



# **COLEGIO DE POSTGRUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS VERACRUZ  
POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES**

**SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS PARA LA ELABORACIÓN  
DE UN MEJORADOR DE SUELOS (BIOCARBÓN) EN UNA  
LOCALIDAD DEL CENTRO DE VERACRUZ**

**Camilo Andrés Vallejos Mihotek**

Tesis

Presentada como requisito  
parcial para obtener el grado de

**Maestro en Ciencias**

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz  
2018

La presente tesis titulada: **Selección de materias primas para la elaboración de un mejorador de suelos (biocarbón) en una localidad del centro de Veracruz**, realizada por el alumno: **Camilo Andrés Vallejos Mihotek** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

AGROECOSISTEMAS TROPICALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



---

DR. OCTAVIO RUÍZ ROSADO

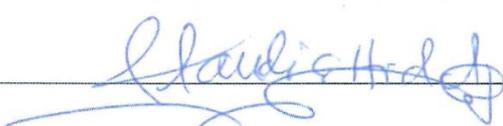
ASESORA



---

DRA. MARÍA DEL CARMEN ÁLVAREZ ÁVILA

ASESORA



---

DRA. CLAUDIA HIDALGO MORENO

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, 30 de julio de 2018

# SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS PARA LA ELABORACIÓN DE UN MEJORADOR DE SUELOS (BIOCARBÓN) EN UNA LOCALIDAD DEL CENTRO DE VERACRUZ

Camilo Andrés Vallejos Mihotek, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2018

El biocarbón funciona como un mejorador de suelos, especialmente tropicales. Se seleccionaron las materias primas más apropiadas para la elaboración de biocarbón en una localidad del centro de Veracruz, México. Para esto se analizaron participativamente 24 materiales bajo criterios sociales, ambientales y económicos. Antes del análisis se familiarizó a los participantes con la producción de biocarbón por cortina de llama utilizando diversos materiales e integrando su conocimiento local. Además, se hicieron recorridos con los participantes para observar los materiales disponibles. Se seleccionaron al guácimo (*Guazuma ulmifolia*), tihuixtle (*Caesalpinia cacalaco*), olotes, caña de maíz (*Zea mays*) y un conjunto de arbustos espinosos como los materiales más apropiados para la producción de biocarbón. Se evaluaron los costos de producción de los materiales y se midieron los costos de tres modalidades de aplicación. Las aplicaciones se hicieron en diferentes volúmenes (4.59, 29.12 y 39 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) a iniciativa de los participantes. Los costos de producción más los costos de aplicación resultaron de entre 6.5 y 114.5 jornales ha<sup>-1</sup> (523 a 9 160 pesos MXN ha<sup>-1</sup>) dependiendo de la materia prima, cantidad aplicada y modo de aplicación. Se consideró al guácimo como la materia prima más apropiada. La caña de maíz, los olotes podrían ser materiales complementarios en la producción de biocarbón. Por su costo el tihuixtle se utilizaría menos que el guácimo. Los arbustos espinosos tuvieron un costo demasiado alto como para considerarlos apropiados.

**Palabras clave:** agroecosistemas, biocarbón, diagnóstico rural participativo, mejorador de suelos, tecnología apropiada.

# FEEDSTOCK SELECTION FOR THE PRODUCTION OF A SOIL AMENDMENT (BIOCHAR) IN A TOWN IN CENTRAL VERACRUZ

Camilo Andrés Vallejos Mihotek, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2018

Biochar works as a soil amendment, especially in tropical soils. Participatory selection was made of the most appropriate feedstocks for biochar production in a town of central Veracruz, México. To that end, 24 materials were analyzed under social, environmental and economic criteria. Before the analysis participants were familiarized with flame curtain pyrolysis biochar production. Beside the analysis, agroecosystems were visited with the participants in order to observe the available feedstocks. Guasimo (*Guazuma ulmifolia*), tihuixtle (*Caesalpinia cacalaco*), corn cobs, corn stover and a mixture of thorny bushes were selected as the most appropriate feedstocks for biochar production. Production cost was evaluated for each feedstock and the cost of three application methods was measured. By participants initiative, applications were done in different volumes (4.59, 29.12 and 39 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). Production plus application costs were between 6.5 and 114.5 work days ha<sup>-1</sup> (523 to 9 160 mexican pesos ha<sup>-1</sup>) depending on feedstock, applied quantity and application method. Guasimo threes were considered the most appropriate feedstock. Corn stover and cobs could be used as supplementary feedstocks for biochar production. Because of its cost, tihuixtle will probably be used less than guasimo. Thorny bushes had such hi cost that they were not considered appropriate.

***Index words:*** *agroecosystems, appropriate technology, biochar participatory rural appraisal, soil amendment.*

Dedicada a Laura.

Agradezco a mi esposa Laura que hizo posible que haga esta maestría, a mis padres sin cuyo apoyo no hubiera podido lograr este trabajo, a mis hermanas que me escucharon y aconsejaron, a mis suegros y cuñados que me acogieron permitiéndome terminar este trabajo y a toda mi familia por hacerme la persona que soy.

A los participantes de esta investigación quienes me permitieron trabajar con ellos y me compartieron una pequeña parte de su conocimiento.

A mi consejo particular: el Dr. Carlos Olguín Palacios Q.E.P.D., Dr. Octavio Ruiz Rosado, Dra. Carmen Álvarez Ávila y Dra. Claudia Hidalgo Moreno quienes retroalimentaron mis ideas, facilitaron mi proceso institucional y en el caso de Carlos y Carmen incluso contribuyeron económicamente con mi investigación.

A todos los académicos estudiantes y personal del Colegio de Posgraduados, Campus Veracruz que me permitieron compartirles mi tesis, retroalimentaron mis ideas y facilitaron mi trabajo.

A la gente de Puente Jula que nos acogió y brindó su amabilidad.

Al Colegio de Postgraduados, CONACYT y SAGARPA que hacen posible la existencia de esta maestría y asignan los recursos para nuestras investigaciones.

Al pueblo mexicano que paga con su trabajo nuestro mantenimiento y trabajo.  
Al pueblo boliviano de cuya historia provengo.

Nos debemos los unos a los otros, no hacemos nada solos.

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>2</b>
2.1 Marco teórico conceptual .....	2
2.1.1 Tecnología .....	2
2.1.2 Tecnología apropiada .....	3
2.1.3 Biocarbón.....	3
2.1.4 Biocarbón de diseño .....	3
2.1.5 Uso en cascada del biocarbón.....	4
2.1.6 Pirolisis .....	4
2.1.7 Pirolisis por cortina de llama .....	4
2.1.8 Materias primas .....	4
2.1.9 Conocimiento local.....	5
2.1.10 Investigación acción.....	5
2.1.11 Diagnóstico rural participativo (DRP) .....	5
2.1.12 Agroecosistema .....	6
2.2 Marco referencial.....	6
2.2.1 Características del biocarbón.....	6
2.2.2 Cambios en las características del suelo al aplicar biocarbón .....	11
2.2.3 Aplicación de biocarbón y productividad agrícola .....	13
2.2.4 Análisis de ciclo de vida de la producción de biocarbón .....	14
2.2.5 Investigación participativa y conocimiento local.....	15
2.2.6 Situación problemática.....	16
<b>3. HIPÓTESIS</b> .....	<b>17</b>
<b>4. OBJETIVO</b> .....	<b>17</b>
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>18</b>
5.1 Motivación y presentación de la tecnología.....	18
5.1.1 Invitación.....	18
5.1.2 Pirolizadores por cortina de llama en forma de paila .....	19
5.1.3 Gasificador.....	20
5.1.4 Criterios didácticos observados en los talleres .....	21
5.1.5 Taller de introducción a la producción y uso de biocarbón .....	22

A.- Parte teórica .....	<b>24</b>
B.- Parte práctica .....	<b>26</b>
5.1.6 Taller de elaboración de composta con biocarbón.....	26
5.2 Análisis de materias primas.....	28
5.2.1 Análisis participativo de materias primas .....	29
5.2.2 Importancia relativa de cada criterio .....	34
5.2.3 Selección de materias primas .....	35
5.3 Descripción de agroecosistemas y su manejo .....	35
5.3.1 Descripción de suelos.....	36
5.3.2 Localización y delimitación de terrenos .....	39
5.3.3 Entrevistas sobre parcelas.....	39
5.4 Análisis de costos.....	39
5.5 Observación participativa de las actividades de producción .....	41
5.5.1 Modelo de producción de biocarbón .....	42
5.5.2 Obtención y preparación de materias primas.....	45
5.5.3 Transporte de agua.....	46
5.5.4 Actividades necesarias para la pirolisis .....	46
5.5.5 Aplicación .....	47
5.6 Análisis de costos de acuerdo a las experiencias de producción.....	49
5.7 Análisis de costos de un escenario “optimista” .....	50
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>51</b>
6.1 Motivación y presentación de la tecnología.....	51
6.1.1 Taller de introducción a la producción y uso de biocarbón - Parte teórica .	52
6.1.2 Taller de introducción a la producción y uso del biocarbón - Parte práctica	53
6.1.3 Taller de elaboración de composta con biocarbón.....	57
6.2 Análisis participativo de materias primas.....	58
6.2.1 Análisis de abundancia .....	59
6.2.2 Distancia .....	60
6.2.3 Dificultad de corte .....	61
6.2.4 Dificultad para manipular .....	61
6.2.5 Usos alternativos .....	61
6.2.6 Porción de material que queda después de aprovecharlo para otros usos	62
6.2.7 Perjuicios .....	63

6.2.8	Rapidez de secado .....	64
6.2.9	Velocidad de crecimiento .....	65
6.2.10	Resistencia al corte.....	65
6.2.11	Velocidad de retoño .....	66
6.2.12	Importancia para la vida silvestre.....	67
6.2.13	Importancia de cada criterio.....	67
6.2.14	Selección de materias primas .....	69
6.3	Descripción de agroecosistemas de siembra y su manejo.....	70
6.3.1	Dimensiones y orografía de los terrenos de siembra.....	70
6.3.2	Vegetación.....	71
6.3.3	Acumulaciones de madera sin uso .....	73
6.3.4	Erosión y medidas de prevención observadas.....	74
6.3.5	Labranza.....	77
6.3.6	Manejo de arvenses.....	78
6.3.7	Manejo y ciclaje de nutrientes del suelo .....	79
6.3.8	Siembra .....	83
6.3.9	Manejo de ganado .....	84
6.3.10	Manejo de desechos agrícolas .....	85
6.3.11	Descripción de suelos.....	85
6.3.12	Problemas de producción agrícola percibidos por los participantes .....	89
6.4	Análisis de costos.....	93
6.4.1	Obtención y preparación de materias primas.....	93
6.4.2	Transporte de agua.....	95
6.4.3	Preparación para la pirólisis.....	96
6.4.4	Apagado descarga y empaque .....	97
6.4.5	Modelo de producción de biocarbón .....	97
6.4.6	Análisis de costos de las experiencias de producción .....	99
6.4.7	Análisis de costos de acuerdo a las experiencias de aplicación .....	100
6.4.8	Análisis de costos bajo un escenario “optimista” .....	102
6.5	Oportunidades de sinergia con el uso de biocarbón en los agroecosistemas observados.....	103
6.6	Materias primas en el contexto de los agroecosistemas, su producción y aplicación .....	105
6.6.1	Guásimo .....	105
6.6.2	Tihuixtle .....	106

6.6.3	Olotes .....	107
6.6.4	Caña de maíz.....	108
6.6.5	Arbustos espinosos.....	109
6.7	Viabilidad económica de la producción y uso de biocarbón .....	110
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>111</b>
<b>8.</b>	<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>113</b>
<b>9.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>124</b>
<b>10.</b>	<b>GLOSARIO.....</b>	<b>131</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.-Pirolizador por cortina de llama de paila en funcionamiento. ....	19
Figura 2.-Transporte del pirolizador.....	20
Figura 3.- Gasificador de lata y sus dimensiones. ....	21
Figura 4.- Pirolizador por cortina de llama en zanja. ....	24
Figura 5.- Elaboración de composta con biocarbón. ....	28
Figura 6.- Valoración jerárquica.....	31
Figura 7.- Ejemplo de puntos de descripción de suelos .....	37
Figura 8.- Excavación de suelos de suelo clavando tubo de acero. ....	38
Figura 9.- Investigador y participante apilando arbustos espinosos. ....	42
Figura 10.- Pirolizador modelo en proceso de ensamblado. ....	43
Figura 11.- Biocarbón aplicado antes de taparlo. ....	48
Figura 12.- Aplicación de biocarbón.. ....	49
Figura 13.- Producción de biocarbón junto al terreno de siembra. ....	50
Figura 14.- Participantes del segundo taller y biocarbón elaborado. ....	55
Figura 15.- Biocarbón producido en el tercer taller. ....	56
Figura 16.- Suma de calificaciones de abundancia .....	60
Figura 17.- Porcentaje de participantes que consideran el material como cercano o lejano. ....	60
Figura 18.- Porcentaje de participantes que considera los diferentes materiales considerados como fáciles regulares o difíciles de cortar. ....	61
Figura 19.- Número de participantes que aprovecha cada uno de los usos de las materias primas analizadas. ....	62
Figura 20.- Porcentaje de participantes que considera que después de usar los materiales le queda una porción determinada de la biomasa (poca, un cuarto, mitad, etc.). ....	63
Figura 21.- Porcentaje de participantes que mencionó cada uno de los perjuicios producidos por las diferentes materias primas.....	64
Figura 22.- Promedio de calificaciones de secado de cada materia prima.....	65
Figura 23.- Velocidad de crecimiento de los distintos materiales. ....	65

Figura 24.- Porcentaje de participantes que consideraron a las diferentes especies como resistentes al corte, regulares o vulnerables. ....	66
Figura 25.- Promedios de calificaciones para velocidad de retoño.....	66
Figura 26.- Porcentaje de participantes que calificaron cada materia prima de acuerdo a su importancia para la vida silvestre. ....	67
Figura 27.- Promedios de calificación de la importancia de cada criterio. ....	68
Figura 28.- Suma de calificaciones generales de los diferentes materiales y promedio de calificaciones.....	70
Figura 29.- Diferentes coberturas vegetales encontradas en los terrenos visitados.....	71
Figura 30.- Presencia de hojas moradas en pastos creciendo en áreas de cultivo. ....	72
Figura 31.- Uso de árboles como leña y postes .....	72
Figura 32.- Ejemplos de acumulaciones de biomasa encontradas en la localidad.....	74
Figura 33.- Porcentaje de participantes que usan los diferentes tipos de labranza.....	77
Figura 34.- Labranza con yunta.....	78
Figura 35.- Porcentaje de participantes que realiza las diferentes prácticas de control de arvenses. ....	79
Figura 36.- Bosta de ganado vacuno con señales de excavaciones de escarabajos....	82
Figura 37.- Raíces en asociación con micelio encontradas al levantar rocas en el terreno.....	82
Figura 38.- Raíces de planta de cacahuate con nódulos.....	83
Figura 39.- Días de permanencia del ganado y carga instantánea en los terrenos de siembra. ....	84
Figura 40.- Porcentaje de participantes que realiza las diferentes prácticas de manejo de desechos agrícolas de maíz. Ninguno de los participantes recoge o quema la caña de maíz del terreno. ....	85
Figura 41.- Tipos de tierra encontrados en los terrenos de los participantes. ....	87
Figura 42.-Valores de la tasa de infiltración.....	89
Figura 43.- Obtención de arbustos espinosos. ....	95
Figura 44.- Ensamble del pirolizador en el lugar de producción de biocarbón. ....	96
Figura 45.- Empacado del biocarbón para transporte en burro. ....	97
Figura 46.- Costos de producción de biocarbón por m <sup>3</sup> y por Mg.....	99

Figura 47.- Costos de producción más costos de aplicación de las diferentes materias primas..... 101

Figura 48.- Costos de producción + ABM..... 102

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.- Ejemplo de obtención de promedios de valoraciones jerárquicas. ....	32
Cuadro 2.- Prácticas de fertilización de parcelas agrícolas. ....	80
Cuadro 3.- Densidad del biocarbón de cada materia prima y peso de los diferentes volúmenes aplicados .....	100
Cuadro 4.- Costos de producción de biocarbón con las diferentes materias primas. ...	124
Cuadro 5.- Detalle de los costos de todas las actividades necesarias para el procesamiento a través de la pirolisis .....	125
Cuadro 6.- Costos de Aplicación de Biocarbón Enterrado (ABE). ....	126
Cuadro 7.- Costos de Aplicación de Biocarbón Tapado (ABT). ....	127
Cuadro 8.- Costos de Aplicación de Biocarbón con Punzón (ABP). ....	128
Cuadro 9.- Costos de producción bajo un escenario optimista. ....	129
Cuadro 10.- Costos de Aplicación de Biocarbón Mecanizada (ABM) más costos de producción (escenario optimista). ....	130

## 1. INTRODUCCIÓN

Se conoce como biocarbón al carbón fabricado a partir de biomasa y producido con la intención utilizarlo como mejorador de suelos. Dicha mejora ocurre debido a las características físicas y químicas del biocarbón, el cual puede tener una capacidad de intercambio catiónico (CIC) alta por ejemplo de  $217 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Cornelissen *et al.*, 2016), esta característica es muy importante pues un suelo con una CIC alta retiene mejor la mayor parte de los diferentes nutrientes. Mediante su aplicación se ha observado aumento en la porosidad del suelo, por ejemplo de 19% al aplicar 1 g de biocarbón  $100 \text{ g}^{-1}$  de suelo (Herath *et al.*, 2013), la porosidad del suelo es importante pues en los poros es donde se conserva el agua y aire del suelo, además que los poros facilitan la penetración de raíces. También se ha observado aumento de la infección de raíces por micorrizas, habiendo un ejemplo en el que se incrementaron en un 610% con una aplicación de biocarbón de  $800 \text{ g m}^{-3}$  de suelo (Ishii y Kadoya, 1994), las micorrizas tienen una relación mutualista con las plantas pues transportan nutrientes del suelo a la raíz y evitan infecciones en la misma.

Dependiendo de las condiciones de producción, el biocarbón puede mantenerse estable en el suelo por décadas, siglos o incluso milenios (Joseph *et al.*, 2007). La mayor parte del carbono presente en el biocarbón ya no regresa a la atmósfera y permanece en el suelo por todo este tiempo. Por esta razón también se le considera como una herramienta para combatir el cambio climático, siempre y cuando se observe un criterio de sustentabilidad en la obtención de las materias primas con las que se produce.

En este trabajo se utilizó el enfoque del diagnóstico rural participativo (DRP) para elegir las materias primas más apropiadas para producir biocarbón en la Microrregión de Atención Prioritaria (MAP) en Angostillo, Paso de Ovejas, Veracruz. Debido a que usaremos este marco de investigación, en el que la población del área de estudio participa en las decisiones de investigación, la metodología fue diseñada y ejecutada por el equipo de investigadores de manera conjunta con los participantes de la misma. Se decidió trabajar en esta localidad pues en ella se presentan problemas de producción que el biocarbón puede contribuir a mejorar como: densidad del suelo alta, velocidad de infiltración insuficiente (Ávila-Cruz, 2009; este estudio), mal drenaje (este estudio),

estación lluviosa de sólo cuatro meses (Vilaboa-Arroniz *et al.*, 2014) y canícula que deprime la producción agrícola (Vilaboa-Arroniz *et al.*, 2014). De acuerdo a experiencias anteriores, el biocarbón puede contribuir a reducir la densidad del suelo y aumentar la retención de agua (Abel *et al.*, 2013). También se ha observado que puede aumentar la infiltración de agua (Husk and Major, 2010) y mejorar la retención de nutrientes (Glaser *et al.*, 2002).

Seleccionar las materias primas más convenientes en el contexto local y de estas seleccionar las que sirvan para producir un biocarbón con potencial de mejorar los suelos de la zona, son los primeros pasos para desarrollar y aplicar la tecnología del biocarbón más apropiada localmente.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Marco teórico conceptual**

#### **2.1.1 Tecnología**

De acuerdo con Bain (1937), se puede definir a la tecnología como el conjunto de herramientas, máquinas, utensilios, armas, instrumentos, viviendas, ropa, aparatos de comunicación y transporte y las habilidades para producirlos y usarlos.

La anterior definición puede completarse con la definición de Cáceres y Woodhouse, (1998) para quienes la tecnología es el conjunto de comportamientos sociales e instrumentos utilizados para lograr un objetivo o producto. Es una creación humana que al mismo tiempo modifica y transforma a aquellas sociedades que la usan (Cáceres y Woodhouse, 1998). Esta última definición nos hace confrontar un dilema ético al decidir si introducir nuevas tecnologías a cualquier grupo humano y cómo hacerlo. Al introducir una o varias tecnologías se pueden tener efectos no deseables en una sociedad, pero, el no hacerlo, puede significar el negarle a dicho grupo cambios sociales deseables. Como veremos, este dilema puede evitarse si quienes reciben la tecnología cuentan antes con información suficiente para decidir si les conviene adoptarla o no y cómo hacerlo.

### **2.1.2 Tecnología apropiada**

Una manera de enfrentar el dilema mencionado anteriormente es usar como guía al concepto de tecnología apropiada. La tecnología apropiada es tecnología diseñada considerando el contexto de su uso. Las tecnologías más apropiadas son sustentables, pequeñas y aceptables socioculturalmente para sus usuarios (Hazeltine y Bull, 1999).

Se considera a la tecnología apropiada como una alternativa a la transferencia de tecnología incentiva en capital de los países desarrollados a los no desarrollados (Akubue, 2000). Sin embargo, muchos movimientos de tecnología apropiada tuvieron como escenario a países desarrollados enfocándose más bien en asuntos de sustentabilidad (National Center for Appropriate Technology, 2011).

El concepto tiene una fuerte influencia del libro “Lo pequeño es hermoso” (Schumacher, 1973) y de la filosofía “swadeshi” o auto-sostenimiento de Gandhi (Akubue, 2000). Ambos hacen énfasis en la importancia de la producción local y la independencia (Akubue, 2000).

### **2.1.3 Biocarbón**

Lehmann y Joseph (2009) definen al biocarbón como carbón producido a partir de biomasa y con la intención de aplicarlo a los suelos para mejorar su productividad, almacenaje de carbono o la infiltración de agua de percolación. A esta definición, la Iniciativa Internacional del Biocarbón (IBI por sus siglas en inglés) agrega que la producción y uso del biocarbón reduce las emisiones de gases de invernadero, teniendo un valor observable y significativo de captura de carbono atmosférico. Así mismo, Verheijen *et al.*, (2010) añaden que la producción y uso del biocarbón se realiza evitando efectos dañinos al ambiente circundante y a la salud humana y animal.

### **2.1.4 Biocarbón de diseño**

Es el biocarbón fabricado de manera que tenga las características que respondan a las limitantes del suelo donde se va a aplicar (Novak *et al.*, 2009). Así, un suelo arenoso en un clima seco requerirá biocarbón con retención de agua alta, uno con retención de

nutrientes bajos, requerirá un biocarbón con CIC y Capacidad de Intercambio Aniónico CIA altas, etc.

El manejo de las condiciones de producción como temperatura máxima, tiempo a temperatura máxima, presencia (limitada) de oxígeno durante la pirolisis entre otras, permiten obtener biocarbón con características deseables para cada suelo (Danje, 2011).

### **2.1.5 Uso en cascada del biocarbón**

Se refiere a la práctica de utilizar el biocarbón para un uso, al terminar de usarlo colectarlo y usarlo para un segundo uso, seguido de un tercero y así las veces que se pueda. De este modo se paga sólo una vez por el biocarbón pero se lo puede aprovechar muchas veces (Schmidt and Wilson, 2014).

### **2.1.6 Pirolisis**

Es el proceso de descomposición por calor de materiales orgánicos en ausencia de oxígeno (IUPAC, 1997). El resultado de este proceso es llamado carbón o biocarbón en caso de que su uso final sea el mejoramiento del suelo (Lehmann and Joseph, 2009).

### **2.1.7 Pirolisis por cortina de llama**

El biocarbón puede producirse utilizando diferentes procesos, uno de los cuales es la pirolisis por cortina de llama. Este tipo de pirolisis consiste en “quemar” la biomasa en un contenedor con los lados inclinados, abierto en la parte superior y sin entradas de aire por la parte inferior. El fuego producto de la combustión de los gases generados durante la pirolisis consume el oxígeno del aire y limita la oxidación de la biomasa en procesamiento (Cornelissen *et al.*, 2016).

### **2.1.8 Materias primas**

Las materias primas son aquellas cosas que existen en la naturaleza independientemente de la existencia del ser humano, que el ser humano separa, filtra y transforma según su conveniencia utilizando su trabajo. El concepto también incluye a otros materiales ya procesados que son el objeto de futuras transformaciones producto del trabajo humano (Marx, 1867).

### **2.1.9 Conocimiento local**

El conocimiento local es el conjunto de las creencias y costumbres de la gente de un lugar, está basado en evidencia empírica e intuición. Este conocimiento tiene lógica y consistencia interna (Farrington y Martin, 1988).

### **2.1.10 Investigación acción**

Es un proceso de investigación en la que grupos humanos identifican un problema que intentan resolver, formulan hipótesis y seleccionen una, ejecutan una acción para comprobar la hipótesis, evalúan los resultados de la acción y formulan generalidades con base en la experiencia (Lewin, 1946). Por su metodología es de carácter participativo, democrático y lleva a la transformación de la situación de los actores de la investigación acción (Lewin, 1946).

### **2.1.11 Diagnóstico rural participativo (DRP)**

El DRP es un enfoque de investigación que agrupa a una variedad de acercamientos y métodos para permitir a la gente compartir, analizar y mejorar su conocimiento de sus condiciones de vida para planear y actuar (Chambers, 1994). El objetivo del DRP es promover el autoanálisis y la autodeterminación de las comunidades (Expósito, 2003).

De acuerdo con Chambers (1994) el DRP se basa en los siguientes supuestos:

- La gente es capaz y debe hacer mucha de su investigación y planeación.
- El papel de la gente de fuera de la comunidad (como los técnicos) es el de facilitadores o catalizadores.
- La racionalidad de los campesinos es valiosa y respetable.

Proponemos que el DRP es una forma muy adecuada de presentar y adaptar tecnología apropiada, para que las poblaciones puedan decidir si la adoptan o no y como la adaptan a sus necesidades y objetivos. Usando el DRP los investigadores y la comunidad podemos obtener información suficiente para saber si una tecnología es apropiada para la comunidad.

### **2.1.12 Agroecosistema**

El agroecosistema es un ecosistema con un grado de modificación y control humano consiente. Esta modificación y control se realizan con el propósito de producir alimentos y otros productos agropecuarios útiles a los seres humanos. El agroecosistema existe en una serie de agroecosistemas anidados en diferentes escalas (Harth, 1987).

Consideramos este concepto como el más útil para el trabajo, pues nos permitirá tener en cuenta cualquier escala del agroecosistema como fuentes de materias primas.

## **2.2 Marco referencial**

### **2.2.1 Características del biocarbón**

Las materias primas con las que se produce el biocarbón, el proceso por el que se produce y los tratamientos postproceso determinan las características físico-químicas del biocarbón (Downie, 2014). Las estructuras presentes en la materia vegetal se conservan en cierta medida después del proceso de pirolisis y de esta manera influyen en las características físicas del biocarbón (Masiello, 2004). El proceso de pirolisis resulta en una extracción de materia de la biomasa y una concentración de carbono mientras que el hidrógeno y oxígeno reducen su concentración. Durante la pirolisis el carbón se reorganiza a nivel molecular formando estructuras aromáticas cada vez más ordenadas a medida que la temperatura y el tiempo de reacción aumentan. Los fenómenos anteriormente mencionados influyen en las características físicas de los biocarbones resultantes. Finalmente, los tratamientos postproceso como el apagado con agua (Cornelissen *et al.*, 2016) o la incubación a temperaturas mayores a 30 °C (Cheng *et al.*, 2006) modifican las características físicas y químicas de los carbones producidos.

#### **2.2.1.1 Características físicas**

Las características físicas del biocarbón generalmente estudiadas son la densidad aparente, la porosidad y la Superficie específica (SE). La resistencia mecánica no es muy comúnmente estudiada, pero si es importante para este trabajo por el papel que podría jugar en contribuir a formar suelos resistentes a la compactación por la presencia del ganado en los terrenos de siembra.

De acuerdo con Brewer y Levine (2015) el volumen del biocarbón puede considerarse de tres maneras: volumen aparente, volumen de envoltura y volumen esquelético. El volumen aparente es el volumen que desplaza el biocarbón en un recipiente e incluye los espacios entre partículas de biocarbón. El volumen de envoltura es el volumen aparente menos el espacio entre partículas de biocarbón e incluye los espacios vacíos dentro de las partículas de biocarbón. Finalmente, el volumen esquelético es el volumen aparente menos los espacios entre partículas y los espacios dentro de las partículas de biocarbón. El volumen de envoltura menos el volumen esquelético representan la porosidad del biocarbón.

Generalmente, la literatura revisa la densidad aparente de los biocarbones que se analizan. Sin embargo, esta también depende de los espacios vacíos entre partículas, los cuales dependen de los tamaños de partículas del biocarbón. Por lo tanto, diferentes grados de trituración o diferentes tamaños de partícula de materias primas (troncos, pedacería de madera, viruta, aserrín) resultarán en diferentes densidades aparentes. Esto hace que se requiera de precaución a la hora de comparar la densidad de diferentes biocarbones. La densidad de envoltura será una mejor medida para comparar la densidad de los biocarbones de diferentes materiales.

La densidad del biocarbón es en general menor que la de los suelos por lo que puede usarse para reducir la densidad de los mismos (Herath *et al.*, 2013). Reducir la densidad del suelo puede favorecer el crecimiento de raíces pues las mismas tienen que desplazar el peso del suelo al crecer (Houlbrooke *et al.*, 1997). Diversos estudios han encontrado que la incorporación de biocarbón en el suelo resulta en mayor y más rápido crecimiento de raíces (Xiang *et al.*, 2017).

Se ha producido carbones con una amplia variedad en la SE. Brown *et al.* (2006) obtuvieron SE de entre 10 y 400 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> mientras que (van Zwieten *et al.*, 2010) obtuvo valores de hasta 1000 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>. La porosidad y SE dependen en parte de la estructura microscópica de las materias primas que se utilicen (Brewer, 2012). En el caso del biocarbón fabricado a partir de plantas, se conserva parte de las estructuras vegetales (Masiello, 2004). Tanto la porosidad como la SE aumentan al aumentar la temperatura de producción (Brewer, 2012), sin embargo, a partir de cierta temperatura disminuyen,

esto debido a deformación plástica, sinterización de cenizas y fusión de poros (Brown *et al.*, 2006, Jia y Lua, 2008). Por ejemplo, la SE disminuyó a partir de los 700-800 °C en el estudio de Jia y Lua (2008). La pérdida de área de superficie también puede deberse a la fusión de poros a medida que su tamaño de ambos aumenta (Brewer, 2012). En el estudio de Cornelissen *et al.* (2016) los biocarbones apagados con agua tuvieron mayores SE que otros fabricados de la misma manera pero apagados con tierra. Es posible el apagado con agua destapara poros que se hayan tapado por cenizas (Cornelissen *et al.*, 2016). Este proceso podría continuar en el suelo aumentando la SE de los biocarbones a través del tiempo (Rafiq *et al.*, 2016).

En la producción de biocarbón por el proceso gasificación, la presencia de oxígeno durante la reacción permite que una parte del material sea removido del biocarbón en formación y propicia la producción de carbones con una mayor SE y porosidad (Zabaniotou *et al.*, 2008). Es probable que dicha remoción forma y/o agranda poros en el material (Zabaniotou *et al.*, 2008). Sin embargo, una remoción excesiva de material puede causar que se fusionen poros y por lo tanto se reduzca la SE (Zhang *et al.*, 2004).

La resistencia mecánica del biocarbón es influenciada por la estructura de la materia prima, contenido de ceniza y proporción de celulosa, hemicelulosa y lignina (Aygün *et al.*, 2003). El aumento de la temperatura y el tiempo de reacción, reducen la cantidad materia en el biocarbón, sin embargo también aumenta su densidad esquelética (Kercher and Nagle, 2002). Por lo tanto, deberá existir un punto intermedio en el que se obtiene la mayor resistencia mecánica para cualquier material.

La pirolisis por cortina de llama ocurre a temperaturas altas (600-750 °C) (Obs. Pers. 2016-2017), sin embargo, dichas temperaturas se alcanzan por pocos minutos y luego disminuyen paulatinamente a 150-400 °C al taparse la biomasa y no tener contacto con oxígeno (Cornelissen *et al.*, 2016). A diferencia del proceso de gasificación en el cual el material está en contacto con cantidades limitadas de oxígeno durante todo el proceso, en el caso de la pirolisis por cortina de llama esto ocurre durante unos minutos y luego la biomasa queda tapada y va perdiendo calor. Este tipo de pirolisis tuvo una producción de biocarbón de entre 13 y 32% del material original en el estudio de Cornelissen *et al.* (2016) lo que indica que un proceso de remoción de materia similar al que ocurre durante el

proceso de gasificación está ocurriendo durante la pirolisis por cortina de llama. Las temperaturas que se alcanzan durante la pirolisis por cortina de llama están dentro del intervalo en el que ocurrió una reducción de la SE en el estudio de Jia y Lua (2008) . Sin embargo, como se mencionó anteriormente, esta temperatura se alcanza y mantiene sólo por pocos minutos (Obs. Pers. 2016-2017).

No se encontraron mediciones de la resistencia mecánica del biocarbón producido por pirolisis por cortina de llama. La temperatura de producción durante la pirolisis por cortina de llama genera biocarbones con alta aromaticidad (Cornelissen *et al.*, 2016), lo que implica alta densidad esquelética (Downie, 2014).

### **2.2.1.2 Características químicas**

Químicamente, el biocarbón es un material con alta concentración de carbono, por ejemplo de 71.7 a 80.5% de su composición en el trabajo de Cornelissen *et al.* (2016). Parte del carbono presente estará organizado en de anillos aromáticos. El grado en que ocurra dicha organización (aromaticidad) dependerá de las condiciones en las que se produzca el biocarbón, particularmente la temperatura a la que se produzca y el tiempo que sufra dicha temperatura (Yuan *et al.*, 2013). El carbono no organizado en láminas aromáticas se encuentra formando diversas sustancias con mayor contenido de hidrógeno y oxígeno que pueden ser removidas aumentando el tiempo y temperatura de pirolisis (Brewer, 2012). A este grupo de sustancias se les llama materia volátil, de acuerdo el estándar para carbones de madera de la ASTM International (2007), se define a la materia volátil como la materia perdida en una atmósfera inerte a 950°C. Finalmente, el biocarbón contiene los elementos inorgánicos (cenizas) que estaban presentes en los materiales que se usaron para fabricarlo (Enders *et al.*, 2012).

Respecto a la presencia de materia volátil, al elevarse la temperatura y el tiempo de reacción, mayores cantidades de materia volátil son removidas del biocarbón, se produce una relación de carbono/hidrógeno alta (Keiluweit *et al.*, 2010).

En general el biocarbón producido a mayores temperaturas tiene pH más elevado (Nguyen y Lehmann, 2009). Los mayores valores de pH a mayores temperaturas probablemente se deben a la pérdida de grupos funcionales ácidos al alcanzarse las

mismas (Enders *et al.*, 2012). El pH también varía de acuerdo a la materia prima que se utiliza en su elaboración, siendo más alcalino el biocarbón de herbáceas que el de maderas y el de estiércol más alcalino que los anteriores (Nguyen y Lehmann, 2009). Las materias primas con mayor contenido de ceniza parecen ser las que generan biocarbones con pH más alto (Enders *et al.*, 2012).

La CIC varía según la materia prima con la que se produce, las condiciones de producción y tratamientos postproducción. La CIC ocurre debido a grupos funcionales ácidos en las superficies del biocarbón, muchos de los cuales contienen oxígeno (Cheng *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2013). Una SE alta proporcionará mayor lugar para estos grupos (Liang *et al.*, 2006a) y facilitar la oxigenación de las superficies del biocarbón propiciará la formación de tales grupos en sí (Lee *et al.*, 2013). Dicha oxidación puede lograrse mediante tratamientos postproceso (Lee *et al.*, 2013) y/o la incubación a temperaturas de más de 30 °C (Cheng *et al.*, 2006). Además de la oxidación de superficies, el conservar materia volátil durante la producción del biocarbón, puede favorecer la presencia de grupos funcionales ácidos (Domingues *et al.*, 2017; Enders *et al.*, 2012), aunque no toda la materia volátil cumplirá necesariamente la función del intercambio catiónico (Mukherjee *et al.*, 2011). Otro mecanismo que influye en la CIC puede ser la adsorción de materia orgánica en las superficies del biocarbón como se observó en experimentos de compostaje con biocarbón (Prost *et al.*, 2012).

La temperatura máxima de producción parece ser un factor importante en la CIC, ya que la misma influye en la SE (Brewer, 2012) y en la presencia de materia volátil del biocarbón (Enders *et al.*, 2012). Frecuentemente en estudios donde se produce biocarbón por pirolisis lenta, la mayor CIC se obtiene a temperaturas de alrededor de 400 °C (Budai *et al.*, 2014; Kloss *et al.*, 2012; Nguyen and Lehmann, 2009b; Rajkovich *et al.*, 2012) o a veces menos como en el estudio de Mukherjee *et al.* (2011) en el que las mayores CIC se obtuvieron a los 250 °C.

Los valores de CIC obtenidos mediante la pirolisis por cortina de llama parecen contradecir la información obtenida al producir biocarbón por otras formas de pirolisis. La pirolisis por cortina de llama ocurre a temperaturas altas (680-750 °C) (Schmidt *et al.*, 2015) y con ella Cornelissen *et al.* (2016) obtuvieron medidas de CIC de entre 45 y 217

cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> con un promedio de 85 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, promedio que supera otros estudios donde se obtuvieron valores altos de CIC como Ulyett *et al.* (2014) (66 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) y el de Herbert *et al.* (2012) donde se obtuvieron valores de hasta 63 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>. Durante la pirolisis por cortina de llama, la biomasa en la superficie del reactor alcanza las mayores temperaturas, mientras que el biocarbón que va quedando abajo reduce su temperatura (Obs. Pers. 2016-2017), esto resulta en tiempos a la temperatura más alta menores y por tanto es posible que haya una menor reducción de materia volátil. Otro posible mecanismo por el que podría aumentar la CIC del biocarbón fabricado por cortina de llama sería la oxidación de las superficies del biocarbón durante la pirolisis, ya que este tipo de pirolisis permite un contacto de aire limitado. En el estudio de Cornelissen *et al.* (2016) los biocarbones en los que se conservó más materia de la biomasa original (32 y 31%) estuvieron entre los que tuvieron menor CIC (48 y 41 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) con la excepción de un material del que se conservó un 25% y tuvo una CIC de 45 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>. Estos datos sugieren que la conservación de materia volátil no es el principal mecanismo por el que el biocarbón producido por cortina de llama obtiene altos valores de CIC. Futuros estudios deberán poner a prueba dicha hipótesis.

La hidrofilia de las superficies del biocarbón ha sido explicada por el revestimiento de las mismas con compuestos orgánicos solubles en agua después de pasar tiempo en el suelo (Hagemann *et al.*, 2017) y también por la oxidación de las mismas (Zimmerman *et al.*, 2010).

En cuanto a la hidrofobicidad en el biocarbón, esta se puede deber a la presencia de grupos orgánicos que se volatilizan a 500 °C o más (Hallin *et al.*, 2015).

Otro factor importante para explicar el efecto del biocarbón en el movimiento de agua en el suelo es la porosidad del mismo y las características de los poros existentes entre las partículas de biocarbón y las del suelo (Barnes *et al.*, 2014).

### **2.2.2 Cambios en las características del suelo al aplicar biocarbón**

Debido a su porosidad, el biocarbón es menos denso que la mayoría de los suelos por lo que se lo puede usar para reducir la densidad aparente de los mismos (Herath *et al.*,

2013). En un estudio de Jien y Wang (2013) se redujo la densidad del suelo de 1.42 a 1.15 Mg m<sup>-3</sup> aplicando 2.5% por peso de biocarbón, los autores atribuyen la reducción en la densidad principalmente al aumento en la porosidad del suelo y la promoción en la formación de agregados por el biocarbón. Otro ejemplo de aumento en la formación de agregados es el estudio de Ouyang *et al.* (2013) o el de Carter *et al.* (2013).

También se ha observado que el biocarbón tiene una influencia en la textura (Tryon, 1948, citado por: Herath *et al.*, 2013), pues puede tener una amplia variedad en el tamaño de sus partículas (Herath *et al.*, 2013).

El biocarbón puede actuar como un agente alcalinizador o acidificador en el suelo, su efecto dependerá de las características del biocarbón que se aplique (Brewer, 2012).

El biocarbón también puede elevar la CIC en los suelos y este es un efecto que aumenta con el paso del tiempo debido a la adsorción por el biocarbón de materia orgánica soluble en agua y probablemente también a la oxidación de sus superficies (Liang *et al.*, 2006; Prost *et al.*, 2012). Ejemplos de mejora en la CIC en suelos son el estudio de Jien y Wang (2013) en el que se aumentó la CIC de 7.41 a 10.8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> con una aplicación de 5% por peso. Otro ejemplo un estudio donde se elevó la CIC de un suelo con CIC alta (17.1 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) en un 21% (20.7 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) con una aplicación de biocarbón de 1% por peso (Laird *et al.*, 2010).

Las propiedades hídricas del biocarbón están determinadas por su tamaño de partícula, forma de sus partículas y su porosidad (Liu *et al.*, 2017). El tamaño de partículas tiene una influencia en la retención de agua por parte del biocarbón. Głąb *et al.* (2016) encontraron que partículas pequeñas (0–500 μm) tenían mejor retención de agua disponible para la planta en un suelo arenoso. En contraste, Zhang *et al.* (2016) encontraron que partículas demasiado finas reducían la retención de agua por haber perdido su porosidad original. Otro factor influyente en la retención del agua es la hidrofobicidad e hidrofilia del biocarbón (Gray *et al.*, 2014).

En cuanto a la retención de agua, esta ha sido incrementada por el biocarbón en algunos estudios (Abel *et al.*, 2013; Carvalho *et al.*, 2014; Ouyang *et al.*, 2013; Yu *et al.*,

2013), aunque también resultó no tener efecto en la misma en otros (Hardie *et al.*, 2014; Zwart and Hummelink, 2014). Las mejoras en la retención de agua a veces requieren de aplicaciones de biocarbón altas, por ejemplo (Carvalho *et al.*, 2014) solo observó un aumento de 0.8% en el agua disponible para la plata por cada Mg ha<sup>-1</sup>. Sin embargo, también se han logrado incrementos importantes con aplicaciones pequeñas como Ouyang *et al.* (2013) que aplicando 2% por peso obtuvo aumentos de 10.6% de ADP en un suelo franco-arenoso y notablemente de 5.2% de agua disponible para la planta en un suelo arcillo-limoso.

La infiltración de agua también ha aumentado con la incorporación de biocarbón (Abel *et al.*, 2013, Ouyang *et al.*, 2013), sin embargo no ha habido mucha consistencia en esta propiedad del biocarbón (Hardie *et al.*, 2014; Ojeda *et al.*, 2015). La conductividad hidráulica casi se duplicó en el estudio de Jien y Wang (2013) (16.7 a 30 cm hr<sup>-1</sup>) al incorporar 2.5% por peso de biocarbón.

Además de los cambios que se han observado en la física y la química del suelo, también se han observado cambios en la biología del suelo después de aplicar biocarbón. Entre estos cambios podemos mencionar los cambios en la población de micorrizas que de acuerdo con la revisión de Warnock *et al.* (2007) son en su mayoría positivos pudiendo alcanzar incrementos de hasta 610% con una aplicación de biocarbón de 8 Mg ha<sup>-3</sup> (Ishii y Kadoya, 1994). La fijación biológica de nitrógeno también puede aumentar por la presencia de biocarbón en el suelo, por ejemplo en el estudio de Rondon *et al.* (2007) donde se aumentó en el suelo el nitrógeno derivado de la atmósfera hasta en un 78% tras la aplicación de 60 kg Mg<sup>-1</sup> de biocarbón.

### **2.2.3 Aplicación de biocarbón y productividad agrícola**

El aumento en las cosechas tras la aplicación de biocarbón no está garantizado, de acuerdo a un meta-análisis de 27 estudios realizado por Baidoo *et al.* (2016) quienes encontraron que la aplicación de biocarbón resultaba en un promedio de aumento de cosechas de 10%, teniendo en ocasiones un efecto negativo. Otro estudio (Jing *et al.*, 2017) encontró un aumento promedio de 15% y notaron en su análisis que la mejora depende del biocarbón utilizado y el suelo donde se utilice, siendo los suelos arcillosos y los suelos ácidos los que se vieron más beneficiados de la aplicación de biocarbón.

Los anteriores análisis se realizaron a nivel global y no diferenciaron entre climas templados o tropicales. En contraste, Jeffery *et al.* (2017) hicieron dicha diferenciación y encontraron que en los trópicos el biocarbón aumentó las cosechas en un promedio de 25% en diferentes estudios mientras que en promedio no tuvo efecto en los climas templados. Los autores atribuyen esta diferencia a la frecuente acidez, baja fertilidad y baja aplicación de fertilizantes en los suelos tropicales.

Los estudios analizados en estos trabajos por lo general prueban diferentes condiciones de producción de biocarbón (Baidoo *et al.*, 2016; Jeffery *et al.*, 2017; Jing *et al.*, 2017), esto significa que se incluyen en el análisis biocarbones producidos en condiciones extremas como de más de 800 °C o tan bajas como 200 °C. Por lo tanto, los promedios obtenidos son correctos para el biocarbón en general, pero no necesariamente para biocarbones de diseño producidos en condiciones óptimas con base en experiencias previas.

Ninguno de estos estudios incluyó pruebas de biocarbón producido por pirolisis por cortina de llama (Schmidt *et al.*, 2015). Con este tipo de pirolisis se han logrado en campo aumentos en la productividad de hasta 300% (Schmidt *et al.*, 2015). Algunas materias primas con las que se ha producido biocarbón

Existen muchas investigaciones en las que se ha caracterizado el biocarbón producido con diferentes materias primas. Los materiales que se han usado incluyen la paja de arroz (Peng *et al.*, 2011), pastos, desechos de maíz, maderas duras (Brewer, *et al.*, 2009), maderas blandas (Abdulrazzaq *et al.*, 2014), cáscara de cacahuate, estiércol de pollo (Novak, Lima y Xing, 2009), y hueso (Novotny *et al.*, 2012), entre otros.

#### **2.2.4 Análisis de ciclo de vida de la producción de biocarbón**

En el trabajo de Roberts *et al.* (2010) se analizó el ciclo de vida de la producción y uso de biocarbón con tres materias primas. Se estimaron la energía neta obtenida durante la pirolisis, el carbono secuestrado, los gastos realizados y las ganancias potenciales. Encontraron que tanto la economía como el secuestro de carbono fueron superiores utilizando desechos.

Otro estudio donde se analiza el ciclo de vida es el de Gaunt y Lehmann (2008) en el que se analiza la producción de energía y emisiones de gases de invernadero evitadas en operaciones de producción bioenergía con plantas especializadas para este fin, así como la producción de energía y emisiones de gases de invernadero evitadas produciendo biocarbón con desechos agrícolas. Encontraron que ambos valores eran superiores en la producción de biocarbón usando desechos que trabajando con cultivos bioenergéticos convencionales.

### **2.2.5 Investigación participativa y conocimiento local**

En la zona de Angostillo se han realizado algunos estudios de investigación participativa con éxito.

El estudio de Suárez *et al.* (2012) tiene relación con este trabajo, ya que en el eligieron de manera participativa 76 especies con potencial de uso en reforestación con la ayuda del conocimiento local de informantes clave de cinco localidades de la MAP. Las especies de árboles se escogieron con base en su escasez, usos conocidos e importancia para la vida silvestre. En el estudio se plantea que al tomar en cuenta la percepción, preferencias y conocimiento de la población local; se pueden hacer más aceptables las iniciativas de reforestación con dichas especies.

También se usó la investigación participativa en la tesis doctoral de Candelaria (2011) en la que se evaluó la sustentabilidad de tres agroecosistemas en el municipio de Paso de Ovejas y se modelaron diferentes escenarios para los mismos.

Otro trabajo que se hizo en la MAP fue la tesis de maestría de Maira Domínguez (2012), en el cual se utilizó el conocimiento local para propagar el ojite (*Brosimum alicastrum*) una especie arbórea local usada como forraje.

En el estudio de (García-Knight, 2016) se evaluó el impacto de la transferencia de tecnología de estufas ahorradoras bajo modelos asistencialista y participativo. La transferencia participativa fue claramente más exitosa. Quienes adoptaron la tecnología además implementaron una serie de innovaciones con las que mejoraron el diseño original. En el estudio se identificaron más de 10 especies utilizadas como leña.

Estas investigaciones nos demuestran que existe un amplio conocimiento local sobre las especies de la región y que se puede investigar de manera exitosa con la población local de la MAP.

### **2.2.6 Situación problemática**

Se han realizado dos tesis de licenciatura sobre los suelos de la zona, la de Xocoyotzin Ávila-Cruz (2009) y la de Briseida Castillo (2009). En ellas se analizan los suelos del Ejido Angostillo, se los clasifica de acuerdo a la clasificación campesina de los suelos y se hace un análisis de su potencial agrícola.

El análisis de Ávila-Cruz (2009) categorizó los suelos del Ejido de Angostillo en una escala del uno al ocho de acuerdo a sus limitaciones para la agricultura (siendo uno los menos limitados y ocho los más). Encontraron que los suelos con mejor calificación pertenecían a la categoría 4, que son suelos con severas limitaciones para la agricultura. Las limitantes de los suelos que se identificaron fueron: pendientes pronunciadas, suelos poco profundos, pedregosidad y susceptibilidad a la erosión.

Ávila-Cruz (2009) también encontró que la mayor parte de los suelos pertenecen a la categoría de tierra amarilla de acuerdo a la clasificación campesina de los suelos. En su estudio se analizó tres tipos de suelo encontrados en los terrenos: tierra amarilla, tierra negra y cascajillo. De acuerdo con su análisis del perfil de la tierra amarilla en la zona, ésta no tenía estructura observable y sólo la primera capa (los primeros 15 cm) tiene una infiltración rápida, mientras que las siguientes son de infiltración lenta. La tierra amarilla y la tierra negra tenían la capa superior con textura de arcilla, mientras que el cascajillo se clasificó como arcilloso limoso. Además de las características físicas, Ávila-Cruz (2009) reporta que la capa superior tiene contenidos de materia orgánica de entre 1.6 y 2.4%, pH ligeramente ácido (5.6 a 5.8), contenido de fósforo de 6 a 9 ppm y potasio de 20 a 60 ppm y contenidos altos de magnesio y calcio. Se debe tomar en cuenta que sólo se usó un punto de muestreo por cada tipo de suelo en este estudio.

Ortega-Vargas *et al.* (2013) reportan que el suelo en un terreno arbolado en las afueras de la localidad de Paso de Ovejas está dominado por piedras y arcilla, pero que

tiene buen drenaje. La diferencia en lo encontrado en ambos estudios demuestra que hay variedad en las características de los suelos de la zona por lo que deben hacerse análisis individuales para cada uso del suelo.

En estos suelos se realiza agricultura de temporal (mayormente maíz) y también existen pastizales y acahuales (Ávila-Cruz, 2009).

Domínguez (2012) atribuye la baja fertilidad de los suelos a malas prácticas de manejo de la agricultura y la ganadería. La línea de investigación en Agroecosistemas Sustentables (AES) propone como problemas importantes el uso de abonos orgánicos nulo, el mal manejo del fuego y el costo de insumos elevado entre otros (Línea AES, 2008). En la región de Paso de Ovejas (que abarca el Ejido Angostillo) llueven alrededor de de 1000 mm anualmente (CONAGUA, n.d.) y hay una época de estiaje marcada de Diciembre a Junio, es decir de hasta siete meses (CONAGUA, n.d.).

### **3. HIPÓTESIS**

Considerando los resultados de los trabajos de análisis de ciclo de vida del biocarbón, de caracterización de diferentes materias primas mencionados anteriormente y la problemática del área de estudio; se formula la siguiente hipótesis:

- ▶ Los desechos agrícolas son las materias primas más convenientes social, económica y ecológicamente, para producir biocarbón en la localidad de Angostillo.

Puesto que este trabajo se trata de determinar las materias primas más apropiadas, la hipótesis presentada es una respuesta anticipada a dicha selección fundamentada en la literatura.

### **4. OBJETIVO**

- ▶ Seleccionar las tres materias primas más convenientes social, económica y ecológicamente, para producir biocarbón en la localidad de Angostillo.

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

Esta investigación se realizó en la localidad de Angostillo, Veracruz que forma parte de la Microregión de Atención Prioritaria Angostillo (MAP Angostillo) la cual es un área donde se concentran esfuerzos de investigación del Colegio de Posgraduados Campus Veracruz. Las coordenadas de la localidad son: latitud 19°13'5.53"N, longitud 96°32'27.39"O altitud: 261 m. La vegetación de la localidad es selva baja caducifolia. El clima es tipo Aw''0 (w) (i') g, el más seco de los cálidos húmedos (García, 1973) con temperatura promedio de 24.5 °C y 1046 mm de precipitación, con temporada de lluvias concentradas de junio a septiembre en la estación climatológica más cercana (CONAGUA, s.f.).

El trabajo se realizó siguiendo las siguientes fases: motivación y presentación de la tecnología, análisis de materias primas, descripción de agroecosistemas, y análisis de costos. Esto nos permitió primero seleccionar las materias primas más convenientes social, económica y ecológicamente (apropiadas) para la producción de biocarbón.

### **5.1 Motivación y presentación de la tecnología**

#### **5.1.1 Invitación**

Se realizaron cinco recorridos invitando a posibles participantes para asistir al taller de introducción a la producción y uso del biocarbón. Los recorridos se hicieron de manera que se incluyeran todas las calles de la localidad en los mismos, si bien no necesariamente se recorrieron todas las calles en cada uno de los recorridos. También se hicieron las invitaciones a distintas horas y días de la semana. Estas actividades se realizaron de este modo con la intención de que la oferta de participar en la investigación alcanzara a todos los subgrupos de la sociedad sin diferencias de clase social, género, etc.

Al encontrar gente en un domicilio el investigador se identificó como tesista del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz y pidió permiso para explicar brevemente el motivo del taller a personas de la familia que trabajaran en el campo. De aceptar, se realizó una

explicación breve, se repartió volantes y se pidió a los interlocutores que corrieran la voz e invitaran a otros posibles interesados.

Además de los recorridos mencionados, durante todo el periodo de la investigación en campo, se aprovechó para invitar a todos los posibles interesados en la localidad.

Se invitaron a más de 50 personas a participar en los talleres.

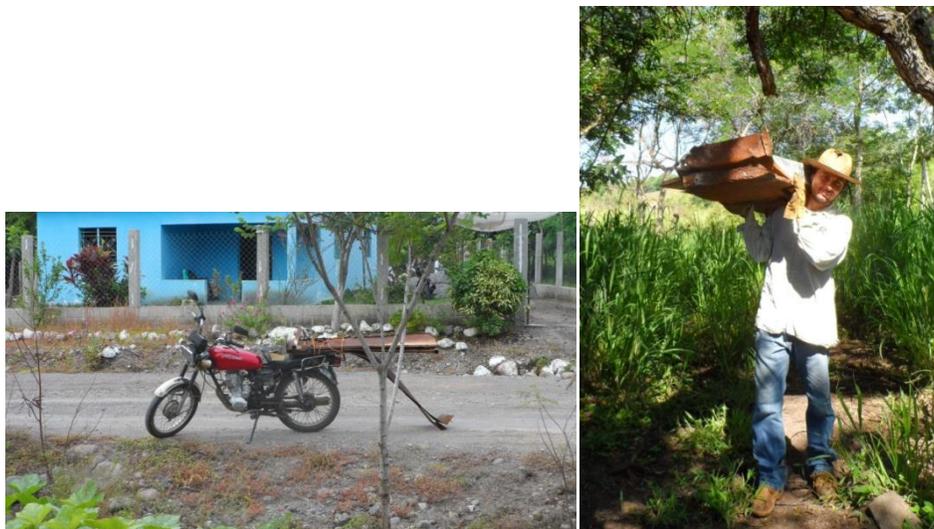
### **5.1.2 Pirolizadores por cortina de llama en forma de paila**

El método de producción de biocarbón escogido para esta investigación fue el de pirólisis por cortina de llama. Antes de elegir la tecnología de pirólisis, se expuso a seis productores de la región, en una presentación de PowerPoint diseños basados en varias tecnologías de producción de biocarbón: pirólisis lenta, gasificación y pirólisis por cortina de llama. La pirólisis por cortina de llama fue apreciada por su bajo costo y rapidez. Por lo tanto, en los talleres de introducción al uso y aplicación del biocarbón se utilizó un pirolizador por cortina de llama en forma de paila (Figura 1) que es una variación del pirolizador Kon tiki propuesto por Schmidt *et al.* (2015). Es un contenedor rectangular de cuatro paredes con sus dos lados largos inclinados en un ángulo de 45° sin tapa ni piso. El pirolizador mide 1.75 m de largo, 40 cm de alto, 50 cm de ancho en la base y 93 cm de ancho en el tope. El volumen contenido en el pirolizador es de 0.39 m<sup>3</sup>. Se fabricó utilizando fierro viejo por un costo de 80 pesos.



**Figura 1.-**Pirolizador por cortina de llama de paila en funcionamiento.

Este diseño de pirolizador puede transportarse en camioneta, burro o motocicleta. Lo puede cargar una persona estando desarmado (Figura 2).



**Figura 2.-**Transporte del pirolizador.

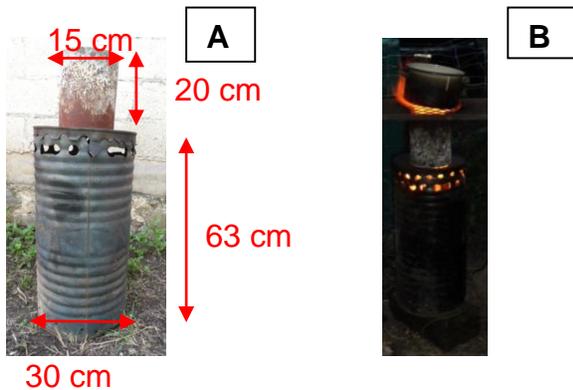
La operación del pirolizador consiste en formar tres torres de biomasa de 25-30 cm de alto y encenderlas. Al lograrse un fuego vivo, se esparce el material y se añade una capa más de material. Seguidamente, cada vez que se observa ceniza en la superficie de las brasas, se añade otra capa de biomasa. De este modo, las capas inferiores tienen un acceso limitado al oxígeno ya que este es consumido por las llamas en las capas superiores del pirolizador. Cuando todo el material ha sido pirolizado, el pirolizador está lleno y ya no se observan llamas, se detiene el proceso añadiendo agua.

Este pirolizador se utilizó para demostrar la tecnología de manera didáctica y que los participantes pudieran obtener biocarbón con el que pudieran experimentar en sus terrenos. Sin embargo, para la producción de biocarbón usada en el análisis económico, se utilizó otro pirolizador más pequeño (descrito más adelante). Para diferenciarlos nombraremos a este pirolizador como pirolizador demostrativo y al segundo como pirolizador modelo.

### **5.1.3 Gasificador**

Además de la pirólisis por cortina de llama, algunos participantes manifestaron curiosidad sobre la producción de biocarbón usando gasificadores a pequeña escala. Aunque ningún participante la consideró la tecnología más conveniente para sus necesidades, se decidió demostrarla en los talleres.

El gasificador es una lata de 60 cm de altura y 30 cm de diámetro. En la parte inferior lateral tiene 24 agujeros de 0.95 cm en un patrón de zigzag y en la base otros 21 agujeros del mismo tamaño formando una cuadrícula. En la parte superior tiene 15 agujeros de 2.5 cm y la tapa es removible para poder introducir la biomasa. La tapa tiene un agujero de 15 cm en la parte superior, encima de este se coloca un cilindro hueco del mismo diámetro y de 20 cm de alto para que funcione como tiro (Figura 3).



**Figura 3.-** Gasificador de lata y sus dimensiones.

La operación del gasificador consiste en llenarlo de palos y terminar el llenado con paja y maraña. Se enciende dicho material y se coloca la tapa y el cilindro sobre los mismos. Al apagar la llama se vacía el gasificador y se apaga el carbón con agua.

#### **5.1.4 Criterios didácticos observados en los talleres**

Para lograr una mejor comunicación con los participantes y crear un ambiente didáctico propicio, se observaron los siguientes criterios:

1. Ser totalmente independiente de la capacidad de leer por parte de los asistentes. El texto sólo sirvió como recordatorio de los expositores y la exposición se apoyó sólo en fotografías, dibujos y algunas gráficas.
2. Ser breve. La exposición teórica nunca duró más de una hora.
3. Usar ejemplos de cultivos, suelos y circunstancias de la región.
4. Presentar criterios ambientales y económicos priorizando el interés de los productores.
5. Aclarar el alcance de la investigación.

6. Exhortar a los participantes a hacer cualquier prueba “en pequeño”, aclarando que no todos los carbones son iguales ni tendrán el mismo efecto en diferentes suelos o con diferentes cultivos.
7. Estimular constantemente a los participantes a hacer preguntas, plantear hipótesis y manifestar sus opiniones.
8. Promover la participación cada vez que haya oportunidad. Se pidió que se comparta experiencia y opiniones de los temas que se manejan en la presentación.
9. Al contestar preguntas o tratar comentarios, usar preferentemente términos que se les ha escuchado a los participantes.
10. Resaltar el valor de las contribuciones de los participantes.
11. Tomar nota de los intereses, preguntas y opiniones que se manifestaron para considerarlos como nuevas hipótesis y preguntas de investigación, sea para esta tesis como para otras investigaciones.

#### **5.1.5 Taller de introducción a la producción y uso de biocarbón**

En los meses de marzo a mayo del año 2017 se realizaron 4 talleres de introducción a la producción y uso del biocarbón con campesinos de la localidad de Angostillo, Veracruz.

Los talleres iniciaron con una presentación personal del investigador a los asistentes, en ella se explicaron los motivos de la investigación y su alcance. Seguidamente se hizo una exposición sobre aspectos básicos de la producción, aplicación y beneficios del biocarbón. Se continuó con una demostración en vivo del pirolizador demostrativo. Este primer acercamiento sirvió para motivar interés en la tecnología e intercambiar conocimiento con los participantes sin crear expectativas irreales. Las actividades mencionadas se realizaron por primera vez en el Centro de Aprendizaje e Intercambio de Saberes (CAIS) en el Campus Veracruz del ColPos, en otras tres ocasiones en parcelas de productores de la localidad de Angostillo y una vez se realizó la parte teórica del taller en la casa del campesino de la misma localidad.

El taller consistió de dos partes, una teórica y otra práctica. En las dos primeras repeticiones del taller, la parte teórica fue una exposición apoyada por una presentación de PowerPoint. En la tercera repetición del taller, la exposición teórica se hizo en campo apoyada por fotografías en rotafolio y el uso de un pintarrón. En todas las exposiciones se presentaron muestras de biocarbón elaborado con distintos materiales (olotes, bambú, hojas, cáscaras de nuez, maderas, etc.) a los participantes.

El equipo investigador consideró muy importante el trabajar en las parcelas de los participantes, utilizando una tecnología accesible para ellos y de su preferencia. Esta forma de trabajar permitió a los participantes convertirse en actores de la investigación e influir en la metodología para adaptarla a sus necesidades y circunstancias.

En las tres primeras presentaciones del taller, la parte práctica se produjo biocarbón utilizando el pirolizador demostrativo (Figura 1). En la cuarta repetición del taller se utilizó el pirolizador por cortina de llama de zanja excavada en el suelo (Figura 4), esto por iniciativa del participante dueño de la parcela. Se explicó la manera de operar los pirolizadores y por qué la biomasa no se consume totalmente (proceso de pirólisis). El biocarbón fue producido con materiales presentes en la parcela donde se realizó cada taller.



**Figura 4.-** Pirolizador por cortina de llama en zanja.

#### **5.1.5.1 Contenido del taller**

##### **A.- Parte teórica**

- 1. Introducción**
- 2. Definición de biochar.-** Diferencia entre el abono y el concepto de mejorador de suelos.
- 3. Beneficios**
- 4. Retención de nutrientes.-** Esquema animado.
- 5. Densidad del suelo.-** Importancia para el crecimiento de raíces.
- 6. Agua.-** Importancia para la infiltración, drenaje y retención de agua.
- 7. Microbios benéficos.-** Promoción de microbios benéficos y su papel en las características del suelo.
- 8. Medios de producción**
- 9. Unidades de producción a diferentes escalas.-** explicación muy resumida sólo para dar un contexto general.

10. **Tipos de unidades de producción.**- Gasificación, pirolisis, pirólisis por cortina de llama, sistemas tradicionales.
11. **¿Cuál unidad de producción conviene?.**- Reflexiones breves sobre las formas de producción en el contexto de la MAP Angostillo.
12. **Producción y calidad.**- Reflexión sobre como las diferentes formas de producirlo y diferentes ``recetas`` producen biocarbón de mayor o menor calidad para este o aquél suelo. Importancia de la investigación del CP y la experimentación en pequeño.
13. **Materias primas.**- Ejemplos de diferentes materias primas que se han usado.
14. **Formas de aplicación**
15. **Arado.**- Explicación breve de curvas de nivel, se comentó que es el la forma de aplicación que requiere de aplicar mayor cantidad.
16. **Aplicación en bandas subterráneas.**- Más localizada, pero puede tener menor efecto.
17. **Punzón.**- La más localizada, el efecto será más fuerte durante el crecimiento temprano pues se aplica en un volumen de suelo limitado.
18. **Otros.**- Breve explicación de métodos que pueden ser más difíciles de implementar en la región (doble excavación, cápsulas de barro, banda subsolar).
19. **Otros usos**
20. **Filtro.**- Énfasis en que debe ser un carbón apropiado.
21. **Urinales.**- Explicación práctica.
22. **Suplemento alimenticio y piso de animales.**- Beneficios, carga de nutrientes y cantidades necesarias.
23. **Construcción.**- Descripción breve.
24. **Combustible.**- Reflexión sobre el uso de unidades de producción de biochar para producir carbón combustible. Breve concientización de posibles problemas ambientales relacionados. Explicación sobre cosecha responsable de madera para carbón.
25. **Uso en cascada o integrado.**- Relación de unos usos con otros y de cómo usar varias veces el mismo carbón (usar carbón que ya se usó para otra cosa). El uso final será el suelo agrícola.

## **26. Obstáculos y oportunidades**

**27. Economía.-** Énfasis en el trabajo de cosecha, transporte, uso alternativo y procesamiento de materias primas. Se explicaron también aspectos de los costos de producción de carbón, tratamiento y aplicación.

**28. Usos en conflicto.-** Se reflexionó brevemente sobre la posibilidad de que haya usos en conflicto de algunas materias primas.

**29. Cuidado de los terrenos (ambiente).-** Ejemplos de prácticas relacionadas que pudieran favorecer la erosión u otros problemas relacionados con la producción de biocarbón. Reflexión y discusión de alternativas.

**30. Riesgo de incendio, contaminación y riesgos de salud.-** Explicación breve sobre emisiones de gases tóxicos y producción de polvo; de cómo mitigarlos durante la producción, transporte y aplicación del biocarbón.

## **B.- Parte práctica**

### **1.- Uso del pirolizador por cortina de llama de paila o Kon tiki**

- Elaboración de biocarbón.
- Explicación de sus ventajas, materiales y costos.

### **2.- Uso del gasificador de lata**

- Elaboración de biocarbón utilizando el gasificador.
- Explicación de sus ventajas, materiales y costos.

### **5.1.6 Taller de elaboración de composta con biocarbón**

En mayo de 2017 se realizó un taller de compostaje con biocarbón. El taller consistió en una explicación teórica y de la elaboración de una pila de composta aeróbica en campo.

Durante los talleres de introducción a la producción y uso de biocarbón, se trató el tema de la carga de nutrientes en el biocarbón, para así elaborar abonos de liberación lenta. Algunos participantes se interesaron en esa práctica y pidieron más información al respecto, siguiendo los principios de la investigación participativa, se decidió realizar un taller de elaboración de composta con biocarbón.

El taller se realizó en una parcela cercana al domicilio de uno de los participantes, se contaba con una fuente de agua, estiércol viejo de burro (de un corral cercano), hojarasca seca de mango, arbustos no deseados en el terreno y el biocarbón producido en el tercer taller.

Se inició el taller con una explicación teórica en el patio de uno de los participantes. Se explicaron aspectos básicos del compostaje aeróbico en pilas como las condiciones necesarias (microbios, aire, agua y balance de carbono/nitrógeno). Se utilizó lenguaje cotidiano para explicar la teoría, por ejemplo, para explicar el balance de carbono/nitrógeno se lo comparó con la presencia de carbohidratos (arroz, papa, camote) y proteínas (frijol, carne) en el plato que comemos normalmente.

Además de la explicación sobre el compostaje, se expusieron otras formas de mezclar el biocarbón con nutrientes como orina, estiércol y fertilizantes sintéticos entre otros.

La composta se preparó con 456 l de biocarbón, 228 l de estiércol de burro, 304 l de hojarasca de mango seca, 38l de hojas frescas de arbustos no deseados y tres paladas de tierra de monte. Primero se niveló el terreno y se hizo una base de palos cruzados para promover el flujo de aire, luego se añadieron los ingredientes en capas de 5 a 10 cm aproximadamente, empezando por el biocarbón, luego la materia seca (hojarasca), después el estiércol de burro y repitiendo este orden hasta usar todo el material. Al añadir cada capa se mojaron los materiales hasta la saturación. La composta se volteó semanalmente tres veces procurando que las partes de arriba y de los lados quedaran en el centro de la nueva pila (Figura 5).



**Figura 5.-** Elaboración de composta con biocarbón.

La composta siempre estuvo tapada con un plástico encima para evitar que la lluvia se llevara la composta o la mojara de más. Debajo del plástico se incluyó una capa de palos para que no impidiera la aireación de la pila.

## **5.2 Análisis de materias primas**

El análisis de materias primas se realizó mediante una entrevista semi-estructurada donde se consideraron criterios logísticos, económicos y ambientales y sociales de usar distintas materias primas. Sin embargo, muchos criterios tienen importancia tanto económica como ambiental o social, por esto no se puede dividir el análisis en cada una de estas categorías.

### **5.2.1 Análisis participativo de materias primas**

La palabra “entrevista” no describe perfectamente la actividad realizada. Si bien se utilizó una guía con preguntas, cada pregunta fue una conversación que continuó hasta asegurarse que ambos interlocutores entendieran de igual manera el análisis que se iba a hacer. Podría decirse que la actividad fue una versión individual y modificada del análisis de alternativas descrito por Expósito (2003).

Antes de comenzar el análisis, se hizo una reflexión sobre los criterios que se iban a analizar y el porqué del análisis. Se pidió a los participantes que imaginaran que iban a producir biocarbón para su terreno, donde lo producirían, donde lo guardarían, donde lo aplicarían, etc.

Los participantes escogieron un máximo de ocho materias primas con las que hacer el análisis. Este grupo de materias primas se escogió justo después de la reflexión mencionada y después de recordar las actividades realizadas en el taller. Sólo se realizó la entrevista a personas que hubieran realizado el taller de introducción a la producción y uso de biocarbón.

Los criterios considerados se decidieron con base en conversaciones con los participantes. Durante el análisis se preguntó a los participantes si había algún otro criterio que considerara importante para analizar.

El propósito de valorar cada criterio fue de inducir al participante a reflexionar sobre cada material desde distintos puntos de vista y que de esta manera, el participante pudiera formar una opinión informada sobre cuales materiales usaría más y porque razones tendría dichas preferencias. Asignar una calificación a los materiales permite comparar las materias primas seleccionadas entre sí usando las calificaciones obtenidas para cada criterio.

El análisis buscó hacer una valoración cualitativa de los materiales, dichos valores pudieron ser una calificación en la escala de Likert, una valoración dicotómica, nominal o una relación jerárquica entre los materiales considerados (material A > material C > material B) (Figura 6).

### **5.2.1.1 Criterios valorados por la escala de Likert o dicotómicamente**

Fueron los criterios que los participantes no pudieron valorar jerárquicamente. Se valoraron según las categorías que eligieron los participantes. Fueron: distancia, dificultad de corte, porción que queda después de los otros usos, venta, resistencia al corte e importancia para la naturaleza. Para analizarlos sumó el número de veces que cada participante ponía el material en una categoría determinada y se representó en una gráfica.

La escala de Likert y la valoración dicotómica sólo se usaron en los casos en los que los participantes juzgaron difícil hacer una relación jerárquica clara entre los distintos materiales. No se presentó a los participantes una lista de categorías preasignadas, en vez de eso, se planteó el problema de manera abierta y se hicieron las categorías con base en las respuestas de los participantes.

### **5.2.1.2 Criterios valorados nominalmente**

Los criterios que no se valoraron nominalmente fueron los que no tenían una relación ordinal o jerárquica (lejos/cerca, más abundante/menos abundante, etc.) de una manera que indique una relación ordinal fueron: problemas para manipular, otros usos y perjuicios. Para analizarlos se elaboró una lista de sus características de acuerdo a cada criterio analizado.

### **5.2.1.3 Criterios valorados jerárquicamente**

En el caso de los criterios analizados jerárquicamente (Cantidad, rapidez de secado, velocidad de crecimiento y capacidad de retoño), la valoración jerárquica se realizó utilizando una matriz con las materias primas consideradas por el participante en ambos ejes (Figura 6). Se pidió al participante que juzgara a cada material de acuerdo al criterio que se estaba analizando y se anotó una flecha en la intersección de cada par de materias primas, la dirección de la flecha indica la materia prima juzgada como mejor en ese criterio. En caso de que el participante juzgara que no había diferencia significativa se anotó un signo de igual (=).

Para obtener el puntaje de cada materia prima de acuerdo a cada criterio, se sumó el número de flechas positivas para cada material. Se consideró cada flecha como un punto, los signos de igual como medio punto y se dividió dicha suma entre el número de interacciones. El resultado de dicha operación era la unidad (1) en caso de que siempre se prefiriera dicha materia prima o de otro modo una fracción de la unidad. De este modo se pudo comparar las calificaciones de materiales que se analizaran en grupos con diferente cantidad de materias primas.

**2. Cantidad de material que puede obtener**

X	guas	Carv	res	Zarza		Calificación	
guas	X	=	←	←	2.5/3	0.833	
Carv	=	X	=	←	2/3	0.666	
res			X	←	1.5/3	0.5	
Zarza	Poca			X	0	0	
					X		
						X	
							X

**Figura 6.-** Valoración jerárquica. Las flechas apuntan a la materia prima que considerada como mejor en el criterio que se está valorando (en este caso cantidad), el número de preferencias de cada material se suman y se dividen entre el número de interacciones (tres en este caso).

Los valores asignados a cada materia prima por cada participante se ordenaron en una tabla, se sumaron y dividieron entre la cantidad de valoraciones para cada materia prima. Así se obtuvo la calificación final para cada material (

**Cuadro 1.-** Ejemplo de obtención de promedios de valoraciones jerárquicas.

<b>Materia prima</b>	<b>Calificaciones</b>										<b>Promedio</b>
<b>Guásimo</b>	0.83	1	0.5	1	0.5	1	0.83	1	1	0.8	0.85
<b>Barbona</b>									0.75	0.9	0.82
<b>Borreguillo</b>								0.75		0.5	0.62
<b>Cocuite</b>									0.62		0.62
<b>Tihuixtle</b>				0.5	0.83	0.67	0.5			0.6	0.62
<b>Guaje</b>							0.5				0.5
<b>Jonote</b>			0.5								0.5

En el caso del criterio de cantidad, además del promedio de la calificación obtenida, también se calculó la suma total de las calificaciones de cada material sin promediar. Esto debido a que el hecho de que más personas consideraran un material es un indicador de su abundancia en la zona. Un material puede ser poco abundante en todos los terrenos, pero, en términos absolutos, ser más abundante que otro material que sólo está en un terreno en el que es abundante.

#### **5.2.1.4 Criterios que se analizaron**

Los criterios considerados fueron:

- 1. Cantidad.-** Se pidió a los participantes que compararan la cantidad que podían obtener de cada material sin reducir la capacidad de sus agroecosistemas de producirlos. Una excepción a esta regla fueron especies que los participantes desearan reducir o eliminar. Este criterio se valoró jerárquicamente.
- 2. Distancia.-** Se valoró la distancia que se necesitaría recorrer para obtener las materias para producir el biocarbón. Este criterio se valoró dicotómicamente como lejos o cerca.

3. **Dificultad de corte.-** Si bien el pirolizador demostrativo no requiere de que se fraccione mucho los materiales (pueden usarse ramas del largo del pirolizador), es necesario un fraccionamiento de los materiales para poder pirolizarlos. Por lo tanto se pidió a los participantes juzgar la dificultad para cortarlos. Este criterio se valoró dicotómicamente como fácil o difícil.
4. **Problemas para manipular.-** Se preguntó a los participantes si el material presentaba problemas para manipularlo tales como: espinas, vellosidades irritantes, polvo irritante, savia irritante u otros que se les pudieran ocurrir. Este criterio se valoró registrando el o los inconvenientes que el material presentara para su manipulación.
5. **Otros usos.-** Debido a que usar los materiales para producir biocarbón podría competir con otros usos para los mismos, se pidió a los participantes que nombraran otros usos que ellos dieran al material. Este criterio se valoró registrando cada uno de los usos.
6. **Porción del material que queda después de otros usos.-** Muchos materiales aunque tienen varios usos, no se utilizan en su totalidad. Por lo tanto se preguntó a los participantes ¿Qué cantidad del material quedaría después de usarlo? Este criterio se valoró utilizando la escala de Likert.
7. **Venta.-** Se preguntó si vendía el material.
8. **Perjuicios.-** Se consideró que los materiales perjudiciales podrían ser preferidos para la elaboración de biocarbón ya que de esta manera el cosecharlos podría ser una manera de reducirlos y al mismo tiempo aprovecharlos. Este criterio se valoró registrando cada uno de los perjuicios que causan.
9. **Rapidez de secado.-** Secar los materiales es necesario para pirolizarlos. Por esto se pidió a los participantes que valoraran que tan rápido se secaban los materiales. Este criterio se valoró jerárquicamente.
10. **Velocidad de crecimiento.-** Se valoró que tan rápido crecía el material. Las especies de crecimiento rápido pueden alcanzar una talla suficiente para poderlas más rápido por lo que podrían preferirse sobre otras. Este criterio se valoró jerárquicamente.

- 11. Resistencia al corte.-** Se valoró que tan posible es matar o reducir la productividad a la planta al podarla. Plantas más resistentes al corte podrían preferirse porque su aprovechamiento sería más sustentable y porque podrían ser capaces de producir más biomasa por año. Este criterio se valoró utilizando la escala de Likert.
- 12. Capacidad/velocidad para retoñar.-** Se valoró la capacidad de la planta para retoñar. Plantas con mayor capacidad para retoñar podrían preferirse por ser capaces de producir más biomasa después de cada corte.
- 13. Importancia para la vida silvestre.-** Se valoró la importancia de estas especies para la vida silvestre, se consideró si eran sitio de anidación frecuente, fuente de alimento o si pudieran tener otra función ecológica.
- 14. Otros criterios a considerar.-** Se pidió al participante que mencionara si consideraba que pudiera haber algún otro criterio importante que considerar a la hora de producir biocarbón con los distintos materiales.

Todos los ejercicios anteriores sirvieron para hacer una reflexión previa a la selección de materias primas y para contrastar los materiales seleccionados con el análisis previo a la selección.

### **5.2.2 Importancia relativa de cada criterio**

Se analizó la importancia de cada uno de los criterios para el participante. Así por ejemplo, un participante podía considerar a la cantidad, los perjuicios que causa una especie o la velocidad con que una especie retoña como los criterios más importantes.

En algunos casos, los participantes manifestaron que para ellos algunos criterios no tenían importancia alguna. Por dicha razón se eliminó dichos criterios del análisis con los participantes que así lo manifestaban.

El resultado fue una lista jerárquica de los diferentes criterios de acuerdo a su importancia para cada participante.

### **5.2.3 Selección de materias primas**

Una vez analizados todos los criterios, se procedió a categorizar las materias primas de manera jerárquica. Para esto, se pidió a los participantes analizar cuales materiales les parecían más o menos convenientes (apropiados), es decir, cuales sería más probable que usen o usarían más frecuentemente. Se utilizó la misma metodología que se usó al analizar los criterios valorados jerárquicamente.

La valoración jerárquica mencionada puede resultar en puntuaciones de 0 en caso de que alguna de las materias primas consideradas nunca fuera considerada mejor o igual a otra de la lista. Sin embargo, dichos materiales fueron considerados como parte de la lista a analizar de entre posiblemente cientos de materiales conocidos por los participantes, por lo tanto un puntaje de cero no representaría que tan apropiada es la materia prima. Por esta razón, se adjudicaron 0.5 puntos a las materias primas que obtuvieran calificación de cero y se dividió dicho puntaje entre el número de interacciones más 1.

El resultado fue una lista de materias primas ordenadas de más a menos conveniente o apropiada.

Se debe considerar que dicha selección se realizó después de que los participantes tuvieran experiencia vivencial de la producción de biocarbón (talleres en campo), estuvieran familiarizados con la teoría sobre el biocarbón (parte teórica de los talleres) y hubieran reflexionado en detalle sobre cada uno de los materiales (análisis de materias primas).

### **5.3 Descripción de agroecosistemas y su manejo**

Para describir los agroecosistemas de los participantes, se hicieron excavaciones en el suelo de sus terrenos, se realizaron entrevistas semiestructuradas y abiertas sobre sus parcelas y se hicieron recorridos de las mismas. Durante todas estas actividades, se priorizó buscar información sobre criterios del agroecosistema en los que el biocarbón pudiera tener un efecto o que pudieran afectar al biocarbón, su producción y su uso.

La descripción de agroecosistemas se hizo durante tres meses (mayo a julio), aunque se obtuvo información acerca de los mismos en otras fechas a través de las conversaciones, la descripción realizada representa una porción del ciclo anual.

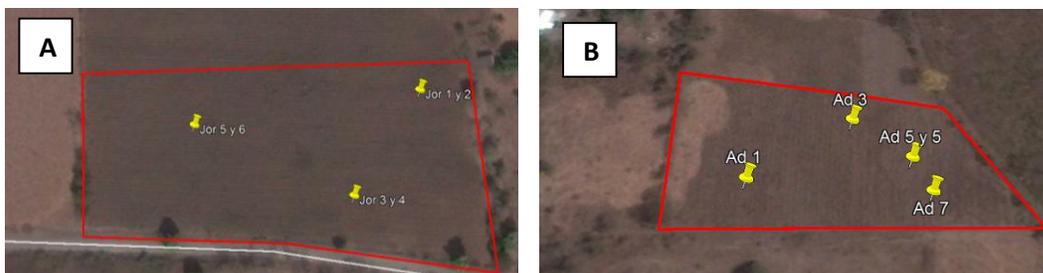
Al realizar las entrevistas, se observó que algunos participantes no tenían certeza sobre el tamaño de sus terrenos, por esto se contrastó dicha información midiendo los terrenos por imágenes satelitales disponibles en el programa google earth.

### **5.3.1 Descripción de suelos**

La observación de suelos se realizó en los meses de junio y julio de 2018. En la mayoría de los terrenos se hizo recorridos del terreno con sus propietarios (cinco de nueve), de este modo se pudo compartir este conocimiento, intercambiar observaciones y facilitar la futura comunicación de los resultados obtenidos. La descripción se realizó pocos días antes de que los participantes realizaran actividades de labranza en sus terrenos. Se visitaron nueve terrenos de ocho participantes.

#### **5.3.1.1 Selección de puntos de descripción**

Los sitios de descripción se eligieron siguiendo un patrón de zigzag empezando cerca de la entrada del terreno. Se mantuvo una distancia de al menos 10 metros desde elementos que pudieran tener algún efecto en el suelo como cercas, árboles (límite de la copa), rocas grandes, etc. (Figura 7 A).- Ejemplo de puntos de descripción de suelos A) Patrón de zigzag.. En algunos terrenos, los participantes manifestaron tener más de un tipo de suelo y por lo tanto se acordó incluir las porciones con suelo diferente modificando así el patrón de zigzag (Figura 7 B). Se registraron las coordenadas de todos los puntos por medio de un equipo de GPS. Se describieron al menos tres puntos en cada terreno.



**Figura 7.-** Ejemplo de puntos de descripción de suelos **A)** Patrón de zigzag. **B)** Patrón en zigzag modificado al incluir el punto Ad 7 que estaba en un tipo de suelo diferente. Imágenes modificada de Digital Globe 2018 mediante Google earth.

### 5.3.1.2 Recorrido de parcelas

Se recorrió las parcelas de los participantes. Durante los recorridos se conversó sobre las diferentes especies vegetales encontradas, los usos que tenían y los perjuicios o beneficios que causaban. También se platicó sobre las características de los diferentes tipos de suelo y los problemas que tenían en el terreno.

Se midió la pendiente de los terrenos utilizando un clinómetro desde el punto más bajo hasta el punto más alto de las parcelas de siembra.

### 5.3.1.3 Excavaciones

Su hicieron 36 excavaciones en nueve terrenos de ocho participantes. Antes de hacer la excavación, se extrajo la materia orgánica de la superficie del suelo, se hizo un agujero con un punzón, se cavó hasta percibir una diferencia clara en la densidad del suelo. Se midió esta profundidad y se la registró como primer perfil. Esta actividad se realizó debido a que muchos participantes describieron a la parte superficial del suelo con términos como “productiva”, “tierra viva” y “parte bofa”. Si bien la labranza afloja el suelo, éste se vuelve a compactar durante el periodo de crecimiento de los cultivos, además de que algunos participantes manifestaron que no practican la labranza todos los años.

Se usó un tubo de 5 cm de diámetro con un extremo afilado de afuera hacia adentro. El tubo se introdujo en el suelo golpeándolo con un mazo hasta alcanzar la profundidad del primer perfil, se extrajo el suelo y se tomó nota de sus características y se volvió a insertar el tubo hasta alcanzar los 20 cm para poder observar del segundo perfil (Figura 8).



**Figura 8.-** Excavación de suelos de suelo clavando tubo de acero.

En todos los terrenos excepto uno, las excavaciones se hicieron en los surcos o “rayas” ya que es ahí donde los participantes siembran. En el terreno que fue la excepción el participante siembra en los “lomos” debido a que en su terreno se presentan problemas de “pudrición” “se agría la milpa” pues el terreno es muy plano y “barroso”.

Se tomó nota de las características de la tierra extraída de ambos perfiles. Las características revisadas fueron: dificultad para cavar, color, estructura, presencia de macrofauna y de micelio.

#### **5.3.1.4 Pruebas de infiltración**

Se realizaron 27 pruebas de infiltración en ocho terrenos. En cada terreno se hicieron un mínimo de tres pruebas. Para medir la tasa de infiltración de agua en el suelo se siguieron los siguientes pasos:

1. Se removió de la superficie cualquier materia orgánica, en caso de haber vegetación, ésta se cortó con machete extrayendo la menor cantidad de suelo posible.
2. Se introdujo un anillo de acero de 103 mm de diámetro y en el suelo a 50 mm de profundidad de manera que 25 mm quedaran sobre la superficie.
3. Se presionó ligeramente el suelo en los bordes interiores y exteriores del anillo.
4. Se cubrió el suelo y las paredes internas del anillo con un plástico para envolver alimentos y se llenó con agua.

5. Se retiró el plástico y se registró el tiempo que le tomó al agua infiltrarse (T1). La operación se repitió para medir el tiempo de la infiltración con el suelo saturado (T2). En caso de haber irregularidades en el suelo dentro del anillo, se esperó a que la mitad del área de la circunferencia estuviera sobre la superficie del agua para tomar el tiempo.

### **5.3.2 Localización y delimitación de terrenos**

Se utilizó el programa google earth para localizar, delimitar y medir los terrenos donde se trabajó. Para asegurarse de que la delimitación de los terrenos no había cambiado desde la creación de las imágenes satelitales, se tomaron fotografías de puntos de referencia (árboles, cercas, construcciones) y se usaron las coordenadas de los puntos de descripción de suelos obtenidas por GPS.

### **5.3.3 Entrevistas sobre parcelas**

Esta entrevista se hizo para obtener información sobre los terrenos que sea relevante para la producción y uso del biocarbón. Las entrevistas se realizaron en las parcelas después de hacer las observaciones del suelo, de este modo pudo haber una mejor comunicación entre el investigador y los participantes pues fue más fácil ilustrar de que se estaba hablando.

Se conversó con los participantes sobre las características del terreno, el manejo que practican y los problemas de producción que tenían. Las entrevistas se enfocaron en las parcelas de uso agrícola ya que en estas es donde los participantes tienen interés en aplicar el biocarbón. Se complementó la información obtenida en las entrevistas con lo observado en campo por parte del investigador.

## **5.4 Análisis de costos**

La economía es parte del contexto necesario para considerar si una tecnología y la adaptación de la misma pueden considerarse como apropiadas para una población (Cáceres and Woodhouse, 1998) ya que uno de los criterios para considerar una tecnología como apropiada es el bajo costo (Schumacher, 1973). En este trabajo consideramos el costo del tiempo de trabajo. no se incluyen insumos pues en ningún

caso se introdujeron consumibles al agroecosistema para realizar las actividades necesarias.

Los tiempos que se registraron fueron:

1. Tiempo de obtención de materias primas.
2. Tiempo de preparación del pirolizador.
3. Tiempo de preparación del terreno para utilizar el pirolizador.
4. Tiempo de encendido.
5. Tiempo de pirólisis.
6. Tiempo de transporte de agua.
7. Tiempo de apagado del biocarbón.
8. Tiempo de aplicación del biocarbón.

Utilizando estos datos se calculó el costo en jornales de todas las actividades por m<sup>3</sup> de biocarbón.

Para medir el costo de las horas de trabajo, se valoró a la mano de obra en 150 pesos el día, que es lo que se paga el jornal actualmente. También se realizó el análisis usando el costo de reproducción, que es el dinero que necesita el productor de la zona para vivir, en el caso de la región de estudio este se puede considerar de 80 pesos por día<sup>1</sup> (Platas-Rosado, comunicación personal, 2015). Se justifica usar el costo de reproducción pues algunos días los campesinos no tienen oportunidad de hacer otras labores, como ser contratados para labores de campo en terrenos ajenos, trabajos de albañilería, etc. Ambos análisis se compartirán con los participantes para que ellos puedan decidir cuál es más útil y aplicable a su situación.

En acuerdo con los participantes, todas las mediciones de producción y aplicación de biocarbón se hicieron por volumen aparente. Aunque la mayoría de los estudios revisados reportan sus aplicaciones por peso, no se consideró como la medida más apropiada. A diferencia de los fertilizantes, el biocarbón no es un conjunto de nutrientes que la planta asimilará en una cantidad (peso) determinada, su efecto depende más bien

---

<sup>1</sup> Platas-Rosado, D. Académico del Colegio de Posgraduados (dplatas@colpos.mx).

del espacio que ocupa, su SE y la naturaleza de sus superficies. Otra razón de elegir el volumen aparente es que el biocarbón puede adsorber humedad del aire y así cambiar su peso. Sólo se encontró un ejemplo en la literatura de materiales manejados por volumen (Cristiellem *et al.*, 2017).

Para poder comparar las cantidades de biocarbón manejadas en este trabajo se obtuvo las densidades de los diferentes biocarbones. Se secó las muestras de biocarbón a 105 °C durante 24 horas, se dejó enfriar la muestra en un recipiente sellado y luego se pesó en una balanza de precisión. Con base en estas densidades se reportó el costo por peso en  $\text{Mg}^{-1}$ .

## **5.5 Observación participativa de las actividades de producción**

Este conjunto de técnicas permitió al investigador ahondar en criterios cualitativos y propiciar un mayor acercamiento con los participantes, así como observar la problemática en contextos reales. En este trabajo el investigador realizó personalmente, generalmente con la ayuda de otros participantes, las actividades necesarias para obtener materias primas, producir el carbón y aplicarlo. De este modo se logró una mejor apreciación del esfuerzo que implica realizar las actividades requeridas y de las objeciones que se pueden presentar para continuar con la actividad una vez termine el proyecto.

Durante los talleres fue necesario producir biocarbón con la mayor diversidad de materiales posible para demostrar que, contrario a la creencia generalizada, se puede producir biocarbón de cualquier biomasa seca. Por esta razón, además de las experiencias adquiridas en los talleres, se colectó y pirolizó las materias primas seleccionadas por los participantes: guásimo (*Guazuma ulmifolia*), tihuixtle (*Caesalpinia cacalaco*), olotes y caña de maíz para pirolizarlos por separado para así poder analizar los costos de cada materia prima. Aunque en el análisis participativo de materias primas se consideró a la zarza como el 5<sup>to</sup> material más apropiado, la realidad en campo fue que esta se encontraba mezclada con otras especies espinosas y que separarla resultaría impráctico. Por lo tanto se pirolizó esta mezcla de arbustos espinosos para hacer el análisis (Figura 9).



**Figura 9.-** Investigador y participante apilando arbustos espinosos.

### **5.5.1 Modelo de producción de biocarbón**

Se definió a la tasa de procesamiento como la cantidad de biocarbón que se produjo como producto de la pirólisis por unidad de tiempo. El tiempo de procesamiento más el tiempo de obtención de materias primas para obtener  $1\text{m}^2$  se denominaron como la tasa de producción.

La metodología de la pirólisis por cortina de llama se realizó como se describe en el apartado: Pirolizadores por cortina de llama en forma de paila. Sin embargo, para la mayoría de las materias primas no se utilizó el mismo Pirolizador que se utilizó en los talleres (pirolizador demostrativo). Durante los talleres realizados los participantes que ofrecieron biomasa para la investigación utilizaron casi toda la biomasa seca y separada con la que contaban. Por esta razón y por restricciones de tiempo, se construyó un pirolizador más pequeño (pirolizador modelo) (Figura 10), se produjo biocarbón con pequeñas cantidades de biomasa y se calculó la producción que se obtendría utilizando dos pirolizadores demostrativos.

Las medidas del pirolizador modelo fueron: 104 cm de largo, 40 cm de alto, 10 cm de ancho en el fondo y 50 cm de ancho en la parte superior.



**Figura 10.-** Pirolizador modelo en proceso de ensamblado.

La cantidad de materia prima que puede procesar un pirolizador por unidad de tiempo, depende de de la superficie del mismo. Esto debido a que es en la misma donde ocurre el proceso de pirólisis. Debido a su forma de trapecio invertido extendido, dicha área es variable durante el proceso y por lo tanto, se piroliza menos biomasa al iniciar el proceso (trabajando en la parte aguda del trapecio) y más al final (cuando se trabaja en la parte más ancha del trapecio). Para poder estimar la producción de biocarbón del pirolizador demostrativo con base en la producción del pirolizador modelo, se utilizó el área media del pirolizador modelo (AMPM), la tasa procesamiento del pirolizador modelo (TPPM) y el área media del pirolizador demostrativo (AMPD) (el usado en los talleres). Para obtener la tasa de procesamiento del pirolizador demostrativo (TPPD) usó la siguiente fórmula:

$$\frac{TPPM * AMPD}{AMPM} = TPPD$$

Para el análisis de costos se consideró el uso de dos pirolizadores demostrativos. Esto debido a que durante las experiencias de uso de este pirolizador se tuvo que hacer muchas pausas al esperar que la biomasa en la superficie del pirolizador fuera carbonizada y se observara la formación de ceniza en su superficie antes de añadir más biomasa. Estas pausas pueden usarse para atender otro pirolizador. El investigador y algunos participantes consideraron que podrían manejar dos pirolizadores simultáneamente.

Los primeros intentos de pirolizar olotes demostraron que son difíciles de procesar en el pirolizador por cortina de llama. Se interpretó que dicha dificultad se debe a que el

tamaño de partículas pequeño impide la entrada de aire necesaria para mantener una temperatura adecuada si la capa de olotes añadida es demasiado profunda. Por esta razón, se consideró que el olote se pirolizaría de manera conjunta con otros materiales disponibles. Para pirolizar el olote, se introdujo una capa de maraña de guásimo seguida de otra de olote repitiendo este orden las veces que fueran necesarias para pirolizar el material. Seguidamente, se separó manualmente el biocarbón de olote del de guásimo (al conservar su forma, el biocarbón de los diferentes materiales son fáciles de reconocer) y debido a que se conocía la tasa de pirólisis del guásimo, se pudo calcular el tiempo que tomó pirolizar el olote usando las siguientes fórmulas:

$$\frac{TsPGM}{BGM} = TPGM$$

$$TTP - TPGM = TPO$$

$$\frac{BO}{TPO} = TsPO$$

Donde:

TsPGM= Tasa de procesamiento de guásimo maraña.

BGM= Biocarbón de guásimo maraña producido.

TPGM= Tiempo de procesamiento de guásimo maraña.

TTP= Tiempo total de procesamiento.

TPO= Tiempo de procesamiento de olotes.

BO= Biocarbón de olotes.

TsPO= Tasa de procesamiento de olotes.

En cuanto a los arbustos espinosos, debido a la dificultad de fraccionarlos y a que durante el periodo de investigación en campo se disponía de bastante material, se decidió producir el biocarbón con el pirolizador utilizado en los talleres (Pirolizador demostrativo). Debido a la dificultad de manejar el material y a la velocidad con la que

el mismo es pirolizado, tanto el participante como el investigador consideraron que sólo se podría utilizar un pirolizador demostrativo y que probablemente se necesitarían dos personas para operarlo. El análisis de costos se realizó considerando estas características del material.

### **5.5.2 Obtención y preparación de materias primas**

Se realizó la colecta de materias primas de manera participativa, con ayuda de un tercero se registró el tiempo de mano de obra. Se entrevistó de manera informal a los participantes para conocer su opinión sobre las materias primas con las que se trabajó, los costos y la dificultad del trabajo.

Durante todas las actividades de producción realizadas, había materias primas adecuadas ya cortadas en los terrenos donde se realizaron y sólo fue necesario cortar una pequeña fracción de la misma (varas demasiado largas para el pirolizador modelo). El material se obtuvo de los bordes de los terrenos de siembra en donde es acumulado como resultado de las podas de árboles continuas, por lo tanto, se puede utilizar el pirolizador contiguo a las pilas de materias primas sin tener que trasladar las mismas. Una excepción fueron los arbustos espinosos que fueron apilados antes de la pirólisis pues, aunque ya estaban apilados en montículos en un terreno recientemente desmontado, se consideró que no se contaba con cantidad suficiente en un solo punto del terreno.

Se registró el tiempo necesario para coleccionar y fraccionar cada materia prima. El fraccionamiento se realizó con machete y no se requirieron de muchos cortes pues sólo era necesario cortar las varas de manera que no superaran el largo o el ancho del pirolizador modelo. Debido a que el pirolizador modelo es de menores dimensiones que el pirolizador demostrativo, este requirió de mayor fraccionamiento de la biomasa, por lo tanto nuestro análisis de costos tendrá un sesgo pesimista en este criterio para las materias primas que requirieron fraccionamiento (leña de guásimo, maraña de guásimo y tihuixtle).

En el caso de los olotes, no fue necesario fraccionarlos por obvias razones. La caña de maíz requirió de poco fraccionamiento pues el largo de las cañas rara vez superó el del pirolizador modelo.

En cuanto a los arbustos espinosos, se consideró impráctico fraccionarlos por la dificultad de trabajar con dicho material y que las ramas rara vez superaban el largo o ancho del pirolizador demostrativo.

### **5.5.3 Transporte de agua**

Durante casi todas las experiencias de producción de biocarbón se utilizó agua de los bebederos de ganado para apagar el biocarbón. Sólo en uno de los talleres se contaba con un río cercano que se usó como fuente de agua. Dicha agua debe reemplazarse por lo que se contabilizó el tiempo de transporte de la misma. Una carga de agua fue suficiente para apagar el pirolizador.

Casi todos los participantes transportan el agua en burro a sus terrenos, ya sea desde ollas de agua, ríos cercanos o desde sus domicilios. Se midió el tiempo de transporte de agua de cuatro participantes. El tiempo de otros dos participantes se obtuvo mediante entrevistas.

### **5.5.4 Actividades necesarias para la pirolisis**

Antes de la pirolisis es necesario preparar el terreno, ensamblar y sellar el pirolizador. Terminando la pirolisis es necesario apagar el pirolizador y embolsar el biocarbón.

Se niveló un área adecuada (2m x 1m) utilizando pala y azadón en el lugar donde se utilizaría el pirolizador. Se midió el tiempo de preparación del terreno de siete experiencias y se utilizó el promedio para el análisis de costos.

El ensamble del pirolizador consistió solamente en unir cuatro piezas con tornillos y aplicar tierra en el fondo para prevenir la entrada de aire desde abajo. Se midió el tiempo de ensamble de cinco experiencias utilizando el pirolizador demostrativo y una utilizando el pirolizador modelo. Ambos pirolizadores requieren del ajuste de la misma cantidad de tornillos por lo que no hay razón por la cual uno debiera tomar más o menos tiempo que el otro. Se utilizó el promedio de las cinco experiencias para el análisis de costos.

El encendido consistió en construir tres torres de palos cruzados, poner pasto seco o papel en el centro y prenderles fuego simultáneamente. Se midió el tiempo de encendido en cuatro ocasiones con el pirolizador demostrativo y se utilizó el promedio para el análisis de costos.

Al terminar la pirólisis, se apagó el biocarbón utilizando una carga de agua en burro (50 l). En algunas de las experiencias además se cubrió la superficie del pirolizador con tierra. Se midió el tiempo de apagado de 4 experiencias utilizando el pirolizador demostrativo y se utilizó el promedio para el análisis de costos.

Después de apagar el biocarbón, se lo dejó 24 horas en el terreno. El biocarbón recién producido puede volver a calentarse debido a que sufre un proceso de oxidación de sus superficies. Al calentarse, existe la posibilidad de que se encienda, por lo que sería peligroso empacarlo inmediatamente. Para empacarlo se utilizaron costales de rafia. Se midió el tiempo de empacado de tres pirolizadores llenos y se utilizó el promedio para el análisis de costos.

### **5.5.5 Aplicación**

La forma de aplicación del biocarbón se realizó según la decisión de los participantes después de hacer una reflexión con el facilitador sobre lo aprendido. Los posibles beneficios que generaron más interés fueron la mejora en la retención de agua, retención de nutrientes y la reducción de la densidad del suelo.

De acuerdo a estos criterios, un participante decidió que el biocarbón se aplicara en un cordón de cinco cm de diámetro y a una profundidad de 15-20 cm en la "raya" de los surcos (que es donde siembra) y después tapanlo con la tierra que se extrajo. El participante mencionó que tal profundidad sería conveniente pues es donde más se necesita "bofura" (reducir la densidad del suelo). Más adelante, el participante aplicó estiércol viejo de burro en algunas de los surcos donde se había aplicado el biocarbón.

Con base en el volumen aplicado y el largo de los surcos, se calculó que la aplicación fue en un cordón de 6 cm de diámetro en promedio (Figura 11). El área de aplicación fue de 46.65 m<sup>2</sup>. El volumen total aplicado fue de 135 l es decir 2.9 l m<sup>-2</sup> o 29.12 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> que

equivalen a un promedio de 3.12 Mg dependiendo de la materia prima (Cuadro 3). A esta modalidad de aplicación le llamamos como: aplicación de biocarbón enterrado (ABE) (Figura 12 A).



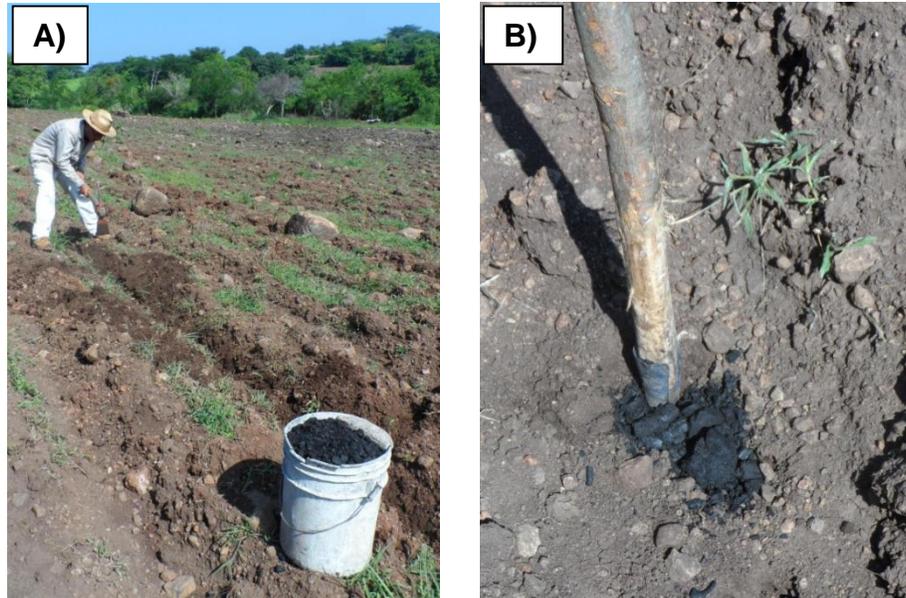
**Figura 11.-** Biocarbón aplicado antes de tapanlo.

En el segundo terreno, se aplicó la composta con biocarbón producida en el taller de compostaje con biocarbón, dicha composta contenía aproximadamente de un 50% de biocarbón. La composta se aplicó sobre la “raya” del surco y se cubrió con tierra del “lomo” del lado bajo de la pendiente. Se decidió aplicar un cordón de 5 cm de diámetro, sin embargo al ser una aplicación manual (con una cubeta) no se logró hacer una aplicación perfectamente homogénea o exacta. Con base en el volumen aplicado y el largo de los surcos, se calculó que la aplicación fue en un cordón de 6.3 cm de diámetro en promedio. El área de aplicación fue de 72.2 m<sup>2</sup>. El volumen total aplicado fue de 281 l es decir 3.9 l m<sup>-2</sup> (39 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) que equivalen a un promedio de 4.18 Mg dependiendo de la materia prima (Cuadro 3). A esta modalidad de aplicación le llamamos: aplicación de biocarbón tapado (ABT).

En este terreno también se hizo un segundo tratamiento en el cual se aplicó la composta utilizando un punzón. Se hizo un hueco con el punzón en el lugar de siembra, se aplicó la composta con biocarbón en el hueco y se sembró en un segundo hueco contiguo a entre 1 y 2 cm de distancia.

El área de aplicación fue de 54.4 m<sup>2</sup>. El volumen total aplicado fue de 25 l es decir 0.46 l m<sup>2</sup> o 4.6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, que equivalen a un promedio de 0.49 Mg dependiendo de la materia

prima (Cuadro 3). El volumen aplicado por planta fue de 0.188 l y el peso aplicado por planta fue de 0.1 Kg. A esta modalidad de aplicación le llamamos aplicación de biocarbón con punzón (ABP) (Figura 12 B).



**Figura 12.-** Aplicación de biocarbón. **A)** Aplicación enterrando el biocarbón. **B)** Aplicación con punzón.

A diferencia de otros estudios (p. ej. Güereña *et al.*, 2013; Husk and Major, 2010; Zhang *et al.*, 2014), donde el biocarbón se aplica de manera homogénea, las tres formas de aplicación utilizadas en este trabajo, introducen el carbón de manera localizada donde la raíz iniciará su crecimiento. Pocos estudios han hecho aplicaciones localizadas en la zona de la raíz (Schmidt *et al.*, 2017, 2015) Esto con el objetivo de maximizar el impacto del biocarbón sin necesidad de aplicar grandes cantidades.

### **5.6 Análisis de costos de acuerdo a las experiencias de producción**

Para calcular los costos de producción y aplicación del biocarbón, se consideraron las cuatro materias primas calificadas como más convenientes (guásimo, tihuixtle, olotes y caña de maíz) y los tres métodos de aplicación: ABE, ABT y ABP. No fue posible producir biocarbón con zarza, material que ocupó el 5<sup>to</sup> lugar en el análisis participativo de materias primas, pues el material estaba mezclado con otros arbustos espinosos. Por lo

tanto se produjo biocarbón con dicho conjunto de arbustos y se hizo el análisis utilizando los datos obtenidos al pirolizarlos.

Ya que casi todas las experiencias de producción de biocarbón se realizaron en los terrenos de siembra (Figura 13), no se consideraron costos de transporte de biocarbón en el análisis.



**Figura 13.-** Producción de biocarbón junto al terreno de siembra.

El análisis consistió en calcular las horas de trabajo necesarias para producir el biocarbón y aplicarlo. Para esto se sumó el tiempo de todas las actividades mencionadas anteriormente. En cuanto a la aplicación, se consideró una aplicación de  $29.12 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  para la ABE,  $39 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  para la ABT y sólo  $4.59 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  para la ABP pues esta modalidad permite aplicar menos biocarbón en cada aplicación.

### **5.7 Análisis de costos de un escenario “optimista”**

Consideramos que el análisis anterior como un escenario pesimista por los siguientes motivos:

- Poca experiencia del facilitador y los participantes en el manejo del pirolizador.
- Poca experiencia del facilitador en actividades de campo (algunas actividades se midieron con el trabajo del facilitador).
- La poca disponibilidad de agua cerca de todos los terrenos significa que pudiera ser más conveniente apagar el pirolizador cubriéndolo con tierra, lo que resultaría en menos trabajo.

- El empaque se realizó en costales con una capacidad de 76 l si se los amarraba con rafia, sin embargo, podría ser más eficiente almacenar el biocarbón en canastas de al menos 200 l (con las que muchos participantes ya cuentan y saben elaborar).
- La aplicación de biocarbón podría hacerse de manera simultánea con la labranza con ganchos o yunta si se contara con un aditamento apropiado para el tractor.

Es razonable pensar que las lecciones aprendidas durante las experiencias de producción obtenidas durante esta investigación más la práctica de la misma resulten en un aumento en la eficiencia. Por esta razón, se construyó un análisis más optimista reduciendo el costo de apagado, empaque y aplicación del biocarbón. Para elaborar este escenario, se eliminó el tiempo de transporte de agua, se redujo el tiempo de apagado y empaque del biocarbón de 0.15 a 0.1 jor m<sup>-3</sup>. También se consideró la disponibilidad de obtener aditamentos adecuados para aplicar el biocarbón con tractor. Los participantes ya pagan por la labranza de sus terrenos con tractor, por lo menos algunos años. Sin embargo, aplicar el biocarbón durante dicha labranza significaría hacer paradas frecuentes para recargar los aplicadores y también alistar biocarbón empacado en intervalos frecuentes dentro del terreno. Por esto, se estimó un costo de 4 jor ha<sup>-1</sup> para la aplicación del biocarbón mecanizada (ABM), desglosados en dos jornales para preparar y acomodar el biocarbón en intervalos regulares, un jornal para aplicarlo con el tractor y un jornal extra para no hacer el modelo muy optimista. La aplicación podría hacerse simultáneamente con la labranza por lo que no se cuenta un costo de flete del tractor.

## **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Debido a la naturaleza participativa de la investigación, además de los datos obtenidos durante la investigación puede considerarse a la metodología en sí misma como parte de los resultados de la investigación. El que se hizo, como y a iniciativa de quién (facilitador o participantes) son también conocimiento valioso generado durante este trabajo.

### **6.1 Motivación y presentación de la tecnología**

Asistieron a los talleres un total de 14 participantes. En el primer taller participaron seis, en el segundo 10, en el tercero seis y en el cuarto tres. De ellos, cuatro participaron en

dos repeticiones del taller y tres participaron en tres repeticiones del taller. Podría considerarse que el número de participantes fue bajo considerando el amplio esfuerzo de invitación. La cantidad de participantes no es suficiente como para hacer un análisis estadístico de la información obtenida, sin embargo, podría considerarse que quienes participaron representan a casi todas las personas que podrían interesarse en la tecnología inicialmente.

Las edades de los asistentes fueron de entre 34 y 87 años, con un promedio de 56.9 años.

### **6.1.1 Taller de introducción a la producción y uso de biocarbón - Parte teórica**

Durante las explicaciones teóricas se compartieron experiencias relevantes para el tema de investigación y se pudo apreciar la adopción del conocimiento por algunos de los comentarios hechos en el taller.

Durante la parte teórica de los talleres se hicieron las siguientes observaciones e intercambios:

1. En ocasiones hubo participantes que se durmieron durante las presentaciones de PowerPoint. Esto no sucedió durante la exposición teórica en campo.
2. Durante el taller ocurrieron intercambios tanto entre los participantes como entre los participantes y el facilitador. Muchos de estos intercambios ocurrieron entre pequeños grupos de productores y no de un productor dirigiéndose al grupo en general.
3. Se hizo la observación de que la milpa crece mejor en las porciones de terreno donde anteriormente se ha producido carbón vegetal. Esta observación fue manifestada por tres productores en los primeros dos talleres.
4. Se relataron varias anécdotas de mejora de productividad en partes del terreno donde se pudrieron acumulaciones de materia orgánica.
5. Se comentó que algunos productores discan dentro el terreno las cañas de maíz que no se come el ganado y los olotes. Comentan que obtienen mejores rendimientos con esta práctica, pero que la mejora "se ve" recién uno o dos años más tarde.

6. Las partes de la exposición en las que hubo más participación fue al hablar sobre los beneficios del biocarbón y las técnicas de aplicación, los participantes preguntaron sobre las cantidades que se deben aplicar y se explicó que no hay recetas definidas y que se debe experimentar. También se dio el ejemplo de un caso exitoso aplicando de  $0.7 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Schmidt *et al.*, 2015), aclarando que a veces sólo hay mejoras con aplicaciones mayores.
7. Al escuchar que el carbón “funcionaba como una esponja pues tiene partes huecas donde se pueden guardar los nutrientes y el agua” un productor manifestó que quizá el carbón de madera “bofa” (de baja densidad) pudiera funcionar mejor. Se aceptó la posibilidad a reserva de que se debe probar en campo.
8. En los segundo, tercer y cuarto talleres, varios de los productores ayudaron en la explicación aclarando dudas y dando ejemplos. En el cuarto taller, los participantes no necesitaron más que algunas aclaraciones por parte del facilitador y realizaron la producción del biocarbón por si solos.

Las experiencias previas de los beneficios del carbón y la materia orgánica indican que hay una oportunidad de que la tecnología se adopte. Sin embargo, el hecho de que estas observaciones no se hayan traducido en aplicaciones de carbón por los participantes indica que hay obstáculos técnicos y económicos que evitaron la apropiación y adaptación de la tecnología. El desarrollo de recomendaciones de producción y aplicación de biocarbón para cada tipo presente en los terrenos de los participantes, además de pruebas en campo a mediana escala podrían desencadenar la adopción de esta tecnología.

## **6.1.2 Taller de introducción a la producción y uso del biocarbón - Parte práctica**

### **6.1.2.1 Primer taller**

Se demostró el funcionamiento del pirolizador demostrativo. Durante la práctica se pirolizaron maderas blandas, maderas duras, paja y hojas. Se inició el proceso con maderas duras y blandas, luego se intercaló ambas maderas con paja y hojas y se terminó con paja y hojas. La razón de pirolizar esta variedad de materiales fue de hacer

notar a los participantes que el carbón no sólo se puede producir a partir de madera. Durante el taller se elaboraron 418 l de biocarbón.

Hubo mayores muestras de entusiasmo por parte de los participantes durante la parte práctica del taller.

Los participantes manifestaron preocupación de que el material se quemaría por completo hasta cenizas o que las maderas más duras no se “llegarían”. Sin embargo al observar el producto final quedaron convencidos del funcionamiento del pirolizador.

Seis participantes asistieron al taller.

#### **6.1.2.2 Segundo taller**

Como en el anterior taller, se utilizó el pirolizador demostrativo. Durante la práctica se pirolizaron madera de guásimo, hojarasca, cañas de maíz, estiércol de burro, olotes y otras maderas secas encontradas en los alrededores. Se inició el proceso con las maderas, luego se intercaló con hojarasca y olotes y se terminó con hojarasca. El pirolizador se llenó completamente.

El proceso de pirólisis tomó 73 min y el apagado tomó 10 min para un total de 83 min. Casi toda la biomasa ya estaba lista al empezar el taller y el participante anfitrión mencionó que reunir la biomasa le tomó una hora colectando madera de podas dejada en los bordes del terreno. Se produjeron 456 l de biocarbón.

10 participantes asistieron al taller (Figura 14).



**Figura 14.-** Participantes del segundo taller y biocarbón elaborado.

### **6.1.2.3 Tercer taller**

En este taller también se utilizó el pirolizador demostrativo. Durante la práctica se pirolizaron madera de guásimo, hojarasca, cañas de maíz, estiércol de burro, olores y otras maderas secas encontradas en los alrededores. Se inició el proceso con las maderas, luego se intercaló la madera con hojarasca y olores y se terminó con hojarasca. El pirolizador se llenó completamente.

El material que se pirolizó se recolectó en 45 min con el trabajo de dos participantes (90 min de un trabajador), no se utilizó la mano de obra a su máxima capacidad pues los participantes hacían pausas para escuchar las explicaciones, hacer preguntas y comentarios. Mientras dos personas trabajaban el pirolizador, otras dos recogían los materiales.

Se produjeron 380 l de biocarbón (Figura 15).



**Figura 15.-** Biocarbón producido en el tercer taller.

Cinco participantes asistieron al taller.

#### **6.1.2.4 Cuarto taller**

En este taller se utilizó el pirolizador en zanja que funcionó de manera satisfactoria, el fuego fue más vivo que el del pirolizador de lámina, probablemente debido a la capacidad de aislamiento de las paredes de tierra. Durante la prueba ocurrieron ráfagas de viento, a pesar de esto se generó muy poco humo durante la prueba.

Se pirolizó mayormente leña de guásimo. Otros materiales usados fueron: barbona, borreguillo, higuera, ciruelo, moreno y canelillo, hojarasca de mango, bugambilia y pasto.

La operación del pirolizador fue realizada por los participantes sin la necesidad de que el facilitador hiciera mayores correcciones pues entre ellos se recordaban los procedimientos cuando hacía falta.

Al incorporarse la hojarasca y pasto, los participantes juzgaron adecuado incorporar grandes cantidades de la misma al mismo tiempo (lo que se podía cargar con los dos brazos), el calor del pirolizador fue suficiente para pirolizar dichas cantidades, sin embargo, se generó bastante humo por un periodo de tiempo corto.

El constructor del pirolizador señaló que eligió el lugar pues pensaba sembrar plátano en el lugar de la zanja, aprovechando así el hueco ya construido. Otras razones para elegir el lugar fueron la protección contra el viento por barreras cercanas de árboles y la

cercanía a una poza de agua en un arroyo cercano. Comentó que así serviría para más de una cosa a la vez.

Tanto en este como en los anteriores talleres, se pirolizó principalmente un material y se añadieron otros que estaban disponibles en las cercanías. En todos los casos, el dueño de la parcela decidió los materiales que se pirolizarían y los preparó con anticipación. Los participantes y el investigador añadieron otros materiales que recogieron material adicional durante los talleres. Los participantes manifestaron que probablemente seguirían con la práctica de mezclar materiales para aprovechar mejor los materiales disponibles.

La biomasa fue pirolizada en 85 min y apagada en 15 min. El participante anfitrión mencionó que recolectar la biomasa le tomó alrededor de una hora y media, además de su trabajo, otros dos participantes trabajaron por 10 minutos recogiendo más biomasa. Se produjeron 494 l de biocarbón.

Cuatro participantes asistieron al taller.

#### **6.1.2.5 Lecciones de la parte práctica de los talleres**

El aprendizaje en la práctica es más atractiva para los participantes, si bien las explicaciones teóricas son necesarias, pero deben ser tan breves como sea posible o dividirse en varias sesiones intercaladas con práctica.

Quedó claro que al menos cuatro de los participantes aprendieron a producir el biocarbón y serían capaces de hacerlo por su cuenta.

#### **6.1.3 Taller de elaboración de composta con biocarbón**

Como resultado del taller se obtuvieron 474 l de composta. Sin embargo, se estima que se perdió al menos 76 l de composta durante un evento de lluvia y viento fuerte en el que la cubierta de la composta fue parcialmente removida por el viento.

Es difícil estimar el trabajo realizado ya que diferentes participantes trabajaron por diferentes periodos con diferente intensidad y se hicieron muchas pausas para responder

preguntas y dar explicaciones. La parte práctica del taller se realizó en tres horas en las que trabajaron cuatro personas en el transporte de materiales y la construcción de la pila.

Durante el taller, nuevamente ocurrió la observación de que la milpa crecía mejor en los lugares donde se había elaborado carbón vegetal anteriormente, la observación fue hecha por un participante que no había presenciado los talleres anteriores.

Otra observación importante fue que el estiércol de burro es difícil de mojar, los participantes sugirieron que podría ser conveniente dejarlo remojando horas antes del trabajo o dejarlo en el terreno desde el inicio de la temporada de lluvia. Se reconoció la observación como correcta y el facilitador añadió que el estiércol podría soltar nutrientes en el agua, por lo que, de ser posible, esa agua debería utilizarse en la composta o para regar cultivos.

Los participantes comentaron que conocían a los ingredientes ricos en nitrógeno como “calientes” y que los mismos podían “quemar” la planta si se aplicaban en exceso. Esta observación se aprovechó para explicar la teoría del compostaje y el porqué de las diferentes proporciones para los diferentes ingredientes.

Durante la elaboración de la composta se utilizaron 2.5 cargas de agua (un burro con dos perolas de 50 l cada una, es decir 250 l). Cada vez que se volteó la composta se añadió otra carga, se volteó la composta tres veces para un total de (550 l).

A las cuatro semanas no se reconocían los materiales originales.

4 participantes asistieron al taller.

## **6.2 Análisis participativo de materias primas**

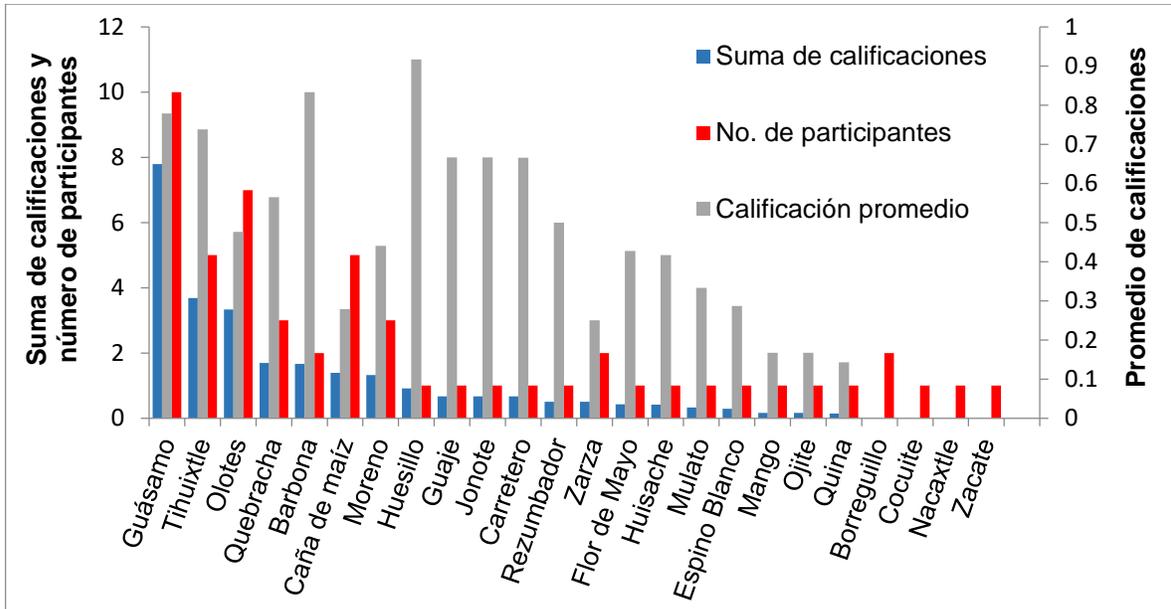
Seis participantes analizaron cinco o más materiales y los demás cinco o menos. Se analizaron 24 materiales en total. Las respuestas fueron consistentes entre los participantes (no se muestran datos). Esta consistencia da confianza en lo acertado de las respuestas. Casi todos los materiales propuestos fueron árboles. Las únicas materias primas no arbóreas fueron la caña de maíz, los olotes y la zarza (arbusto).

Las respuestas de los participantes fueron muy consistentes entre sí, por ejemplo, sobre la dificultad para cortar, sólo 5 árboles de 24 fueron controversiales (Figura 18), en cuanto a la resistencia de los árboles al corte, sólo para tres árboles de 21 hubieron participantes que tuvieron opiniones diferentes al resto del grupo (Figura 24). Tal consistencia indica que los participantes en general daban respuestas honestas y que conocían los materiales que analizaban.

Se debe señalar que los datos presentados como porcentaje representan a la porción de participantes dentro del grupo que analizó un material dado. Por ejemplo, si dos participantes consideran al borreguillo como una marena dura y cuatro participantes analizaron dicho material, el porcentaje expresado será de 40% aunque el total de participantes del estudio sea de más de cuatro.

### **6.2.1 Análisis de abundancia**

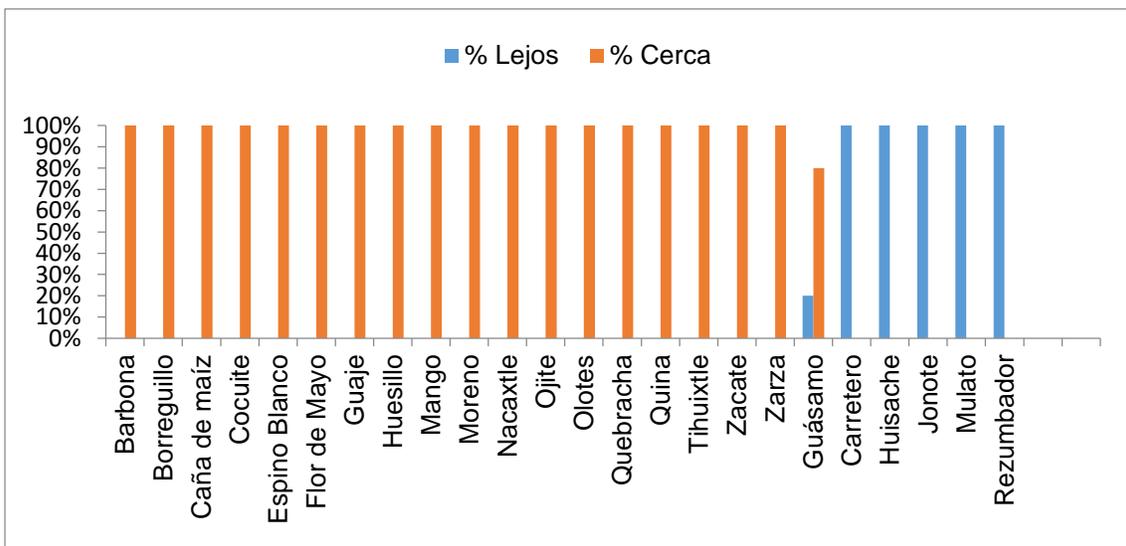
La sumatoria de calificaciones indica que en los terrenos de los participantes, los materiales considerados más abundantes son el guásimo, tihuixtle y los olotes, en ese orden. Son los materiales que se pueden conseguir en mayores cantidades sin disminuir la producción de los mismos en el agroecosistemas. En algunos casos, como el de los olotes, fueron materia prima generalmente considerada como poco abundante para los participantes, sin embargo, es considerada por la mayoría participantes mientras que otras materias primas pueden ser abundantes en un terreno pero estar ausentes en los demás. Nótese que la calificación de cero para algunos materiales no indica ausencia de los mismos, simplemente indica que fue el material menos abundante entre los considerados (Figura 16).



**Figura 16.-** Suma de calificaciones de abundancia obtenidas, calificación promedio y número de participantes que propusieron y analizaron el material.

### 6.2.2 Distancia

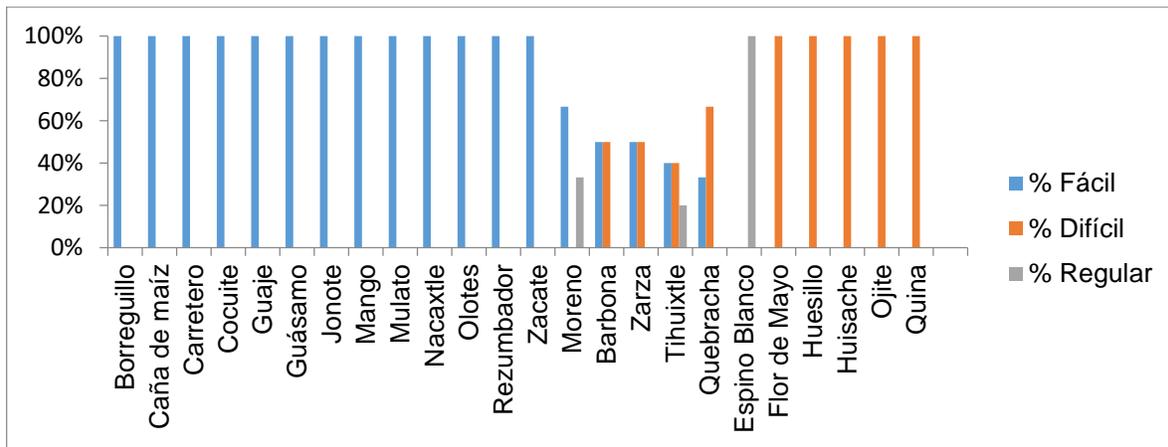
Los materiales casi siempre fueron considerados como cercanos. Sólo el carretero, huisache, jonote, mulato y el rezumbador fueron considerados como lejanos, estos fueron materiales que fueron considerados por un solo participante (Figura 17).



**Figura 17.-** Porcentaje de participantes que consideran el material como cercano (rojo) o lejano (azul).

### 6.2.3 Dificultad de corte

La mayoría de los materiales fueron considerados como fáciles de cortar y sólo hubo controversia en cuatro materiales: moreno, barbona, zarza, tihuixtle y quebracha. Casi todos estos son maderas duras, especialmente la quebracha como su nombre lo indica (Figura 18). Cuando se preguntó a los a quienes así los consideraban, porqué no les parecían difíciles de cortar a pesar de ser maderas duras, respondieron que en realidad no cuesta tanto.



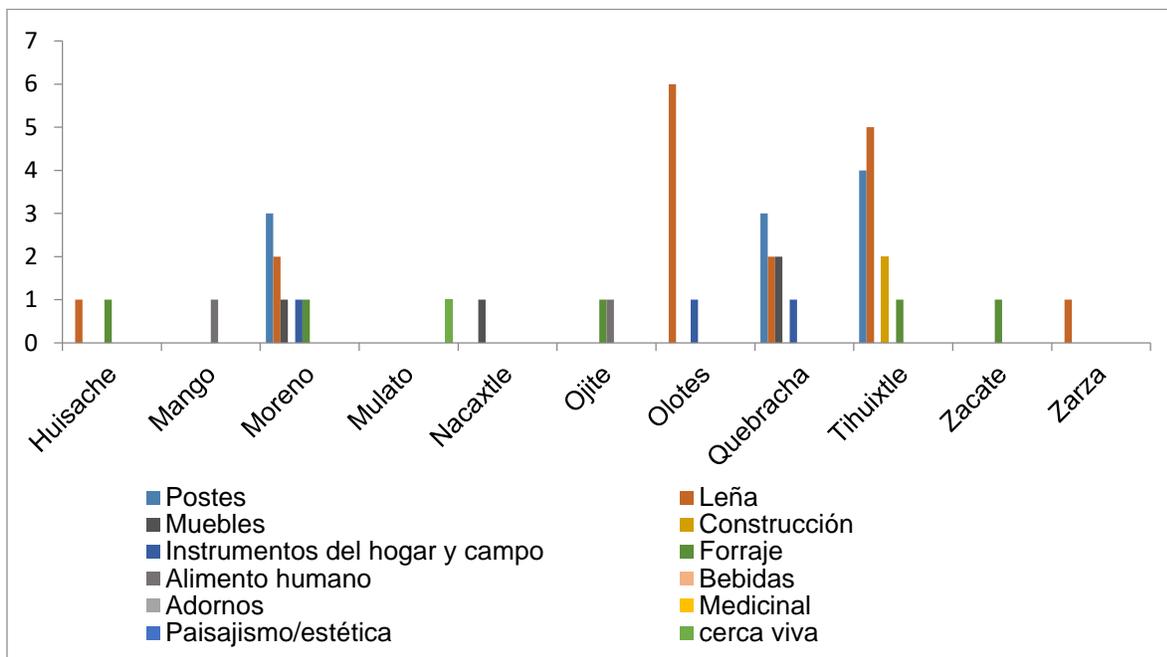
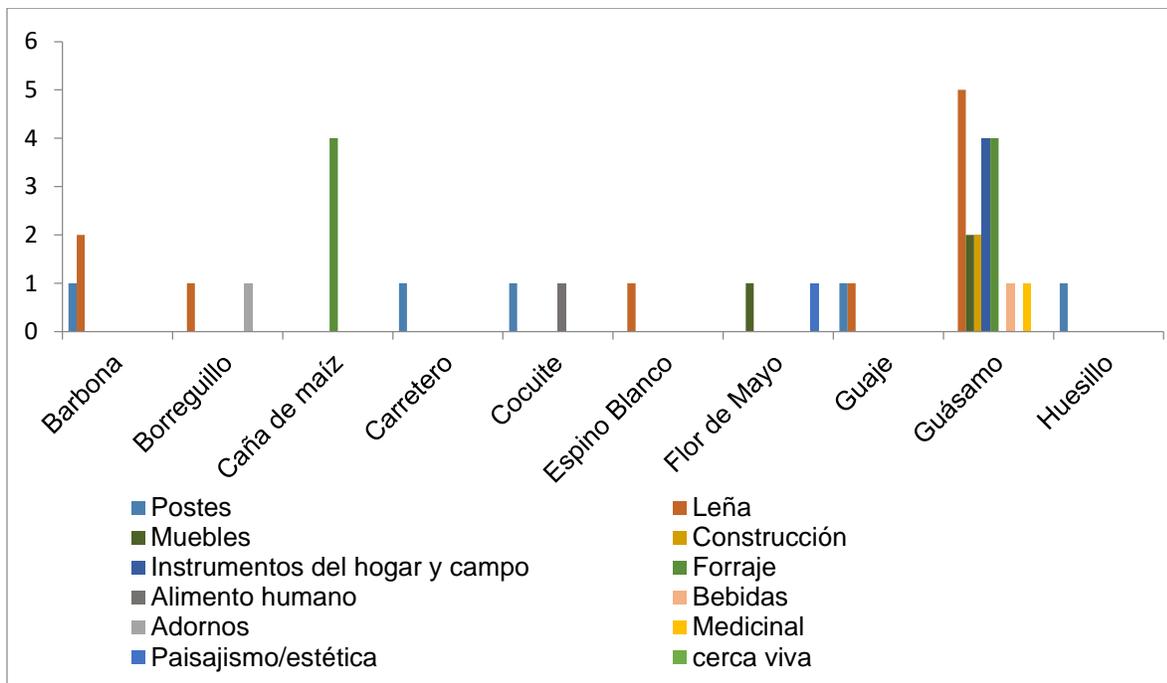
**Figura 18.-** Porcentaje de participantes que considera los diferentes materiales considerados como fáciles regulares o difíciles de cortar.

### 6.2.4 Dificultad para manipular

La única dificultad para manipular los materiales que se presentó fueron las espinas. Los siguientes árboles tienen espinas: barbona, espino blanco, huesillo, huisache, moreno, quebracha, tihuixtle y zarza.

### 6.2.5 Usos alternativos

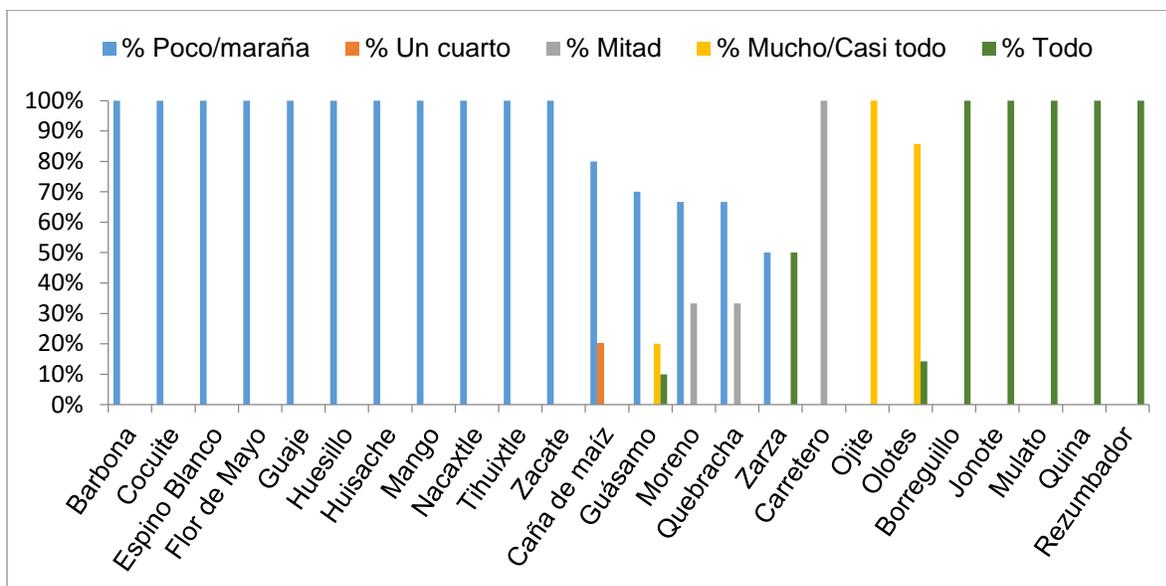
Los usos identificados para los diferentes materiales fueron: postes para cercas “instantes”, instrumentos del hogar y campo, alimento humano, bebidas, leña, construcción y forraje. La mayoría de los materiales tuvieron uno o más usos por los participantes. No todos los participantes compartían todos los diferentes usos de cada material (Figura 19).



**Figura 19.-** Número de participantes que aprovecha cada uno de los usos de las materias primas analizadas.

### 6.2.6 Porción de material que queda después de aprovecharlo para otros usos

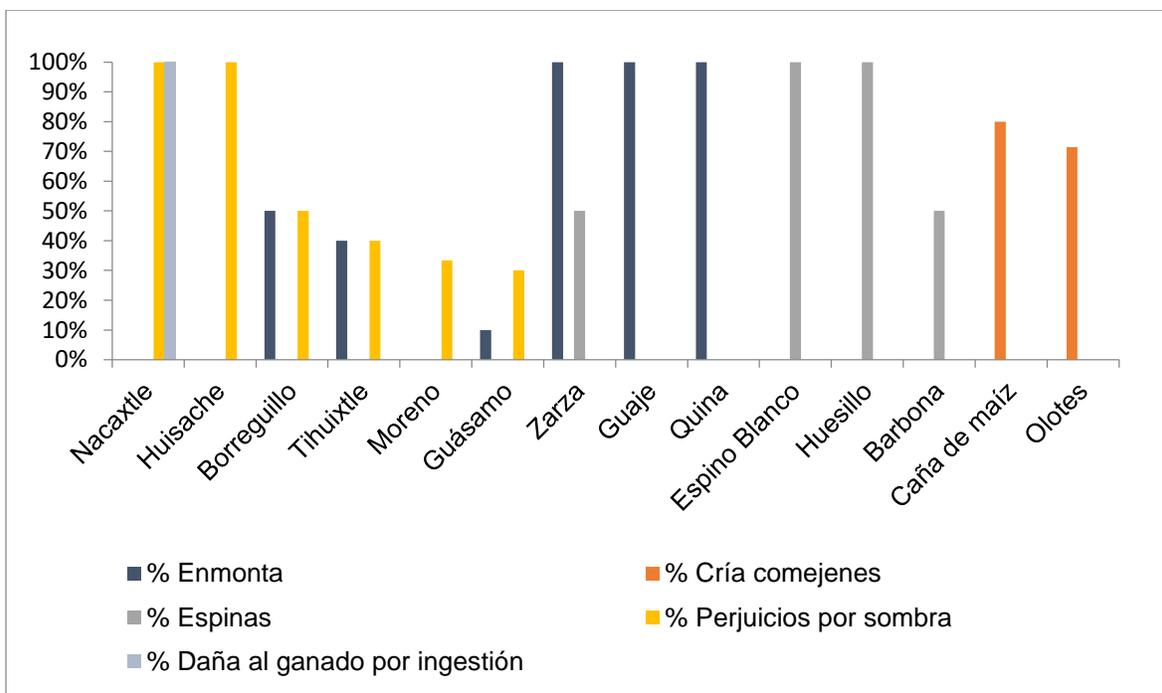
Para la mayoría de las materias primas, queda poco material después de su aprovechamiento en otros usos (Figura 20).



**Figura 20.-** Porcentaje de participantes que considera que después de usar los materiales le queda una porción determinada de la biomasa (poca, un cuarto, mitad, etc.).

### 6.2.7 Perjuicios

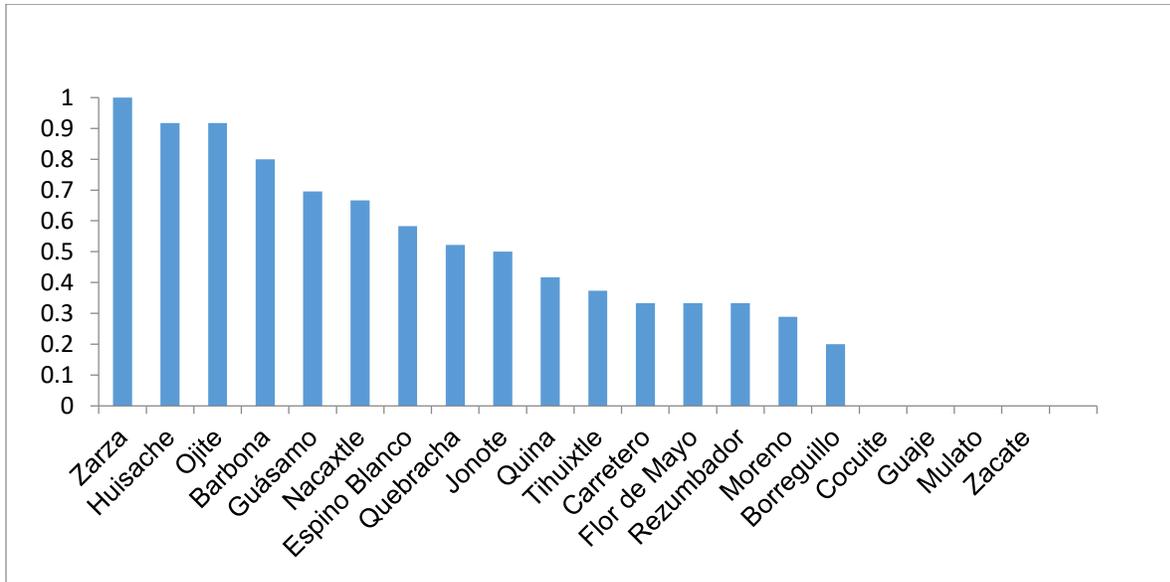
Los perjuicios identificados fueron: sombra que afecta al pasto o los cultivos, espinas que dificultan el recorrido de los terrenos y lastiman al ganado, daño al ganado por ingestión, y plantas que “enmontan” los terrenos de siembra o potreros (Figura 21).



**Figura 21.-** Porcentaje de participantes que mencionó cada uno de los perjuicios producidos por las diferentes materias primas.

### 6.2.8 Rapidez de secado

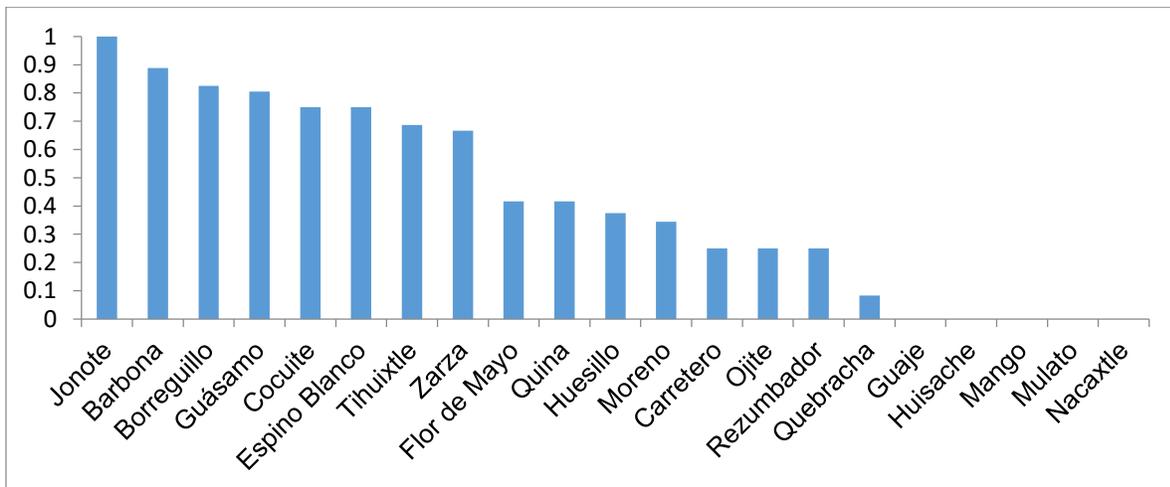
La zarza, huisache, ojite, barbona y guásimo fueron los materiales considerados como de secado más rápido (Figura 22).



**Figura 22.-** Promedio de calificaciones de secado de cada materia prima.

### 6.2.9 Velocidad de crecimiento

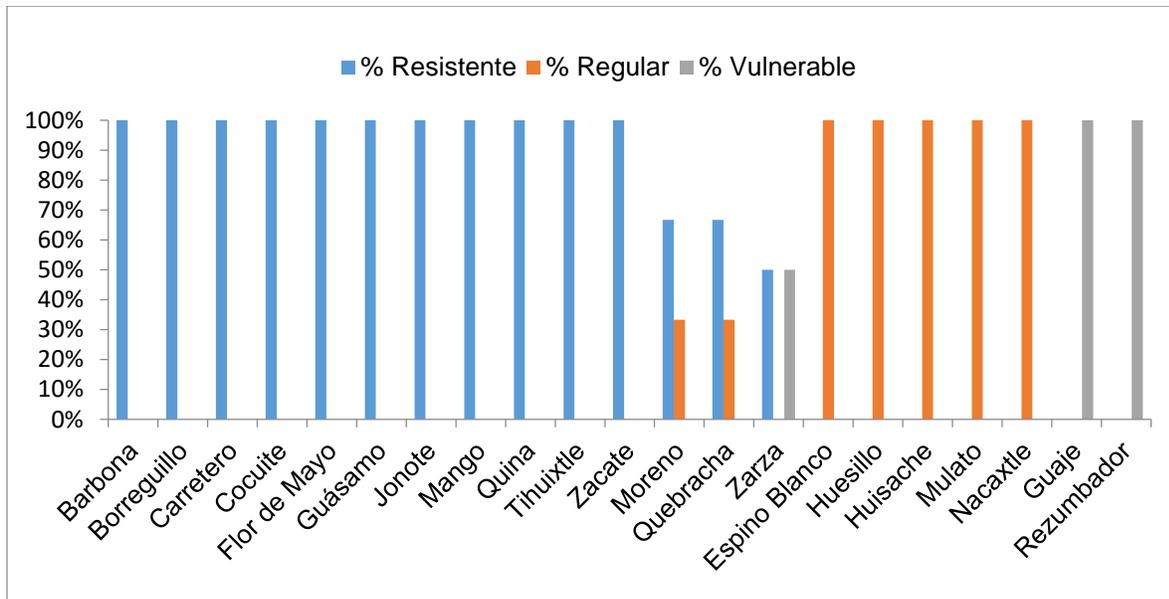
El jonote, barbona, guásamo y cocuite fueron los materiales calificados como de más rápido crecimiento (Figura 23).



**Figura 23.-** Velocidad de crecimiento de los distintos materiales.

### 6.2.10 Resistencia al corte

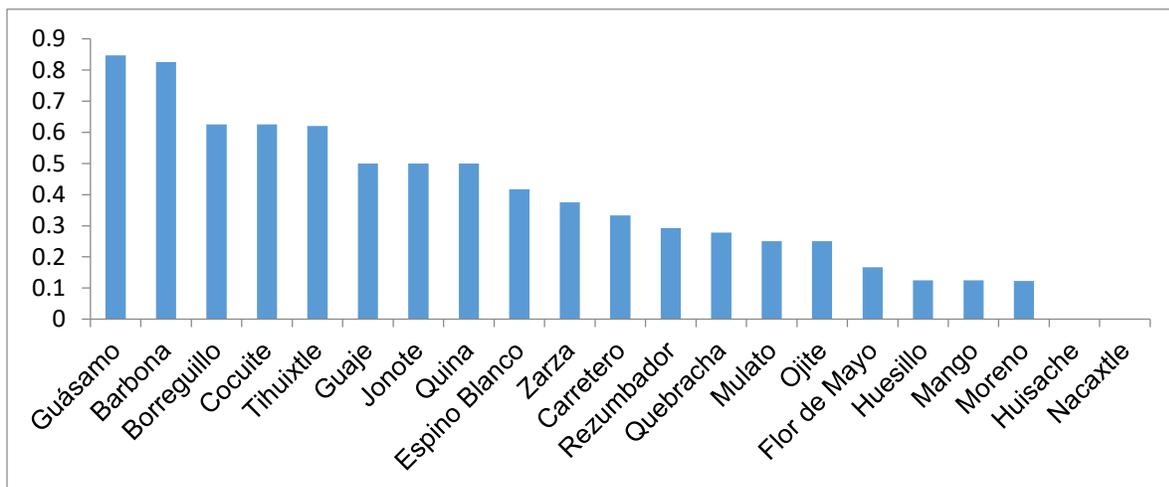
La mayoría de los materiales fueron considerados resistentes al corte, es decir que es poco probable que mueran después de una poda. Las excepciones fueron el moreno, mulato, nacaxtle, quebracha, rezumbador y la zarza (Figura 24).



**Figura 24.-** Porcentaje de participantes que consideraron a las diferentes especies como resistentes al corte, regulares o vulnerables.

### 6.2.11 Velocidad de retoño

Las especies consideradas como de retoño más rápido fueron el guásamo, barbona, borreguillo, cocuite y el tihuixtle (Figura 25).

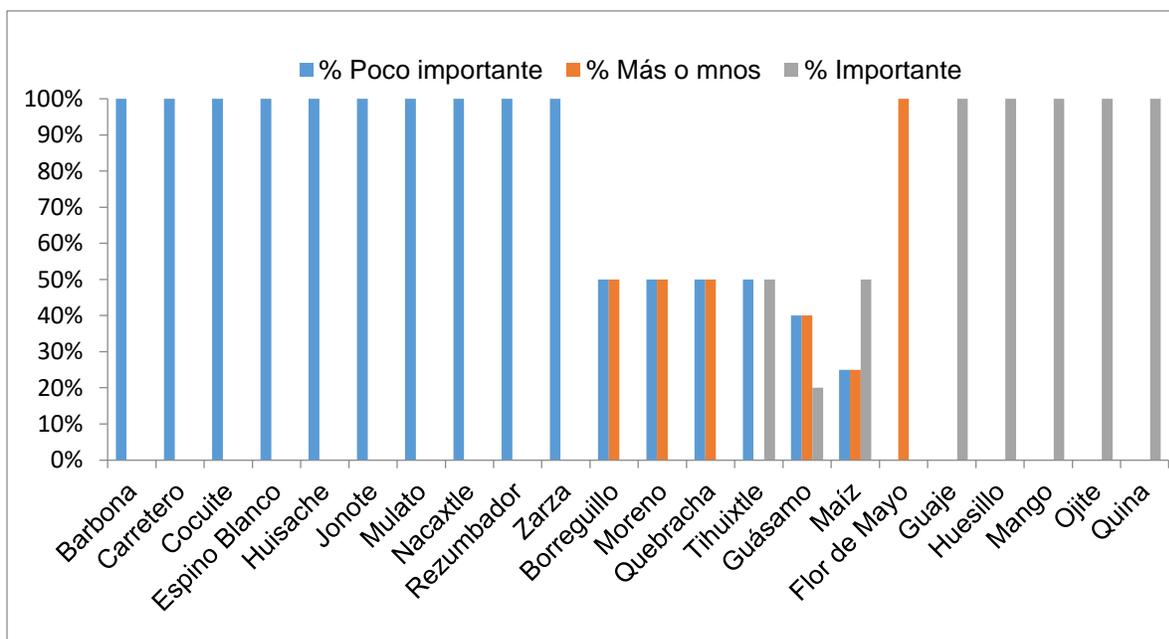


**Figura 25.-** Promedios de calificaciones para velocidad de retoño.

### 6.2.12 Importancia para la vida silvestre

La mayoría de los participantes consideraron que las materias primas no eran particularmente importantes para la vida silvestre. Las consideradas como más importantes fueron: guaje, huesillo, mango, ojite y quina (Figura 26). Se mencionó que el guaje servía de alimento al venado, el mango y el ojite como alimento para aves y murciélagos y el maíz “lo come el mapache”.

Algunos participantes mostraron incomodidad ante la pregunta, esto se notó en el lenguaje corporal.

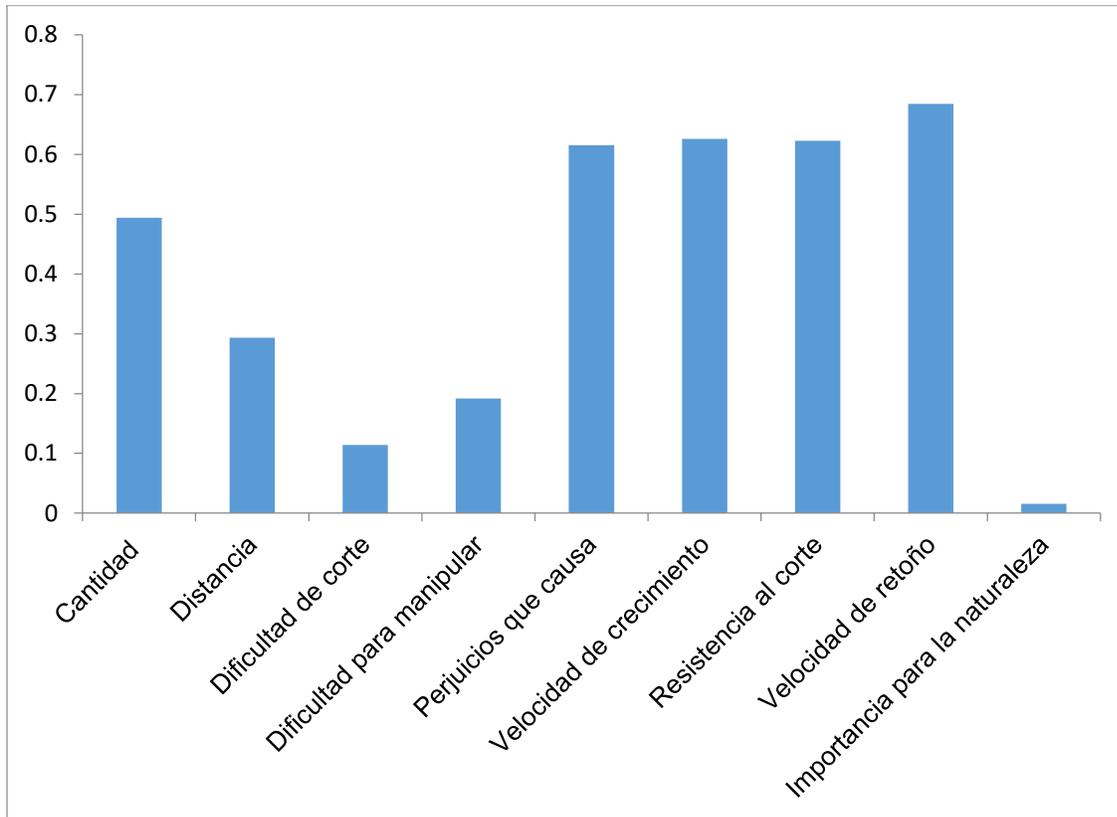


**Figura 26.-** Porcentaje de participantes que calificaron cada materia prima de acuerdo a su importancia para la vida silvestre.

### 6.2.13 Importancia de cada criterio

Los criterios considerados como más importantes fueron: velocidad de crecimiento, velocidad de retoño, resistencia al corte, perjuicios y cantidad todos criterios de producción (Figura 27). La dificultad para manipular (espinas) no se consideró muy importante, mas en la práctica prolongó el trabajo y produjo lesiones. Algunos criterios se consideraron como irrelevantes: rapidez de secado, otros usos e importancia para la naturaleza. De acuerdo con los participantes esto se debe a que la temporada seca es

larga y sólo se podarían los árboles sin necesidad de eliminarlos para hacer biocarbón. Si un material tiene otros usos de un material su corte se aprovecha dos veces.



**Figura 27.-** Promedios de calificación de la importancia de cada criterio.

Los participantes dieron más importancia a criterios relacionados con la productividad en biomasa de los materiales (cantidad, velocidad de crecimiento, velocidad de retoño, etc.). Se le dio poca importancia a problemas logísticos como la dificultad de corte o manejo (espinas), sin embargo, en la práctica estos criterios resultaron ser importantes. En algunos casos el lenguaje corporal de los participantes le dio al investigador la impresión de que había cierto orgullo en decir que la dureza o dificultad de trabajar con los materiales no eran un impedimento para utilizarlos, aunque esto podría ser una apreciación equivocada por parte del mismo.

La distancia para encontrar los materiales no fue considerado como un criterio importante, probablemente porque antes de escoger los materiales que iban a considerar,

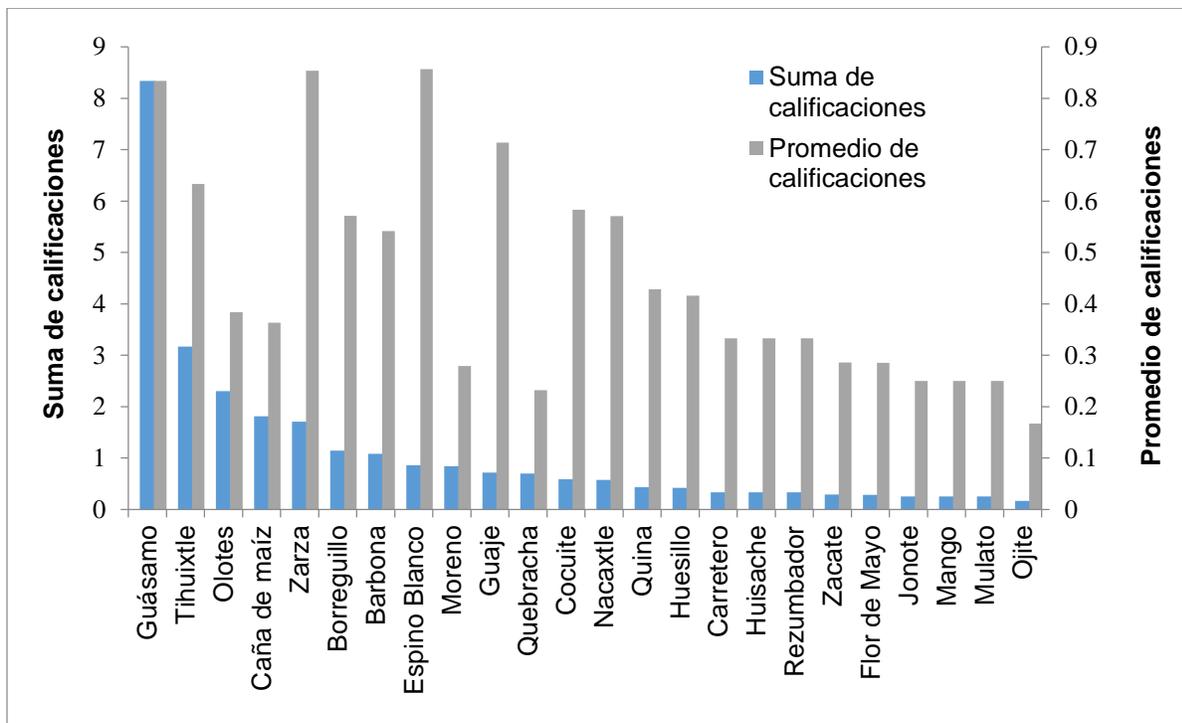
los participantes hacen una preselección en la que descartan materiales inaccesibles (en muy pocas ocasiones se consideró un material como lejano).

La importancia para la naturaleza no fue considerada como un criterio importante, probablemente no porque la naturaleza no sea importante para los participantes, sino más bien porque para los participantes ninguno de los materiales es particularmente importante en ese sentido en relación a los demás.

#### **6.2.14 Selección de materias primas**

Las materias primas mejor calificadas fueron el guásimo, tihuixtle, olotes, caña de maíz y zarza. El guásimo fue por mucho considerado como el mejor material para hacer biocarbón, fue considerado por todos los participantes (10) y tuvo calificaciones individuales altas. El tihuixtle tuvo un promedio de calificación medio alto y fue considerado por más de la mitad de los participantes (cinco) Por otro lado, la caña de maíz y los olotes tuvieron en general calificaciones bajas o medias pero al ser considerados por muchos participantes (seis y cinco respectivamente), la suma de calificaciones de todos modos fue alta (Figura 28).

La selección de los materiales fue congruente con la importancia que se le daba a los distintos criterios analizados. Ésta es otra razón para considerar las respuestas como honestas y acertadas.



**Figura 28.-** Suma de calificaciones generales de los diferentes materiales y promedio de calificaciones.

### 6.3 Descripción de agroecosistemas de siembra y su manejo

La descripción de agroecosistemas de siembra se realizó mediante el análisis de suelos, recorridos de parcelas, entrevistas informales con los participantes y por observación directa durante todas las actividades de investigación. Sin embargo, exceptuando el análisis de suelos, es imposible e improductivo separar la información obtenida de acuerdo a cada actividad de investigación. Por lo tanto, se presentan los resultados de la fase de descripción de agroecosistemas de acuerdo a los diferentes criterios del agroecosistema analizados.

#### 6.3.1 Dimensiones y orografía de los terrenos de siembra

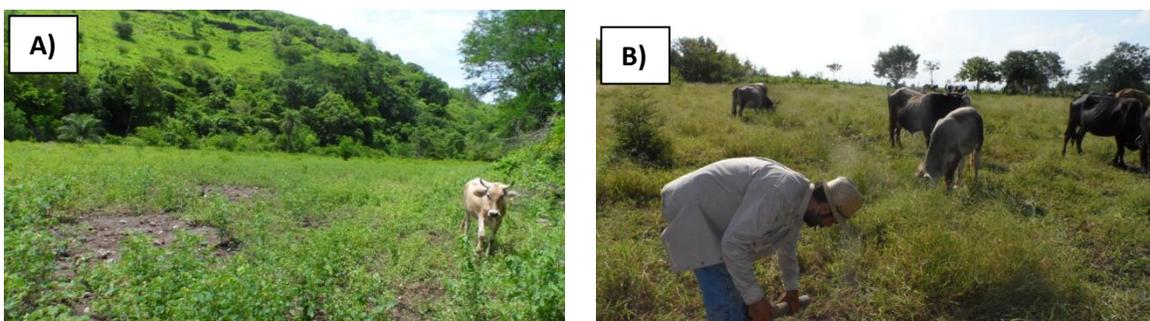
Los terrenos de siembra en general son pequeñas extensiones, la mayoría de los terrenos tienen pendientes moderadas, sin embargo algunos tienen pendientes medianamente pronunciadas. Las dimensiones de los terrenos de siembra fluctuaron entre 0.30 y 2.66 ha con un promedio de 1.2 ha. Las pendientes fueron de entre 2.7 y 10.8% con un promedio de 5%. La altura de los terrenos fue de entre 169 y 277 msnm.

El tamaño de los terrenos más pequeños, podría ser ventajoso para la implementación de tecnologías que intensifiquen la producción agrícola y que requieran de mayor mano de obra.

### 6.3.2 Vegetación

Los terrenos de siembra colindan con acahuales o potreros. Todos los terrenos tuvieron al menos una cerca viva en uno de sus límites, siempre con señales de poda y diferente altura y ancho de copas. En uno de los terrenos, áreas arboladas entraban en el terreno de siembra a manera de penínsulas, el dueño del terreno manifestó que su función era de dar sombra al ganado y proveer de un área de descanso y de trabajo agradable.

Los arvenses encontrados, fueron en general hierbas dicotiledóneas (Figura 29 A) que el ganado no es capaz de consumir. También están presentes árboles jóvenes de especies presentes en las cercas vivas o terrenos colindantes. En los terrenos que no se han utilizado por varios años se encontraron diversas especies de árboles y AE como: limoncillo (*Zanthoxylum fagara*), zanca de tordo (*Senna pallida*), cornezuelo (*Acacia cornígera*), zarza negra y huisache (*Vachellia pennatula*). Dos de los terrenos estaban cubiertos o parcialmente cubiertos con pasto bajo (<30 cm) y otros dos estaban casi totalmente descubiertos (Figura 29 B).



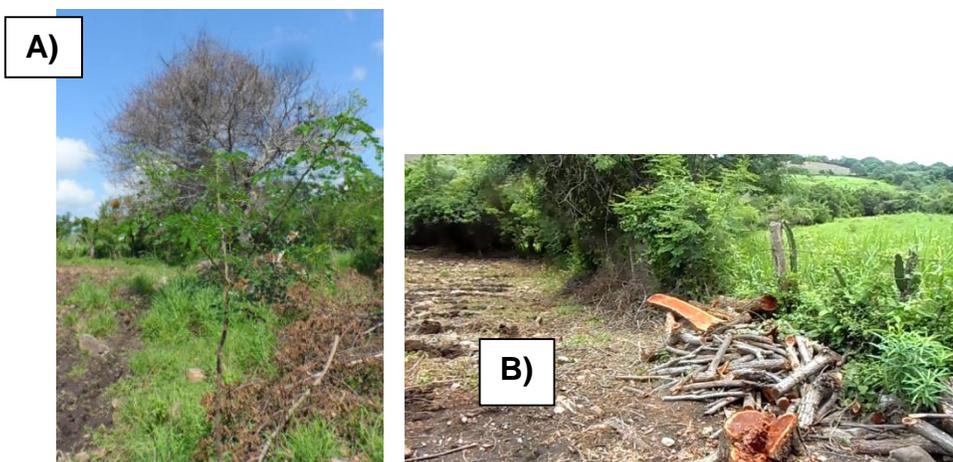
**Figura 29.-** Diferentes coberturas vegetales encontradas en los terrenos visitados.

Al recorrer algunos terrenos, se observaron pastos con hojas moradas que son un indicador de falta de fósforo en el suelo (Wallace, 1951) (Figura 30).



**Figura 30.-** Presencia de hojas moradas en pastos creciendo en áreas de cultivo.

Los árboles de las cercas vivas y potreros se podan regularmente. La leña producto de las podas no siempre se aprovecha ya que no todos los árboles son igual de apreciados y no se usa la maraña. En caso de necesitar “instantes” (postes), se sacrifica el árbol (Figura 31 A), se apila la leña que se necesita (Figura 31 B) y se deja la maraña en el campo. En general se permite crecer a árboles nuevos si están en partes del terreno donde no se considera que vayan a causar problemas de sombra o que sus raíces invadan el terreno de siembra. Se favorece dejar árboles de las especies consideradas como útiles. Las cercas vivas probablemente serán la principal fuente de biomasa para la producción de biocarbón.



**Figura 31.-** Uso de árboles como leña y postes **A)** Tihuixtle sacrificado en el fondo y tihuixtle joven en primer plano. **B)** Tihuixtle cortado para leña e instantes.

### **6.3.3 Acumulaciones de madera sin uso**

Durante los recorridos en los terrenos y caminos, se observó acumulaciones de biomasa vegetal, generalmente madera en diferentes grados de descomposición y que no parecían tener destinado algún uso. Las mismas fueron frecuentes en bordes de caminos, cercas de terrenos y parques. En muchos casos fueron palos de poco diámetro, probablemente sobras que quedaron después de extraer madera más gruesa para otros usos. Además, se encontraron árboles secos también en distintos grados de descomposición, árboles caídos después de nortes muy fuertes y montículos producto de podas municipales (Figura 32). Todas estas fuentes podrían aprovecharse para elaborar el biocarbón en el lugar donde se encuentran, ahorrándose así el trabajo de cortar y apilar la biomasa.



**Figura 32.-** Ejemplos de acumulaciones de biomasa encontradas en la localidad.

#### **6.3.4 Erosión y medidas de prevención observadas**

Aunque los participantes demostraron tener conocimiento de los problemas causados por la erosión y su importancia, las medidas de prevención de la misma parecen ser insuficientes pues los terrenos están descubiertos durante varios meses y no se tiene un

manejo preciso de la pendiente de los surcos en los terrenos con pendientes pronunciadas.

En los terrenos con pendientes apreciables se observó señales de erosión laminar como piedras desnudas en los lomos de los surcos y señales de excavación por agua a los lados de las rocas grandes. Al visitar los terrenos pocos días después de haber hecho las observaciones de suelo y habiendo llovido días anteriores, se observó que los hoyos se habían vuelto a llenar de tierra por completo.

Las prácticas de manejo de la escorrentía observadas en las parcelas de producción agrícola fueron: cercas vivas (todos los terrenos), surcos más o menos perpendiculares a la pendiente (siete terrenos), el permitir arvenses después de las primeras lluvias (cinco terrenos), barreras de piedras (dos terrenos) y surcos a nivel (un terreno). Es necesario mencionar que algunas de estas medidas pueden tomarse sin necesariamente tener conciencia de su utilidad en el control de la escorrentía.

Las cercas vivas fueron la práctica más común, estando presentes en todos los terrenos. En general los árboles seleccionados para las cercas vivas fueron árboles considerados como útiles como el guásimo, tihuixtle, barbona y quebracha entre otros. Los participantes manifestaron preferir árboles que se usan como postes “instantes” en las cercas. Las cercas vivas pueden contribuir a disminuir la erosión hídrica y eólica.

Los surcos a nivel sólo se observaron en una parcela y se hicieron de esa manera por recomendación de académicos del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz (Olguín-Palacios *et al.*, 2015). El terreno en cuestión es de pendiente muy ligera y tiene suelos con alto contenido de arcilla. El participante manifestó que pensaba que se debía cambiar los surcos a nivel con surcos con un ligero desnivel constante “para que drene y evitar la pudrición”.

Los surcos más o menos perpendiculares a la pendiente se observaron en cinco parcelas que fueron todas las que tenían pendiente apreciable a simple vista. Consistían en surcos que seguían la dirección de la cerca más perpendicular a la pendiente, no eran curvas de nivel como tales, si no líneas rectas perpendiculares a la dirección general de la bajada. Un participante comentó “mi papá siempre nos encargó que no hiciéramos los

surcos cómo va la bajada sino más bien cruzados'' dijo mientras daba indicaciones con las manos apuntando al terreno.

Las barreras de piedras se observaron en dos terrenos, son resultado del ''despedrado'' de terrenos y siguen la misma de la cerca perpendicular a la pendiente en la parte superior de los terrenos.

Al momento de las visitas (junio y julio de 2017) las parcelas tenían una cobertura vegetal en diferentes alturas (10 a 70 cm) y diferentes grados de cobertura. Cuando se preguntó a los participantes sobre los arvenses presentes, estos respondieron que se trataba de especies de las cuales el ganado no se alimentaba pues ya se habían acabado las que si les servían como forraje. El crecimiento de arvenses ocurre debido a que los participantes a veces eligen no sembrar con las primeras lluvias, lo deciden así por evitar la canícula o por lluvias ''adelantadas'' que ocurren antes de que empiece a llover más regularmente.

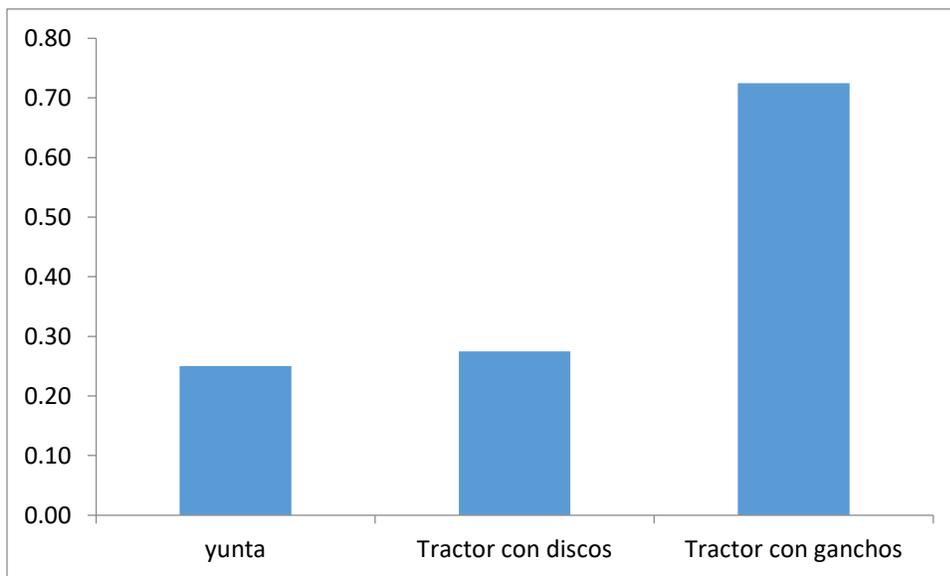
La presencia de arvenses en el terreno antes de las fechas de siembra probablemente tiene un efecto moderador de la erosión. Dicha vegetación es producto de las primeras lluvias o de años en los que el terreno quedó sin sembrar.

La erosión observada podría resultar en la migración del biocarbón a las partes bajas del terreno o finalmente sacarlo del mismo. Por esta razón, cualquier futura promoción del uso de biocarbón en estos terrenos deberá incluir la promoción de medidas efectivas de control de la erosión. El biocarbón podría contribuir a mitigar la erosión fomentando la formación de agregados y mejorando la infiltración de agua lo que reduciría la velocidad del agua que recorra el terreno como ocurrió en las pruebas de Hseu *et al.* (2014) y de Jien y Wang (2013) quienes atribuyen la reducción de la erosión a la reducción en la densidad del suelo, aumento en la porosidad, aumento en la conductividad hidráulica y promoción de la formación de agregados.

Las medidas de prevención de la erosión observadas no necesariamente se practican con la intención de reducir la erosión.

### 6.3.5 Labranza

La labranza se realiza de tres modos en los terrenos de los participantes: yunta, tractor con ganchos y tractor con discos (Figura 33). Algunos participantes no araron todos los años por el costo y porque a veces no lo consideraban muy necesario pues “seguía floja la tierra”. La distancia entre surcos en general es de 0.8 m.



**Figura 33.-** Porcentaje de participantes que usan los diferentes tipos de labranza. **Nota:** En caso de que un participante usara más de un tipo de labranza, se consideró la proporción de cada tipo usado y se anotó la fracción correspondiente.

En el caso de la yunta, los participantes que la usan comentaron que les salía más barato que contratar el tractor, que con la yunta ocurría menos erosión “se va menos la tierra” y que el tractor traía a la superficie el subsuelo “saca la tierra de abajo que no es tierra viva como la de arriba” (Figura 34).



**Figura 34.-** Labranza con yunta. La baja profundidad de la labranza pueden ser factores importantes al prevenir la erosión.

Los participantes que usan tractores con ganchos dijeron que los preferían pues era más barato que el discado y provoca menos erosión. Este fue el método de labranza más utilizado.

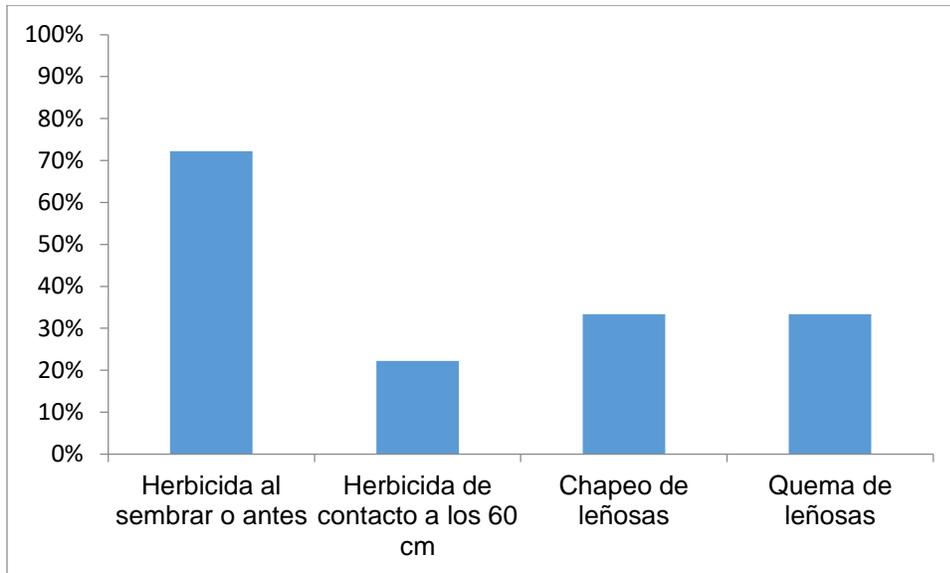
Sólo dos participantes usan arado con disco.

Las actividades de labranza pueden tener efectos negativos en las poblaciones de micorrizas (Kabir, 2005). Debido a que casi todos los participantes usan ganchos o yunta y no discos para el arado, quedan espacios que no son muy perturbados entre los surcos. Estos podrían estar funcionando como un reservorio de micorrizas que pudieran recolonizar el surco posteriormente, especialmente si se redujera la densidad del suelo. Warnock *et al.* (2007) proponen que la promoción de micorrizas por el biocarbón se explica entre otros factores por su influencia en las características físico-químicas del suelo. La reducción en la densidad del suelo por la aplicación de biocarbón podría favorecer al crecimiento de micorrizas ya que se ha encontrado que la compactación del suelo lo reduce (Nadian *et al.*, 1996).

### **6.3.6 Manejo de arvenses**

Además de la labranza, El manejo de arvenses se realiza mediante el uso de herbicidas y en el caso de leñosas posteriormente estas se cortan, apilan y queman en el terreno. Algunos participantes sólo hacen una aplicación antes de sembrar y otros hacen una segunda aplicación cuando el maíz ya ha crecido alrededor de 60 cm. La primera aplicación es del herbicida Faena (glifosato) y se realiza antes de sembrar o poco después de sembrar (antes de la emergencia). La segunda aplicación puede ser de varios

herbicidas de contacto y se realiza cuando las plantas ya han alcanzado alrededor de 60 cm (Figura 35).



**Figura 35.-** Porcentaje de participantes que realiza las diferentes prácticas de control de arvenses.

Al menos dos de los participantes introducen ganado antes de las fechas de siembra para reducir los arvenses producto de las primeras lluvias.

### 6.3.7 Manejo y ciclaje de nutrientes del suelo

Casi toda la fertilización se realiza mediante la aplicación de abonos sintéticos nitrogenados, principalmente urea aunque algunos participantes también utilizan sulfato de amonio. Sólo tres participantes utilizan un fertilizante con contenido de fósforo: fosfato diamónico (DAP) o Triple 17 (NPK).

La cantidad total de fertilizante utilizado por hectárea fue de entre 188 y 425.5 kg. La mayoría de los participantes utilizan dos fertilizaciones por temporada aunque algunos sólo utilizan una. Casi siempre ambas fertilizaciones son de la misma cantidad, sólo un participante aplica menos fertilizante durante la segunda aplicación. La fertilización generalmente se elige de acuerdo a la altura de la planta aunque algunos también utilizan los días desde la siembra (Cuadro 2.- Prácticas de fertilización de parcelas agrícolas.).

**Cuadro 2.- Prácticas de fertilización de parcelas agrícolas.**

<b>Participante</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>DAB (temporadas que usa)*</b>				1					1
<b>Sulfato de amonio (temporadas que usa)*</b>	0.5	0.5		0.5					
<b>Triple 17</b>							0.5		
<b>Urea (temporadas que usa)*</b>	0.5	0.5	1	0.5	1	1	1	1	1
<b>Altura del maíz 1er fert. (cm)</b>	30		30	55	120	30	30-		60
<b>Altura del maíz 2da fert. (cm)</b>	100		100						
<b>Edad de la planta 1er aplicación (días)</b>					60	30			
<b>Edad de la planta 2da aplicación (días)</b>						75	75		
<b>1er fertilización (Kg ha-1)</b>	150	425	94	344	329	200	250	0	210**
<b>2 da fertilización (Kg ha-1)</b>	150	0	94	0	0	167	0	0	0
<b>Aplicación total de fertilizante (Kg ha<sup>-1</sup>)</b>	300	425	188	344	329	367	0	0	210**

\*Como sólo se cultiva una temporada por año, los datos de 0.5 indican que utilizan dicho fertilizante un año y otro fertilizante el año siguiente.

\*\* 160 Kg de urea y 50 Kg de DAB.

Debido a que sólo tres de los participantes incluye fósforo, sólo uno incluye NPK ocasionalmente y ninguno incluye magnesio, calcio o micronutrientes en sus prácticas de fertilización y a las señales de carencia de fósforo observadas en hojas de pasto, es de esperarse que dichos nutrientes estén presentes en bajas cantidades en los terrenos de los participantes. El biocarbón ha reducido la lixiviación de estos nutrientes en varios estudios (Laird *et al.*, 2010; Major *et al.*, 2012; Sika, 2012). Se ha observado que el biocarbón aumenta la disponibilidad del fósforo (Cui *et al.*, 2011). Sólo un participante incluye Azufre en su fertilización, por lo que dicho mesonutriente también puede esperarse que fuera escaso en los terrenos.

Todos los participantes introducen ganado a sus terrenos de siembra después de la cosecha para que se alimenten de la caña de maíz en el terreno. La introducción de ganado a las áreas de producción agrícola facilita el ciclaje de nutrientes en el terreno a través del consumo de los residuos de la caña de maíz y la producción de estiércol. No podemos considerar a este proceso como una introducción de nutrientes vegetales en la parcela pues dichos nutrientes provienen de la parcela misma, sin embargo si supone una incorporación de dichos nutrientes en el suelo.

En casi todos los terrenos se observó la presencia de escarabajos estercoleros pequeños (<1 cm) en las bostas presentes (Figura 36). También se encontraron frecuentemente termitas “comejenes” tanto en las bostas como en las cañas. Es probable que la presencia estos organismos en el estiércol de ganado contribuya a la dispersión e incorporación de nutrientes presentes en el mismo.



**Figura 36.-** Bosta de ganado vacuno con señales de excavaciones de escarabajos.

En cinco de los ocho terrenos visitados fue común encontrar micelio asociado con raíces (probablemente hongos micorrízicos) al levantar rocas (Figura 37).



**Figura 37.-** Raíces en asociación con micelio encontradas al levantar rocas en el terreno.

En un terreno donde regularmente se siembra cacahuate, se encontraron plantas voluntarias de dicha especie con nódulos abundantes probablemente de bacterias fijadoras de nitrógeno (Figura 38).



**Figura 38.-** Raíces de planta de cacahuate con nódulos.

Sólo un participante utilizó abonos orgánicos. En una parte del terreno donde dicho participante manifestó que la producción era baja, aplicó estiércol viejo de burro y hojarasca y flores frescas de aguacate que barrió de su techo. La aplicación se hizo superficialmente y cuando se visitó el terreno, el abono estaba seco y mucho se había dispersado pendiente abajo por lluvias que ocurrieron después de la aplicación. En otro caso, se observó a un participante colectando hojarasca fresca de tamarindo, sin embargo sólo tenía pensado aplicarla en el jardín de su casa. Un tercer participante compartió una anécdota de que en un terreno donde se le arruinó parte de su ensilado, la milpa creció mejor. Estas experiencias indican que hay un conocimiento y apreciación del valor de la materia orgánica por parte de por lo menos algunos participantes sin embargo, todos ellos afirman que no cuentan con los medios para obtenerlos y aplicarlos en las cantidades necesarias.

Otra posible fuente de nutrientes ausentes en la fertilización son las piedras presentes en todos los terrenos. Las micorrizas han demostrado ser capaces de extraer dichos nutrientes de piedras (van Breemen *et al.*, 2000). Futuros estudios podrían medir el efecto que los biocarbones seleccionados pudieran tener en las micorrizas de los terrenos de Angostillo

### **6.3.8 Siembra**

La siembra se realiza entre junio y julio. La mayoría de los participantes siembra después de las primeras lluvias, sin embargo un participante prefiere sembrar después de la canícula pues ha observado que las canículas largas perjudican el crecimiento de la milpa.

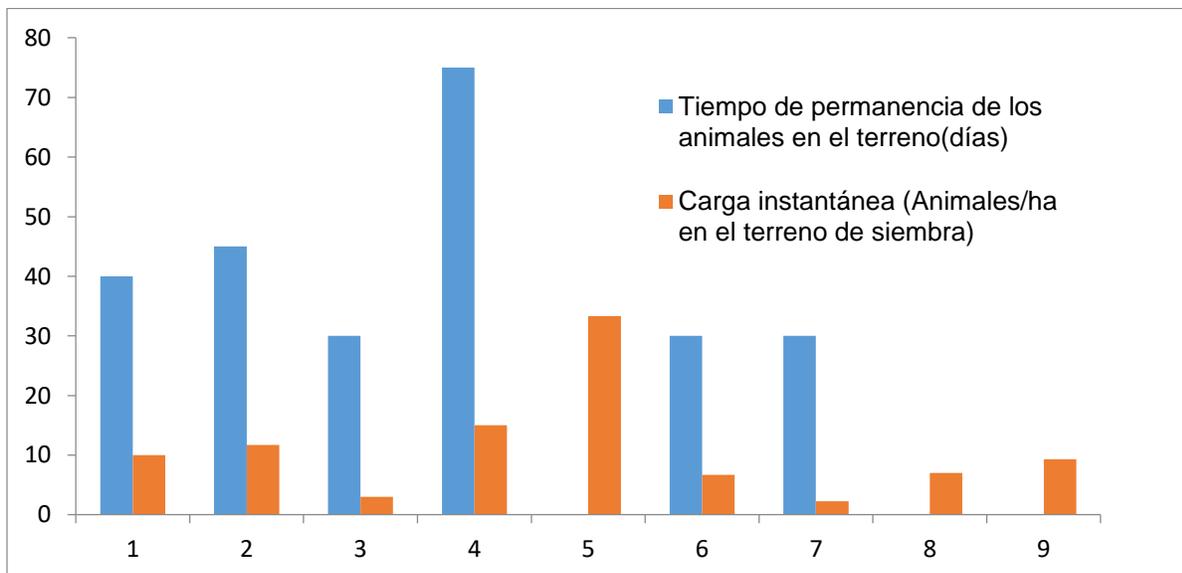
En todos los casos la siembra se realiza con punzón, la distancia de siembra que usan los participantes es de 0.5 m en promedio.

Ocho de nueve participantes decidieron sembrar maíz el año del estudio, el otro participante sembró árboles de limón. Los años anteriores todos los participantes habían sembrado maíz. Un participante siembra el maíz con frijoles en la mitad de su parcela, cacahuete en la otra mitad y cempasúchil en las últimas dos rayas. Otro participante sembró limón en el terreno donde antes sembraba principalmente maíz. Un participante sembró calabaza el año anterior, pero generalmente siembra maíz.

### 6.3.9 Manejo de ganado

Todos los participantes introducen ganado al terreno para aprovechar las cañas de maíz como forraje (Figura 39). La mayoría introduce ganado propio, sin embargo un participante renta dos parcelas para que forraje el ganado de otros.

Dos participantes mencionaron que sacan al ganado del área de siembra durante los días de lluvia para evitar la compactación, pero que no siempre pueden hacerlo.

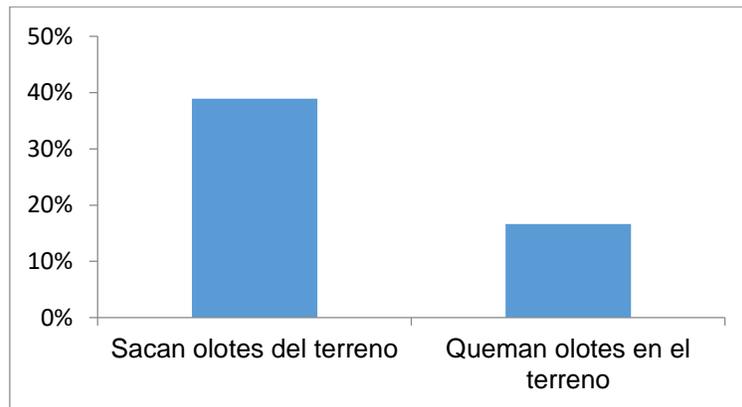


**Figura 39.-** Días de permanencia del ganado y carga instantánea en los terrenos de siembra. Los dueños de los terrenos 5, 8 y 9 no respondieron sobre el tiempo de permanencia.

### 6.3.10 Manejo de desechos agrícolas

A pesar de que las cañas de maíz se dejan para el ganado, al secarse y podrirse la palatabilidad de las mismas se reduce “el ganado ya no se lo come”. Las cañas que quedan después de sacar el ganado se dejan en el terreno donde se observó que son alimento de termitas, los participantes comentaron que “cría mucho comején”.

En cuanto a los olotes, la mayoría de los participantes los deja en el terreno, algunos participantes lo colectan y almacenan para usarlos como combustible mientras que otros lo queman en el terreno (Figura 40). La quema de olotes es una labor que los participantes ya no harían si lo utilizaran para producir biocarbón, esto mejoraría la economía de la producción de biocarbón con este material.



**Figura 40.-** Porcentaje de participantes que realiza las diferentes prácticas de manejo de desechos agrícolas de maíz. Ninguno de los participantes recoge o quema la caña de maíz del terreno.

En cuanto a los desechos agrícolas de otros cultivos, los participantes dicen que se dejan en el terreno.

### 6.3.11 Descripción de suelos

#### 6.3.11.1 Tipos de tierra de acuerdo a la nomenclatura local y sus características

Los participantes reconocen los siguientes tipos de tierra presentes en sus terrenos: cascajillo (Figura 41 A), tierra injuta (Figura 41 B) y tierra negra (Figura 41 B). La tierra negra es como su nombre lo indica de color negro y tiene textura arcillosa al tacto. La

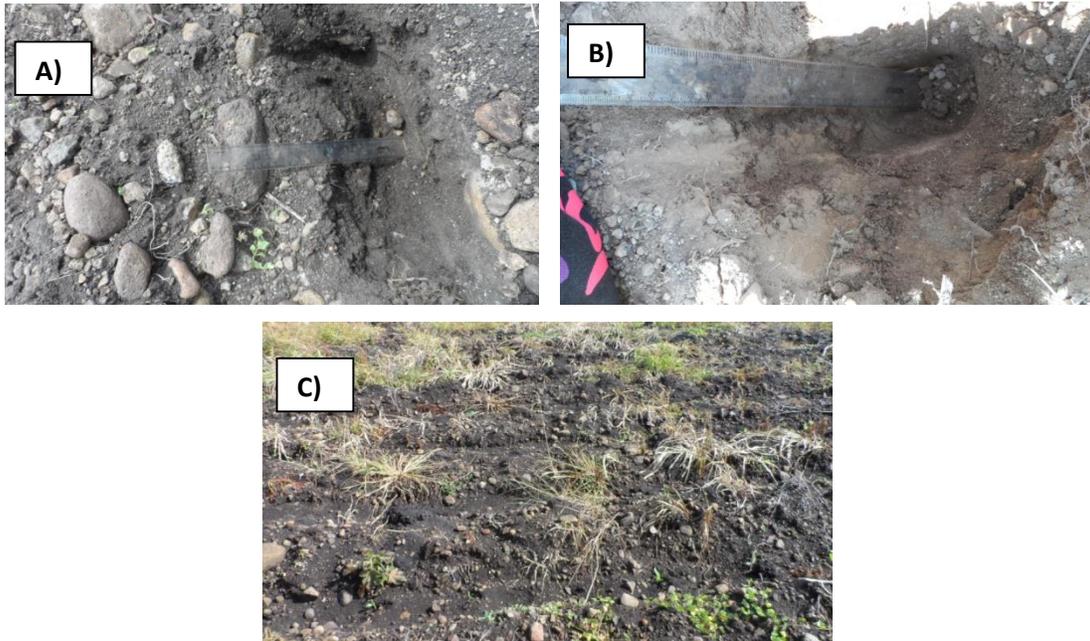
tierra injuta es color anaranjado cuando está húmeda y gris claro o ligeramente amarilla cuando está seca, es de textura menos arcillosa que la tierra negra. El cascajillo se caracteriza por tener un contenido de grava y piedras alto, su color es como el de la tierra injuta. En uno de los puntos de descripción de suelo hubo tierra de color similar a la tierra injuta del mismo terreno (anaranjada estando húmeda) pero de textura mucho más arcillosa, el dueño del terreno la llamó simplemente barrial.

En general los participantes opinan que la tierra injuta es la mejor para los cultivos, sin embargo, también afirman que la tierra negra es mejor cuando no llueve pues “guarda más el agua, pero también se agrian las plantas en esa tierra cuando llueve mucho”. Sus observaciones sugieren que la tierra injuta tiene mejor drenaje pero también menor retención de agua, mientras que la tierra negra parece tener mejor retención de agua, pero drenaje insuficiente. Estas opiniones contrastan con lo reportado por Ávila-Cruz (2009) donde los productores del ejido consideraron a la negra como la mejor, esto puede deberse a diferencias de opinión entre quienes se entrevistaron para su trabajo en este estudio.

La tierra negra se encontró en 19 puntos de descripción y en ocho terrenos; la tierra injuta se encontró en 12 puntos de descripción y en seis terrenos; el cascajillo se encontró en cuatro puntos y dos terrenos. También se encontró el mencionado barrial en un terreno. Si bien lo ideal sería estudiar el efecto de diferentes biocarbones en cada uno de estos tipos de suelo, de no ser posible se podrá empezar por los suelos encontrados más frecuentemente.

Sólo se encontró estructura en 15 de 36 puntos de descripción, mayormente en los suelos denominados como tierra negra, aunque generalmente esta sólo existía en los primeros centímetros. A profundidades mayores a 10 cm se encontró estructura en cuatro terrenos con alta presencia de arvenses uno de los cuales no se había sembrado el año anterior, en otro terreno con muy poca cobertura cerca de un acahual en la parte baja del terreno y en dos donde se hace labranza con yunta y también estaban cubiertos de arvenses.

En general, los terrenos tuvieron una capa floja y fácil de cavar en los primeros cuatro a 16 cm a partir de la cual son claramente más densos. El promedio de la profundidad a la que terminaba la capa floja fue de 8.33 cm. De ser posible, lo ideal sería incorporar el biocarbón a éstas profundidades.



**Figura 41.-** Tipos de tierra encontrados en los terrenos de los participantes.

Como se mencionó en el estudio de Ávila-Cruz (2009), la compactación del suelo parece ser un problema importante.. La baja densidad del biocarbón ayudaría a reducir la densidad de los suelos. Además, el biocarbón ha demostrado en algunos casos ser resistente a la compactación (Vaughn *et al.*, 2015)

Otra forma en la que el biocarbón podría evitar la compactación del suelo sería mediante la promoción de hongos micorrízicos, pues se ha observado que tienen un papel importante en la formación de agregados y la incorporación de materia orgánica en el suelo (Rillig and Mummey, 2006). La aplicación de biocarbón ha resultado aumentos en la población de micorrizas en el suelo después de incorporar biocarbón en el mismo (Herrmann *et al.*, 2004; Ishii T. and Kadoya, 1994; Yamato *et al.*, 2006). Warnock *et al.* (2007) proponen entre otros mecanismos, que la protección contra forrajeadores de hongos podría explicar el aumento en las poblaciones de micorrizas al aplicar biocarbón. La porosidad podría ser un indicador de la capacidad del biocarbón para funcionar como

refugio para las micorrizas pues representa el espacio que utilizarían sus hifas dentro de las partículas del biocarbón, partículas de biocarbón de suficiente tamaño podrían también mantener micelio vivo en su interior después de los eventos de arado. Futuros estudios podrían confirmar o refutar estas hipótesis.

Muchos de los puntos de muestreo tenían suelos con alta densidad. Por lo general, a pocos cm del suelo se apreciaba al cavar que la densidad aumentaba abruptamente. Aunque las actividades de labranza se hacen cotidianamente, es de esperarse que el suelo se vuelva a compactar durante el crecimiento de las cosechas. La práctica de introducir al ganado a los terrenos de siembra, las actividades de labranza y la falta de cobertura durante parte del año pueden ser factores que contribuyen a la compactación de los terrenos. Los biocarbones con podrían ayudar a reducir la densidad del suelo y quizá algunos podrían tener un grado de resistencia a la compactación significativo y sean capaces de resistir la recompactación por el paso del tractor y los animales.

#### **6.3.11.2 Pedregosidad**

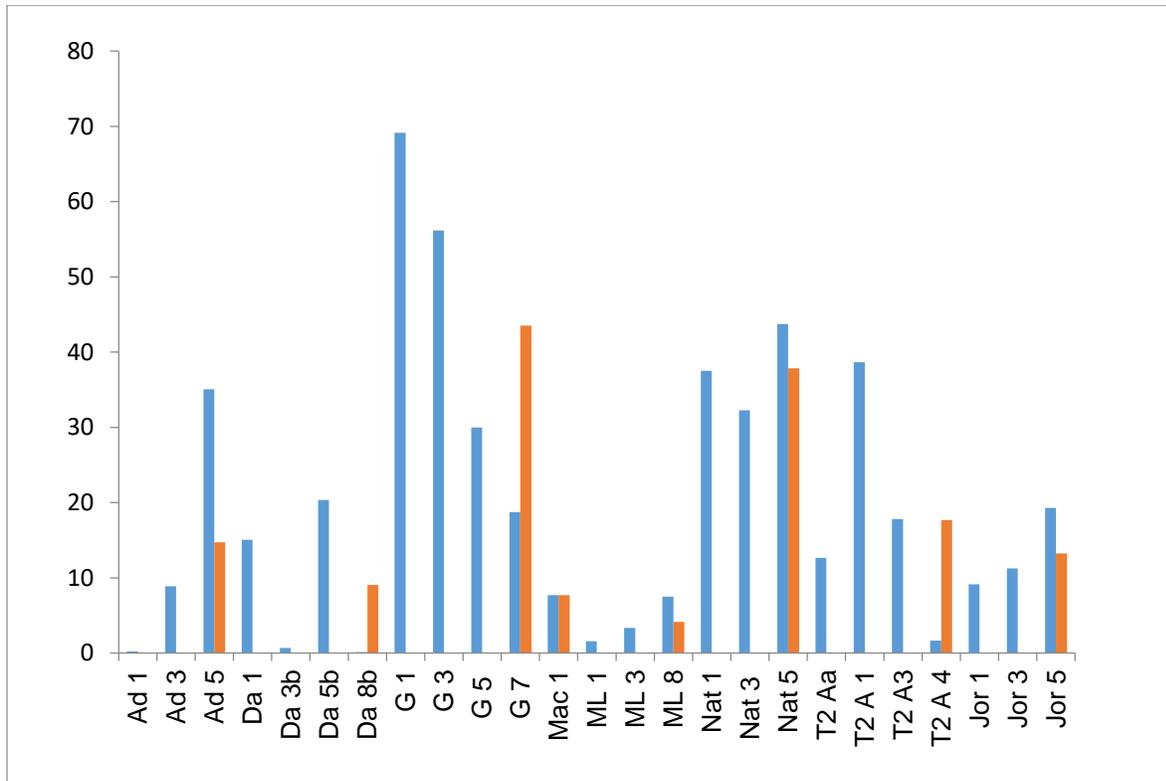
Aunque no se midió cuantitativamente, se observó que todos los terrenos son pedregosos como fue observado por Ávila-Cruz (2009). Sin embargo, pocos de los puntos de muestreo (cinco) tenían un contenido de grava suficientemente alto como para que los participantes la consideraran como “cascajillo”.

Todos los terrenos excepto uno tenían abundantes piedras en los lomos de los surcos. Esto probablemente se debe a que las actividades de labranza sacan las piedras de las rayas y luego la tierra que las cubre en el lomo se erosiona dejando las piedras desnudas.

#### **6.3.11.3 Tasa de infiltración de agua**

La tasa de infiltración de agua fue muy variable tanto entre los terrenos como dentro de los mismos. Por lo general los terrenos tuvieron uno o dos puntos donde la infiltración era más lenta. La tasa de infiltración más lenta fue de  $0.14 \text{ cm hr}^{-1}$  y la más rápida fue de  $69.12 \text{ cm hr}^{-1}$ . El promedio de la tasa de infiltración fue de  $19.93 \text{ cm hr}^{-1}$  (Figura 42). Las mediciones más lentas pueden corresponder a valores reales aún más bajos ya que en los casos que tomaba aproximadamente 30 min para que se redujera un solo milímetro

de agua, es posible que esta reducción se debiera más bien a la evaporación que a una infiltración real.



**Figura 42.-**Valores de la tasa de infiltración obtenidos en los diferentes puntos de descripción y promedio para cada terreno.

De acuerdo con los participantes, los eventos de lluvia en la localidad pueden ser fuertes y cortos (30 a 60 min) lo largos con lluvia ligera (> 2 hr). En consecuencia, una vez saturada la superficie del suelo, más de la mitad (nueve de 25) de los puntos medidos no lograrían saturar más de los primeros 20 cm. Solo dos terrenos de ocho medidos saturarían más de 20 cm en tales eventos de lluvia. Ésta observación está respaldada por la apreciación de los participantes de que “esas lluvias no mojan bien” (refiriéndose a lluvias fuertes). En terrenos con pendientes significativas, las tasas de infiltración bajas tendrán como consecuencia un flujo rápido de agua provocando erosión hídrica.

### 6.3.12 Problemas de producción agrícola percibidos por los participantes

El problema de producción agrícola más mencionado fue la pudrición de plantas en partes muy húmedas del terreno (cinco de nueve participantes), el segundo fue la presencia de

termitas (‘‘comején’’) como una plaga de sus terrenos (cuatro de nueve participantes), el tercero fue la presencia de larvas de escarabajos o ‘‘gallinas ciegas’’ (tres de nueve participantes), seguido por la baja retención de agua ‘‘la tierra se seca rápido’’ (dos de nueve participantes), la compactación, hormigas perjudiciales y daños por animales silvestres los últimos tres mencionados sólo por un participante.

Al visitar algunos terrenos, algunos participantes voltearon bostas de ganado y llamaron gallinas ciegas a las larvas de escarabajo que se estaban alimentando de ellas.

Respecto a las hormigas, en algunos terrenos se observan círculos carentes de vegetación alrededor de la entrada de hormigueros.

La pudrición de plantas en las partes más húmedas del terreno fue el problema más mencionado durante las entrevistas. Este problema probablemente se debe a hongos patógenos que se ven favorecidos por un drenaje insuficiente en dichas partes del terreno. Se ha observado que el biocarbón puede aumentar la conductividad hidráulica en suelos arcillosos (Barnes *et al.*, 2014) que son precisamente los suelos con problemas de drenaje. La modalidad de aplicación utilizada en este trabajo probablemente resulta en la formación de un corredor de baja densidad y alta conductividad hidráulica, sin embargo, como los surcos no se hacen a nivel o siguiendo un desnivel constante, el agua simplemente podría drenar a partes bajas del surco que tienen una pendiente en subida a ambos lados (como una presa en miniatura). Una posible solución sería hacer surcos con un desnivel ligero en las partes del terreno con problemas de drenaje, como lo propone Yeomans (1954).

Los participantes consideran como un problema que tanto las cañas de maíz secas como las bostas de ganado ‘‘crían mucho comején’’. Sin embargo, en la literatura se mencionan ejemplos de casos en los que la presencia de termitas resulta benéfica en climas cálidos con problemas de agua y compactación de suelos (Evans *et al.*, 2011; Mando and Rheenen, 1998). Sin hacer los estudios respectivos, no se puede saber si este es el caso en los terrenos de Angostillo. La investigación sobre el efecto del biocarbón y la macrofauna del suelo parece ser limitada y todavía no se conocen los mecanismos por los que este puede afectar a estos organismos, aunque se considera

que los cambios que produce en las características físico-químicas del suelo podrían jugar un papel importante (Castracani *et al.*, 2015). Con la información disponible hasta la fecha no podemos saber si un biocarbón sería más o menos efectivo para paliar este problema.

Si bien existen varias especies de escarabajos que son perjudiciales a los cultivos, muchas otras son coprófagas o saprófagas. De acuerdo con Lopez-Collado *et al.* (2017) los escarabajos estercoleros organismos suponen un beneficio económico principalmente por liberar áreas para la vegetación y por introducir nitrógeno en los suelos. De nuevo, la poca información sobre la relación entre la macrofauna del suelo y el biocarbón no nos permitirían predecir si un biocarbón u otro podrían ser útiles para reducir la presencia de estos organismos en el caso de los perjudiciales o incrementarla en el caso de los benéficos.

El problema de que “la tierra se seca rápido” que se menciona para los terrenos o partes de los terrenos con “tierra injuta” o que su tipo de suelo es “cascajillo”. A veces se necesitan grandes cantidades de biocarbón para lograr mejoras considerables en la retención de agua en el suelo (Carvalho *et al.*, 2014). Sin embargo, también se puede lograr aumentos significativos con aplicaciones pequeñas como de 2% por peso en el estudio de Ouyang *et al.* (2013). Se percibe al tacto que los terrenos analizados tienen en general grandes cantidades de arcilla, por lo que el biocarbón podría no mejorar mucho o incluso disminuir la retención de agua en el suelo. Sin embargo, las áreas donde el suelo se seca más rápido fueron las más arenosas y/o pedregosas por lo que en dichas áreas el biocarbón tendría más probabilidades de tener un efecto benéfico. Zhang *et al.* (2016) encontraron que incorporar el biocarbón en una sola capa resultó en mejor retención de agua que si se lo mezclaba homogéneamente. En este trabajo, la incorporación también se hizo localizada (sin homogeneizar) por lo que podríamos esperar resultados favorables. Las mejoras en la conductividad hidráulica que se logren con el biocarbón, facilitarían la infiltración de agua y podrían contribuir a un mejor aprovechamiento de lluvias cortas.

Se ha observado que las micorrizas influyen en el transporte de agua en sus superficies (Allen, 1996) y dentro de las hifas (Allen, 1982). Pueden penetrar microporos

(Allen, 2007) o incluso matriz de rocas (Hoffland *et al.*, 2003). Si el biocarbón tuviera un efecto benéfico en las micorrizas, estas cualidades serían muy importantes pues las micorrizas podrían transportar agua desde microporos en el biocarbón o en las arcillas, fuentes de agua que de otro modo pudieran no estar disponibles para la planta.

El tipo de pirolisis usado en este estudio puede producir biocarbones con retención de agua alta. Schmidt *et al.* (2015) produjeron un biocarbón con una capacidad de retención de agua de 6.5 veces su peso.

Es interesante que solo un participante mencionara a la compactación como un problema. Esto posiblemente se debe a que siendo una característica tan común de los suelos de la zona, no se la considera como una característica extraña o que se pueda cambiar. Un posible obstáculo para que los participantes compartieran los problemas de sus terrenos con el investigador y entre sí es el orgullo que sienten por sus terrenos, el manejo que les dan y su conocimiento. Es por tanto necesario un acercamiento que incluya el reconocimiento de la capacidad de los productores, pero que además facilite la confianza para que éstos se abran y compartan con los investigadores sus necesidades de investigación.

Respecto a la presencia de hormigas, existe evidencia anecdótica de suelos donde el uso de biocarbón resultó en la eliminación de daño a semillas por hormigas (Reddy, 2018). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, todavía no se cuenta con el conocimiento suficiente como para entender por qué mecanismos el biocarbón afecta a la macrofauna del suelo (Castracani *et al.*, 2015) y no se pueden hacer predicciones sobre el efecto que tendrá un biocarbón determinado sobre las hormigas. Una explicación no considerada por los anteriores autores es que el biocarbón pudiera estar adsorbiendo los gases (olores) que las hormigas siguen para encontrar las semillas.

## 6.4 Análisis de costos

### 6.4.1 Obtención y preparación de materias primas

Durante todas las actividades de producción de biocarbón realizadas, había materias primas adecuadas ya cortadas en los terrenos donde se realizó la pirólisis y sólo fue necesario fraccionar una parte de la misma (ramas que excedieran el área del pirolizador). El material se obtuvo de los bordes de los terrenos de siembra en donde es acumulado como resultado de las podas de árboles continuas, por lo tanto, la distancia de transporte siempre fue corta (<10 m), especialmente considerando que el pirolizador se instaló cerca de los materiales. El guásimo y el tihuixtle son árboles comunes en los bordes de terrenos y cercas vivas por lo que su recolección puede hacerse de este modo en los bordes de terrenos.

Los tiempos de colección a continuación no necesariamente representan la misma cantidad de materia prima colectada. Estos datos junto con la cantidad de biocarbón producido con dicha materia prima servirán para calcular cuántos jornales de trabajo de colección y fraccionamiento se utilizan para una determinada cantidad de biocarbón.

Se hicieron dos colectas de guásimo, colecta de maraña (diámetro de ramas < 2 cm) y de leña (diámetro de ramas de 2-5 cm). Colectar y fraccionar la maraña de guásimo utilizada en el procesamiento modelo de biocarbón tomó 0.5 jor m<sup>-3</sup> de biocarbón producido, mientras que la leña de guásimo tomó 0.31 jor m<sup>-3</sup>. La colección y fraccionamiento de leña fue más rápida pues al ser varas más rectas, necesitaron de menos fraccionamiento.

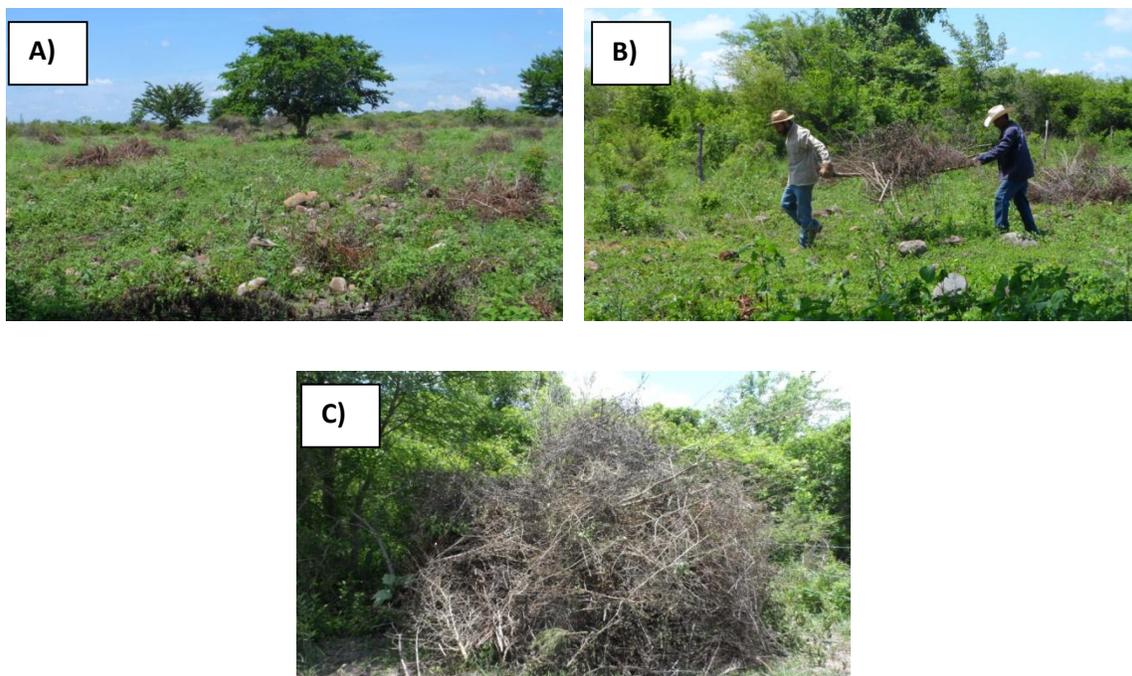
La colección y fraccionamiento de tihuixtle tomó 1.1 jor m<sup>-3</sup> de biocarbón producido. Las espinas dificultaron un poco el trabajo.

Durante los meses anteriores a la siembra, los terrenos están parcialmente cubiertos de cañas de maíz que el ganado ya no encuentra palatable, por lo tanto, sólo se necesita transportar el material por distancias cortas. La caña no requiere de fraccionamiento previo para producir el biocarbón. La caña de maíz utilizada se colectó a una tasa de 0.27 jor m<sup>-3</sup> de biocarbón producido.

En cuanto a los olotes, la mayoría de los participantes (cinco de nueve y uno ocasionalmente) desgranar el maíz en sus terrenos, por lo que el material ya se puede encontrar apilado en los mismos. Algunos participantes almacenan olotes en sus domicilios para diversos usos. Además, en algunos terrenos se observaron rastros de quema de olotes. Los olotes no requieren de fraccionamiento para producir el biocarbón. Ya que pueden encontrar olotes apilados en el terreno, sólo es necesario trasladarlos una distancia corta al lugar donde se realizará la pirólisis por lo que su costo de obtención y almacenamiento fue de 0.29 jor m<sup>-3</sup> de biocarbón producido.

A pesar de que durante el análisis de materias primas se mencionó a la zarza como uno de los materiales candidatos, al ir a colectarla como materia prima se observó que la misma ya estaba cortada y apilada con otros arbustos espinosos (Figura 43 A). El participante dueño del terreno comentó que este tipo de vegetación crece en algunos terrenos que no se han desmontado por algunos años y que después de desmontarlos se apilan los arbustos y se queman. En partes del terreno sin desmontar, también se encontraba a la zarza creciendo con otros arbustos similares lo que haría impráctico producir biocarbón de la misma por sí sola. Por lo tanto, se produjo el biocarbón con los materiales encontrados en los montículos producto del desmonte los cuales incluían varias especies de arbustos espinosos entre los cuales estaban el limoncillo (*Zanthoxylum fagara*), zanca de tordo (*Senna pallida*), cornezuelo (*Acacia cornígera*), huisache (*Vachellia pennatula*) y la zarza.

Para colectar los arbustos espinosos, se pasaron dos varas a través de los montículos, se levantaron los mismos como una camilla (Figura 43 B) y se trasladó a una pila contigua al sitio donde se realizó la pirolisis (Figura 43 C). Debido a las dificultades en manejar el material por la presencia de espinas, la actividad fue difícil. Durante el trabajo ocurrieron dos cortes superficiales (uno al investigador y otro al participante).



**Figura 43.-** Obtención de arbustos espinosos. **A)** Montículos de arbustos espinosos producto del desmonte de terrenos. **B)** Transporte de matorrales espinosos. **C)** Matorrales espinosos apilados.

La colecta de arbustos espinosos utilizados se llevó a cabo por dos personas en 35.5 min (una persona en 71 min). Este material no fue fraccionado por la dificultad para manejarlo y porque las ramas en general cabían dentro del pirolizador demostrativo. Tomando en cuenta el volumen de biocarbón que se produjo, coleccionar la materia prima tuvo un costo de 1.23 jornales  $m^{-3}$  de biocarbón producido.

Con excepción de los arbustos espinosos, la obtención y preparación de las demás materias primas no fue considerada como un trabajo particularmente difícil. En el caso del tihuixtle, el fraccionamiento fue un poco más lento debido a la presencia de espinas, sin embargo no ocurrieron lesiones. La única herramienta utilizada durante la actividad fue el machete.

#### 6.4.2 Transporte de agua

Los viajes de transporte de agua tomaron en promedio 25 min incluyendo la carga del agua. Debido a que cada apagado del pirolizador demostrativo requiere de un viaje de agua, el costo de transporte de agua sería de 0.13 jor  $m^{-3}$  de biocarbón producido.

### 6.4.3 Preparación para la pirólisis

El procesamiento de biomasa para producir biocarbón requiere de la preparación del terreno, ensamble del pirolizador y encendido antes de empezar la pirólisis.

La preparación del terreno tomó un promedio de 5.2 min que representan 0.04 jor m<sup>-3</sup> de biocarbón producido. Una vez preparado el terreno, quemadas sucesivas en el mismo lugar necesitarían menos tiempo de preparación.

El ensamble del pirolizador (Figura 44) consiste en unir con pernos cuatro láminas usando una pinza y una llave inglesa y colocar tierra en el fondo para prevenir la entrada de aire. Durante las experiencias de producción, la preparación del terreno tomó un promedio de 10.17 minutos en siete ocasiones que se midió el tiempo de ensamblado. El pirolizador puede transportarse armado en camioneta, sin embargo sólo un participante cuenta con dicho vehículo y los demás tendrían que transportarlo en burro lo que requiere que el pirolizador esté desarmado. Para el análisis de costos se consideró que cada vez que se armara el pirolizador, este se utilizaría las veces necesarias para producir 3 m<sup>3</sup> en el terreno antes de volver a desarmarse lo que resultaría en un tiempo de 3.39 min m<sup>-3</sup> de biocarbón producido.



**Figura 44.-** Ensamble del pirolizador en el lugar de producción de biocarbón.

Se debe considerar que el ensamble del pirolizador sólo se necesita hacer una vez por terreno ya que el mismo se puede transportar ensamblado por dos personas si se traslada distancias cortas dentro del predio donde se producirá el biocarbón.

El tiempo de encendido del pirolizador fue en promedio 5 min. Como se necesitan 2.54 quemas del pirolizador original para producir 1 m<sup>3</sup> de biocarbón, el tiempo de encendido sería de 12.7 min m<sup>3</sup> de biocarbón.

#### **6.4.4 Apagado descarga y empaque**

Al terminar el proceso de pirólisis, es necesario apagar el biocarbón, descargar el pirolizador y empaquetar el material. Estas actividades se tomaron en promedio 30 min por quema, lo que significa un costo de 0.15 jor m<sup>-3</sup> (Figura 45).



**Figura 45.-** Empacado del biocarbón para transporte en burro.

#### **6.4.5 Modelo de producción de biocarbón**

La pirólisis de las materias primas ocurrió a diferentes velocidades, lo que resultó en que serían diferentes las cantidades de tiempo de trabajo necesarias para obtener 1 m<sup>3</sup> de biocarbón con cada una de ellas.

La pirólisis maraña de guásimo (diámetro <2 cm) fue la más rápida, se produjo el biocarbón a una tasa de 0.76 jor m<sup>-3</sup> de biocarbón en el pirolizador modelo. La pirólisis en dos pirolizadores demostrativos produciría biocarbón a una tasa de 0.072 jor m<sup>-3</sup>. El promedio de temperatura de pirólisis fue de 681°C y fluctuó entre 582 y 763 °C.

La maraña de tihuixtle se pirolizó más rápido que la leña de guásimo pero más lento que la maraña de guásimo, esto probablemente debido a su mayor densidad. La pirolisis de maraña de tihuixtle produjo biocarbón a una tasa de 2.99 jor m<sup>-3</sup> en el pirolizador

modelo. En dos pirolizadores demostrativos la tasa de procesamiento sería de 0.19 jor m<sup>-3</sup> de biocarbón. El promedio de temperatura de pirólisis fue de 632°C y fluctuó entre 553 y 740 °C.

La leña de guásimo (diámetro de 2 a 5 cm), como se esperaba, tomó más tiempo en pirolizarse pues al ser de mayor diámetro se necesita un lapso más largo para que el calor llegue al centro de las ramas. El biocarbón se produjo a una tasa de 4.95 jor m<sup>-3</sup> de biocarbón en el pirolizador modelo. El procesamiento en dos pirolizadores demostrativos sería de 0.38 jor m<sup>-3</sup> de biocarbón. El promedio de temperatura de pirólisis fue de 617°C y fluctuó entre 500 y 705 °C.

La caña de maíz tuvo un procesamiento rápido, sólo siendo superada por la maraña de guásimo. Se produjo el biocarbón a una tasa de 1.47 jor m<sup>-3</sup> de biocarbón en el pirolizador modelo. El procesamiento en dos pirolizadores demostrativos sería de 0.1 jor m<sup>-3</sup> de biocarbón. El promedio de temperatura de pirólisis fue de 588°C y fluctuó entre 435 y 730 °C.

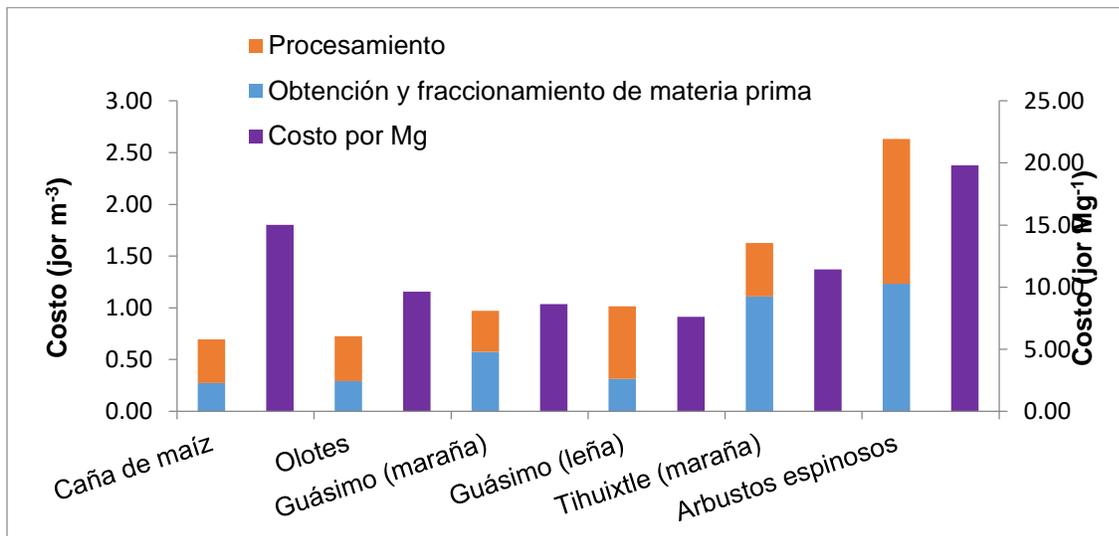
Los olotes ocuparon el tercer lugar en su tasa de procesamiento (1.43 jor m<sup>-3</sup>) en el pirolizador modelo. La tasa de procesamiento en dos pirolizadores demostrativos sería de 0.11 jor m<sup>-3</sup> de biocarbón. El promedio de temperatura de pirólisis fue de 525°C y fluctuó entre 403 y 650 °C.

Con los arbustos espinosos almacenados se produjeron 120 l de biocarbón en 31 min por dos personas (62 min por una persona). La experiencia de trabajo fue incómoda y conlleva un riesgo de corte por la naturaleza espinosa del material. La incorporación del material se hizo con la ayuda de varas para pasar la biomasa almacenada al pirolizador modelo en funcionamiento, el material se pirolizó tan rápido y se generaron llamas tan altas durante el proceso que el investigador consideraron que un operador podría manejar sólo un pirolizador demostrativo y que probablemente se necesitan dos operadores para manejar un pirolizador demostrativo.

La tasa de procesamiento con arbustos espinosos fue de 1.08 jor m<sup>-3</sup> de biocarbón. Debido a que las ramas no estaban muy fraccionadas, parte de la biomasa quedaba encima y fuera de la cortina de llamas. Parte de dicha biomasa se oxidaba hasta cenizas antes de caer dentro de la cortina de llama por la descomposición del material más abajo.

### 6.4.6 Análisis de costos de las experiencias de producción

Los costos de producir el biocarbón con cada una de las materias primas se resumen en la Figura 46. El material menos costoso fue la caña de maíz ( $0.69 \text{ jor m}^{-3}$ ) seguida de cerca por el olote ( $0.72 \text{ jor m}^{-3}$ ) y el material más caro fueron los arbustos espinosos que requieren de  $2.63 \text{ jor m}^{-3}$ . En general los costos de la obtención y preparación de las materias primas (promedio de  $0.63 \text{ jor m}^{-3}$  de biocarbón) fueron mayores que los costos de procesamiento (promedio de  $0.51 \text{ jor m}^{-3}$ ) con la excepción del guásimo y los arbustos espinosos.



**Figura 46.-** Costos de producción de biocarbón por  $\text{m}^3$  y por Mg. Guásimo (Gc), olotes (Ol), tihuixtle (Th), caña de maíz (CM) y arbustos espinosos (AE).

De acuerdo a la densidad de los biocarbones producidos (Cuadro 3) los costos por Mg resultan de entre 7.61 y 19.8 con promedio de  $12.02 \text{ jor Mg}^{-1}$ . Roberts *et al.* (2010) estimaron los costos de entre 11.84 y 13.52 promedio de  $12.48 \text{ jor Mg}^{-1}$  (convertido de dólares americanos) de producción de biocarbón en plantas bioenergéticas. Si bien los promedios son parecidos, los costos de los materiales más económicos de este estudio son mucho menores que los de su análisis.

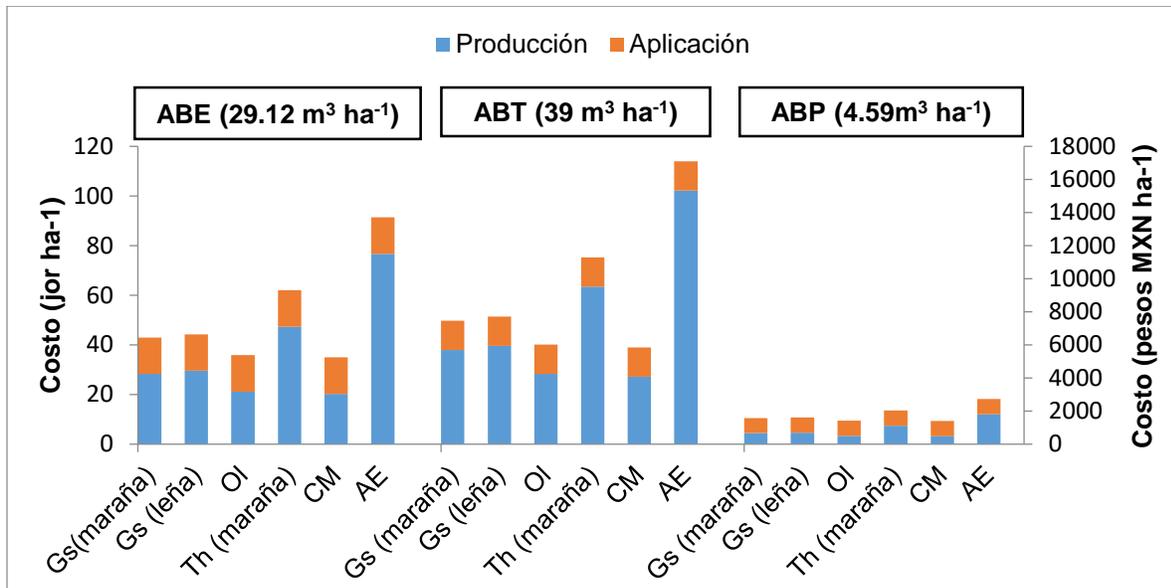
**Cuadro 3.-** Densidad del biocarbón de cada materia prima y peso de los diferentes volúmenes aplicados

Materias primas	Densidad	Peso de 29.12 m <sup>3</sup>	Peso de 39 m <sup>3</sup>	Peso de 4.59 m <sup>3</sup>
	Mg m <sup>-3</sup>	Mg	Mg	Mg
<b>Gc (maraña)</b>	0.11	3.28	4.39	0.52
<b>Gc (leña)</b>	0.13	3.88	5.20	0.61
<b>OI</b>	0.08	2.19	2.93	0.35
<b>Th (maraña)</b>	0.14	4.14	5.54	0.65
<b>CM</b>	0.05	1.35	1.80	0.21
<b>AE</b>	0.13	3.87	5.19	0.61
<b>Promedio</b>	0.11	3.12	4.18	0.49

#### 6.4.7 Análisis de costos de acuerdo a las experiencias de aplicación

La modalidad de aplicación más rápida fue la ABP (6.09 jor ha<sup>-1</sup>) ya que es la que requiere menos trabajo y en la cual se aplica menores cantidades de biocarbón (4.59 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). En segundo lugar se encuentra la ABT que requirió de un tiempo de trabajo de 11.8 jor ha<sup>-1</sup> para aplicar 39 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Finalmente, la ABE requirió de 14.7 jor ha<sup>-1</sup> para aplicar 29.12 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

Los costos de aplicación fueron en general menores que los de producción, la modalidad de aplicación más costosa (ABE) (14.7 jor ha<sup>-1</sup>) costó poco más de un tercio del costo promedio del costo de producir los 29.12 m<sup>3</sup> que se aplicarían por hectárea (37.6 jor) en la ABE. Los costos de producir y aplicar las cantidades de biocarbón correspondientes a cada modalidad de aplicación se presentan en los (Figura 47).



**Figura 47.-** Costos de producción más costos de aplicación de las diferentes materias primas. Guásimo (Gs), olotes (Ol), tihuixtle (Th), caña de maíz (CM) y arbustos espinosos (AE).

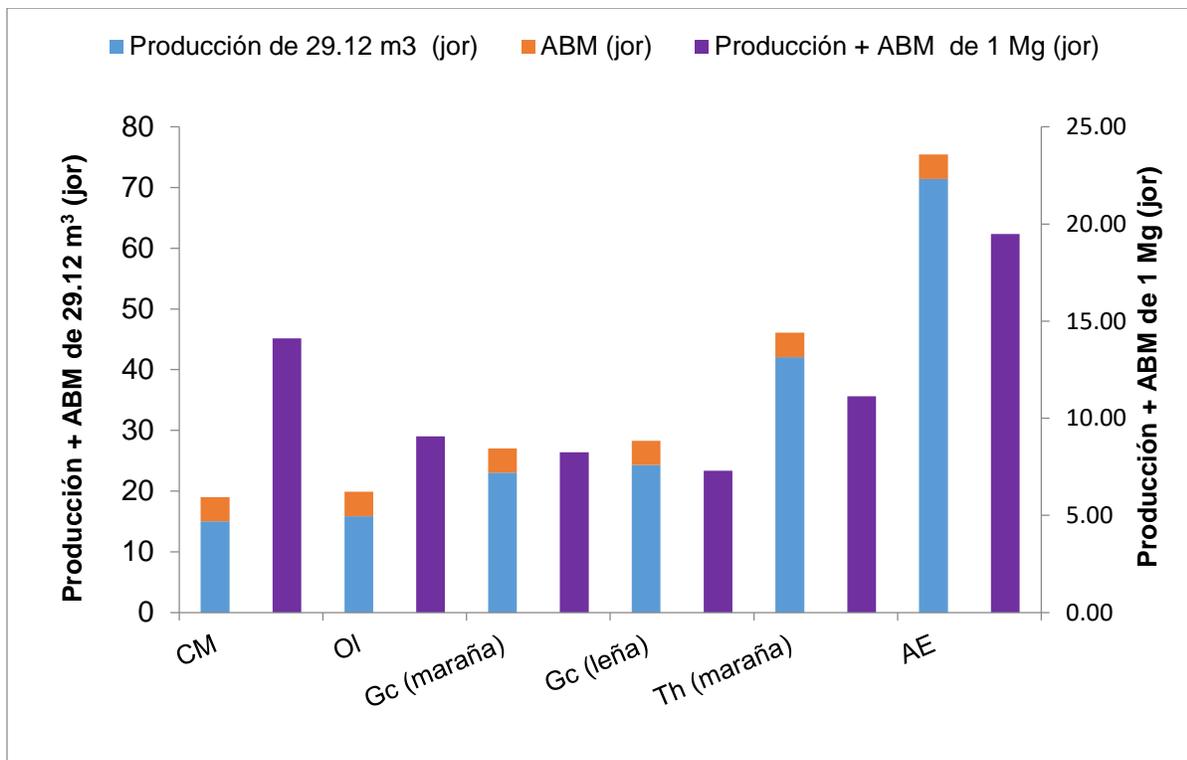
Debido a las diferentes densidades de los materiales, las aplicaciones por volumen resultaron en la aplicación de diferentes pesos por hectárea para cada material (Cuadro 3).

Las diferentes modalidades de aplicación son difíciles de comparar pues se aplicaron diferentes volúmenes para cada una en acuerdo con los participantes. La ABP forzosamente se hará con aplicaciones pequeñas pues sólo se puede aplicar lo que cabe en el agujero del punzón. La ABT es más barata que la ABE, pero no podremos saber que tanto más barata ya que la reducción en costo si hubiéramos aplicado en la ABT los 29 m<sup>3</sup> que se aplicaron en la ABE podría no ser lineal.

Roberts *et al.* (2010) estimaron costos de producción y aplicación a gran escala y encontraron costos de aplicación de 0.57 jor por aplicar 4.18 Mg que fue el promedio de aplicación en la ABT que en este estudio costó 11.8 jor, lo que resalta la importancia del acceso a la aplicación mecanizada.

#### 6.4.8 Análisis de costos bajo un escenario "optimista"

Bajo el escenario optimista, no se observa una reducción marcada en los promedios de los costos de producción, que fueron 31.95 por jor 29.12 m<sup>3</sup> de biocarbón para el escenario optimista y 37.19 en las experiencias de producción (reducción de 14.09%). Sin embargo, la reducción en el tiempo de apagado y embolsado si tuvieron un mayor impacto en las materias primas menos costosas como la caña de maíz, 15 jor 29.12 m<sup>-3</sup> en el escenario optimista y 20.24 en las experiencias de producción (reducción de 25.89%) (Figura 47 y 48). Los costos por Mg fueron de 11.55 jor en promedio, ligeramente menores que el promedio de Roberts *et al.* (2010) (12.69). Bajo este escenario el costo de producir y aplicar la materia prima más económica (leña de guásimo 7.29 jor Mg<sup>-1</sup>) es el 61% de la materia prima más económica en el estudio de. Roberts *et al.* (2010) (12.02 jor Mg<sup>-1</sup>) (Figura 48)



**Figura 48.-** Costos de producción + ABM de 29.12 m<sup>3</sup> (izq.) y de 1 Mg (der.).

Los costos de aplicación fueron los que tuvieron la mayor reducción bajo el escenario optimista, el promedio de producción más aplicación de la ABE fue 51.89 jor ha<sup>-1</sup>, el de la ABT 61.61 jor ha<sup>-1</sup> y el de la ABM 35.95 jor ha<sup>-1</sup> La reducción de costo fue de 30.72%

respecto a la ABE. El escenario optimista se diseñó con base en las áreas de oportunidad de mejora observadas durante las actividades de investigación. Sin embargo experiencias anteriores (García-Knight, 2016) indican que las tecnologías adoptadas sufren un refinamiento constante, por lo que mejoras inesperadas podrían ocurrir de adoptarse la tecnología del biocarbón.

## **6.5 Oportunidades de sinergia con el uso de biocarbón en los agroecosistemas observados**

Schmidt y Wilson (2014) describen 55 usos para el biocarbón y el concepto de uso en cascada del biocarbón. El concepto de uso en cascada del biocarbón se refiere a que después de terminar de usar el biocarbón para un uso, se puede coleccionar y utilizar de nuevo para otro uso. Las observaciones del agroecosistema realizada reveló algunos usos para el biocarbón que podrían ser apropiados en Angostillo.

Los animales de carga generalmente se amarran en corrales techados con comederos. Esto resulta en la acumulación de estiércol que puede pasar años sin limpiarse. De hecho, un participante mencionó que a veces vienen productores de café a recoger el estiércol de su corral. Aunque los participantes mencionaron que las enfermedades en pezuñas de los animales eran raras, aplicar biocarbón en los pisos de corrales podría contribuir a hacerlas aún menos frecuentes y crear un mejor ambiente para animales y humanos (Schmidt, 2012). El biocarbón podría retirarse con el estiércol e incorporarse en los terrenos como estercolado o utilizarlos como ingrediente para la elaboración de composta. Otro beneficio de esta actividad sería que el biocarbón se fragmentaría por el pisar de los animales y se eliminaría este trabajo.

Otro animal que se tiene en confinamiento son los puercos que se crían para fiestas. La cría de puercos en confinamiento resulta en malos olores que son una molestia para transeúntes y vecinos. Aplicar biocarbón en dichos encierros ayudaría a mitigar los malos olores, a cargar el biocarbón de nutrientes y a molerlo como en el caso de los burros.

El biocarbón también puede incorporarse en las dietas de animales. Esta práctica ha resultado en reducción de bacterias patógenas (Gerlach *et al.*, 2014), reducción de glifosato en la orina (Gerlach *et al.*, 2014) mejorar la ganancia de peso (Leng *et al.*, 2012),

reducción en la producción de metano (Leng *et al.*, 2012), aumento en la producción de leche y mitigación de diarreas en ganado vacuno (Geralch, 2012). Asimismo, la misma práctica ha resultado en la incorporación del biocarbón en el suelo por escarabajos estercoleros y mejoras en las características físico-químicas de los mismos (Joseph *et al.*, 2015). Existe evidencia no concluyente de que algunos herbicidas perjudica las poblaciones de algunos escarabajos estercoleros (Martínez *et al.*, 2000) que tienen importancia económica por ser descomponedores de estiércol y por introducir nutrientes en el suelo (Lopez-Collado *et al.*, 2017). El biocarbón en el estiércol podría ayudar a mitigar este problema ya que adsorbe glifosato en el sistema digestivo del ganado (Gerlach *et al.*, 2014).

La incorporación de biocarbón en la dieta de ganado vacuno eliminaría los costos de aplicación del mismo. Esto favorecería en gran medida la viabilidad económica del uso del biocarbón ya que en este estudio la aplicación resultó en un 28.3% (ABE), 19.15% (ABT), 80.1% (ABP) y 11.12% (ABM) del promedio del costo total de todas las actividades necesarias para mejorar un terreno con biocarbón. En el caso de la materia prima con menor costo de producción (caña de maíz) la ABE resultó en un 42.12%, la ABT 30.3% y la ABP resultó en un 93.1% del costo total de todas las actividades necesarias para mejorar un terreno con biocarbón. Cabe destacar que la ABP resulta en una aplicación de pequeñas cantidades de biocarbón por área, lo que implica menores costos de producción. La desventaja de aplicar el biocarbón a través del estiércol de ganado sería que la misma no será localizada en la zona de enraizamiento de los cultivos. Mejorar notoriamente un terreno de esta manera podría tomar más de un año, en la experiencia de Joseph *et al.* (2015) se estudió las mejoras en el suelo tres años después de iniciada esta práctica. Sin embargo, las mejoras en la salud y productividad del ganado si se pueden ver en el corto plazo (Gerlach *et al.*, 2014; Leng *et al.*, 2012) lo que por sí solo podría justificar esta actividad.

En cuanto a utilizar el biocarbón en la dieta de puercos, existe evidencia anecdótica de que los mismos encuentran el biocarbón palatable (Baker, 2017). Los puercos muelen el biocarbón al masticarlo lo que elimina este trabajo. La inclusión de biocarbón en su

dieta también reduce los olores del estiércol lo que lo convierte en un material más atractivo como fertilizante o como ingrediente para compostas (Baker, 2017).

## **6.6 Materias primas en el contexto de los agroecosistemas, su producción y aplicación**

### **6.6.1 Guásimo**

El guásimo fue claramente la materia prima más apropiada para la producción y uso de biocarbón del estudio desde el punto de vista de la percepción y análisis de los participantes bajo una amplia gama de criterios (Figura 28). Este árbol tuvo calificaciones altas bajo todos los criterios valorados de manera jerárquica. Fue considerado como el material más abundante en la suma de calificaciones y fue superado por sólo dos otros árboles en su calificación promedio siendo estos árboles considerados por sólo un participante cada uno. Además de su abundancia tiene otras ventajas como ser fácil de cortar, es de crecimiento rápido (4<sup>to</sup> lugar de 16), es el árbol que retoña más rápido y se seca también rápidamente (5<sup>to</sup> lugar de 16). Aunque es el árbol con más usos (siete) además de su uso como leña, los demás usos no se llevan a cabo frecuentemente u ocupan poco material. Aunque se usa como leña, no se lo considera como un buen material para cumplir dicha función por su baja densidad, 70% de los participantes que lo analizaron dicen que después de su uso queda sólo la maraña, pero un 20% dice que deja sin usar al menos la mitad del material y un 10% que no lo usa.

En cuanto a los costos de producción, el guásimo (tanto la maraña como la leña) sólo fue superado por las cañas de maíz y los olotes. Ambos últimos son materiales que aunque están presentes en todos los terrenos, no se pueden conseguir en grandes cantidades.

El biocarbón de guásimo tuvo una densidad y resistencia mecánico (probada al tacto) intermedias por lo que podría tener el mejor balance entre mejorar la conductividad hidráulica y resistir la recompactación.

Debido a su buena economía de producción y las ventajas reveladas durante el análisis participativo, el equipo investigador consideró al guásimo como la materia prima más apropiada para producir biocarbón en la localidad. Futuras investigaciones deberán

concentrarse en este material. Por supuesto que el conocimiento generado en esta investigación puede ser refinado a medida que la práctica de la producción de biocarbón crezca en la región (si es que esto ocurre).

### **6.6.2 Tihuixtle**

El tihuixtle fue el valorado como el segundo mejor material para producir biocarbón de acuerdo con el análisis participativo (Figura 28). Entre sus ventajas están que es un árbol que comúnmente se encuentra en los terrenos, probablemente debido a que es apreciado como leña e instantes y por lo tanto se le permite crecer a orillas de los terrenos (Figura 31). A pesar de tener los usos mencionados y que éstos son muy importantes para los participantes, mucha de la maraña no es utilizada. La dificultad de corte por su dureza fue apreciada durante la producción de biocarbón y fue mencionada en el análisis participativo en el que 40% lo consideraron difícil de cortar y 20% de dificultad regular. La presencia de espinas también dificultó la producción con este material y fue mencionada en el análisis participativo. Sin embargo, el tihuixtle tiene pocas espinas y éstas son pequeñas, la interferencia de las espinas del tihuixtle en el trabajo es mucho menor que la de los arbustos espinosos. Su velocidad de secado es al parecer lenta pues ocupó el 11<sup>vo</sup> lugar de 16 árboles analizados. El crecimiento parece ser intermedio ocupando el 7<sup>mo</sup> de 16. Se lo considera resistente al corte y de retoño relativamente rápido 5<sup>to</sup> lugar de 16.

Los valores obtenidos para el tihuixtle no siempre fueron altos. Se atribuye el que sea considerado como el segundo material más apropiado para la producción de biocarbón su abundancia y que de todos modos es cortado para los usos que se le da.

De acuerdo con el análisis de costos, el tihuixtle es el segundo material más costoso de pirolizar. Esto se debe tanto al tiempo necesario para preparar el material, como a que su proceso de pirólisis es más lento. Su costo de producción es de 1.67 veces el de la maraña de guásimo y de 2.34 veces el de la caña de maíz. Tales costos podrían hacer prohibitivo el uso de tihuixtle como principal ingrediente en la producción de biocarbón, aunque esto dependerá del incremento en la producción agrícola producto de su incorporación.

Una posible ventaja del tihuixtle es que produjo el carbón con mayor dureza mecánica (probada al tacto) y mayor densidad, por lo que podría ser el material con mayor oportunidad de resistir la recompactación.

Con la información que se cuenta hasta ahora, el equipo investigador considera que el tihuixtle podría ser un material complementario al guásimo en la producción de biocarbón.

### **6.6.3 Olotes**

Los olotes resultaron en tercer lugar durante la selección de materias primas. Aunque en general no obtuvieron calificaciones altas, su presencia en todos los terrenos (al menos parte del año) resultó en que quedaran en esta posición.

Con respecto a su abundancia como material en la suma de calificaciones el olote también quedó en tercer lugar. Sin embargo su promedio de calificación en abundancia es bajo, esto se debe a que aunque ningún participante lo consideró muy abundante, está presente en todos los terrenos. La distancia a los terrenos de siembra es obviamente nula, sólo una pequeña parte del material se utiliza como combustible (aunque un participante dice usar todo) y no requiere de fraccionamiento. Respecto a los perjuicios que causa, muchos participantes consideran que la “cría de comején” en olotes y caña de maíz es un perjuicio de estos materiales para los cultivos, 17% de los participantes incluso los queman en el terreno por esta razón. Sin embargo, la presencia de termitas (“comején”) puede resultar benéfica para la producción agrícola en climas cálidos con problemas de agua y suelos de alta densidad (Evans *et al.*, 2011; Mando and Rheenen, 1998), futuras investigaciones podrían verificar si tal es o no el caso en la zona de Angostillo.

De acuerdo al análisis de costos, el olote es el 2do material con menor costo después de la caña de maíz. Aunque su costo de recolección es bajo y no tiene costo de fraccionamiento, su tasa de pirólisis no es tan rápida como la de la caña de maíz.

La baja densidad del olote y su aparente resistencia mecánica (probada al tacto) significa que podría ser un material que favorezca la conductividad hidráulica y al mismo tiempo sea resistente a la compactación.

Debido a su baja abundancia como material en cada terreno y a que su pirólisis es difícil de realizar por sí solo, debiéndoselo mezclar con otros materiales; el olote probablemente será un material complementario durante la producción de biocarbón. Sin embargo, su bajo costo de producción hace del olote un material atractivo para producir biocarbón aunque sea como complemento a otros materiales.

#### **6.6.4 Caña de maíz**

La caña de maíz fue el material seleccionado en el análisis participativo como el 4<sup>to</sup> más conveniente para producir biocarbón. Al igual que el olote, la caña de maíz no obtuvo calificaciones altas en el análisis, pero al ser considerada por muchos participantes, la suma de sus calificaciones le permitió quedar en este lugar.

En cuanto a la abundancia (6<sup>to</sup> lugar en la suma de calificaciones), la mayor parte de los participantes (80%) considera que queda poco material después de usarla como forraje y un 20% considera que queda una cuarta parte que queda casi toda. Estas diferencias se deben probablemente a la cantidad de animales que se permite pastar en los terrenos de siembra y el área de los mismos. Las ventajas del material desde el punto de vista de producción son que se encuentra ya seco en los terrenos, no requiere de corte y ya se encuentra en los terrenos de siembra. Como en el caso del olote, la “cría de comején” en las cañas del terreno se percibe como un perjuicio que causa dicho material, aunque esto pudiera ser incorrecto pues hay casos en los que el comején tiene un impacto positivo en la agricultura (Evans *et al.*, 2011); Mando and Rheenen, 1998). En el caso de que el comején fuera en verdad perjudicial, la producción de biocarbón con caña de maíz podría ayudar a mitigar este problema eliminando o reduciendo su fuente de alimento. Por otro lado, retirar caña de maíz de los terrenos, resultaría en reducir la cobertura de los mismos y posiblemente agravar los problemas de erosión. La remoción de la caña de maíz resultó en un deterioro de las características físicas en el estudio de (Cássio *et al.*, 2017).

El biocarbón de caña de maíz más quebradizo por lo que será el material que menos resistirá la recompactación.

El análisis de costos indica que la caña de maíz es el material más barato para producir biocarbón. Esto se debe a la facilidad para recolectarla y a que se piroliza rápidamente. Estas ventajas de hacen de la misma un material atractivo, sin embargo, los potenciales beneficios ambientales y productivos de dejar las cañas en el terreno (prevención de erosión y posible beneficio agrícola de las termitas) crean dudas en cuanto a que tan apropiado sería su uso para la región.

### **6.6.5 Arbustos espinosos**

Como se mencionó anteriormente, la materia prima propuesta originalmente fue la zarza, sin embargo, en campo este arbusto se encontró apilado con otros arbustos o árboles jóvenes después de un desmonte. En partes del terreno que seguían enmontadas, la zarza crece también mezclada con otros arbustos, siendo difícil e impráctico separarlos. Por estas razones se analizó a este conjunto de especies como un solo material.

La zarza ocupó el 5<sup>to</sup> lugar en la selección de materias primas. Aunque fue sólo considerada por dos participantes, ambos le dieron muy altas calificaciones, principalmente por los perjuicios que causa (enmonta y causa lesiones en las ubres del ganado). Otra ventaja que se mencionaron fueron que se seca rápido, aunque este es un criterio considerado como poco importante.

Producir biocarbón con los arbustos espinosos en campo resultó incómodo y peligroso por la cantidad de espinas del material.

El análisis de costos determinó que este material es por mucho el más costoso de usar para la producción de biocarbón teniendo 2.71 veces el costo de la maraña de guásimo y 3.79 veces el costo de la caña de maíz. El alto costo se debe a la dificultad para coleccionar el material y a que su pirólisis generó pequeñas cantidades de biocarbón. Esto último probablemente se debe a que la mayor parte del material consiste en ramas muy delgadas que en muchos casos se oxidan por completo antes de ser cubiertas por nuevas capas de biomasa. La economía de manejar este material podría mejorar si se dispusiera de maquinaria móvil para la colecta, fraccionamiento y almacenamiento de estos materiales, sin embargo la situación económica de los participantes probablemente impediría que renten dichos equipos.

Por su dificultad de manejo y su costo, el equipo investigador no considera que se deba recomendar la producción de biocarbón con este tipo de material.

### **6.7 Viabilidad económica de la producción y uso de biocarbón**

Este estudio nos reveló los costos de producir biocarbón con los cinco materiales que fueron seleccionados a través de un análisis participativo en el que se consideraron una gran variedad de criterios de cada material. Los costos se calcularon en tres escenarios de aplicación ejecutados experimentalmente en campo (ABE, ABT y ABP) y uno hipotético en el que se refinaban las prácticas de producción y se utilizaba una aplicación mecanizada. Si no se cuentan a los arbustos espinosos, los cuales demostraron tener una serie de desventajas que hacen poco recomendable su uso, los costos totales por hectárea fluctuaron entre 35 y 62 jornales para la ABE, 39 y 114 jornales para la ABT, 6.54 y 6.96 jornales para la ABP.

Si estos costos resultan en una actividad rentable o no, dependerá del aumento en la producción que resulte de la aplicación de biocarbón a lo largo de un horizonte de al menos cinco años. Aunque los costos por hectárea superan en un caso los 9000 pesos mexicanos si se traducen los jornales a moneda, hay que considerar que los participantes no pueden acceder con frecuencia a pagos de jornales de 150 pesos mexicanos utilizados en el cálculo de esta cifra ya que la mayoría fueron personas de la tercera edad. Otro aspecto importante es que el único desembolso que se necesita hacer es de 160 pesos mexicanos que es el costo de los materiales de dos pirolizadores y en el caso del pirolizador de zanja no se necesita hacer ningún desembolso. También vale la pena recordar que debido a la larga duración del biocarbón, no es obligatorio incorporarlo a toda una hectárea el mismo año, cada participante puede producir e incorporar las cantidades que pueda cada año. Se debe considerar es que los horizontes de rentabilidad comúnmente usados en los análisis económicos (de cinco años) no necesariamente representan los valores culturales o los intereses de los participantes, el biocarbón puede permanecer cientos de años en sus terrenos y la investigación hasta la fecha ha demostrado que el biocarbón puede mejorar en sus características con el paso del tiempo (Cheng *et al.*, 2006, 2008; Hagemann *et al.*, 2017; Paetsch *et al.*, 2018) , especialmente

en ambientes cálidos como Angostillo (Cheng *et al.*, 2008, 2006). Estos son beneficios que se podrían acumular por generaciones.

Los meta-análisis revisados en este trabajo mencionan promedios mundiales de mejora de cosechas tras la aplicación a nivel mundial de 10% y 15% (Baidoo *et al.*, 2016; Jing *et al.*, 2017). Para los trópicos, Jeffery *et al.* (2017) encontraron un promedio de mejora de 25%. Dichas mejoras no dejarían de ser importantes considerando que probablemente se lograrían año con año indefinidamente o incluso podrían mejorar ya que algunas características del biocarbón mejoran con el tiempo (Cheng *et al.*, 2008, 2006). Sin embargo, en estos metaanálisis no se reporta que se utilizara la pirólisis por cortina de llama, técnica que ha producido biocarbón cuya aplicación produce mejoras en las cosechas de hasta 300% en suelos considerados como fértiles (Schmidt *et al.*, 2015) y que tampoco se reportan estudios que utilizaran aplicación localizada del biocarbón como hicieron Schmidt *et al.* (2015) o Pandit *et al.* (2017) y también en este trabajo; es razonable esperar que se pudieran lograr mayores mejoras en los terrenos de los participantes siguiendo las prácticas utilizadas en este estudio. A pesar de esto, antes de aplicar el biocarbón en los terrenos completos, deberán hacerse pruebas piloto en cada terreno con diferentes biocarbones, diferentes modalidades de aplicación y diferentes cantidades de aplicación.

## **7. CONCLUSIONES**

Con base en la información generada consideramos al guásimo como la materia prima más apropiada para la producción de biocarbón, mientras que los desechos agrícolas (olotes y caña de maíz) podrían ser apropiadas para esta actividad a pesar de la pequeña cantidad que se podría usar y dudas que quedan sobre el impacto ambiental de usar dichos materiales (efecto de los comejenes y su papel como cubierta del suelo). El tihuiltle podría ser un material complementario, pero su costo económico podría hacerlo inviable.

El conocimiento local resultó ser una excelente fuente de información para seleccionar las materias primas para la elaboración de biocarbón. El proceso de análisis participativo

deberá replicarse en cada región donde la vegetación sea significativamente diferente antes de elegir las materias primas para futuras investigaciones.

## 8. LITERATURA CITADA

- Abdulrazzaq, H., H. Jol, A. Husni y R. Abu-bakr. 2014. Characterization and Stabilisation of Biochars Obtained from Empty Fruit Bunch, Wood, and Rice Husk. *Bioresources* 9: 2888–2898.
- Abel, S., A. Peters, S. Trinks, H. Schonsky, M. Facklam y G. Wessolek. 2013. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma* 202–203: 183–191.
- Akubue, A. 2000. Appropriate technology for socioeconomic development in third world countries. *J. Technol. Stud.* 26: 51–62.
- Allen, M. . 1982. Influence of vesicular- arbuscular mycorrhiza on water movement through *Boutenia gracilis* (HBK) Long ex Steud. *New Phytol* 91: 191–196.
- Allen, M. F. 1996. The ecology of arbuscular mycorrhizas: a look back into the 20th century and a peak into the 21st. *Mycol. Res.* 100: 782–796.
- Allen, M. F. 2007. Mycorrhizal fungi: highways for water and nutrients in arid soils. *Vadose Zo. J.* 6: 291–297.
- ASTM International. 2007. ASTM D1762-84 Standard test method for chemical analysis of wood charcoal. West Conshohocken.
- Ávila-Cruz, X. 2009. Clasificación técnica de los suelos del ejido de Angostillo, Paso de Ovejas, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Ursulo Galván. 63 p.p.
- Aygün, A., S. Yenisoy-Karakaş y I. Duman. 2003. Production of granular activated carbon from fruit stones and nutshells and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties. *Microporous Mesoporous Mater.* 2-3:189–195.
- Baidoo, I., D. Sarpong, S. Bolwig y D. Ninson. 2016. “Biochar amended soils and crop productivity: A critical and meta-analysis of literature”,. *Int. J. Dev. Sustain.* 5: 414–432.
- Bain, R. 1937. Technology and state government. *Am. Sociol. Rev.* 2: 860–874.
- Baker. 2017. Forage field at one month.  
<https://www.youtube.com/watch?v=lf2iW3WRBY> (visitado 2.5.2018).
- Barnes, R. T., M. E. Gallagher, C. A. Masiello, Z. Liu y B. Dugan. 2014. Biochar-induced changes in soil hydraulic conductivity and dissolved nutrient fluxes constrained by laboratory experiments. *PLoS One* 9: 1-9.

- Brewer, C. E. 2012. Biochar characterization and engineering. Tesis de doctorado. Iowa State University. 197 p.p.
- Brewer, C. E. y J. Levine. 2015. Weight or volume for handling biochar and biomass? Biochar J. [www.biochar-journal.org/en/ct/71](http://www.biochar-journal.org/en/ct/71). (visitado: 30.07.2018)
- Brown, R. A., A. K. Kercher, T. H. Nguyen, D. C. Nagle y W. P. Ball. 2006. Production and characterization of synthetic wood chars for use as surrogates for natural sorbents 37: 321–333.
- Budai, A., L. Wang, M. Gronli, L. T. Strand, M. J. Antal, S. Abiven, A. Dieguez-Alonso, A. Anca-couce y D. P. Rasse. 2014. Surface properties and chemical composition of corncob and miscanthus biochars: Effects of production temperature and method. J. Agric. Food Chem 62(17): 3791–3799.
- Cáceres, D. M. C. y P. J. Woodhouse. 1998. Technological change among peasants in Central Argentina. Dev. Pract. 8: 21–29.
- Candelaria, B. 2011. Diseño participativo para mejorar la sustentabilidad de los agrosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1 en el Estado de Veracruz, México. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados. 124 p.p.
- Carter, S., S. Shackley, S. Sohi, T. Suy y S. Haefele. 2013. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). Agronomy 3: 404–418.
- Carvalho, M. T., A. Maia, B. E. Madari, L. Bastiaans, P. a. J. Oort, a. B. Heinemann, M. a. Silva, F. a. Petter y H. Meinke. 2014. Biochar increases plant available water in a sandy soil under an aerobic rice cropping system. Solid Earth Discuss: 939–952.
- Cássio, T., K. Douglas, S. Logsdon y M. Cherubinc. 2017. Corn stover harvest and tillage impacts on near-surface soil physical quality. Soil Tillage Res: 122–130.
- Castillo, B. 2009. Uso actual y potencial del suelo en el Ejido Angstillo, Paso de Ovejas, Veracruz. Tesis de licenciatura. Universidad Tecnológica de Úrsulo Galván. 47 p.p.
- Castracani, C., A. Maienza, D. A. Grasso, L. Genesio, A. Malcevschi, F. Miglietta, F. P. Vaccari y A. Mori. 2015. Biochar-macrofauna interplay: searching for new bioindicators. Sci. Total Environ. 536: 449–456.
- Chambers, R. 1994. The origins and practice of participatory rural appraisal. World Dev. 22: 953–969.
- Cheng, C. H., J. Lehmann y M. H. Engelhard. 2008. Natural oxidation of black carbon in soils: Changes in molecular form and surface charge along a climosequence. Geochim. Cosmochim. Acta 72: 1598–1610.
- Cheng, C. H., J. Lehmann, J. E. Thies, S. D. Burton y M. H. Engelhard. 2006. Oxidation

- of black carbon by biotic and abiotic processes. *Org. Geochem.* 37: 1477–1488.
- CONAGUA. sf. Información climatológica por estado.  
<http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=ver>  
(visitado 7.3.2018).
- Cornelissen, G., N. R. Pandit, P. Taylor, B. H. Pandit, M. Sparrevik and H. P. Schmidt. 2016. Emissions and char quality of flame-curtain “Kon Tiki” kilns for farmer-scale charcoal/biochar production. *PLoS One* 11: 1–16.
- Cristiellem, I., J. Jussara, N. Basílio, L. A. Fernandes, F. Colen y R. Arruda. 2017. Biochar from different residues on soil properties and common bean production. *Sci. Agric.* 74: 378–382.
- Cui, H. J., M. K. Wang, M. L. Fu y E. Ci. 2011. Enhancing phosphorus availability in phosphorus-fertilized zones by reducing phosphate adsorbed on ferrihydrite using rice straw-derived biochar. *J. Soils Sediments* 11: 1135–1141.
- Danje, S. 2011. Fast pyrolysis of corn residues for energy production. Tesis de doctorado. Stellenbosch University. 204 p.p.
- Domingues, R. R., P. F. Trugilho, C. A. Silva, I. C. N. A. De Melo, L. C. A. Melo, Z. M. Magriotis y M. A. Sánchez-Monedero. 2017. Properties of biochar derived from wood and high-nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits. *PLoS One* 12: 1–19.
- Domínguez, M. 2012. Conocimiento local y crecimiento inicial del ojite (*Brosimum alicastrum* Swartz) bajo distintas condiciones de manejo en la zona de Lomeríos del Municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. 83 p.p.
- Downie, A. 2014. Biochar production and use: environmental risks and rewards. Tesis de doctorado. University of New South Wales. 134 p.p.
- Enders, A., K. Hanley, T. Whitman, S. Joseph y J. Lehmann. 2012. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. *Bioresour. Technol.* 114: 644–653.
- Evans, T. A., T. Z. Dawes, P. R. Ward and N. Lo. 2011. Ants and termites increase crop yield in a dry climate. *Nat. Commun.* 2: 262–267.
- Expósito, M. 2003. Diagnóstico rural participativo. Una guía práctica. Centro Cultural Poveda, Santo Domingo. 118 p.p.
- Farrington, J. and A. M. Martin. 1988. Farmer participatory research: a review of concepts and recent fieldwork. *Agric. Adm. Ext.* 29: 247–264.
- Fraser, B. 2010. High-tech charcoal fights climate change. *An. Environ. Sci. Technol.*

44(2): 548–549.

- García-Knight, N. T. 2016. Contrastes en la difusión, adopción e innovación tecnológica para el manejo de recursos dendroenergéticos mediante estufas mejoradas en una comunidad rural de Veracruz, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. 109 p.p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de köpen. Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana, 5ta Edición. Instituto de Geografía UNAM.
- Gaunt, J. L. y J. Lehmann. 2008. Energy balance and emissions associated with biochar sequestration and pyrolysis bioenergy production. *Environ. Sci. Technol.* 42: 4152–4158.
- Geralch, A. 2012. The use of biochar in cattle farming. *Biochar J.* [www.biochar-journal.org/en/ct/9](http://www.biochar-journal.org/en/ct/9). (visitado 13.3.2018).
- Gerlach, H., A. Gerlach, W. Schrödl, B. Schottdorf, S. Haufe, H. Helm, A. Shehata y M. Krüger. 2014. Oral application of charcoal and humic acids to dairy cows influences clostridium botulinum blood serum antibody level and glyphosate excretion in urine. *Clin. Toxicol.* 4: 1–8.
- Głąb, T., J. Palmowska, T. Zaleski y K. Gondek. 2016. Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. *Geoderma* 281: 11–20.
- Glaser, B., J. Lehmann y W. Zech. 2002. Ameliorating physical and chemical properties And, of highly weathered soils in the tropics with charcoal — a review. *Biol. Fertil. Soils* 35: 219–230.
- Gray, M., M. G. Johnson, M. I. Dragila y M. Kleber. 2014. Water uptake in biochars: The roles of porosity and hydrophobicity. *Biomass and Bioenergy* 61: 196–205.
- Güereña, D., J. Lehmann, K. Hanley, A. Enders, C. Hyland y S. Riha. 2013. Nitrogen dynamics following field application of biochar in a temperate North American maize-based production system. *Plant Soil* 365: 239–254.
- Hagemann, N., S. Joseph, H. P. Schmidt, C. I. Kammann, J. Harter, T. Borch, R. B. Young, K. Varga, S. Taherymoosavi, K. W. Elliott, A. McKenna, M. Albu, C. Mayrhofer, M. Obst, P. Conte, A. Dieguez-Alonso, S. Orsetti, E. Subdiaga, S. Behrens y A. Kappler. 2017. Organic coating on biochar explains its nutrient retention and stimulation of soil fertility. *Nat. Commun.* 8: 1–11.
- Hallin, I. L., P. Douglas, S. H. Doerr y R. Bryant. 2015. The effect of addition of a wettable biochar on soil water repellency. *Eur. J. Soil Sci.* 66: 1063–1073.
- Hardie, M., B. Clothier, S. Bound, G. Oliver y D. Close. 2014. Does biochar influence

- soil physical properties and soil water availability? *Plant Soil* 376: 347–361.
- Harth, R. E. 1987. *Conceptos básicos sobre agroecosistemas*. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza. Turrialba. 159 p.p.
- Hazeltine, B. and C. Bull. 1999. *Appropriate technology: Tools, choices and implications*. Academic Press. San Diego. 325 p.p.
- Herath, H. M. S. K., M. Camps-arbestain y M. Hedley. 2013. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils : An alfisol and an andisol. *Geoderma* 209–210: 188–197.
- Herbert, L., I. Hosek, R. Kripalani y L. Vanasupa. 2012. The characterization and comparison of biochar produced from a decentralized reactor using forced air and natural draft pyrolysis. California Polytechnic State University, San Luis Obispo. 35 p.p.
- Herrmann, S., R. Oelmüller y F. Buscot. 2004. Manipulation of the onset of ectomycorrhiza formation by indole-3-acetic acid, activated charcoal or relative humidity in the association between oak microcuttings and *Piloderma croceum*: influence on plant development and photosynthesis. *J. Plant Physiol.* 161: 509–517.
- Hoffland, E., R. Giesler, A. G. Jongmans y N. Van Breemen. 2003. Feldspar Tunneling by Fungi along Natural Productivity Gradients. *Ecosystems* 6: 739–746.
- Houlbrooke, D. J., E. R. Thom, R. Chapman y C. D. A. McLay. 1997. A study of the effects of soil bulk density on root and shoot growth of different ryegrass lines. *New Zeal. J. Agric. Res.* 40: 429–435.
- Hseu, Z., S. Jien, W. Chien and R. Liou. 2014. Impacts of biochar on physical properties and erosion potential of a mudstone slopeland. *Soil. Sci. world J.* 2014 10pp.
- Husk, B. y J. Major. 2010. Commercial scale agricultural biochar field trial in Québec, Canada over two years: effects of biochar on soil fertility, biology and crop productivity and quality. *Dynamotive Energy Systems*. 38 pp.
- Ishii T. y Kadoya, K. 1994. Effects of charcoal as a soil conditioner on citrus growth and VA mycorrhizal development. *J. Japanese Soc. Hortic. Sci.* 63: 529–535.
- IUPAC. 1997. *Compendium of chemical terminology*, 2da ed. Blackwell Scientific Publications.
- Jeffery, S., D. Abalos, M. Prodana, A. C. Bastos, J. W. Van Groenigen, B. A. Hungate y F. Verheijen. 2017. Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. *Environ. Res. Lett.* 12.
- Jia, Q. y A. C. Lua. 2008. Effects of pyrolysis conditions on the physical characteristics of oil-palm-shell activated carbons used in aqueous phase phenol adsorption. *J.*

- Anal. Appl. Pyrolysis 83: 175–179.
- Jien, S. H. y C. S. Wang. 2013. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *Catena* 110: 225–233.
- Jing, X., X. U. Hu, C. A. I. Andong, H. Min, Z. Qi y S. U. N. Nan. 2017. A Meta-Analysis of Effects of Biochar Properties and Management Practices on Crop Yield. *Sci. Agric. Sin.* 50: 1827–1837.
- Joseph, S. D., A. Downie, P. Munroe, A. Crosky y J. Lehmann. 2007. Biochar for carbon sequestration , reduction of greenhouse gas emissions and enhancement of soil fertility ; a review of the materials science. University of Sydney. Proceedings of the Australian Combustion Symposium. 130–133.
- Joseph, S., D. Pow, K. Dawson, D. R. G. Mitchell, A. Rawal, J. Hook, S. Taherymoosavi, L. V. A. N. Zwieten, J. Rust, S. Donne, P. Munroe, B. Pace, E. Graber, T. Thomas, S. Nielsen, J. Ye y Y. Lin. 2015. Feeding biochar to cows : an innovative solution for improving soil fertility and farm productivity. *Pedosphere* 25: 666–679.
- Kabir, Z. 2005. Tillage or no-tillage: Impact on mycorrhizae. *Can. J. Plant Sci.* 85: 23–29.
- Keiluweit, M., P. S. Nico, M. Johnson y M. Kleber. 2010. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). *Environ. Sci. Technol.* 44: 1247–1253.
- Kercher, A. K. y D. C. Nagle. 2002. Evaluation of carbonized medium-density fiberboard for electrical applications. *Carbon* N. Y. 1321–1330.
- Kloss, S., F. Zehetner, A. Dellantonio, R. Hamid, F. Ottner, V. Liedtke, M. Schwanninger, M. H. Gerzabek y G. Soja. 2012. Characterization of slow pyrolysis biochars: effects of feedstocks and pyrolysis temperature on biochar properties. *J. Environ. Qual.* 41: 990–1000.
- Laird, D. A., P. Fleming, D. D. Davis, R. Horton, B. Wang y D. L. Karlen. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical midwestern agricultural soil. *Geoderma* 158: 443–449.
- Laird, D., P. Fleming, B. Wang, R. Horton y K. Douglas. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma* 158: 436–442.
- Lee, J. W., A. C. Buchanan, B. R. Evans y M. Kidder. 2013. Oxygenation of biochar for enhanced cation exchange capacity, *In: Lee, J.W. (ed.), Advanced biofuels and bioproducts.* Springer New York, NY, pp. 35–45.
- Lehmann, J. y S. Joseph. 2009. Biochar for environmental management : an introduction, *In: Biochar for environmental management.* pp. 1–12.

- Leng, R. A., T. R. Preston y S. Inthapanya. 2012. Biochar reduces enteric methane and improves growth and feed conversion in local “Yellow” cattle fed cassava root chips and fresh cassava foliage. *Livest. Res. Rural Dev.* 24: 1–8.
- Lewin, K. 1946. Action research and minority problems.pdf. *J Soc* 4: 34–46.
- Liang, B., J. Lehmann, D. Solomon, J. Kinyangi, J. Grossman, B. O’Neill, J. O. Skjemstad, J. Thies, F. J. Luizão, J. Petersen and E. G. Neves. 2006b. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 1719-1730.
- Liu, Z., B. Dugan, C. A. Masiello y H. M. Gonnermann. 2017. Biochar particle size, shape, and porosity act together to influence soil water properties. *PLoS One* 12: 1–19.
- Lopez-Collado, J., M. Cruz-Rosales, J. Vilaboa-Arroniz, I. Martínez-Morales y H. Gonzalez-Hernandez. 2017. Contribution of dung beetles to cattle productivity in the tropics: a stochastic-dynamic modeling approach. *Agric. Syst.* 155: 78–87.
- Major, J., M. Rondon, D. Molina, S. J. Riha y J. Lehmann. 2012. Nutrient leaching in a colombian savanna oxisol amended with biochar. *J. Environ. Qual.* 41: 1076- 1086.
- Mando, a y T. V. a N. Rheenen. 1998. Termites and agricultural production in the Sahel : from enemy to friend?. *Netherlands J. Agric. Sustain.* 605: 1–7.
- Martínez, I., M. Cruz y J. Lumaret. 2000. Efecto del diferente manejo de los pastizales y del ganado sobre los escarabajos coprofagos *Ataenius apicalis* Hinton y *Ataenius sculptor* Harold (scarabaeidae: aphodiinae: eupariini). *Acta Zool. Mex.* 80: 185–196.
- Marx, K. 1867. *Capital: A Critique of Political Economy (Vol. I)* I. Progress Publishers. 541p.p.
- Masiello, C. A. 2004. New directions in black carbon organic geochemistry. *Mar. Chem.* 92: 201–213.
- Brewer, C. E., K. Schmidt-rohr, Satrio, A. Justinus, Brown y C. Robert . 2014. Characterization of biochar from fast pyrolysis and gasification systems. *Environ. Sci. Technol.* 33: 482–489.
- Mukherjee, A., A. R. Zimmerman y W. Harris. 2011. Surface chemistry variations among a series of laboratory-produced biochars. *Geoderma* 163: 247–255.
- Nadian, H., S. E. Smith, A. M. Alston y R. S. Murray. 1996. The effect of soil compaction on growth and P uptake by *Trifolium subterraneum*: interactions with mycorrhizal colonisation. *Plant Soil* 182: 39–49.
- National Center for Appropriate Technology. 2011. 2011 Anual Report. [https://www.ncat.org/wp-content/uploads/pdf/NCAT\\_AR11.pdf](https://www.ncat.org/wp-content/uploads/pdf/NCAT_AR11.pdf). (visitado 13.2.2018).

- Nguyen, B. T. y J. Lehmann. 2009a. Black carbon decomposition under varying water regimes. *Org. Geochem.* 40: 846–853.
- Nguyen, B. T. y J. Lehmann. 2009b. Black carbon decomposition under varying water regimes 40: 846–853.
- Novak, J., I. Lima y B. Xing. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Ann Env Sci* 3: 195–206.
- Novotny, E. H., R. Auccaise, M. H. R. Velloso, J. C. Corrêa, M. M. Higarashi, V. M. N. Abreu, J. D. Rocha y W. Kwapinski. 2012. Characterization of phosphate structures in biochar from swine bones. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 47: 672–676.
- Ojeda, G., S. Mattana, A. Àvila, J. M. Alcañiz, M. Volkman y J. Bachmann. 2015. Are soil–water functions affected by biochar application? *Geoderma* 249–250: 1–11.
- Olguín-Palacios, C., I. Domínguez-Lagunes y M. Domínguez-Lagunes. 2015. Captación de escurrimiento pluvial para uso agropecuario y acuícola en áreas de temporal: Un caso de éxito. *Agrproductividad* 8(4): 37–41.
- Ortega-Vargas, E., S. López-Ortiz, J. A. Burgueño-Ferreira, W. B. Campbell y J. Jarillo-Rodríguez. 2013. Date of pruning of *Guazuma ulmifolia* during the rainy season affects the availability, productivity and nutritional quality of forage during the dry season. *Agrofor. Syst.* 87: 917–927.
- Ouyang, L., F. Wang, J. Tang, L. Yu y R. Zhang. 2013. Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties. *J. soil Sci. Plant Nutr.* 13: 991–1002.
- Paetsch, L., C. W. Mueller, I. Kögel-knabner, M. Von L, C. Girardin y C. Rumpel. 2018. Effect of in-situ aged and fresh biochar on soil hydraulic conditions and microbial C use under drought conditions. *Sci. Rep.* 8: 1–11.
- Pandit, N. R., J. Mulder, S. E. Hale, H. P. Schmidt, G. Cornelissen y A. Cowie. 2017. Biochar from “Kon Tiki”; flame curtain and other kilns: effects of nutrient enrichment and kiln type on crop yield and soil chemistry. *PLoS One* 12: e0176378
- Peng, X., L. L. Ye, C. H. Wang, H. Zhou y B. Sun. 2011. Temperature- and duration-dependent rice straw-derived biochar: characteristics and its effects on soil properties of an ultisol in southern China. *Soil Tillage Res.* 112: 159–166.
- Prost, K., N. Borchard, J. Siemens, T. Kautz, J.-M. Séquaris, A. Möller y W. Amelung. 2012. Biochar affected by composting with farmyard manure. *J. Environ. Qual.* 42: 164–72.
- Rafiq, M. K., R. T. Bachmann, M. T. Rafiq, Z. Shang, S. Joseph y R. L. Long. 2016. Influence of pyrolysis temperature on physico-chemical properties of corn stover (*zea mays* l.) biochar and feasibility for carbon capture and energy balance. *PLoS One* 11: 1–17.

- Rajkovich, S., A. Enders, K. Hanley, C. Hyland, A. R. Zimmerman y J. Lehmann. 2012. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biol. Fertil. Soils* 48: 271–284.
- Reddy, B. 2018. Terra preta and ants-rooftop experiments. bioenergy lists biochar mail. list. <http://terrapreta.bioenergylists.org/taxonomy/term/502?page=1>. (visitado 2.2.2018)
- Rillig, M. C. y D. L. Mummey. 2006. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytol.* 171: 41–53.
- Roberts, K. G., B. A. Gloy, S. Joseph, N. R. Scott and J. Lehmann. 2010. Life cycle assessment of biochar systems: estimating the energetic, economic, and climate change potential. *Environ. Sci. Technol.* 44: 827–833.
- Rondon, M. A., J. Lehmann, J. Ramírez y M. Hurtado. 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biol. Fertil. Soils* 43: 699–708.
- Schmidt, H.-P. 2012. Treating Liquid Manure with Biochar. *Ithaka J.* 2012(1): 273–276.
- Schmidt, H. P., B. H. Pandit, G. Cornelissen y C. I. Kammann. 2017. Biochar-based fertilization with liquid nutrient enrichment: 21 field trials covering 13 crop species in nepal. *L. Degrad. Dev.* 28: 2324–2342.
- Schmidt, H. P., B. H. Pandit, V. Martinsen, G. Cornelissen, P. Conte y C. Kammann. 2015. Fourfold increase in pumpkin yield in response to low-dosage root zone application of urine-enhanced biochar to a fertile tropical soil. *Agriculture* 5: 723–741.
- Schmidt, H. P. y K. Wilson. 2014. The 55 uses of biochar. *Biochar J.* [www.biochar-journal.org/en/ct/2](http://www.biochar-journal.org/en/ct/2) (visitado 3.17.15).
- Schumacher, E. F. 1973. *Small is beautiful: economics as if people mattered.* Blond & Briggs, Londres. 209 p.p.
- Sika, M. P. 2012. Effect of biochar on chemistry, nutrient uptake and fertilizer mobility in sandy soil. Tesis de Maestría en ciencias. University of Stellenbosch. 123 p.p.
- Suárez, A., G. Williams-Linera, C. Trejo, J. I. Valdez-Hernández, V. M. Cetina-Alcalá y H. Vibrans. 2012. Local knowledge helps select species for forest restoration in a tropical dry forest of central Veracruz, Mexico. *Agrofor. Syst.* 85: 35–55.
- Tryon, E. H. 1948. Effect of charcoal on certain physical, chemical, and biological properties of forest soils. *Ecol. Monogr.* 18: 81–115.
- Ulyett, J., R. Sakrabani, M. Kibblewhite and M. Hann. 2014. Impact of biochar addition on water retention, nitrification and carbon dioxide evolution from two sandy loam

- soils. *Eur. J. Soil Sci.* 65: 96–104.
- van Breemen, N., R. Finlay, U. Lundström, A. G. Jongmans, R. Giesler y M. Olsson. 2000. Mycorrhizal weathering: a true case of mineral plant nutrition? *Biogeochemistry* 49: 53–69.
- van Zwieten, L., S. Kimber, S. Morris, K. Y. Chan, A. Downie, J. Rust, S. Joseph y A. Cowie. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant Soil* 327: 235–246.
- Vaughn, S. F., F. Dan Dinelli, B. Tisserat, N. Joshee, M. M. Vaughan y S. C. Peterson. 2015. Creeping bentgrass growth in sand-based root zones with or without biochar. *Sci. Hortic.* 197: 592–596.
- Verheijen, F., S. Jeffery, a C. Bastos, M. Van Der Velde y I. Diafas. 2010. Biochar application to soils. *Environment. Luxembourg.* 149 p.p.
- Vilaboa-Arroniz, J., C. Olguín-Palacios, J. Reta-Mendiola, S. López-Ortiz, G. López-Romero y M. C. Álvarez Ávila. 2014. Angostillo: Microrregión de atención prioritaria en Paso De Ovejas, México. *Agroproductividad* 7: 3–9.
- Wallace, T. 1951. The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms, Second Edi. ed. London. 279 p.p.
- Warnock, D. D., J. Lehmann, T. W. Kuyper y M. C. Rillig. 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil - Concepts and mechanisms. *Plant Soil* 300: 9–20.
- Xiang, Y., Q. Deng, H. Duan y Y. Guo. 2017. Effects of biochar application on root traits: a meta-analysis. *GCB Bioenergy* 9: 1563–1572.
- Yamato, M., Y. Okimori, I. F. Wibowo, S. Anshori y M. Ogawa. 2006. Effects of the application of charred bark of acacia mangium on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. *Soil Sci. Plant Nutr.* 52: 489–495.
- Yeomans, P. A. 1954. *The Keyline Plan.* Waite & Bull, Sydney. 135 p.p.
- Yu, Ok-Youn., B. Raichle y S. Sink. 2013. Impact of biochar on the water holding capacity of loamy sand soil. *Int. J. Energy Environ. Eng.* 9 p.p.
- Yuan, H., T. Lu, D. Zhao, H. Huang, K. Noriyuki y Y. Chen. 2013. Influence of temperature on product distribution and biochar properties by municipal sludge pyrolysis. *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 15: 357–361.
- Zabaniotou, A., G. Stavropoulos y V. Skoulou. 2008. Activated carbon from olive kernels in a two-stage process: Industrial improvement. *Bioresour. Technol.* 99: 320–326.
- Zhang, J., Q. Chen y C. You. 2016. Biochar Effect on water evaporation and hydraulic

conductivity in sandy soil. *Pedosphere* 26: 265–272.

Zhang, Q., F. A. Dijkstra, X. Liu, Y. Wang, J. Huang y N. Lu. 2014. Effects of biochar on soil microbial biomass after four years of consecutive application in the North China Plain. *PLoS One* 9: 1–8.

Zhang, T., W. P. Walawender, L. T. Fan, M. Fan, D. Daugaard y R. C. Brown. 2004. Preparation of activated carbon from forest and agricultural residues through CO<sub>2</sub> activation. *Chem. Eng. J.* 105: 53–59.

Zimmerman, A. R., W. Hall y P. O. Box. 2010. Abiotic and microbial oxidation of laboratory-produced black carbon (biochar). *Environ. Sci. Technol.* 44: 1295–1301.

Zwart, K. y E. Hummelink. 2014. Effects of biochar on water retention in the Interreg biochar : climate saving soils field trials. Alterra. 9 p.p.

## 9. ANEXOS

**Cuadro 4.-** Costos de producción de biocarbón con las diferentes materias primas.

Materias primas	Obtención y fraccionamiento de materia prima (jor m <sup>-3</sup> )*	Procesamiento (jor m <sup>-3</sup> )	Producción (jor m <sup>-3</sup> )
<b>Guásimo (maraña)</b>	0.57	0.40	0.97
<b>Guásimo (leña 2 a 5 cm diam)</b>	0.31	0.70	1.01
<b>Olotes</b>	0.29	0.43	0.72
<b>Tihuixtle (maraña)</b>	1.11	0.51	1.63
<b>Caña de maíz</b>	0.27	0.42	0.69
<b>Arbustos espinosos</b>	1.23	1.27	2.63
<b>Promedio</b>	0.63	0.51	1.28

\*Se refiere a los jornales de colección de materia prima necesarios para producir 1 m<sup>3</sup> de biocarbón.

**Cuadro 5.-** Detalle de los costos de todas las actividades necesarias para el procesamiento a través de la pirolisis

Materias primas	Preparación y encendido (jor m <sup>-3</sup> )	Pirolisis (jor m <sup>-3</sup> )	Transporte de agua (jor m <sup>-3</sup> )	Apagado, y embolsado (jor m <sup>-3</sup> )	Producción (jor m <sup>-3</sup> )
<b>Guásimo (maraña)</b>	0.04	0.07	0.13	0.15	0.40
<b>Guásimo (leña 2 a 5 cm diam)</b>	0.04	0.38	0.13	0.15	0.70
<b>Olotes</b>	0.04	0.11	0.13	0.15	0.43
<b>Tihuixtle (maraña)</b>	0.04	0.19	0.13	0.15	0.51
<b>Caña de maíz</b>	0.04	0.10	0.13	0.15	0.42
<b>Arbustos espinosos</b>	0.04	1.08	0.13	0.15	1.40
<b>Promedio</b>		0.32			

**Cuadro 6.-** Costos de Aplicación de Biocarbón Enterrado (ABE).

<b>Materias primas</b>	<b>ABE 29.12 (jor ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Producción + ABE de 29.12 m<sup>3</sup> de biocarbón (jor ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Producción + ABE pagando 150 MXN por jornal (MXN)</b>	<b>Producción + ABE pagando 80 MXN por jornal (MXN)</b>
<b>Guásimo (maraña)</b>	14.70	42.98	6446.56	3438.17
<b>Guásimo (leña 2 a 5 cm diam.)</b>	14.70	44.22	6633.62	3537.93
<b>Olotos</b>	14.70	35.81	5371.18	2864.63
<b>Tihuixtle (maraña)</b>	14.70	62.02	9302.70	4961.44
<b>Caña de maíz</b>	14.70	34.93	5240.19	2794.77
<b>Arbustos espinosos</b>	14.70	91.38	13707.16	7310.48
<b>Promedio</b>		<b>51.89</b>	<b>7783.57</b>	<b>4151.24</b>

**Cuadro 7.- Costos de Aplicación de Biocarbón Tapado (ABT).**

<b>Materia prima</b>	<b>ABT 39 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (jor ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Producción + ABT de 39 m<sup>3</sup> de biocarbón (jor ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Producción + ABT pagando 150 MXN el jornal (MXN ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Producción + ABT pagando 80 MXN el jornal (MXN ha<sup>-1</sup>)</b>
<b>Guásimo (maraña)</b>	11.80	49.68	7451.29	3974.02
<b>Guásimo (leña 2 a 5 cm diam)</b>	11.80	51.35	7701.81	4107.63
<b>Olotes</b>	11.80	40.07	6011.05	3205.90
<b>Tihuixtle (maraña)</b>	11.80	75.18	11276.48	6014.12
<b>Caña de maíz</b>	11.80	38.90	5835.62	3112.33
<b>Arbustos espinosos</b>	11.80	114.50	17175.30	9160.16
<b>Promedio</b>		<b>61.61</b>	<b>9241.93</b>	<b>4929.03</b>

**Cuadro 8.-** Costos de Aplicación de Biocarbón con Punzón (ABP).

<b>Materia prima</b>	<b>Costo de producir 4.59 m<sup>3</sup></b>	<b>ABP de 4.59 m<sup>3</sup> de biocarbón (jor ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Producción y ABP de 4.59 m<sup>3</sup> de biocarbón (jor ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Producción y ABP pagando 150 MXN el jornal (MXN ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Producción y ABP pagando 80 MXN el jornal (MXN ha<sup>-1</sup>)</b>
<b>Guásimo (maraña)</b>	0.33	6.09	6.43	963.90	514.08
<b>Guásimo (leña 2 a 5 cm diam)</b>	1.73	6.09	7.82	1173.67	625.96
<b>Olotes</b>	0.50	6.09	6.59	989.02	527.48
<b>Tihuixtle (maraña)</b>	0.87	6.09	6.96	1044.54	557.09
<b>Caña de maíz</b>	0.45	6.09	6.54	980.93	523.16
<b>Arbustos espinosos</b>	4.94	6.09	11.03	1655.11	882.73
<b>Promedio</b>			<b>7.56</b>	<b>1134.53</b>	<b>605.08</b>

**Cuadro 9.-** Costos de producción bajo un escenario optimista.

Materias primas	Apagado y embolsado	Procesamiento (jor m <sup>-3</sup> )	Producción más obtención de materias primas (jor m <sup>-3</sup> )	Costo de producir 29.12 m <sup>3</sup> (jor)
<b>Guásimo (maraña)</b>	<b>0.10</b>	0.22	0.79	23.04
<b>Guásimo (leña 2 a 5 cm diam)</b>	<b>0.10</b>	0.52	0.83	24.29
<b>Olotes</b>	<b>0.10</b>	0.25	0.54	15.87
<b>Tihuixtle (maraña)</b>	<b>0.10</b>	0.33	1.45	42.08
<b>Caña de maíz</b>	<b>0.10</b>	0.24	0.51	15.00
<b>Arbustos espinosos</b>	<b>0.10</b>	1.22	2.45	71.44
<b>Promedio</b>		<b>0.46</b>	<b>1.10</b>	<b>31.95</b>

**Cuadro 10.-** Costos de Aplicación de Biocarbón Mecanizada (ABM) más costos de producción (escenario optimista).

<b>Materias primas</b>	<b>ABM 29.12 m<sup>3</sup> (jor ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Producción y ABM (jor ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Producción y ABM pagando 150 MXN por jornal (MXN)</b>	<b>Producción y ABM pagando 80 MXN por jornal (MXN)</b>
<b>Guásimo (maraña)</b>	<b>4.00</b>	27.04	4055.79	2163.09
<b>Guásimo (leña 2 a 5 cm diam)</b>	<b>4.00</b>	28.29	4242.85	2262.85
<b>Olotes</b>	<b>4.00</b>	19.87	2980.41	1589.55
<b>Tihuixtle (maraña)</b>	<b>4.00</b>	46.08	6911.93	3686.36
<b>Caña de maíz</b>	<b>4.00</b>	19.00	2849.42	1519.69
<b>Arbustos espinosos</b>	<b>4.00</b>	75.44	11316.39	6035.41
<b>Promedio</b>		<b>35.95</b>	<b>5392.80</b>	<b>2876.16</b>

## **10. GLOSARIO**

### **Análisis de ciclo de vida**

Análisis de todas las actividades que se realizan, materiales que se usan, productos que se obtienen y los desechos o contaminación que se produce durante un proceso dado (generalmente productiva). Se puede analizar el impacto ambiental, social y económico de dichas actividades o impactos más específicos como el impacto climático.

### **Adsorción**

Es el proceso por el cual una sustancia es retenida en la superficie de un material. La adsorción se puede dar por atracción debido a fuerzas de Van der Waals o a la formación de un enlace químico.

### **Agregados del suelo**

Son grupos de partículas del suelo que se unen entre sí con más fuerza que con partículas que no son del grupo. Estas uniones pueden ocurrir por procesos químicos o biológicos como la secreción de aglutinantes por bacterias, hongos o incluso macrofauna como lombrices o termitas.

### **Anillos aromáticos**

Son anillos de carbono o de carbono con otro elemento unidos de manera covalente. Pueden ser de seis o cinco átomos.

### **Aromaticidad**

Describe moléculas planas formadas de anillos aromáticos cuyas orbitales de electrones se encuentran alejadas de los núcleos de sus átomos de manera perpendicular al plano de la molécula. Son moléculas muy estables.

### **Capacidad de intercambio catiónico**

Es una medida de cuántos cationes pueden ser retenidos en las superficies del suelo. Se debe a cargas negativas en la superficie de los mismos. Sin embargo, las cargas

negativas ejercen una atracción moderada por lo que permiten que los cationes sean intercambiados por otras partículas con carga positiva en el agua del suelo.

Debido a que la mayoría de los nutrientes del suelo tienen carga positiva (o forman parte de moléculas con carga positiva) la capacidad de intercambio catiónico es muy importante para la retención de nutrientes. También es importante en la retención de cationes contaminantes como el plomo.

### **Ceniza**

Es el residuo sólido después de la combustión completa de sustancias orgánicas como la biomasa. Está compuesta de la porción del material que no se volatiliza para formar gases durante la combustión (minerales). El carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno si se volatilizan.

La ceniza de biomasa tiene pH alcalino y contiene nutrientes vegetales como el calcio, potasio y el fósforo, generalmente en forma de óxidos.

### **Conductividad hidráulica del suelo**

Es la facilidad con la que el agua puede recorrer el suelo. Depende de la porosidad del suelo, la interconectividad de sus poros y la presencia de sustancias hidrofóbicas en el mismo. La infiltración y drenaje del suelo dependen en parte de la conductividad hidráulica.

### **Densidad aparente**

Es el peso de un material por volumen aparente

### **Drenaje de agua en el suelo**

Es el proceso por el cual el agua del suelo se mueve en el mismo por gravedad hasta salir del suelo formando nacimientos, arroyos y ríos o recargando acuíferos. Es similar a la conductividad hidráulica, sin embargo ésta última puede no sólo ocurrir por gravedad sino también por presión de agua en la superficie del suelo o incluso que viene desde abajo. Durante el drenaje los poros del suelo, de un tamaño lo suficientemente grande

para que el agua no pueda permanecer en ellos por tensión superficial, se vacían por gravedad y el agua es remplazada por gases en un proceso llamado aireación. De no haber buen drenaje, se forman condiciones anaeróbicas en el suelo y se pueden favorecer algunos patógenos.

### **Estructura del suelo**

Es el arreglo de la fracción sólida del suelo en agregados y espacios vacíos (poros) entre los mismos. La estructura del suelo puede facilitar el crecimiento de raíces, la infiltración, retención y drenaje de agua.

### **Fertilidad**

Capacidad de los suelos de producir biomasa vegetal. Depende de características físicas, químicas y biológicas del mismo, entre ellas: su densidad, porosidad, textura, estructura, pH, capacidad de intercambio catiónico y contenido de nutrientes

### **Fijación biológica de nitrógeno**

Es el proceso, realizado por microorganismos, de convertir  $N_2$  atmosférico en amoníaco que aporta nitrógeno a la red alimenticia del suelo. Entre los microorganismos involucrados están especies del género *Rhizobia* que fija nitrógeno en simbiosis mutualista con raíces o *Azotobacter* que es de vida libre.

### **Grupos funcionales**

Son grupos dentro de una molécula que son responsables de las reacciones químicas características de la misma.

### **Hidrofilia/hidrofobicidad**

La hidrofilia es la capacidad de una sustancia de atraer (o ser atraída por) el agua. Dichas sustancias, así como el agua, tienen polaridad en sus moléculas.

La hidrofobicidad es la aparente repelencia al agua de una sustancia. Aunque no hay ninguna fuerza de repelencia involucrada, la ausencia de atracción al agua, acompañada de la atracción del agua a sí misma y a otras sustancias que pudieran estar presentes

resulta en la mencionada repelencia aparente. Las sustancias hidrofóbicas son sustancias no polares como grasas.

En el suelo, la hidrofilia favorece la infiltración, retención y drenaje de agua. Las sustancias hidrofóbicas sólidas pueden adsorber sustancias hidrofóbicas o sustancias con colas no polares, lo que puede resultar en la inmovilización de materia orgánica o contaminantes orgánicos.

### **Infiltración de agua en el suelo**

Es el proceso por el cual el agua entra en el suelo. Si la precipitación excede la tasa de infiltración ( $\text{cm hr}^{-1}$ ), el agua recorrerá la superficie del suelo sin infiltrarse ganando caudal y potencialmente causando erosión. Cualquier agua que no se infiltre durante un evento de lluvia es agua que no entrará en el suelo y no estará disponible para la agricultura.

### **Micorriza**

Simbiosis mutualista entre hongos y plantas en la que el micelio del hongo está en asociación con la raíz de la planta. La planta provee al hongo de carbohidratos producto de la fotosíntesis y el hongo transporta agua y nutrientes del suelo a la planta, además de protegerla contra patógenos.

### **Oxidación/Reducción**

La oxidación es la pérdida de electrones debido a una reacción química, la reducción es el proceso opuesto. Durante la oxidación una sustancia se oxida y la otra se reduce.

Durante la pirolisis el carbono que queda sólido (carbón) se reduce mientras el carbono que se emite en los gases emitidos se oxida.

### **pH**

Medida logarítmica de acidez o alcalinidad de una solución, es decir la concentración de iones de hidrógeno en una solución. Se mide en una escala donde siete es neutro, menos de siete es ácido y más es básico o alcalino. Ya que los ácidos pueden donar un protón, estos reducen el pH en una solución (al revés con las bases).

El pH del suelo es importante pues de él depende la disponibilidad de los nutrientes del mismo. En términos puramente químicos, un pH de 6 a 6.5 es ideal pues hace disponible la mayoría de los nutrientes.

### **Porosidad**

Es el volumen de espacio vacío dentro de un material sólido. En estos espacios están las fracciones líquidas y gaseosas del suelo. Es importante para la infiltración, retención y drenaje de agua en el suelo. También es importante para la conductividad hidráulica.

### **Superficie específica**

Es la superficie por peso de un material incluyendo todas las superficies internas, es decir las superficies de sus poros.

### **Textura del suelo**

Es la proporción de arcilla, limo y arena en el suelo. La arena se define como partículas de entre 0.05 y 2 mm, el limo tiene 0.0002 a 0.05 mm y la arcilla menos de 0.002 mm. La textura del suelo es importante para la aireación del mismo, la infiltración, retención y drenaje de agua. Los suelos con abundancia de partículas más grandes (arena) tienen infiltración de agua y drenaje más rápidos, pero baja retención de agua. Los suelos arcillosos tienen mayor retención de agua, pero menor infiltración y drenaje.

La presencia de materia orgánica en los suelos aumenta la retención de agua en suelos arenosos pues es capaz de retener agua. También puede mejorar la infiltración y drenaje en suelos arcillosos pues promueve la formación de agregados dejando poros entre los mismos por donde el agua puede fluir.

### **Volumen aparente**

Es el volumen de un material considerando los espacios entre las partículas.