San Luis Potosí, México. *Ciencia UANL*, 13(3), 287-294.
8. Alix-García, J., Janvry, A. D., & Sadoulet, E. (2005). A tale of two communities: explaining deforestation in Mexico. *World Development*, 33(2), 219-235.
9. Allen, J. A., Pimentel, D. P., & Lasoie, J. P. (1988). Fuelwood production and use in rural Swaziland: A case-study of two communities. *Forest Ecology and Management*, 25(3), 239-254.
10. Anenberg, S. C., Balakrishnan, K., Jetter, J., Masera, O., Mehta, S., Moss, J., & Ramanathan, V. (2013). Cleaner cooking solutions to achieve health, climate, and economic cobenefits. *Environmental Science & Technology*, 47(9), 3944-3952.
11. Anenberg, S. C., Balakrishnan, K., Jetter, J., Masera, O., Mehta, S., Moss, J., & Ramanathan, V. (2013). Cleaner cooking solutions to achieve health, climate, and economic cobenefits. *Environmental Science & Technology*, 47(9), 3944-3952.
12. Arias, T. (1993). Manejo y consumo de leña en un municipio rural de subsistencia: Alcozauca, Guerrero. Tesis licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.
13. Arizaga S., Martínez-Cruz J., Salcedo-Cabrales M., Bello-González M.A. (2009). Manual de la biodiversidad de encinos michoacanos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) & Instituto Nacional de Ecología (INE). México, D.F.
14. Arnold, M., & Persson, R. (2003). Reassessing the fuelwood situation in developing countries. *International Forestry Review*, 5(4), 379-383.
15. Aronson, J., Floret, C., Floc'h, E., Ovalle, C., & Pontanier, R. (1993). Restoration and Rehabilitation of Degraded Ecosystems in Arid and Semi-Arid Lands. I. A View from the South. *Restoration Ecology*, 1(1), 8-17.

16. Aronson, J., Clewell, A. F., Blignaut, J. N., & Milton, S. J. (2006). Ecological restoration: A new frontier for nature conservation and economics. *Journal for Nature Conservation*, 14(3), 135-139.
17. Bailis, R., Drigo R., Ghilardi, A., & Masera O. (2015). The carbon footprint of traditional woodfuels. *Nature Climate Change*.
18. Baker, A. J. (1982). Wood fuel properties and fuel products from woods. In Proc. Fuel Wood Management and Utilization Seminar (pp. 14-25).
19. Bakker, J. P., Grootjans, A. P., Hermy, M., & Poschlod, P. (2000). How to define targets for Ecological Restoration? - Introduction. *Applied Vegetation Science*, 3(1), 3-6.
20. Baland, J. M., Bardhan, P., Das, S., Mookherjee, D., & Sarkar, R. (2010). The environmental impact of poverty: evidence from firewood collection in rural Nepal. *Economic Development and Cultural Change*, 59(1), 23-61.
21. Barbier, E. B., & Burgess, J. C. (2001). The economics of tropical deforestation. *Journal of Economic Surveys*, 15(3), 413-433.
22. Barnes, D., Openshaw K., Smith K.R., & Van der Plas R. (1994). What Makes People Cook With Improved Biomass Stoves? A Comparative International Review of Stove Programs. World Bank technical paper no. 242. Energy series. Washington, D.C.
23. Barrance, A. (2003). Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. J. Cordero, & D. Boshier (Eds.). Oxford Forestry Institute/CATIE. Costa Rica.
24. Bates, L., Bruce, N., Theuri, D., Owalla, H., Amatya, P., Malla, M. B., & Hood, A. (2005). What should we be doing about kitchen smoke? *Energy for Sustainable Development*, 9(1), 7-15.
25. Bayuelo-Jiménez, J. S., Rico, J. C. L., & Ochoa, I. E. (2006). Caracterización morfológica de *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth nativa de Churumuco, Michoacán, México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 29(Es2), 31-36.
26. Benayas, J. M. R., Newton, A. C., Diaz, A., & Bullock, J. M. (2009). Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis. *Science*, 325(5944), 1121-1124.
27. Berrueta, V. & Magallanes A.B. (2012). "Leña para uso doméstico en comunidades Purépechas de Michoacán: acceso, utilización e implicaciones sociales". En: Argueta A., Gómez M., Salazar M. y Navia J. (Coords). Conocimiento tradicional, innovación y reapropiación social. Editorial Siglo XXI. México D.F.
28. Berrueta, V. M., Edwards, R. D., & Masera, O. R. (2008). Energy performance of wood-burning cookstoves in Michoacan, Mexico. *Renewable Energy*, 33(5), 859-870.
29. Bhatt, B. P., & Sachan, M. S. (2004). Firewood consumption along an altitudinal gradient in mountain villages of India. *Biomass and Bioenergy*, 27(1), 69-75.
30. Bhatt, B. P., & Todaria, N. P. (1990). Fuelwood characteristics of some mountain trees and shrubs. *Biomass*, 21(3), 233-238.
31. Bhatt, B. P., & Todaria, N. P. (1992). Fuelwood characteristics of some Indian mountain species. *Forest Ecology and Management*, 47(1), 363-366.

32. Bhatt, B. P., & Tomar, J. M. S. (2002). Firewood properties of some Indian mountain tree and shrub species. *Biomass and Bioenergy*, 23(4), 257-260.
33. Bhatt, B. P., Sarangi, S. K., & De, L. C. (2010). Fuelwood characteristics of some firewood trees and shrubs of Eastern Himalaya, India. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 32(5), 469-474.
34. Bhatt, B. P., Tomar, J. M. S., & Bujarbaruah, K. M. (2004). Characteristics of some firewood trees and shrubs of the North Eastern Himalayan region, India. *Renewable Energy*, 29(8), 1401-1405.
35. Bhuyan, P., Khan, M. L., & Tripathi, R. S. (2003). Tree diversity and population structure in undisturbed and human-impacted stands of tropical wet evergreen forest in Arunachal Pradesh, Eastern Himalayas, India. *Biodiversity & Conservation*, 12(8), 1753-1773.
36. Bonfil-Sanders, C. (1998). Dinámica poblacional y regeneración de *Quercus rugosa*: implicaciones para la restauración de bosques de encinos. Tesis de Doctorado en Ecología. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
37. Borda-Niño, M. (2014). Distribución espacial de los remanentes de vegetación nativa a nivel de microcuenca en un sector del municipio de Acatepec (Edo. Guerrero): implicaciones en actividades de restauración a nivel de paisaje. Tesis de maestría. Posgrado en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras / Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. UNAM. México, D.F.
38. Brudvig, L. A., & Mabry, C. M. (2008). Trait-Based Filtering of the Regional Species Pool to Guide Understory Plant Reintroductions in Midwestern Oak Savannas, USA. *Restoration Ecology*, 16(2), 290-304.
39. Bushnell, D. J., Haluzok, C., & Dadkhah-Nikoo, A. (1989). Biomass Fuel Characterization: Testing and Evaluating the Combustion Characteristics of Selected Biomass Fuels: Final Report May 1, 1988-July, 1989 (No. DOE/BP-1363). USDOE Bonneville Power Administration, Portland, OR (USA); Oregon State Univ. Dept. of Mechanical Engineering. Corvallis, OR (USA).
40. Caballero-Deloya, M. (2010). La verdadera cosecha maderable en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(1), 6-16.
41. Carvajal-Vanegas, D., & Calvo-Alvarado, J. (2013). Tasas de crecimiento, mortalidad y reclutamiento de vegetación en tres estadios sucesionales del bosque seco tropical, Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 10(25), 1-12.
42. Casal, J., & Mateu, E. (2003). Tipos de muestreo. *Rev. Epidem. Med. Prev.*, 1(1), 3-7.
43. Ceccon, E. (2013). Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales. Díaz de Santos/UNAM-CRIM.
44. Cervantes, M., Ceccon, E. & Bonfil, C. (2014). Germination of Stored Seeds of Four Tree Species from the Tropical Dry Forest of Morelos, Mexico. *Botanical Sciences*, 92(2), 281-287.
45. Cervantes, V., Arriaga, V., Meave, J., & Carabias, J. (1998). Growth analysis of nine multipurpose woody legumes native from southern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 110(1), 329-341.
46. Cervantes, V., López, G. M., Salas, N., & Hernández, G. (2001). Técnicas para propagar especies nativas de selva baja caducifolia y criterios para establecer áreas de reforestación. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México DF.

47. Cervantes-Gutiérrez, V., Gama-Castro, J. E., Roldán-Aragón, I. E., & Hernández-Cárdenas, G. (2014). Basis for implementing restoration strategies: San Nicolás Zoyatlán social-ecological system (Guerrero, Mexico). *Terra Latinoamericana*, 32(2), 143-159.
48. Chazdon, R. L. (2008). Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science*, 320(5882), 1458-1460.
49. Chettri, N., & Sharma, E. (2009). A scientific assessment of traditional knowledge on firewood and fodder values in Sikkim, India. *Forest Ecology and Management*, 257(10), 2073-2078.
50. Chettri, N., Sharma, E., Deb, D. C., & Sundriyal, R. C. (2002). Impact of firewood extraction on tree structure, regeneration and woody biomass productivity in a trekking corridor of the Sikkim Himalaya. *Mountain Research and Development*, 22(2), 150-158.
51. Chidumayo, E. N., & Gumbo, D. J. (2013). The environmental impacts of charcoal production in tropical ecosystems of the world: a synthesis. *Energy for Sustainable Development*, 17(2), 86-94.
52. Contreras-Hinojosa, J. R., Volke-Haller, V., Oropeza-Mota, J. L., Rodríguez-Franco, C., Martínez-Saldaña, T., & Martínez-Garza, Á. (2003). Disponibilidad y uso de leña en el municipio de Yanhuitlán, Oaxaca. *Terra Latinoamericana*, 21(3), 437-445.
53. Curtis, J. T., & McIntosh, R. P. (1951). An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*, 32: 476-496.
54. Dadkhah-Nikoo, A., & Bushnell, D. J. (1987). Analysis of wood combustion based on the first and second laws of thermodynamics. *Journal of Energy Resources Technology*, 109(3), 129-141.
55. D'Antonio, C., & Meyerson, L. A. (2002). Exotic plant species as problems and solutions in Ecological Restoration: a synthesis. *Restoration Ecology*, 10(4), 703-713.
56. Deka, D., Saikia, P., & Konwer, D. (2007). Ranking of fuelwood species by fuel value index. *Energy Sources, Part A*, 29(16), 1499-1506.
57. Demirbaş, A. (2003). Fuelwood characteristics of six indigenous wood species from the Eastern Black Sea region. *Energy Sources*, 25(4), 309-316.
58. Dryzek, J. (1998). The politics of the earth: Environmental discourses. *Human Ecology Review*, 5(1), 65.
59. Du Plessis, M. (1995). The effects of fuelwood removal on the diversity of some cavity-using birds and mammals in South Africa. *Biological Conservation*, 74(2), 77-82.
60. Escobar-Ocampo, M. C., Niños-Cruz, J. Á., Ramírez-Marcial, N., & Yépez-Pacheco, C. (2009). Diagnóstico participativo del uso, demanda y abastecimiento de leña en una comunidad zoque del centro de Chiapas, México. *Ra Ximhai*, 5(2), 201-223.
61. Espejel-Rodríguez, M. M. A., Santacruz-García, N., & Sánchez-Flores, M. (1999). El uso de los encinos en la región de La Malinche, Estado de Tlaxcala, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 64, 35-39.
62. Ewel, J. J., & Putz, F. E. (2004). A place for alien species in ecosystem restoration. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(7), 354-360.

63. FAO. (2002 a). Guía para encuestas de demanda, oferta y abastecimiento de combustibles de madera. Programa de manejo forestal sostenible. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma.
64. FAO. (2002 b). Proceedings: second expert meeting on harmonizing forest-related definitions for use by various stakeholders. Rome, 11-13 September 2002, WMO / IPCC / CIFOR / FAO / IUFRO / UNEP. Rome.
65. FAO. (2010 a). Global Forest Resources Assessment 2010- main report. FAO Forestry Paper No.160. Rome. Disponible en línea en: [www.fao.org](http://www.fao.org). Última consulta 10 de febrero de 2015.
66. FAO (2014). State of the World's Forests. Enhancing the socioeconomic benefits from forests. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. Disponible en: [www.fao.org](http://www.fao.org). Última consulta 4 de junio de 2015.
67. Furukawa, T., Fujiwara, K., Kiboi, S. K., & Mutiso, P. B. C. (2011). Threshold change in forest understory vegetation as a result of selective fuelwood extraction in Nairobi, Kenya. *Forest Ecology and Management*, 262(6), 962-969.
68. Gale, S. W., & Pennington, T. D. (2004). Lysiloma (Leguminosae: Mimosoideae) in Mesoamerica. *Kew Bulletin*, 453-467.
69. García E. (1998 a). Climas: clasificación de Koppen, modificado por García. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Escala 1:1000000. México, D.F.
70. García E. (1998 b). Precipitación total anual. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Escala 1:1000000. México, D.F.
71. Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2002). Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience*, 52(2), 143-150.
72. Ghilardi, A., Guerrero, G., & Masera, O. (2009). A GIS-based methodology for highlighting fuelwood supply/demand imbalances at the local level: a case study for Central Mexico. *Biomass and Bioenergy*, 33(6), 957-972.
73. Goel, V. L., & Behl, H. M. (1996). Fuelwood quality of promising tree species for alkaline soil sites in relation to tree age. *Biomass and Bioenergy*, 10(1), 57-61.
74. Gómez-Díaz, J. D., Etchevers-Barra, J. D., Monterrosos-Rivas, A. I., Campo-Alvez, J., & Tinoco-Rueda, J. A. (2011). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Quercus magnoliaefolia*. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(2), 261-272.
75. González-Villarreal L.M. (1996). Clethraceae. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*. 47:1-19.
76. González-Villarreal, L. M. (1986). Contribuciones al conocimiento del género *Quercus* en el estado de Jalisco. Colección Flora de Jalisco. Instituto de Botánica, Universidad de Guadalajara. Zapopan.
77. González-Villarreal, L. M. (2005). Novelty in *Clethra* (Clethraceae) from Mexico. *Boletín del Instituto de Botánica, Universidad de Guadalajara*, 13, 11-25.

78. Granados-Pineda, J. (2012). Determinación de la actividad antibacteriana y antioxidante del extracto metanólico de la corteza de *Byrsonima crassifolia* (nanche). Tesis de licenciatura. Facultad de Química, UNAM. México, D.F. 77 p.
79. Grime, J. P. (2006). *Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties*. John Wiley & Sons. New York. 222 pp.
80. Gruenewald, H., Brandt, B. K., Schneider, B. U., Bens, O., Kendzia, G., & Hüttl, R. F. (2007). Agroforestry systems for the production of woody biomass for energy transformation purposes. *Ecological Engineering*, 29(4), 319-328.
81. Hajer, M. A. (1995). Politics on the move: the democratic control of the design of sustainable technologies. *Knowledge and Policy*, 8(4), 26-39.
82. Hedberg, E., Kristensson, A., Ohlsson, M., Johansson, C., Johansson, P. Å., Swietlicki, E., Vasely V., Wideqvist U. & Westerholm, R. (2002). Chemical and physical characterization of emissions from birch wood combustion in a wood stove. *Atmospheric Environment*, 36(30), 4823-4837.
83. Hernández-Muciño, D., Sosa-Montes, E., & Ceccon, E. (2014). *Leucaena macrophylla*: An ecosystem services provider? *Agroforestry Systems*, 1-12.
84. Hernández-Barrios, J. C., Anten, N. P., & Martínez-Ramos, M. (2015). Sustainable harvesting of non-timber forest products based on ecological and economic criteria. *Journal of Applied Ecology*, 52(2), 389-401.
85. Hewitt, S. (2009). Discourse analysis and public policy research. *Centre for Rural Economy Discussion Paper Series*, 24.
86. Holmes, P. M., & Richardson, D. M. (1999). Protocols for restoration based on recruitment dynamics, community structure, and ecosystem function: perspectives from South African fynbos. *Restoration Ecology*, 7(3), 215-230.
87. INEGI, 2010 a. Censo de Población y Vivienda 2010. Proporción de ocupantes en viviendas particulares que usan leña o carbón para cocinar. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). México, D.F.
88. INEGI, 2010 b. Censo de Población y Vivienda 2010. Resultados por localidad. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). México, D.F.
89. INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Acatepec, Guerrero. Clave geoestadística 12076. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Disponible en línea en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/12/12076.pdf>. Última consulta: 10 de febrero de 2015.
90. Izazola, H. (1999). "Percepciones ambientales y la dimensión subjetiva de la relación entre población y medio ambiente", en Izazola, H. (coord.) *Población y medio ambiente, desifrando el rompecabezas*. El Colegio Mexiquense/Sociedad Mexicana de Demografía. Zinacantepec, Estado de México.
91. Jaimes-Albíter, C. (2009). Caracterización morfológica de fruto y semilla de nanche *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth y su relación con la capacidad germinativa. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México.

92. Jain, R. K. (1992). Fuelwood characteristics of certain hardwood and softwood tree species of India. *Bioresource Technology*, 41(2), 129-133.
93. Jain, R. K. (1994). Fuelwood characteristics of medium tree and shrub species of India. *Bioresource Technology*, 47(1), 81-84.
94. Jain, R. K., & Singh, B. (1999). Fuelwood characteristics of selected indigenous tree species from central India. *Bioresource Technology*, 68(3), 305-308.
95. Jenkins, B. M., Baxter, L. L., Miles Jr, T. R., & Miles, T. R. (1998). Combustion properties of biomass. *Fuel Processing Technology*, 54(1), 17-46.
96. Jetter, J. J., & Kariher, P. (2009). Solid-fuel household cook stoves: characterization of performance and emissions. *Biomass and Bioenergy*, 33(2), 294-305.
97. Kumar, J. N., Patel, K., Kumar, R. N., & Bhoi, R. K. (2011). An evaluation of fuelwood properties of some Aravally mountain tree and shrub species of Western India. *Biomass and Bioenergy*, 35(1), 411-414.
98. Kumar, R., & Shahabuddin, G. (2005). Effects of biomass extraction on vegetation structure, diversity and composition of forests in Sariska Tiger Reserve, India. *Environmental Conservation*, 32(03), 248-259.
99. Kumar, R., & Shahabuddin, G. (2006). Consequences of rural biomass extraction for bird communities in an Indian tropical dry forest and the role of vegetation structure. *Conservation and Society*, 4(4), 562.
100. Laiolo, P., Caprio, E., & Rolando, A. (2004). Can forest management have season-dependent effects on bird diversity? *Biodiversity & Conservation*, 13(10), 1925-1941.
101. Lamb, D., Erskine, P. D., & Parrotta, J. A. (2005). Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science*, 310(5754), 1628-1632.
102. Lambeck, R. J. (1997). Focal species: a multi-species umbrella for nature conservation. *Conservation Biology*, 11(4), 849-856.
103. Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., Coomes, O. T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P. S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E. F., Mortimore M., Ramakrishnan, P. S., Richards, J. F., Skanes, H., Steffen, W., Stone, G. D., Svedin, U., Veldkamp, T. A., Vogel, C. & Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11(4), 261-269.
104. Landa, R., Meave, J., & Carabias, J. (1997). Environmental deterioration in rural Mexico: an examination of the concept. *Ecological Applications*, 7(1), 316-329.
105. Landa-Ordaz, R. M. A. (1992). Evaluación regional del deterioro en La Montaña de Guerrero. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
106. Landa-Ordaz, R. M. A. (2000). Análisis de los procesos socioambientales del deterioro en La Montaña de Guerrero. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.

107. Langlois, H. C. (2004). Ethnobotanical analysis of different successional stages as sources of wild edible plants for the Guaymi people in Costa Rica. Master of Science dissertation. University of Florida. Florida.
108. Ledin, S. (1996). Willow wood properties, production and economy. *Biomass and Bioenergy*, 11(2), 75-83.
109. León, J. D., & Giraldo, E. (2000). Crecimiento diamétrico en robledales del norte y centro de Antioquia, Colombia. *Crónica Forestal y del Medio Ambiente*, 15(1), 119-138.
110. Libreros-Rosas J.L. (2011) Caracterización de la dinámica de regeneración en "La Martinica". Un relicto de bosque mesófilo de montaña, del centro de Veracruz, con un énfasis en la restauración ecológica. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz.
111. Lindenmayer, D. B., Manning, A. D., Smith, P. L., Possingham, H. P., Fischer, J., Oliver, I., & McCarthy, M. A. (2002). The focal-species approach and landscape restoration: a critique. *Conservation Biology*, 16(2), 338-345.
112. Lockwood, J. L., & Pimm, S. L. (1999). When does restoration succeed? Ecological assembly rules: perspectives, advances, retreats. Weiher, E., & Keddy, P. Cambridge University Press. 363-392. Cambridge.
113. Lohr, S. M., Gauthreaux, S. A., & Kilgo, J. C. (2002). Importance of coarse woody debris to avian communities in loblolly pine forests. *Conservation Biology*, 16(3), 767-777.
114. Lund, H. (2009). What is a degraded forest? Forest Information Services. Gainesville, VA. USA.
115. Luoga, E. J., Witkowski, E. T. F., & Balkwill, K. (2004). Regeneration by coppicing (resprouting) of miombo (African savanna) trees in relation to land use. *Forest Ecology and Management*, 189(1), 23-35.
116. Madubansi, M., & Shackleton, C. M. (2007). Changes in fuelwood use and selection following electrification in the Bushbuckridge lowveld, South Africa. *Journal of Environmental Management*, 83(4), 416-426.
117. Magallanes, A. (2006). Estudio de percepciones sobre el cambio de vida a partir del uso de estufas mejoradas. Reporte interno, GIRA. Pátzcuaro, México, 35 pp.
118. Martínez-Moreno, E., Corona-Torres, T., Avitia-García, E., Castillo-González, A. M., Terrazas-Salgado, T., & Colinas-León, M. T. (2006). Caracterización morfométrica de frutos y semillas de nanche (*Byrsonima crassifolia* (L.) HBK). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(1), 11-17.
119. Martínez-Ramos, M., & Alvarez-Buylla, E. (1995). Ecología de poblaciones de plantas en una selva húmeda de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 56, 121-153.
120. Martorell, C., & Peters, E. M. (2005). The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus "Mammillaria pectinifera". *Biological Conservation*, 124(2), 199-207.
121. Masera, O. (1993). Sustainable fuelwood use in rural Mexico. Volume 1: Current patterns of resource use (No. LBL--34634). Lawrence Berkeley Lab., CA. United States.

122. Masera, O. R. (1994). Socioeconomic and environmental implications of fuelwood use dynamics and fuel switching in rural Mexico. Doctoral dissertation. Energy and Resources Group. University of California, Berkeley. Berkeley.
123. Masera, O. R., Díaz, R., & Berrueta, V. (2005). From cookstoves to cooking systems: the integrated program on sustainable household energy use in Mexico. *Energy for Sustainable Development*, 9(1), 25-36.
124. Masera, O. R., Drigo, R. & Trossero, M. (2003). Woodfuels Integrated Supply/Demand Overview Mapping (WISDOM): A methodological approach for assessing woodfuel sustainability and support wood energy planning. FAO Reports, Wood Energy Program, Forest Products Division, FAO. Rome. 44 pp.
125. Masera, O. R., Saatkamp, B. D., & Kammen, D. M. (2000). From linear fuel switching to multiple cooking strategies: a critique and alternative to the energy ladder model. *World Development*, 28(12), 2083-2103.
126. Mayor, X., Belmonte, R., Rodrigo, A., Rodà, F., & Piñol, J. (1994). Crecimiento diametral de la encina (*Quercus ilex* L.) en un año de abundante precipitación estival: efecto de la irrigación previa y de la fertilización. *Orsis*, 9, 13-23.
127. McDonald, J. D., Zielinska, B., Fujita, E. M., Sagebiel, J. C., Chow, J. C., & Watson, J. G. (2000). Fine particle and gaseous emission rates from residential wood combustion. *Environmental Science & Technology*, 34(11), 2080-2091.
128. Meli, P., Martínez-Ramos, M., Rey-Benayas, J. M., & Carabias, J. (2014). Combining ecological, social and technical criteria to select species for forest restoration. *Applied Vegetation Science*, 17(4), 744-753.
129. Miramontes, O., DeSouza, O., Hernández, D., & Ceccon, E. (2012). Non-Lévy Mobility Patterns of Mexican Me'Phaa Peasants Searching for Fuel Wood. *Human Ecology*, 40(2), 167-174.
130. Munalula, F., & Meincken, M. (2009). An evaluation of South African fuelwood with regards to calorific value and environmental impact. *Biomass and Bioenergy*, 33(3), 415-420.
131. Murali, K. S., Shankar, U., Shaanker, R. U., Ganeshiah, K. N., & Bawa, K. S. (1996). Extraction of non-timber forest products in the forests of Biligiri Rangan Hills, India. 2. Impact of NTFP extraction on regeneration, population structure, and species composition. *Economic Botany*, 50(3), 252-269.
132. Mwampamba, T. H. (2007). Has the woodfuel crisis returned? Urban charcoal consumption in Tanzania and its implications to present and future forest availability. *Energy Policy*, 35(8), 4221-4234.
133. Naughtontreves, L., & Chapman, C. A. (2001). Fuelwood resources and forest regeneration on fallow land in Uganda. *Journal of Sustainable Forestry*, 14(4), 19-32.
134. Naughton-Treves, L., Kammen, D. M., & Chapman, C. (2007). Burning biodiversity: woody biomass use by commercial and subsistence groups in western Uganda's forests. *Biological Conservation*, 134(2), 232-241.
135. Návar, J. (2009). Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 257(2), 427-434.

136. Negreros-Castillo, P., & Martínez-Salazar, I. (2011). Crecimiento y regeneración avanzada de *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth en una selva de Quintana Roo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(5), 15-27.
137. Niembro R. A. (1990). Árboles y arbustos útiles de México, naturales e introducidos. Universidad Autónoma Chapingo-LIMUSA. México, DF. pp: 46-47.
138. Núñez-Regueira, L., Añón, J. R., & Castiñeiras, J. P. (1997). Calorific values and flammability of forest species in Galicia. Continental high mountainous and humid Atlantic zones. *Bioresource Technology*, 61(2), 111-119.
139. Olvera-Vargas, M., Figueroa-Rangel, B. L., Vázquez-López, J. M., & Brown, N. (2006). Dynamics and silviculture of montane mixed oak forests in western Mexico. In *Ecology and Conservation of Neotropical Montane Oak Forests* (pp. 363-374). Springer Berlin Heidelberg.
140. OIMT. 2005. Criterios e indicadores revisados por la Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT) para la ordenación sostenible de los bosques tropicales con inclusión de un formato de informes. ITTO Policy Development Series No. 15. Yokohama.
141. OMS. (2008). Evaluating household energy and health interventions: a catalogue of methods. World Health Organization (WHO). Geneva, Switzerland.
142. Ostrom, E. (1990). El gobierno de los bienes comunes: la evolución de las instituciones de acción colectiva. Fondo de Cultura Económica/UNAM. México, D.F.
143. Padilla, A., Petit, J., Padilla, D., & Quintero, L. (2000). Raw materials used as woodfuel in the Villanueva community, Lara, Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 34(44-1), 11-15.
144. Palmer, M. A., Ambrose, R. F., & Poff, N. L. (1997). Ecological theory and community Restoration Ecology. *Restoration Ecology*, 5(4), 291-300.
145. Panayotou, T. (1993). Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development (No. 292778). International Labour Organization. Geneva.
146. Parrotta, J. A. (1992). The role of plantation forests in rehabilitating degraded tropical ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 41(2), 115-133.
147. Parrotta, J. A., Turnbull, J. W., & Jones, N. (1997). Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management*, 99(1-2), 1-7.
148. Pennington, T. D. & Sarukhán, J. (2005). Árboles tropicales de México: Manual para la identificación de las principales especies. Universidad Nacional Autónoma de México & Fondo de Cultura Económica. México D.F. pp: 304-305.
149. Pérez-Cuz, I. D. (2012). Reintroducción de los encinos *Quercus candicans* Neé y *Quercus crassipes* Humb. & Bonpl. en un Bosque de Valle de Bravo, Edo. de México. Tesis de licenciatura. FES Iztacala, UNAM. Los Reyes Iztacala, Estado de México.
150. Pine, K., Edwards, R., Maser, O., Schilman, A., Marrón-Mares, A., & Riojas-Rodríguez, H. (2011). Adoption and use of improved biomass stoves in Rural Mexico. *Energy for Sustainable Development*, 15(2), 176-183.
151. PNUD-México. (2011). Informe Sobre Desarrollo Humano. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Oficina Nacional de Desarrollo Humano. México, D.F.

152. Purohit, A. N., & Nautiyal, A. R. (1987). Fuelwood value index of Indian mountain tree species. *International Tree Crops Journal*, 4(2-3), 177-182.
153. Quiroz-Carranza, J., & Orellana, R. (2010). Uso y manejo de leña combustible en viviendas de seis localidades de Yucatán, México. *Madera y Bosques*, 16(2), 47-67.
154. Ragland, K. W., Aerts, D. J., & Baker, A. J. (1991). Properties of wood for combustion analysis. *Bioresource Technology*, 37(2), 161-168.
155. Rai, Y. K., Chettri, N., & Sharma, E. (2002). Fuel wood value index of woody tree species from Mamlay watershed in South Sikkim, India. *Forests, Trees and Livelihoods*, 12(3), 209-219.
156. Raman, T. R., Rawat, G. S., & Johnsingh, A. J. T. (1998). Recovery of tropical rainforest avifauna in relation to vegetation succession following shifting cultivation in Mizoram, north-east India. *Journal of Applied Ecology*, 35(2), 214-231.
157. Raman, T. S. (2006). Effects of habitat structure and adjacent habitats on birds in tropical rainforest fragments and shaded plantations in the Western Ghats, India. In *Forest Diversity and Management* (pp. 517-547). Springer Netherlands.
158. Ramírez, A. L. (1999). Determinación de la duración de la fase uredinial en la roya del nanche *Crossopora byrsonimatis* (P. Hennings) R. Peterson en una localidad de la zona de Xalapa, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 1(2), 37-40.
159. Ramírez, L. J., Ramírez, MN Cortina, VH & Castillo, M. (2012). Déficit de leña en comunidades cafetaleras de Chenalhó, Chiapas. *Ra Ximhai*, 8, 27-39.
160. Ramos, M. A., Medeiros, P. M. D., Almeida, A. L. S. D., Feliciano, A. L. P., & Albuquerque, U. P. D. (2008). Can wood quality justify local preferences for firewood in an area of caatinga (dryland) vegetation? *Biomass and Bioenergy*, 32(6), 503-509.
161. REDDEAM. (2013). Proyecto REDDEAM: Riesgo de Extinción Determinado por Distribución de Árboles Mexicanos. Base de datos. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) / Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Disponible en línea en: <http://geoserv.ecosur.mx/>. Última consulta 10 de febrero de 2015.
162. Ren, H., Lu, H., Shen, W., Huang, C., Guo, Q., Li, Z. A., & Jian, S. (2009). *Sonneratia apetala* Buch. Ham in the mangrove ecosystems of China: An invasive species or restoration species? *Ecological Engineering*, 35(8), 1243-1248.
163. Romieu, I., Riojas-Rodríguez, H., Marrón-Mares, A. T., Schilmann, A., Perez-Padilla, R., & Maser, O. (2009). Improved biomass stove intervention in rural Mexico: impact on the respiratory health of women. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 180(7), 649-656.
164. Rykiel, E. J. (1985). Towards a definition of ecological disturbance. *Australian Journal of Ecology*, 10(3), 361-365.
165. Rzedowski, J. (2008). Vegetación de México. 1era. Edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México, D.F.
166. Saatkamp, B. D., Maser, O. R., & Kammen, D. M. (2000). Energy and health transitions in development: fuel use, stove technology, and morbidity in Jarácuaro, México. *Energy for Sustainable Development*, 4(2), 7-16.

167. Sagar, R., Raghubanshi, A. S., & Singh, J. S. (2003). Tree species composition, dispersion and diversity along a disturbance gradient in a dry tropical forest region of India. *Forest Ecology and Management*, 186(1), 61-71.
168. Santiago-Pérez, A. L., Jardel-Peláez, E. J., & Cuevas-Guzmán, R. (2003). Rareza y estado de conservación de especies arbóreas del bosque mesófilo de montaña en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México. *Boletín del Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara*, 10:5-22.
169. Santos-Ciriaco, A. (2013). El nanche *Byrsonima crassifolia* una alternativa de producción frutícola para el municipio de Actopan, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz.
170. Sekercioglu, C. H. (2002). Effects of forestry practices on vegetation structure and bird community of Kibale National Park, Uganda. *Biological Conservation*, 107(2), 229-240.
171. SEMARNAT. (2005). "Inventarios forestales y tasas de deforestación". Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Disponible en línea en: [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_04/02\\_vegetacion/recuadros/c\\_rec3\\_02.htm](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/02_vegetacion/recuadros/c_rec3_02.htm). Última consulta 10 de febrero de 2015.
172. SEMARNAT. (2005). Informe de la situación del medio ambiente en México: Compendio de estadísticas ambientales. Capítulo 5: Aprovechamiento de los recursos forestales, pesqueros y de la vida silvestre. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Disponible en línea en: [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_04/](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/). Última consulta 10 de febrero de 2015.
173. Senelwa, K., & Sims, R. E. (1999). Fuel characteristics of short rotation forest biomass. *Biomass and Bioenergy*, 17(2), 127-140.
174. SENER. (2012). "Balance Nacional de Energía". Secretaría de Energía (SENER). México, D.F. Disponible en: <http://sener.gob.mx>. Última consulta 09 de febrero de 2015.
175. SER. (2002). The SER international primer on Ecological Restoration. Society for Ecological Restoration International Science and Policy Working Group. Disponible en línea en: [www.ser.org](http://www.ser.org). Última consulta 10 de febrero de 2015.
176. Shackleton, C. M. (1993). Fuelwood harvesting and sustainable utilisation in a communal grazing land and protected area of the eastern Transvaal lowveld. *Biological Conservation*, 63(3), 247-254.
177. Shahabuddin, G., & Kumar, R. (2007). Effects of extractive disturbance on bird assemblages, vegetation structure and floristics in tropical scrub forest, Sariska Tiger Reserve, India. *Forest Ecology and Management*, 246(2), 175-185.
178. Shankar, U., Hegde, R., & Bawa, K. S. (1998). Extraction of non-timber forest products in the forests of Biligiri Rangan Hills, India. 6. Fuelwood pressure and management options. *Economic Botany*, 52(3), 320-336.
179. Shankar, U., Murali, K. S., Shaanker, R. U., Ganeshiah, K. N., & Bawa, K. S. (1998). Extraction of non-timber forest products in the forests of Biligiri Rangan Hills, India. 4. Impact on floristic diversity and population structure in a thorn scrub forest. *Economic Botany*, 52(3), 302-315.
180. Sheinbaum, C., Martínez, M., & Rodríguez, L. (1996). Trends and prospects in Mexican residential energy use. *Energy*, 21(6), 493-504.

181. Shiffler, R. E. (1988). Maximum Z Scores and Outliers. *The American Statistician*, 42(1),79-80.
182. Simula, M. (2009). Hacia una definición de degradación de los bosques: análisis comparativo de las definiciones existentes. Departamento Forestal, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma.
183. Singh, G., Rawat, G. S., & Verma, D. (2010). Comparative study of fuelwood consumption by villagers and seasonal “Dhaba owners” in the tourist affected regions of Garhwal Himalaya, India. *Energy Policy*, 38(4), 1895-1899.
184. Singh, S. P. (1998). Chronic disturbance, a principal cause of environmental degradation in developing countries. *Environmental Conservation*, 25(01), 1-2.
185. Singh, S. P., Rawat, Y. S., & Garkoti, S. C. (1997). Failure of brown oak(*Quercus semecarpifolia*) to regenerate in central Himalaya: A case of environmental semisurprise. *Current Science*, 73(4), 371-374.
186. Skowno, A. L., & Bond, W. J. (2003). Bird community composition in an actively managed savanna reserve, importance of vegetation structure and vegetation composition. *Biodiversity & Conservation*, 12(11), 2279-2294.
187. Smith, K. R. (1987). Biofuels, air pollution, and health: a global review. Modern perspectives in energy. Plenum. New York (USA).
188. Smith, K. R., Samet, J. M., Romieu, I., & Bruce, N. (2000). Indoor air pollution in developing countries and acute lower respiratory infections in children. *Thorax*, 55(6), 518-532.
189. Sundriyal, R. C., & Sharma, E. (1996). Anthropogenic pressure on tree structure and biomass in the temperate forest of Mamlay watershed in Sikkim. *Forest Ecology and Management*, 81(1), 113-134.
190. Tabuti, J. R. S., Dhillon, S. S., & Lye, K. A. (2003). Firewood use in Bulamogi County, Uganda: species selection, harvesting and consumption patterns. *Biomass and Bioenergy*, 25(6), 581-596.
191. TAPPI Standards. (2014). TAPPI test methods. Technical Association for Paper and Pulp Industries (TAPP). Publications 2014. Atlanta (USA).
192. Thapa, S., & Chapman, D. S. (2010). Impacts of resource extraction on forest structure and diversity in Bardia National Park, Nepal. *Forest Ecology and Management*, 259(3), 641-649.
193. Thiollay, J. M. (1999). Responses of an avian community to rain forest degradation. *Biodiversity & Conservation*, 8(4), 513-534.
194. Thompson, R. L. (1980). A revision of the genus *Lysiloma* (Leguminosae). Ph.D. Dissertation. Southern Illinois University. Carbondale. 132 p.
195. Toivanen, T., Markkanen, A., Kotiaho, J. S., & Halme, P. (2012). The effect of forest fuel harvesting on the fungal diversity of clear-cuts. *Biomass and Bioenergy*, 39, 84-93.
196. Toledo, M., Poorter, L., Peña-Claros, M., Alarcón, A., Balcázar, J., Leaño, C., Licona, J. C., Llanque, O., Vroomans, V., Zuidema, P. & Bongers, F. (2011). Climate is a stronger driver of tree and forest growth rates than soil and disturbance. *Journal of Ecology*, 99(1), 254-264.

197. Troncoso, K. (2010). Manejo de recursos forestales en la región Purépecha: diseño, difusión y adopción de tecnología para cocción con leña. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas. Centro de Investigaciones en Ecosistemas. Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, México.
198. Troncoso, K., Castillo, A., Masera, O., & Merino, L. (2007). Social perceptions about a technological innovation for fuelwood cooking: Case study in rural Mexico. *Energy Policy*, 35(5), 2799-2810.
199. Troncoso, K., Castillo, A., Masera, O., & Merino, L. (2007). Social perceptions about a technological innovation for fuelwood cooking: Case study in rural Mexico. *Energy Policy*, 35(5), 2799-2810.
200. Troncoso, K., Castillo, A., Merino, L., Lazos, E., & Masera, O. R. (2011). Understanding an improved cookstove program in rural Mexico: An analysis from the implementers' perspective. *Energy Policy*, 39(12), 7600-7608.
201. Valdez T. V., Foroughbakhch P. R., & Alanís F. G. J. (2003). Distribución relictual del bosque mesófilo de montaña en el noreste de México. *Ciencia UANL*, 6(3).
202. Valencia Ávalos, S. (1995). Contribución al conocimiento del género *Quercus* (Fagaceae) en el estado de Guerrero, México. Contribuciones del Herbario de la Facultad de Ciencias, UNAM, (1). México, D.F.
203. Valencia, A. (2004). Improved cookstoves in Michoacan, Mexico: A serch for an integrated perspective that promotes local culture, health, and sustainability. Master dissertation. Energy and Resources Group. University of California, Berkeley.
204. Valencia, A., S. (2004). Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 33-53.
205. Valladares, F., Vilagrosa, A., Peñuelas, J., Ogaya, R., Camarero, J. J., Corcuera, L., Sisó S. & Gil-Pelegrín, E. (2004). Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
206. Vandermeer, J., Brenner, A., & Cerda, I. G. (1998). Growth Rates of Tree Height Six Years after Hurricane Damage at Four Localities in Eastern Nicaragua. *Biotropica*, 30(4), 502-509.
207. Vargas, W. G. (2002). Guía ilustrada de las plantas de las montañas del Quindío y los Andes Centrales. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.
208. Vázquez-Yanes, C., A. I. Batis Muñoz, M. I. Alcocer Silva, M. Gual Díaz y C. Sánchez Dirzo. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO - Instituto de Ecología, UNAM.
209. Villela, S. (2011). De la Montaña a Manhattan: procesos migratorios de la mixteca nahua tlapaneca de Guerrero. Movilidad migratoria de la población indígena en México. Instituto Nacional de Antropología e Historia. pp 189-264.
210. Wang, X., Franco, J., Masera, O. R., & Troncoso, K. (2013) ¿Qué hemos aprendido del uso de biomasa para cocinar en los hogares de AMÉRICA CENTRAL? / Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). Banco Mundial.
211. White, R. H., & Dietsberger, M. A. (2001). Wood products: thermal degradation and fire. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*. (pp. 9712-9716).

212. Wijesinghe, L. D. S. (1984). A sample study of biomass fuel consumption in Sri Lanka households. *Biomass*, 5(4), 261-282.
213. Williams, M. (2003). *Deforesting the earth: from prehistory to global crisis*. University of Chicago Press. Chicago.
214. Williams-Linera, G. (1996). Crecimiento diamétrico de árboles caducifolios y perennifolios del bosque mesófilo de montaña en los alrededores de Xalapa. *Madera y Bosques*, 2(2), 53-65.
215. Williamson, G. B., & Wiemann, M. C. (2010). Measuring wood specific gravity... correctly. *American Journal of Botany*, 97(3), 519-524.
216. Wunder, S. (2001). Poverty alleviation and tropical forests—what scope for synergies? *World Development*, 29(11), 1817-1833.
217. Young, T. P., Chase, J. M., & Huddleston, R. T. (2001). Community succession and assembly comparing, contrasting and combining paradigms in the context of Ecological Restoration. *Ecological Restoration*, 19(1), 5-18.
218. Zamora, H. C. (2011). Impactos socio-ecológicos del uso sostenido de estufas eficientes de leña en siete comunidades de Michoacán. Tesis de Maestra en Ciencias Biológicas. Centro de Investigaciones en Ecosistemas. Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, México.
219. Zar, J. H. (1999). *Biostatistical analysis*. Fourth edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. 663 pp.
220. Zavala-Chávez, F. (2001). *Introducción a la ecología de la regeneración natural de encinos*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.
221. Zobel, M., Maarel, E., & Dupré, C. (1998). Species pool: the concept, its determination and significance for community restoration. *Applied Vegetation Science*, 1(1), 55-66.

# Anexo I. Cuestionario

Preguntas relativas a aspectos socio-económicos generales:

Rangos de edad	Hombre	Mujer
0 a 5 años		
6 a 14 años		
15 a 21 años		
22 a 40 años		
41 años o más		

Composición familiar

¿Cuántas personas viven y comen en esta casa?

- Sólo cultivos
- Sólo jornalero
- Cultivos y jornalero
- Tienda
- Cultivos y tienda
- Otro

¿Cuáles son las actividades principales de ingreso en su familia?

## DATOS GENERALES

¿Qué siembra (aunque sea para autoconsumo)?

- Maíz
- Frijol
- Otro:

Ingreso

¿Qué variedad?

¿Algunos de sus familiares trabajan en Estados Unidos y contribuyen en su ingreso?

- Sí
- No

¿Quién?

Relación con la mujer

- Marido
- Hijos

Preguntas relativas a Demanda:

**DEMANDA**

Saturación o penetración	<b>¿Utiliza leña en alguna de sus actividades?</b>	Sí No																												
Usos finales	<b>¿Para qué actividades utiliza la leña?</b>	Preparar alimentos Calentar agua para bañarse Para iluminar Calentar la casa Ahuyentador de insectos Otro																												
Uso múltiple	<b>¿En cuáles actividades utiliza más de un tipo de combustible?</b>	Preparar alimentos Calentar agua para bañarse Para iluminar Calentar la casa Ahuyentador de insectos Otro																												
Sustitución	<b>¿Qué otros combustibles utiliza en sus actividades?</b>	Carbón Petróleo (Diesel) Electricidad Otro																												
Complementariedad	<b>¿Cuál es la razón por la que utiliza otros combustibles?</b>	Más adecuado de acuerdo al tipo de actividad Disminución en la disponibilidad de leña Comodidad Otro																												
Dispositivo de combustión	<b>¿Cuál es el tipo de fogón que utiliza?</b>	Fogón tres piedras Fogón cerrado con plancha Fogón cerrado con plancha y chimenea																												
	<b>¿Cree que podría reducir el consumo de leña con otro tipo de fogón?</b>	Sí No																												
	<b>¿Qué le cambiaría?</b>	<input type="text"/>																												
	<b>¿Cuántos días al mes utiliza leña?</b>	Todos los días del mes De 20 a 29 días De 10 a 19 días De 1 a 9 días																												
Consumo	<b>¿Cuántas personas se alimentan diariamente en esta casa y cuántas veces al día lo hacen?</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 75%;">Número de personas</th> <th style="width: 12.5%;">1 vez al día</th> <th style="width: 12.5%;">2 veces al día</th> <th style="width: 12.5%;">3 veces al día</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Otro</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Número de personas	1 vez al día	2 veces al día	3 veces al día	5				4				3				2				1				Otro			
Número de personas	1 vez al día	2 veces al día	3 veces al día																											
5																														
4																														
3																														
2																														
1																														
Otro																														
	<b>Cantidad de leña usada por día (pedir que separe la leña que gasta en un día normal de la semana)</b>	<input style="width: 100%;" type="text"/> kg																												

Preguntas relativas a Abastecimiento y Oferta:

ABASTECIMIENTO	Tipo de abastecimiento	¿Cómo consigue la leña que usa en su casa?	Recolecta Compra Compra y Recolecta
		¿Cómo recolecta leña?	Desrame seco Desrame verde Corte de tronco seco Corte de tronco verde Junta del suelo
	Productividad / Disponibilidad	¿Has observado cómo retoñan los árboles?	Sí No
		¿Podrías mencionar cuáles especies retoñan más rápido?	<input type="text"/>
OFERTA	Accesibilidad / Existencia	¿De dónde trae la leña?	Parcela propia Cerca de la comunidad Fuera de la comunidad Otro
		¿A quién pertenecen los terrenos de donde trae la leña?	Privada Comunitaria Estatal Otro
		¿Quién va por la leña más seguido?	Hombre Mujer Niño
	Periodicidad del abastecimiento / Frecuencia	¿Cada cuánto tiempo va por la leña?	Cada semana Cada dos semanas Cada tres semanas Cada mes Otro
		¿Cuánto trae cada vez? (pedir que separe una porción de leña equivalente a una carga normal)	<input type="text"/> kg
		¿Puede identificar alguna época del año o fecha en particular en la que aumente su consumo de leña?	No Sí, en primavera Sí, en verano Sí, en otoño Sí, en invierno Fecha: <input type="text"/>
OFERTA	Accesibilidad / Existencia	¿A qué cree que se deba?	<input type="text"/> En bestia
		¿Cómo acarrea la leña?	A pie Carro Otro
		¿A qué distancia está el lugar de donde trae la leña?	<input type="text"/> km
		¿Cuánto tiempo tarda en ir a traer la leña?	Menos de 1 hr De 1 a 2 hrs De 2 a 3 hrs Más de 3 hrs
ABASTECIMIENTO	Costos	Si usted compra leña, ¿cómo es su patrón de consumo?	Regular (al menos una vez por mes) Ocasional (de 5 a 11 veces al año) Esporádico (de 1 a 4 veces al año)
		¿Cómo paga por la leña?	Forma monetaria Con trabajo Otros
		¿Cuánto paga por ella? (Pedir que separe una porción de leña equivalente al costo mencionado)	<input type="text"/> \$/kg

**PREFERENCIAS**

¿Cuáles son las especies que más utiliza para leña? (Mencionar 5)	<b>Sp 1</b>	<b>Sp 2</b>	<b>Sp 3</b>	<b>Sp 4</b>	<b>Sp 5</b>
	Nombre en mepha				
	Nombre en español				

¿Qué especie o especies prefiere?

¿Porqué?  
 Sabor de los alimentos  
 Se cocinan más rápido  
 Menos humo  
 Otro

¿Qué otros usos les puede dar a estas especies?	<b>Usos</b>	<b>Sp 1</b>	<b>Sp 2</b>	<b>Sp 3</b>	<b>Sp 4</b>	<b>Sp 5</b>
	Para fabricación de herramientas					
	Para fabricación de artesanías					
	Fruto comestible					
	Follaje o flor comestible					
Construcción						

¿Qué tamaño de árbol prefiere para extraer leña? (DAP)  cm

¿Le molesta el humo?  
 Sí  
 No

**SALUD**

¿Por qué le molesta?  
 Tiene problemas de salud  
 Ensucia la casa (la cocina)  
 Otro

¿Usted o algún miembro de su familia ha tenido algún problema de salud relacionado con la leña?  
 Sí  
 No  
 Especifique

¿Cree que la extracción de leña afecta a los bosques?  
 Sí  
 No

**RELACIÓN CON IMPACTO AMBIENTAL**

¿Por qué?

¿Cree que antes encontraba leña más fácilmente?  
 Sí  
 No

¿Hay alguna especie en particular que ya no encuentra con facilidad?