



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y ENERGÍA POR
RESIDUOS DE JARDINERÍA EN CIUDAD
UNIVERSITARIA, D.F. (MÉXICO)**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

JAIME ACOSTA ARREOLA



**DIRECTOR DE TESIS:
DR. ZENÓN CANO SANTANA
2015**

Ciudad Universitaria, D. F.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

1. Datos del alumno

Acosta

Arreola

Jaime

55 88 84 93

Universidad Nacional Autónoma de

México

Facultad de Ciencias

Biología

302050763

2. Datos del tutor

Dr.

Zenón

Cano

Santana

3. Datos del sinodal 1

M. en C.

Mireya

Imaz

Gispert

4. Datos del sinodal 2

Dr.

Leopoldo

Galicia

Sarmiento

5. Datos del sinodal 3

Dra.

María Guadalupe

Barajas

Guzmán

6. Datos del sinodal 4

Dr.

Gabriel

León

de los Santos

7. Datos del trabajo escrito

Producción de biomasa y energía por
residuos de jardinería en Ciudad
Universitaria, D.F. (México).

72 pp.

2015

Agradecimientos

Agradezco al Dr. Zenón Cano Santana por su enorme conocimiento, su cariño por la enseñanza, su paciencia, su buen humor y sobre todo por su amistad.

Agradezco a mis padres por su apoyo y amor infinitos. A mi hermano que pacientemente estimuló la conclusión de este trabajo.

Al pueblo de México que, pese a la pobreza, sostiene a la Máxima Casa de Estudios.

A los profesores de la Facultad de Ciencias que con humildad y paciencia han compartido su conocimiento.

Al taller “Ecología, Regeneración Natural y Restauración de Áreas del Centro de México” y a sus excelentes profesores y compañeros.

A todos los buenos amigos que me ayudaron en los muestreos de los eucaliptos. Hemos entrecruzado nuestras vidas para disfrutar la ciencia que no oprime, la del apoyo mutuo.

A Ania que con mucho cariño me ayudó en la recta final de este escrito.

A José Luis Castillo, Paola Moreno, Jéssica Villanueva, Sonia Juárez y Omar Padrón por la recolección de datos de los residuos de jardinería y del pasto kikuyo.

Al Laboratorio de Interacciones y Procesos Ecológicos y al M. en C. Iván Castellanos-Vargas por el soporte técnico.

Al Dr. Javier Aguillón y al proyecto “Generación de energía eléctrica para el alumbrado de algunas calles de la Ciudad Universitaria por medio de gasificación de residuos biomásicos orgánicos” que apoyó esta tesis.

Al Dr. Leopoldo Galicia, a la Dra. María Guadalupe Barajas, a la M. en C. Mireya Imaz y al Dr. Gabriel León por aceptar ser parte del jurado de mi examen y por la cuidadosa revisión del escrito final.

A Dharma, miao.

El Tao que puede ser expresado no es el Tao Absoluto

Lao-Tse

Acosta-Arreola, J. 2015. Producción de biomasa y energía por residuos de jardinería en Ciudad Universitaria, D.F. (México). Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 72 pp.

ÍNDICE

Resumen	1
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. El hombre y la energía global	3
1.2. La energía en México	5
1.3. Biomasa	7
1.4. Biogasificación y energía eléctrica	9
1.5. Antecedentes: el ecosistema urbano de Ciudad Universitaria	11
1.6. Justificación	14
2. OBJETIVOS	16
3. SITIO DE ESTUDIO	17
4. MÉTODOS	19
4.1. Cantidad y composición de materiales en los contenedores de desechos de jardinería	19
4.2. Eucaliptos	20
4.3. PPNA del pasto kikuyo	21
4.4. Contenido calórico	22
5. RESULTADOS	23
5.1. Biomasa y energía de residuos de jardinería	23
5.2. Biomasa y energía en eucaliptos	25
5.3. PPNA de pasto kikuyo	26
6. DISCUSIÓN	29
6.1. Bioenergía en CU y desechos de jardinería	29
6.2. Los eucaliptos	31
6.3. El pasto kikuyo	33
6.4. Seguridad energética, políticas públicas e información en la red	34
7. CONCLUSIONES	37
Literatura citada	38
Apéndice 1	51
Apéndice 2	72

Resumen

Existe una enorme demanda energética mundial abastecida principalmente por combustibles fósiles. Esto es un problema ya que éste es un recurso no renovable y su uso propicia el incremento del efecto invernadero. Por otro lado, se sabe que una alternativa al tratamiento de residuos biomásicos es generar energía a partir de ellos. En este trabajo se estimó la cantidad de biomasa y energía que se genera anualmente en Ciudad Universitaria (CU) por residuos de jardinería que potencialmente producirían electricidad. También se verificó la composición de los contenedores, la biomasa que acumulan los eucaliptos (principalmente *Eucalyptus camaldulensis*) y la productividad primaria neta aérea (PPNA) de las áreas verdes y de las áreas sin manejo con riego de temporal que tienen pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Se revisaron 2-16 contenedores de residuos por mes durante un año (enero-diciembre 2006), se estimó el peso promedio por contenedor y se calculó el aporte relativo de cada componente dentro del mismo, así como los contenidos calóricos de los elementos bióticos encontrados. La abundancia de eucaliptos fue calculada a partir de 50 unidades de muestra circulares de 100 m² distribuidas aleatoriamente en una fotografía aérea de CU. A partir de este dato y con ayuda de una regresión lineal que relacionó la cantidad de biomasa y el diámetro a la altura del pecho de ocho eucaliptos (*E. camaldulensis*) de distinto tamaño removidos de CU se determinó la energía que éstos almacenan. Por otro lado, la productividad primaria neta aérea (PPNA) de las áreas cubiertas por pasto kikuyo se calculó con el método de incrementos positivos en cosechas sucesivas. Se encontraron 132 elementos vegetales así como desechos inorgánicos en los contenedores. Los cuatro elementos con mayor aporte fueron el pasto kikuyo (18.8%), el eucalipto (15.2%), el fresno (*Fraxinus uhdei*, 12.1%) y el pirul (*Schinus molle*, 7.5%); los otros 128 elementos vegetales aportaron menos del 5%; mientras que los desechos inorgánicos aportaron 0.5%. Durante el año de estudio se generaron 2,160 contenedores, en los que se acumularon en promedio 473 kgpf (peso fresco) de materiales por contenedor. Se estimó una producción anual de 1,023 Mggpf de biomasa y 8.73 TJ de energía potencial, con lo que se pueden mantener 2,769 focos ahorradores de 30 W prendidos durante un año. Asimismo, se obtuvo que en el área de estudio hay 17,192 árboles de *Eucalyptus* spp. que almacenan 4,285 Mgps (peso seco) en sus tejidos aéreos y 55.6 TJ, con lo que se pueden mantener 17,640 focos ahorradores de 30 W encendidos durante un año. La PPNA de las áreas cubiertas por pasto kikuyo en sitios de temporal fue de 673 gps m⁻² año⁻¹ y en sitios de riego 317 gps m⁻² año⁻¹. Estos campos aportan

511 Mgps año⁻¹, lo que produce 10.9 TJ año⁻¹, con lo que se pueden tener prendidos 3,516 focos ahorradores de 30 W prendidos anualmente. En términos de iluminación, en CU se puede cubrir anualmente el 2.7% de esta energía con residuos de jardinería, el 17.0% con el uso de la fitomasa de los eucaliptos y el 3.3% con la PPNA del pasto kikuyo. Se hacen recomendaciones en cuanto a la forma de extraer la biomasa de la REPSA para mantener el carácter sustentable. Se analiza la situación energética de México y se aportan recomendaciones en cuanto a la implementación de bioenergías sustentables.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El hombre y la energía global

El consumo humano mundial de energía en el año 2000 fue aproximadamente de 400 exajoules (EJ; 1 EJ= 10^{18} J) (Larson y Kartha, 2000). La gran demanda energética fue cubierta en un 98% por el uso de biomasa (principalmente petróleo, carbón y madera) y de energía hidráulica (FOCER, 2002). Durante el 2005 los suministros mundiales de energía primaria fueron de 479 EJ, y el 80% fue aportado por combustibles fósiles dominando gran parte de la economía mundial (Heinimo y Junginger, 2009). En 2012 su porcentaje bajó tan solo al 78.4% (REN21, 2014), pero el consumo mundial ascendió a 554 EJ (IEA, 2014). El 86.7% de la energía mundial fue aportada por combustibles fósiles en el 2013, manteniéndose el petróleo como líder contribuyendo con el 32.9% del consumo global, quedando en último lugar las energías renovables con el 2.2% (BP, 2014). Esta tendencia nos muestra el aumento acelerado en la demanda energética global. En 13 años el consumo aumentó 154 EJ. La enorme dependencia en los combustibles fósiles es producto de la facilidad para extraer mucha energía sin considerar las externalidades (esto es, el impacto negativo generado por un actor económico sobre el ambiente; Goodwin, 2007).

Los combustibles fósiles se han formado por la acumulación de materia durante millones de años, por lo que resultan ser un recurso no renovable para la humanidad (McKendry, 2001; FOCER, 2002). Su uso genera un impacto negativo en el ambiente y la salud por las altas emisiones de CO₂, NO_x y SO₂ derivados de su uso (Chopra y Jain, 2007). Las dos causas principales del aumento de dióxido de carbono en la atmósfera son la quema de combustibles fósiles (85%) y la deforestación (15%) (IEA, 2002). Por ello, los gobiernos deberían participar en la economía bioenergética facilitando su producción, garantizando la seguridad y la sustentabilidad energética, mitigando así el cambio climático (White *et al.*, 2013).

Además del calentamiento global, las fugas y los derrames de petróleo son otros factores ambientales y sociales a considerar. El derrame accidental más grande de la historia ocurrió en el 2010 por British Petroleum (ahora BP), donde se vertieron 4.9 millones de barriles al mar en el norte del Golfo de México (El País, 2010). Al respecto, la DGCS (2015) informó que investigadores de la UNAM encontraron que aunque una parte de los hidrocarburos salieron a la superficie, la mayor parte del volumen sigue en el fondo del Golfo, el cual puede dispersarse hacia aguas mexicanas por las corrientes

marinas. Los investigadores proyectan que los efectos durarán al menos 25 años, y el fondo marino será el más afectado; además, dentro de unos 10 a 15 años los niveles de metales pesados aumentarán en la cadena trófica. Por otro lado, 25 mil pescadores mexicanos demandaron en abril de este año a BP por afectaciones económicas por más de 11 millones de dólares derivadas del derrame (Calderón, 2015).

Otro de los más grandes derrames de la historia ocurrió en Campeche en 1979, en el cual 3.3 millones de barriles fueron vertidos al mar (El País, 2010). Guzmán (2015) presenta, aunque a una menor escala, el caso del derrame de PEMEX en Mecoacán, Tabasco, ocurrido en 2015. En dicho derrame el ostión fue el animal con valor económico más afectado. Unos dos mil pescadores y sus familias han sido los más perjudicados.

El petróleo, además de alterar los ecosistemas como se ha mencionado, ha jugado un rol fundamental en la economía mundial (Arezki y Blanchard, 2014). En 1972 era posible comprar un barril de petróleo por 1.90 dólares, pero en 2008 su precio ya era de 100 dólares, mientras que en el 2009 éste cayó hasta llegar a menos de 40 dólares (BP, 2010). Durante el 2013 el promedio estuvo en 108 dólares (BP, 2014), pero éste nuevamente ha ido cayendo en 2015 hasta estar de nuevo por debajo de los 40 dólares (González, 2015). Estas fluctuaciones afectan la economía de los países en desarrollo, sobre todo los que dependen del petróleo (Arezki y Blanchard, 2014). Además, el máximo consumidor mundial de energía, Estados Unidos, ha generado una política intervencionista en los países con las mayores reservas como Irak, Venezuela y Arabia Saudita (Saxe-Fernández, 2004).

A pesar de que los combustibles fósiles mueven buena parte del mundo, sus aspectos negativos han propiciado que desde hace varias décadas se genere una tendencia mundial por investigar y usar fuentes energéticas alternativas y limpias. Éstas, al ser renovables en escalas de tiempo menores a las geológicas, permiten mantener un equilibrio dinámico dentro de los ecosistemas así como beneficios para las sociedades humanas (McKendry, 2001). El uso de biomasa no fósil es una alternativa con gran potencial, pues se estima que los recursos de biomasa tienen el potencial para abastecer entre el 10 y 14% de los requerimientos energéticos mundiales (Allgeier *et al.*, 1994; McKendry, 2001; Yang *et al.*, 2005; Demirbas, 2006; Chopra y Jain, 2007).

De acuerdo a Heinimo y Junginger (2009), aplicando un criterio estricto, como mínimo la biomasa puede aportar 250 EJ anuales, aunque otras proyecciones calculan que para el 2050 la biomasa contribuirá con 180 EJ (Larson y Kartha, 2000). En países

como Suecia, Finlandia y Estonia más del 25% de la energía que usan proviene de la biomasa (REN21, 2014). En contraste, a partir de datos del SIE (2015), se puede calcular que solamente el 2.5% de la energía en México se produce con biomasa.

1.2. La energía en México

De acuerdo a la información proporcionada en la página de internet de la Secretaría de Energía (SENER) y en sus reportes (SENER, 2012, 2013, 2014, 2015), los gobiernos de distintos niveles en México han ignorado casi en su totalidad el desarrollo de tecnologías modernas para producir energía a partir de biomasa. A pesar de que en el mundo ha habido un gran incremento en el uso de energías renovables, de 1999 a 2013, la generación de energía en México con recursos renovables cayó 4% (SENER, 2014). De hecho, en la última reforma energética sólo se habla extensamente del petróleo y la electricidad, dedicando poco espacio a los avances en materia de energías alternativas (Huacuz, 2013).

Desde su industrialización, en México la principal fuente de energía es el petróleo (Klauss, 1994). En el 2008 el 62% de la energía provino del petróleo y el 26% del gas natural (ECOFYS Germany GmbH, 2009). En 2013 el país produjo 9 EJ, de los cuales el 93.4 % vino de combustibles fósiles y el resto de energías renovables (SIE, 2015). La alta dependencia a los hidrocarburos ocurre a pesar de que el potencial de producción de energía a partir de biomasa se sitúa entre 2.6 y 3.8 EJ año⁻¹ (ECOFYS Germany GmbH, 2009), lo que significa que la biomasa tiene al menos el potencial de abastecer un tercio de consumo total de energía del país. Aunque el gobierno federal publicita al país como una potencia petrolífera mundial, México tiene sólo el 0.7% de las reservas mundiales, lo que contrasta con países como Venezuela, Arabia Saudita, Canadá, Irán e Irak, que juntos concentran el 62% (BP, 2014). Económicamente, México depende del petróleo pues un tercio del gasto público proviene de él (González, 2015). En 2013 el país exportó 60.3 millones de toneladas de petróleo crudo, mientras que importó 28.9 millones de toneladas de productos derivados (BP, 2014). Esto muestra el desinterés en el desarrollo de refinamiento de energéticos. Además, depende sobre todo del mayor consumidor del mundo, pues el 69% de las exportaciones mexicanas van a Estados Unidos (BP, 2014).

Con datos de BP (2014) se puede calcular que si México sigue produciendo petróleo como lo hizo en 2014, agotará su reserva dentro de 15 años. Sin embargo, se invirtieron 2,117 millones de pesos para crear el Centro de Tecnología para Aguas

Profundas en Veracruz (Gobierno de Veracruz, 2015). Ante este panorama, los estudios científicos sobre el potencial que tienen las fuentes alternativas de energía son una necesidad teniendo siempre en cuenta los compromisos del país en materia de protección al medio ambiente. En este sentido, Huacuz (2013) opina que la mayoría de los estudios realizados por el gobierno federal obedecen, unos a mostrar que se avanza en congruencia con los compromisos de protección al medio ambiente, y otros para dar por cumplido un mandato de ley.

González (2015) discute que la reforma energética, al transferir las actividades del sector, como la exploración y la extracción, los privados se apropiarán de la mayor parte de la renta petrolera, pues tanto Petróleos Mexicanos (Pemex), como la Comisión Federal de Electricidad (CFE) dejan de estar en manos de la sociedad, se legitima el despojo de tierras para la explotación de energéticos y se permite al sector privado la generación de energía eléctrica. Por tanto, esta reforma es una herramienta legal para poder realizar negocios a costa de la seguridad energética.

La SENER (2013) informó que al final del primer semestre de 2013, el 84.6% de la generación de electricidad provino de combustibles fósiles, y que la electricidad total generada en México fue 263,386 gigawatts-hora (GWh; 1 GWh= 10^9 Wh; 1 Wh= 3,600 J), con un 17.4% de pérdidas por distribución durante 2007 (ECOFYS Germany GmbH, 2009). De acuerdo al INERE (2015), en 2013 se produjeron 1,324 GWh por biomasa, mientras que se tiene el potencial de producir con el mismo energético 11,485 GWh anuales. Aunque las proyecciones del INERE están subestimadas por falta de datos, nuestro país es un gran productor de biomasa y no es claro por qué el gobierno no invierte más en los proyectos de energía por este concepto y por qué la reforma energética no incluye el desarrollo de este tipo de tecnologías limpias.

Otro aspecto importante es el acceso a la energía eléctrica. En 2009 alrededor de 5 millones de mexicanos carecían de acceso adecuado a la electricidad, distribuidos en 89,000 pequeñas comunidades de menos de 100 personas (ECOFYS Germany GmbH, 2009). Según la SENER (2013) en el 2012 el 98% de la población contaba con acceso a la electricidad, 2.3 millones concentrados en alrededor de 42,945 localidades que carecían de este servicio básico. La dependencia centralizada de electricidad en zonas rurales está caracterizada por fluctuaciones de voltaje y variaciones en el suministro (Ravindranath *et al.*, 2004). La provisión de electricidad a comunidades alejadas, que por sus características es técnica y económicamente no rentable, ha sido uno de los grandes retos para la CFE (Huacuz, 2013).

Actualmente, la SENER (2015) desarrolla un proyecto de generación de energía eléctrica en Chiapas. En este estado alrededor del 60% de las comunidades dispersas, más de 6 mil en zonas montañosas e inaccesibles, carecen de energía eléctrica. La meta es producir a partir de celdas fotovoltaicas 428.9 kilo watts-hora anuales (kWh año⁻¹; 1 kWh= 10³ Wh), lo que proveería a comunidades marginadas de energía eléctrica, evitando la emisión de 1.4 toneladas métricas de CO₂. Por otro lado, de acuerdo a la UCCS (2009), en un proyecto anterior, la SENER pretendió que el estado de Chiapas se volviese un productor a nivel nacional de agrocombustibles, y critica este proyecto dado que no se vislumbraron los mecanismos de regulación y control que aseguren un modelo sustentable de producción. La información sobre ambos proyectos no está disponible en las páginas del gobierno (al menos hasta mayo de 2015).

1.3. Biomasa

La *biomasa* es la materia orgánica de los seres vivos por unidad de área que puede ser convertida en energía (Billings, 1966; Begon *et al.*, 2006), la *productividad primaria* es la tasa de fijación de biomasa por unidad de superficie (Billings, 1966; Jordan, 1983; Begon *et al.*, 2006), y la *producción* se refiere a la cantidad de biomasa o energía generada en un periodo determinado de tiempo (Odum, 1971). En 2013 la biomasa aportó el 10% de la energía global primaria, que corresponde a unos 57 EJ, de los cuales el 60% lo aportó la biomasa tradicional (REN21, 2014), que es aquella que se usa únicamente para generar calor o luz a partir de su combustión (Karekezi *et al.*, 2004), diferenciándose de las tecnologías energéticas modernas por su baja eficiencia (REN21, 2014).

Las plantas captan agua y CO₂ y, mediante la fotosíntesis, almacenan en los enlaces químicos de moléculas elaboradas aproximadamente el 1% de la radiación solar, mientras que otra parte es liberada en forma de calor (Phillipson, 1975; McKendry, 2001). Algunos factores de los que depende la producción de biomasa son: (1) la disponibilidad del agua (Lynch, 1995), (2) la disponibilidad de nutrientes y minerales (Marais, 2001; Augustine *et al.*, 2003), (3) la temperatura (Bonan, 1993); (4) la profundidad y estructura del suelo (Lynch, 1995, Begon *et al.*, 2006), (5) la cobertura del follaje (Walmsley *et al.*, 1987), y (6) la saturación lumínica del fotosistema (Phillipson, 1975; Webb *et al.*, 1983).

Cuando obtenemos energía de ciertos tipos de biomasa como la leña, el dióxido de carbono que generamos es captado por las plantas que producirán nueva biomasa de

forma cíclica (McKendry, 2001). Si utilizamos mucha biomasa y no hay suficientes plantas que fijen el CO₂, entonces su concentración en la atmósfera aumentará. Al usar biomasa fósil se está liberando carbono acumulado durante millones de años lo que provoca un aumento neto de dióxido de carbono en la atmósfera (Allgeier *et al.*, 1994; McKendry, 2001; Yang *et al.*, 2005). De forma sustentable, el uso de biomasa como energético no implica un aumento de emisiones de CO₂, ya que las plantas vuelven a captar el carbono liberado (Jingjing *et al.*, 2001; IEA, 2002). La energía se obtiene a partir de la ruptura de moléculas que conforman la biomasa, ya sea por el aumento de temperatura, biooxidación o combustión, obteniendo principalmente metano y dióxido de carbono (McKendry, 2001; FOCER, 2002). Asimismo, la biomasa se puede usar como energía primaria con turbinas de gas o como energía secundaria al fabricar biocombustibles (Demirbas, 2006).

Comparado con el petróleo, el uso de biomasa no fósil es una alternativa energética más eficiente y amigable con el medio ambiente (Larson y Kartha, 2000), reduciendo las emisiones de CO₂ hasta en un 90% (Diji, 2013). Se considera como un energético renovable y limpio con la capacidad de mejorar el medio ambiente, la economía y la seguridad energética (Demirbas, 2006; Heinimo y Junginger, 2009). Su uso reduce la contaminación en el agua y suelos, disminuyendo la erosión y generando hábitats para la biota local (Diji, 2013). Por todas las razones anteriores, la biomasa tiene un enorme potencial para contribuir a las demandas energéticas de la sociedad (Demirbas, 2006; Chopra y Jain, 2007; Lahijani *et al.*, 2013).

El precio de los combustibles fósiles es aparentemente bajo ya que no internaliza las externalidades [White *et al.*, 2013; entendiéndose como internalidad las acciones que hace un actor económico para resolver su impacto negativo sobre el ambiente o los seres vivos; (Goodwin, 2007)]. Los sistemas bioenergéticos que sustituyen el uso de combustibles fósiles tienen la posibilidad de disminuir la emisión de gases de efecto invernadero (IEA, 2002), lo que significa que se podrían reducir las externalidades.

En contraste a los aspectos positivos, Ravindranath (2004) muestra varios puntos a considerar sobre el uso de la materia orgánica no fósil, según se presentan a continuación. Pensar que el balance entre el carbón emitido y el captado por los cultivos se mantendría con el uso de biomasa sería simplista. Se debe tener en cuenta que su manejo implica un transporte y un refinamiento que generan emisiones de carbono (por lo tanto, el concepto de uso de energéticos con “cero emisiones” no es más que una idea publicitaria). La selección de un sistema bioenergético debe considerar su impacto en el

ambiente y en el contexto socioeconómico. La adopción de un sistema más limpio puede incluso acrecentar la desigualdad social, así como generar más presiones en ecosistemas locales. El autor propone que al adoptar uno de estos sistemas se debe considerar cómo contribuirá a: (1) satisfacer las necesidades básicas, (2) proporcionar opciones de ingreso, (3) mejorar la calidad de vida de la población, (4) usar sustentablemente los recursos, y (5) mantener la salud del ecosistema local.

1.4. Biogasificación y energía eléctrica

La gasificación es el proceso térmico para la síntesis de gas a partir de la lignina que se encuentra en la celulosa y la hemicelulosa de la biomasa (Lahijani *et al.*, 2013). La gasificación de biomasa tiene dos pasos: (1) la pirrólisis, que es el proceso endotérmico que consiste en la descomposición de la biomasa por calor generando principalmente productos volátiles o líquidos; y (2) la gasificación, que es un complejo proceso termoquímico en el que los productos volátiles y carbonizados son transformados en un gas sintetizado, conocido como syngas (Chhiti y Kemiha, 2013). El producto de desecho es una mezcla de monóxido y dióxido de carbono, hidrógeno, metano, nitrógeno y otros componentes en pequeñas cantidades (Demirbas, 2006; Kamińska-Pietrzak y Smoliński, 2013). Algunos de los productos derivados, como las cenizas alcalinas, constituyen un problema puesto que pueden perjudicar el funcionamiento de los gasificadores (Demirbas, 2006).

Este proceso permite obtener una importante cantidad de energía de los desechos orgánicos con reducidas emisiones contaminantes (Belgiorno *et al.*, 2003; Kamińska-Pietrzak y Smoliński, 2013) y con unas eficiencias de conversión hasta del 50%, aunque comúnmente rondan el 30% (Demirbas, 2006). Es una tecnología prometedora y amigable con el ambiente que permite producir calor, electricidad y combustibles para transporte (Demirbas, 2006; Chhiti y Kemiha, 2013). El uso de bioenergéticos reduce la dependencia del petróleo y sus reservas (Diji, 2013) y puede ser apropiado e incluyente, al reducir la brecha entre pobres y ricos (Karekezi *et al.*, 2004).

El primer gasificador comercial fue instalado en 1839 en Alemania por Gustav Bischof (Chopra y Jain, 2007). Antes y durante la Segunda Guerra Mundial fueron usados con fines automotrices y, al finalizar ésta, disminuyó enormemente la producción debido a la disponibilidad de combustibles fósiles baratos (Chopra y Jain, 2007; Chhiti y Kemiha, 2013). En Asia, China comenzó a desarrollar las tecnologías de gasificación de biomasa durante la década de 1950 (Jingjing *et al.*, 2001), mientras que

en Estados Unidos y Europa el interés en la biogásificación resurgió después de la crisis energética de la década de 1970 (Demirbas, 2006; Chopra y Jain, 2007). En China el éxito ha sido tal que para el 2000 había más de 300 gasificadores en áreas rurales (Jingjing *et al.*, 2001), aunque a nivel global en 2005 la capacidad de generación eléctrica por biomasa era de aproximadamente de 36 GW, aportando solamente el 1% del total (Heinimo y Junginger, 2009). No obstante, durante 2013 el biopoder de generación excedió los 400 terawatts-hora (TWh; 1 TWh= 10^{12} Wh) (REN21, 2014).

En India ha habido un enorme desarrollo de biogásificadores en comunidades rurales. Ravindranath *et al.* (2004) nos da un excelente ejemplo de ello. Hosahalli es una comunidad que desde hace 26 años generan energía eléctrica más del 90% de los días para unas 300 personas. Esta comunidad mantiene este recurso cuidando 4 ha de bosque donde se plantan *Eucalyptus* sp. (58%), *Casia siamea* (22%), *Acacia auriculiformis* (13%) y *Dalbergia sisso* (7%), con una productividad durante los primeros años de 6 Mg ha⁻¹ año⁻¹. Incluso, junto con los científicos que desarrollaron el proyecto, determinaron la tarifa de consumo y, en contraste con la morosidad que caracteriza a los clientes que dependen de las centrales eléctricas, esta comunidad se ha mantenido al corriente en los pagos entre el 94 y 99%, algo raro en India. La calidad de vida mejoró, ya que se tiene agua por bombeo, tanto en hogares como en zonas de cultivo, y la energía eléctrica se usa para llevar a cabo actividades domésticas y para el alumbrado público. Un punto importante es que su uso mejora la calidad de vida de las mujeres (Karekezi *et al.*, 2004), que son quienes normalmente hacen un gran esfuerzo para recolectar leña y agua en las comunidades rurales.

En contraste con los países que son potencias mundiales en el ramo como India, México apenas tiene unos cuantos proyectos de biogásificación. El más importante y exitoso comenzó a implementarse en el 2006, y se le llamó Monterrey Cinco (Ecoosfera, 2014). El proyecto consistió en usar el gas generado de la basura en la ciudad de Monterrey para producir electricidad, la cual cubre el 80% de la energía que usa metro (Ecoosfera, 2014). No obstante, el gobierno del Distrito Federal (GDF) sigue generando el 100% de la energía eléctrica a partir de centrales de turbogas (SENER, 2012).

En la capital del país se intentó implementar un programa para aprovechar la energía potencial del basurero Bordo Poniente, uno de los problemas ambientales más graves derivados de la ciudad. De acuerdo a información de Luege (2014), después que en 2011 se cerrara el tiradero, la SEMARNAT pidió manejar la extracción de metano

para producir energía eléctrica, pero el GDF prefirió dar la licitación en diciembre 2012 a la compañía BMLMX Power Company SAPI. Este contrato estipula que a partir del 2014 y durante 25 años esta compañía explotará el gas generando alrededor de 58 MW por hora (NOTIMEX, 2012). Lamentablemente, la compañía no tiene página de internet donde se pueda acceder al estado del proyecto, y las páginas del GDF tampoco lo mencionan. La información disponible más actual hace referencia a una petición de información sobre el estado del proyecto a la Asamblea Legislativa solicitada por el Partido Verde Ecologista de México en 2014 (PVEM, 2014), lo cual constituye una grave omisión de transparencia ante el derecho que tienen los ciudadanos para enterarse de las políticas públicas en esta entidad.

1.5. Antecedentes: el ecosistema urbano de Ciudad Universitaria

Los ecosistemas urbanos se distinguen de los naturales por la alta densidad de humanos, la dominancia de estructuras construidas en el paisaje (Pickett *et al.*, 2011) y por la enorme importancia de las características sociales, económicas y políticas (UNESCO, 1993; Moll y Petit, 1994). Estos ecosistemas son importantes ya que brindan numerosos servicios ambientales a la población humana (Conzanza *et al.*, 1997), aunque sus comunidades vegetales generalmente están sometidas a un continuo mantenimiento a través de riego y podas, con lo cual se genera una gran cantidad de residuos de jardinería.

Ciudad Universitaria (CU) es el campus principal de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) con una extensión de 721.7 ha (Lot y Camarena, 2009) y se ubica al suroeste de la Ciudad de México. En 2012 contaba con 411 edificios construidos y 10 en construcción (UNAM, 2013), casi 140 ha de áreas verdes (UNAM, 2014) y 237 ha de reserva ecológica, conocida como Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) repartidas en tres áreas núcleo y 13 áreas de amortiguamiento (Cano-Santana *et al.*, 2009). Debido a que cerca de 200 mil personas conforman la población de CU (Lot y Camarena, 2009) y a la preponderancia de las estructuras arquitectónicas en el paisaje, funciona como un ecosistema urbano. Además de su valor educativo y ambiental, el casco central de CU fue designado en el 2007 como Patrimonio Cultural de la Humanidad por la Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO; La Jornada, 2007).

Para darle mantenimiento al campus, la UNAM ha encomendado diversas acciones ecológicas a la Dirección General de Obras y Conservación (DGOC). Esta

dependencia lleva a cabo el mantenimiento de 140 ha de áreas jardinadas de CU, donde se realiza las siguientes actividades (UNAM, 1994, 1998, 2000): (1) control de *Eucalyptus* spp.; (2) manejo de residuos de jardinería y orgánicos de otra índole para convertirlos en composta; (3) propagación de plantas nativas; (4) remoción de árboles enfermos, muertos o que se consideran de riesgo; campañas de limpieza en la reserva ecológica; (5) barrido de hojarasca, desyerbe de jardines y poda de setos y cubremuros; y (6) poda continua de 95 ha cubiertas de pasto.

Tan solo en 1998 se producían cerca de 36 toneladas de desechos de jardinería diariamente (UNAM, 1999). La mayor parte de estos residuos biomásicos son tratados en una planta de composta, en donde se reciben entre 25 y 30 m³ diarios (Montoya, 2001, 2004). En el 2000 se calculó que por desechos de jardinería se produjeron 1,200 m³ de composta (UNAM, 2001). Para el 2013 se generaron 11,860 m³ de materia orgánica que fue procesada en la Planta de Composta de CU (UNAM, 2014). En cuanto a los eucaliptos, tan sólo en 1996 se eliminaron 4,213 individuos, con los cuales se obtuvieron 950 m³ de composta, ascendiendo la producción para el año 2000 a 1,200 m³ (UNAM, 2001).

En el campus universitario se habían registrado a principios de la década de 2000 16,852 individuos de árboles y arbustos pertenecientes a 43 familias, 73 géneros y 111 especies (Y. Olalde-Oldaña, com. pers), lo cual es importante pues las plantas leñosas y las hierbas son las que pueden producir más energía mediante un proceso de conversión bioenergética (McKendry, 2001). Las tres especies de eucaliptos (Myrtaceae) que habitan CU son *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., *E. globulus* Labill. y *E. cinerea* F.Muell. ex Benth. (Rodríguez y Cohen-Fernández, 2003; CONABIO, 2015; Kelly y Delgado, 2015). Tanto los eucaliptos (principalmente *E. camaldulensis*) como el pasto kikuyo, *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. (Poaceae), son dos componentes muy importantes como generadores de biomasa en los desechos de jardinería.

1.3.1. El caso de Eucalyptus camaldulensis. Los eucaliptos comenzaron a ser plantados fuera de Australia en Inglaterra en 1777, para después expandirse por Europa (Silva y Gurdi, 2002). Su éxito en este continente se debió a su rápido crecimiento, a que dan buena sombra, por su madera como combustible y por sus hojas medicinales (López y Zamudio, 2002). Debido a la creencia popular de que los eucaliptos podían absorber gases nocivos de las zonas pantanosas y evitar así el paludismo, fueron plantados en California y México en el último tercio del siglo XIX (Silva y Gurdi, 2002). Miguel

Ángel de Quevedo fue el responsable de traer en grandes cantidades eucaliptos a nuestro país (López y Zamudio, 2002) y, aunque probablemente con buenas intenciones, no fue capaz de vislumbrar el problema ecológico que implica la introducción de una especie exótica (Cano-Santana *et al.*, 2006).

E. camaldulensis es una especie de árbol perennifolio nativa de Australia de follaje medio, crecimiento rápido, longevidad de 50 a 70 años, con hojas simples lineares y lanceoladas, una floración que ocurre de marzo a septiembre y una fructificación que experimenta de agosto a noviembre (Rodríguez-Sánchez y Cohen-Fernández, 2003). Rockwood *et al.* (2008) discuten que los eucaliptos han sido exitosos ya que son plantas exóticas muy tolerantes a ambientes estresantes, debido a adaptaciones tales como crecimiento indeterminado, capacidad para rebrotar, presencia de tubérculos leñosos, resistencia a insectos y tolerancia a sequías, a fuego y a la acidez y baja fertilidad del suelo. Además, agrega que los eucaliptos presentan alta densidad en su madera, lo que las hace adecuadas para ser usada como combustible y en la producción de papel. Debido a esto, *E. camaldulensis* es una de las cuatro especies que representan el 80% de las plantaciones de eucalipto en el mundo.

Tienen el defecto, como árboles de uso urbano, de tener ramas quebradizas que si se les quiere remover rebrotan de sus tocones con facilidad, en tanto que sus hojas presentan sustancias alelopáticas que impiden el desarrollo de otras plantas; además, tienen una gran capacidad para absorber agua del subsuelo (Rodríguez-Sánchez y Cohen-Fernández, 2003). Otras desventajas para usar este eucalipto se mencionan a continuación (López y Zamudio, 2002). Aunque en su hábitat natural la amplia diversidad de eucaliptos mantiene un control en los tamaños poblacionales de cada especie por competencia, su uso en monocultivos o en hábitats nuevos libres de competencia provoca que éstos tengan ventajas competitivas sobre todo considerando su gran capacidad para rebrotar y para producir sustancias alelopáticas. Su uso en ecosistemas no nativos reduce la diversidad de especies vegetales y la frecuencia de aves. Su área de influencia incrementan la erosión y empobrecimiento del suelo debido a sus altas tasas de consumo de agua y nutrientes, lo que impide el crecimiento del sustrato herbáceo. Su sistema reticular puede ser poco profundo si hay poco suelo, por lo que a los pocos años éstos tienden a desgajarse por su peso y corpulencia.

Segura-Burciaga (2009), al estudiar a los eucaliptos de CU, discute que estos árboles han dominado un estrato del dosel mucho más elevado por lo que han afectado profundamente la cantidad luz que llega a los estratos inferiores. Otro dato interesante

es que la comunidad vegetal bajo los eucaliptos una menor riqueza y cobertura de especies nativas que en zonas de Pedregal sin eucaliptos. Por éstas y otras características adversas, desde 1991 la UNAM ha realizado un programa de control de eucaliptos. También menciona que *Eucalyptus camaldulensis* (identificada por él como *E. resinifera*) fue plantada prácticamente en todos los bordes de la vialidad de CU y también en sus jardines y camellones. Además, estima que hay unos 28,000 individuos en todo el campus.

1.3.2. *El caso de Pennisetum clandestinum*. Mears (1970) hace una revisión detallada del pasto kikuyo, según se expone a continuación. El nombre común fue dado por el pueblo Kikuyu en Kenia, que vive donde el pasto prospera. Los viajeros y cazadores al pasar por estas tierras altas a principios del siglo XX quedaron impresionados por su vigor, por lo que lo introdujeron a diversos países. Es un pasto postrado perenne que puede alcanzar una altura de hasta 46 cm. Se propaga a través de vigorosos rizomas y estolones, presentando crecimiento de raíces en los nodos con abundantes ramificaciones. Pequeñas hojas se forman de los estolones agrupadas en brotes y la superficie foliar presenta vellosidades. La lígula se puede reconocer por un aro de pelos y un collar amarillo pálido. Las flores son pequeñas y se agrupan en espigas bisexuales o unisexuales. Los estigmas son ramificados y plumosos y sus semillas miden 2 mm de largo, son planas, elipsoidales y de color café oscuro. Se distribuye en suelos volcánicos naturalmente, por lo que puede adaptarse a este tipo de ambientes con mucha facilidad. La productividad del pasto depende directamente de la cantidad de nitrógeno disponible y debido a su capacidad para almacenar agua puede soportar los efectos del periodo de secas, sobre todo si no tiene limitaciones nutrimentales.

Marais (2001) discute que el pasto kikuyo exuda compuestos fenólicos que reducen la germinación de semillas y el crecimiento de otras plantas, lo cual es un mecanismo importante que le da ventajas ecológicas y permite su dominancia. Estas mismas características que convierten al kikuyo en una hierba deseable para pastura, también la convierten en una planta arvense difícil de controlar, por lo que el correcto manejo de este pasto es de vital importancia para el desarrollo de las plantas nativas de la REPSA.

1.6. Justificación

Pensar de forma ecosistémica, integral u holística es fundamental para resolver las problemáticas ambientales actuales. Lo que antes se pensaba que era basura debe

replantarse y ser considerado como un recurso del que se puede obtener beneficios ambientales y sociales. Los trabajos de restauración y los desechos orgánicos que se derivan de ellos pueden ser vistos como una nueva fuente de recursos energéticos. Esto abre un panorama rico y poco explorado que los ecólogos debemos considerar.

La UNAM fue posicionada en el 2015 como la mejor universidad en México, la segunda en Latinoamérica y entre el lugar 71-80 a nivel mundial según el Times Higher Education (2015). Por ello es natural que sea pionera en la investigación de tecnologías alternativas y que sirva como modelo energético para el desarrollo futuro en todo el país. Desde la creación del Programa Universitario de Medio Ambiente (PUMA) en 1991 la UNAM ha mostrado interés y preocupación en optimizar el uso de energías y en el mejoramiento las áreas verdes en el campus, así como un compromiso por abordar y resolver los problemas ambientales (UNAM, 1994, 1999; PUMA, 2015).

Aunque el Instituto de Ingeniería de esta casa de estudios ha desarrollado los biodigestores en el marco del proyecto “Generación de energía eléctrica para el alumbrado de algunas calles de la Ciudad Universitaria por medio de gasificación de residuos biomásicos orgánicos” (IINGEN, 2007), se desconoce el potencial para generar electricidad que tendría el uso de los desechos de jardinería. Estos ocasionan problemas para la REPSA por lo que su aprovechamiento como combustible renovable representa una atractiva solución. Asimismo, dos plantas que también repercuten negativamente en la REPSA y de las cuales se desconoce su potencial para producir energía eléctrica son los eucaliptos (principalmente *E. camaldulensis*) y *P. clandestinum*. El control de estas dos especies exóticas puede generar un doble beneficio ya que además de favorecer al ecosistema nativo, brinda la oportunidad de extraer energía a partir de la biomasa derivada.

2. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es determinar la producción de biomasa y energía a partir de los residuos de jardinería en CU.

Para ello se plantean los siguientes objetivos particulares:

1. Conocer la composición de los materiales de origen tanto biótico como abiótico en los contenedores de residuos de jardinería y cómo varía a lo largo de un año.
2. Determinar la cantidad total de desechos de jardinería de los contenedores que se generen durante un año.
3. Conocer el contenido energético de las plantas presentes en los contenedores.
4. Determinar la productividad primaria neta aérea (PPNA) de *Pennisetum clandestinum* (pasto kikuyo) en zonas de riego y naturales de CU, bajo la posibilidad de que estas áreas sean usadas para incorporarlas en un programa de generación de energía.
5. Conocer la abundancia de eucaliptos (*Eucalyptus* spp.).
6. Determinar la cantidad total de biomasa y energía almacenada en los eucaliptos de CU, considerando la posibilidad de utilizarlos con este propósito dentro de un programa de reemplazo por otro tipo de árboles por sus efectos dañinos a los ecosistemas urbanos.

3. SITIO DE ESTUDIO

Ciudad Universitaria (CU; 19° 18' 17''—19° 20' 15'' norte, 99° 10' 12''—99° 12' 6'' oeste y 2,262—2367 m s.n.m; UNIATMOS, 2015) se localiza sobre el Pedregal de San Ángel, un derrame de lava ocurrido hace 1,670 años por la erupción del volcán Xitle que cubrió originalmente 80 km² (Siebe, 2009). Tiene un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (Cwbg), con una temperatura media anual de 15.5 °C (que oscila entre -6 y 34.6 °C), y una precipitación promedio anual de 870.2 mm (Rzedowski, 1954). Existe una estacionalidad marcada, pues se registra una temporada de lluvias de junio a noviembre y otra seca de noviembre a mayo (Rzedowski, 1954).

La vegetación se puede clasificar en *vegetación ornamental* de las áreas verdes y matorral xerófilo nativo. La vegetación ornamental se encuentra distribuida a lo largo de todo el campus (principalmente en las áreas verdes) y consta de una amplia variedad de especies exóticas, introducidas y nativas. Por otra parte, el *matorral xerófilo* se presenta principalmente en la REPSA y en decenas de manchones de vegetación distribuidos por todo el campus y que cada vez van desapareciendo por el crecimiento urbano.

La REPSA (19°18'21''—19°20'11'' norte, 99°10'15''—99°12'4'' oeste, 2,254—2,349 m s.n.m y 237.3 ha) cubre el 33% de la superficie del campus (Lot y Camarena, 2009) y fue declarada originalmente como “zona ecológica inafectable” en 1983 (Peralta-Higuera y Prado-Molina, 2009).

Su flora está constituida por 373 especies (Castillo-Argüero *et al.*, 2009) y su comunidad vegetal fue clasificada por Rzedowski (1954) como *Senecionetum praecosis*, debido a la abundancia de la planta suculenta conocida como “palo loco” [*Senecio* (= *Pittocaulon*) *praecox* (Cav.) Rob. & Brettell]. Las especies dominantes, de acuerdo a su aporte a la PPNA son: *Muhlenbergia robusta* (Fourn.) Hitchc. (Poaceae), *Verbesina virgata* Cav. (Asteraceae), *Buddleia* (= *Buddleja*) *cordata* Kunth (Scrophulariaceae) y *Dahlia coccinea* Cav. (Asteraceae) (Cano-Santana, 1994) Existe una gran variedad de microclimas que ha permitido un mosaico de hábitats (Peralta-Higuera y Prado-Molina, 2009), contando con lugares planos, oquedades, grietas, paredes, hondonadas, promontorios y cuevas (REPSA, 2015).

La REPSA alberga una gran diversidad de organismos que también pueden distribuirse por otros terrenos de CU, entre los que se cuentan 15 especies de peces (Espinosa-Pérez, 2009), 30 especies de anfibios y reptiles (Méndez de la Cruz *et al.*,

2009); 148 especies de aves (Chávez-Castañeda y Gurrola-Hidalgo, 2009) y 33 especies de mamíferos (Hortelano-Moncada *et al.*, 2009).

Los servicios ecosistémicos que brinda la REPSA y los remanentes de este tipo de hábitat natural de todo CU son múltiples, entre los que se encuentran: provisión de recursos genéticos por su alta biodiversidad, recarga de mantos freáticos, regulador microclimático, lugar con valor histórico y paisajístico, permite a la comunidad científica realizar numerosos estudios, es un centro recreativo y cultural, y permite la incorporación y flujo de materia y energía que permite mantener una alta biodiversidad (Nava-López *et al.*, 2009). Otros servicios ambientales son la calidad del aire, la reducción de la contaminación sónica, las cualidades visuales del paisaje, así como la posibilidad de realizar actividades deportivas, recreativas y culturales, que inciden en la calidad de vida de la población que la visita y conoce (Peralta-Higuera y Prado-Molina, 2009).

La Ciudad Universitaria y su reserva son lugares únicos en el mundo. El pedregal, incrustado en una megaurbe, con su alta heterogeneidad y variaciones microclimáticas ha permitido el desarrollo de una gran biodiversidad y por ende ha fungido como un laboratorio natural excepcional para el estudio de los procesos sucesionales y evolutivos de las comunidades presentes sobre una isla de lava (Lot y Camarena. 2009).

4. MÉTODOS

4.1. Cantidad y composición de materiales en los contenedores de desechos de jardinería

Con el fin de conocer la composición y cantidad de materiales que se depositan en los contenedores de residuos de jardinería de CU se realizaron cuantificaciones mensuales de enero a diciembre de 2006. En los primeros tres meses de muestreo se analizaron siete contenedores para desechos de jardinería. Se separaron los componentes y su biomasa fue pesada en fresco. Aunque este método permite una alta precisión en la cuantificación de la cantidad relativa de cada tipo de materiales, esto requiere invertir mucho esfuerzo y tiempo, por lo que se optó por cambiar de método, por lo que de abril a diciembre se cuantificó la aportación relativa de cada tipo de materiales de 11—16 contenedores por mes) utilizando el método de intercepción de línea o línea de Canfield (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974). Este método permite conocer la cobertura relativa (*i.e.*, el área relativa) de los componentes vegetales en un contenedor. Para ello, los residuos del contenedor se depositaron en el piso y se extendieron en una área de 4 × 4 m, procurando que el espesor del contenido fuera homogéneo. Se trazaron tres líneas paralelas a lo largo y perpendicularmente tres a lo ancho, todas ellas de 4 m. Se registró la cobertura que cubrió cada componente vegetal a lo largo de las líneas. La cobertura relativa de cada componente *i* ($Cob_{rel(i)}$) se calculó de la siguiente manera:

$$Cob_{rel(i)} = (\text{Suma de la longitud cubierta por el componente } i) / (\text{Suma de las longitudes de todos los componentes en el contenedor}).$$

Se tomaron muestras de entre 50 y 500 g de peso fresco de cada uno de los componentes de los contenedores. El peso fresco de las muestras se obtuvo inmediatamente en el laboratorio, mientras que su peso seco se determinó después de que haber secado las muestras a 50 °C a peso constante. Posteriormente, se calculó el contenido de humedad (C.H.) de cada elemento con la siguiente ecuación:

$$C.H. = ((\text{peso húmedo} - \text{peso seco}) / (\text{peso húmedo})) \times 100 \%$$

El C.H. es importante ya que en el proceso de biogasificación es conveniente que el valor sea bajo para obtener una mayor eficiencia. Si el valor es mayor al 30% es conveniente invertir energía para disminuir el contenido de humedad (McKendry, 2001). A partir del peso húmedo se calculó la fracción no acuosa como $1 - (C.H./100)$.

Finalmente, se solicitó el registro del número de contenedores que se recogieron cada mes en CU a la Planta de Composta. De este modo, se estimó la cantidad total de biomasa y energía biomásica en desechos de jardinería que se generan y cómo varía ésta a lo largo del año. Para conocer la biomasa promedio que genera cada contenedor, de enero a abril del 2006 se pesó en fresco el contenido de nueve contenedores. De mayo a diciembre del 2006 se revisó la cobertura de los elementos de cuatro contenedores mensualmente.

4.3. Eucaliptos

Para conocer la biomasa y energía potencial almacenada en los eucaliptos de CU, como una medida de la cantidad de que se podría extraer manteniendo un programa de remoción, se hizo lo siguiente. Se calculó la abundancia de eucaliptos con base en la determinación del área de distribución de éstos en CU mediante una imagen área ortocorregida facilitada por el Instituto de Geografía de la UNAM y una estimación de la densidad de éstos.

Para determinar la densidad de eucaliptos se delimitaron las áreas donde se distribuyen y se seleccionaron dentro de ellas al azar 50 puntos de muestreo, alrededor de los cuales se delimitaron parcelas circulares de 100 m² donde se cuantificó el número de individuos y el perímetro a la altura del pecho (*pap*, a 1.3 m de altura) de cada uno de ellos. El área de distribución se calculó usando la misma imagen del campus y usando el programa AutoCad 2009 (Figura 4.1).

Para estimar la biomasa seca de los eucaliptos, se generó una ecuación de regresión lineal a partir del área basal del tronco, a partir de los datos de ocho ejemplares de *E. camaldulensis* de distinta talla removidos y pesados en fresco. El peso seco y la determinación del contenido calórico de estos componentes se obtuvieron a partir del secado de tres alícuotas de troncos y ramas de cada uno de los ocho individuos removidos. El área basal (*AB*) de cada árbol se calculó como:

$$AB = (pap)^2 / (4\pi)$$

Se calculó el promedio de *AB* por cada muestra y a partir de éste y usando la ecuación de la regresión se determinó la cantidad de biomasa promedio por muestra. Conociendo el área basal promedio de las muestras y la ecuación de la regresión lineal, así como el área total donde se distribuyen en CU se determinó la biomasa total que aportan los eucaliptos en esta área.



Figura 4.1. Localización de los 250 parcelas circulares de 100 m² para determinar la densidad de *Eucalyptus* spp. El área total donde se distribuyen los eucaliptos fue de 38.72 ha.

4.3. PPNA del pasto kikuyo

Se calculó la productividad primaria neta aérea (PPNA) de los pastos que se ubicaron dentro del campus mediante cosechas sucesivas por el periodo de un año, comprendido de diciembre de 2005 a noviembre de 2006. Se seleccionaron cuatro parcelas de 64 m²,

dos localizadas en las áreas jardinadas sujetas a riego constante y dos en áreas de REPSA con riego de temporal natural. Se seleccionaron al azar en cada tipo de zona ocho cuadros mensuales de 50×50 cm (0.25 m^2) que fueron cosechados cortando la vegetación a ras del suelo. Las muestras se llevaron a laboratorio donde se secaron a peso constante a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ y se pesaron. Todos estos datos fueron tomados en el marco del megaproyecto “Generación de energía eléctrica para el alumbrado de algunas calles de la Ciudad Universitaria por medio de gasificación de residuos biomásicos orgánicos” a cargo del Dr. Javier Aguillón y dentro del subproyecto a cargo del Dr. Zenón Cano-Santana.

Se usó el método de incrementos positivos de la biomasa en pie obtenida cada mes para determinar la productividad. Para obtener las diferencias de un mes a otro se resta el peso obtenido en el mes ($i + 1$) al peso del mes i . Finalmente, se suman únicamente las diferencias positivas, cuyo resultado es la PPNA.

Por otro lado, con un plano de CU se cuantificó la superficie de las áreas cubiertas con el pasto kikuyo usando el programa AutoCad. En el mismo, se observan edificios y construcciones que no permiten ver a detalle las áreas con pasto, por lo que se realizó un esquema más detallado utilizando una imagen digital aérea del campus con el programa ArcView.

4.4. Contenido calórico

Debido a los costos que se generarían para analizar el contenido energético de los 133 elementos encontrados en los contenedores revisados a lo largo del año de estudio, únicamente se estimó el contenido energético de los 16 elementos más importantes, los cuales fueron los que más biomasa aportaron en los contenedores durante el año. De cada uno de estos elementos se tomaron alícuotas de entre 5 y 20 g dependiendo de su morfología y se secaron a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ a temperatura constante. Una vez que las muestras se secaron se colocaron de 1 y 1.5 g en cápsulas para realizar las pruebas en una bomba calorimétrica adiabática Parr Mod. 1108. A cada determinación se le restó el contenido calórico promedio de las cápsulas utilizadas.

5. RESULTADOS

5.1. Biomasa y energía de residuos de jardinería

Se registraron 133 componentes diferentes en los contenedores de jardinería, de los cuales 130 son plantas y tres corresponden a basura inorgánica, piedras y tierra (Tablas 5.1 y A12 en apéndice 1). El eucalipto (*E. camaldulensis*), el fresno (*Fraxinus uhdei*), el pirul (*Schinus molle*) y el pasto kikuyo (*P. clandestinum*) fueron las cuatro especies con mayor contribución a los desechos de jardinería del campus universitario al ser especies que aportaron arriba del 50% de biomasa; en contraste, la basura inorgánica aportó el 0.47% (Tabla 5.1). El detalle de la variación entre meses se muestra en las Tablas A1 a A11 del apéndice. Las 16 especies vegetales más importantes en los contenedores aportaron el 77.3% de la biomasa vegetal. Durante el estudio no se pudieron identificar 37 morfoespecies vegetales debido a que sólo eran fragmentos o partes que no se podían distinguir, no obstante, su aporte al balance anual fue menor al 0.5 % (ver Tabla A12). En mayo y junio se encontró un importante aporte de *Fraxinus uhdei* y *Schinus molle* debido al aumento en actividades de tala y poda por parte de la Coordinación de Áreas Verdes y Forestación (Tablas A4 y A5), lo cual no se encontró en abril (Tabla A3). La actividad de la Coordinación también se vio reflejada en junio al intensificarse los trabajos de retiro de individuos de *E. camaldulensis* en riesgo de caer (Tabla A5).

La fracción no acuosa de los 16 principales componentes de los contenedores de residuos de jardinería varió entre 0.2 y 0.83, con un promedio de $0.46 \pm .04$ e.e. (Tabla 5.1). Esta variación fue más alta en los 117 componentes restantes (0.1-0.96; Tabla 5.1). El contenido calórico, por su parte, varió entre 15.9 y 22.8 kJ g⁻¹ en los 132 componentes vegetales, con un promedio de $19.43 \pm$ e.e. 0.58 kJ g⁻¹ (Tabla 5.1). El contenido de agua de los residuos vegetales registrados de abril a mayo en los contenedores mostraron una alta variación que va desde el 6.8 al 88.3% (Tabla 5.2).

El número de contenedores promedio que se genera mensualmente en CU es de $180 \pm$ e.e. 14.17 ($n = 12$), cada uno de ellos acumuló en promedio $473.44 \pm$ e.e. 41.6 kg de peso fresco (pf) (rango: 293.5-668.0 kgpf; $n = 9$). Con estos datos se estima que la biomasa producida por desechos de jardinería en CU es de 1,022 Mgpf año⁻¹. Con el aporte anual y el contenido calórico de los 130 elementos orgánicos se calculó que la energía contenida en los desechos de jardinería es de 8.73 TJ año⁻¹, lo que equivale a 208 Mg de petróleo. Usando una eficiencia del 30% en la conversión energética (Demirbas, 2006), obtendríamos anualmente por desechos de jardinería colectados 0.72

GWh, que podrían ser usados para mantener 2,769 focos ahorradores de 30 W prendidos durante un año.

Tabla 5.1. Porcentaje del aporte anual de biomasa, fracción no acuosa y contenido calórico (kJ/g \pm e.e.) de las 16 especies que más aportaron por este concepto en los contenedores de jardinería de Ciudad Universitaria, D.F. de noviembre del 2005 a diciembre del 2006. En el caso del pasto kikuyo se subdivide en dos a partir de la columna de la fracción acuosa ya que hay zonas de riego y de temporal, considerando que el tipo de pasto en los contenedores es de riego. Los valores correspondientes a los otros 117 elementos se calcularon promediando los valores de los elementos más representativos.

Especie	Aporte anual (%)	Fracción no acuosa	Contenido calórico promedio (kJ g ⁻¹ \pm e.e.)	N
<i>Pennisetum clandestinum</i>	18.8	Temporal 0.42	21.693 \pm 0.828	4
		Riego 0.24	19.245 \pm 0.147	4
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	15.25	0.45	12.980 \pm 0.704	48
<i>Fraxinus uhdei</i>	12.07	0.60	22.843 \pm 0.569	2
<i>Schinus molle</i>	7.50	0.44	22.762 \pm 2.787	2
<i>Liquidambar styraciflua</i>	4.27	0.83	17.880 \pm 0.295	3
<i>Ligustrum japonicum</i>	4.00	0.38	20.550 \pm 0.060	2
<i>Dombeya wallichii</i>	2.17	0.37	15.915 \pm 1.133	4
<i>Pinus radiata</i>	2.00	0.45	21.625 \pm 1.571	4
<i>Ficus benjamina</i>	1.90	0.49	16.781 \pm 0.475	4
<i>Grevillea robusta</i>	1.72	0.76	20.051 \pm 0.479	4
<i>Ficus retusa</i>	1.57	0.41	18.597 \pm 0.509	4
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	1.50	0.41	20.476 \pm 0.459	3
<i>Buddleia cordata</i>	1.33	0.39	19.396 \pm 0.123	2
<i>Casuarina equisetifolia</i>	1.30	0.49	20.163 \pm 0.192	4
<i>Cupressus lusitanica</i>	1.00	0.56	21.105 \pm 0.703	4
<i>Ficus elastica</i>	0.90	0.20	18.242 \pm 0.640	4
117 elementos restantes	22.72	0.1-0.96	19.430 \pm 0.619	17

Tabla 5.2. Contenido de agua de algunos elementos encontrados en los contenedores de Ciudad Universitaria de enero a abril. No id. = no identificada.

Elemento	Contenido de agua (% ± e.e.)	N
<i>Fraxinus uhdei</i>	6.8	1
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	7.5 ± 0.2	2
<i>Ficus elastica</i>	9.1	1
Hojarasca mixta	10.1 ± 0.4	2
<i>Liquidambar styraciflua</i>	12.5 ± 0.02	2
Hierba seca	17	1
Pino sp. 2	18.8	1
<i>Bougainvillea glabra</i>	26.1	1
Sp. 4	34.7	1
<i>Ficus benjamina</i>	43 ± 0.9	3
Rama mixta	44.9	1
<i>Buddleia cordata</i>	46.4	1
Pino sp.1	46.4 ± 0.4	2
<i>Schinus molle</i>	49.4 ± 0.6	3
<i>Polypodium</i> sp.	62.6	1
Hierbas no id.	88.3	1

5.2. Biomasa y energía en eucaliptos

A partir de la remoción de ocho eucaliptos *E. camaldulensis* en CU se obtuvo la ecuación de regresión que nos permitió saber el peso de otros eucaliptos a partir de las medidas de su área basal derivada de las medidas del perímetro a la altura del pecho (*i.e.*, 1.3 m de altura; Tabla A13 de apéndice 2). La ecuación de la regresión obtenida para estimar el peso seco de los eucaliptos presentes en CU por medio del área basal fue la siguiente: $B_s = 0.2528 AB^{1.0331}$ ($r^2 = 0.911$, $n = 8$; Figura 5.2) donde B_s es la biomasa seca (en kg) y AB el área basal (en cm^2). El área total de distribución de los eucaliptos en 2011 fue de 38.72 ha. Se encontraron 222 árboles en las 50 unidades de muestra de 100 m^2 . Los resultados fueron los siguientes: el rango del número de árboles por muestra fue de uno a siete, mientras que la densidad fue de 4.44 ± 0.3 ind/100 m^2 ; el perímetro a la altura del pecho (*pap*) promedio por árbol fue de 96.7 ± 7.5 cm (rango: 4.0—297.8 cm), mientras que el área basal promedio por árbol fue de 780 ± 105.3 cm^2 (rango: 1.3—3569.8 cm^2), con una biomasa promedio de 249.3 ± 34.6 kgps/100 m^2 (rango: 0.3—1181.1 kgps/100 m^2).

Con los datos anteriores, se calcula que CU alberga 17,192 árboles de eucaliptos con una biomasa acumulada de 4.3 Ggps que contiene 55.6 TJ, lo que equivaldría a 1.3 Gg de petróleo. Tomando una eficiencia de conversión energética del 30% (Demirbas,

2006), potencialmente se podrían producir 4.6 GWh, con lo que se podrían tener 17,640 focos ahorradores de 30 W encendidos durante un año.

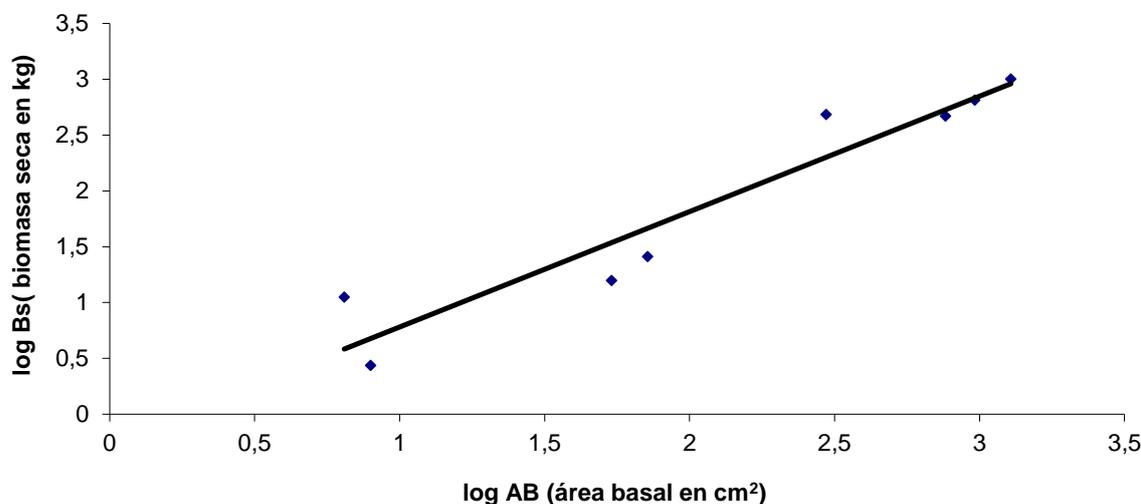


Figura 5.2. Regresión logarítmica para estimar la biomasa seca (kgps) de los individuos de *Eucalyptus camaldulensis* en Ciudad Universitaria mediante su área basal (cm²).

5.3. PPNA de pasto kikuyo

Ciudad Universitaria cuenta con un área cubierta por el pasto kikuyo de 87.34 ha. De las cuales 66 ha son de temporal y 21.34 ha de riego. Estas áreas fueron calculadas a partir de una imagen área de CU de 2009. Las áreas que ocupan más espacio son las áreas de amortiguamiento de la REPSA (zonas de temporal); en tanto que de las 21.34 ha de riego, las canchas de entrenamiento, las Islas y Pumitas contribuyen con una mayor superficie (Tabla 5.4).

La biomasa de pasto kikuyo fue significativamente mayor en las parcelas de temporal que en las parcelas de riego continuo ($t= 8$, g.l.= 11, $p < 0.05$). Esta biomasa varió de $571.5 \pm e.e. 53.4 \text{ g m}^{-2}$ (en diciembre de 2005) a $699.2 \pm 55.9 \text{ g m}^{-2}$ (en noviembre de 2006), mientras que en las parcelas de riego continuo se registran valores de entre $190.0 \pm 33.1 \text{ g m}^{-2}$ (en diciembre de 2005) a $494.3 \pm 38.3 \text{ g m}^{-2}$ (en noviembre de 2006) (Figura 5.2). Con estos datos se calculó una PPNA en zonas de temporal de $673 \pm 23 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ de, en tanto que en zonas de riego se registró $317 \pm 27 \text{ g m}^{-2} \text{ año}^{-1}$, respectivamente aportaron 444,180 y 67,647 kgps año⁻¹ (Tabla 5.5).

Tabla 5.4. Área de Ciudad Universitaria cubierta con pasto kikuyo. No se considera la zona núcleo de la REPSA.

Zona	Área (ha)
Riego	
Islas Rectoría	1.90
Islas campus central	5.00
Estadio de prácticas	0.72
Estadio olímpico universitario	0.69
Canchas de entrenamiento	5.97
Pumitas	4.10
Otros	2.96
Temporal	
Áreas de amortiguamiento de la REPSA	66.00
Total	87.34

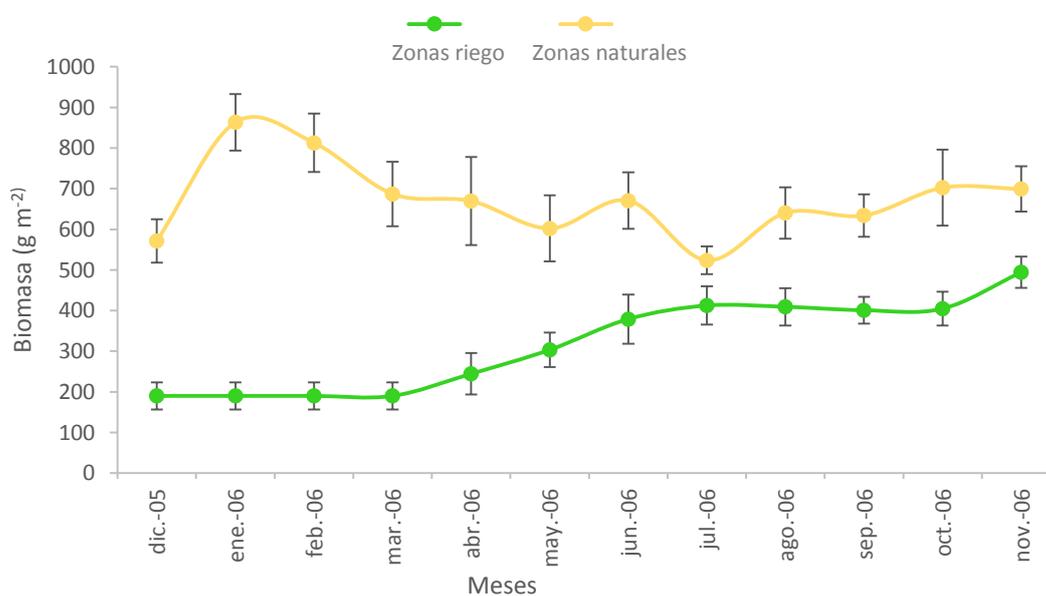


Figura 5.2. Variación mensual de la biomasa seca (g/m² ± e.e.) del pasto kikuyo en el periodo de un año ($n = 16$).

El aporte de biomasa en las zonas de temporal fue mucho mayor que en las zonas de riego debido a que presentó mayor área de cobertura, mayor PPNA y mayor contenido calorífico (Tabla 5.5). Conociendo la PPNA y la cobertura de las zonas de

riego y temporal se obtiene que mensualmente se producen 511,827 kgps año⁻¹ de pasto kikuyo, lo que potencialmente almacena 10.9 TJ año⁻¹ (Tabla 5.5). Usando una eficiencia de conversión energética del 30% (Demirbas, 2006) tendríamos potencialmente 0.9 GWh con lo que se pueden tener prendidos 3,516 focos ahorradores de 30 W prendidos durante un año.

Tabla 5.5. PPNA (\pm e.e.), área que cubren, biomasa mensual y potencial energético mensual de pastizales de *P. clandestinum* en zonas de riego y zonas de temporal de Ciudad Universitaria, D.F.

Zona	PPNA (g m ⁻² año ⁻¹)	Área (ha)	Biomasa (kgps año ⁻¹)	Energía potencial (TJ año ⁻¹)
Temporal	673 \pm 23	66.00	444,180	9.6
Riego	317 \pm 27	21.34	67,647	1.3
Total	-	87.34	511,827	10.9

6. DISCUSIÓN

6.1. Bioenergía en CU y desechos de jardinería

Para tener una idea del potencial de CU compararemos los datos de este estudio con los resultados de tres proyectos donde se contabiliza la producción de residuos de jardinería en ecosistemas urbanos. Primero compararemos el campus con dos ciudades chinas. Puyang cuenta con 1,632 ha jardinadas y una producción de desechos de 800 Mgpf año⁻¹; y Jingan con 97 ha de jardines y una producción de residuos de 2,260 Mgpf año⁻¹ (Shi *et al.*, 2013). Ciudad Universitaria cuenta con 140 hectáreas de áreas jardinadas y su productividad por desechos es de 1,022 Mgpf año⁻¹.

Comparada con Puyang, CU es más productivo ya que produce 222 Mgpf más anualmente, aunque su área jardinada es mucho menor. Esto puede deberse a que el clima de esta ciudad china es más extremo. Su temperatura promedio es de 13° C (oscila entre -21 y 43.1 °C) con una precipitación anual entre 502 y 601 mm (HPTA, 2015). La temperatura promedio de CU es de 15.5° C (oscila entre -6 y 34.6 °C) con una precipitación promedio anual de 870.2 mm (Rzedowski, 1954). El clima templado del campus puede favorecer una mayor productividad al ser en promedio más cálido y húmedo. Además, los 3.5 millones de personas que habitan el área urbana china (HPTA, 2015) pueden afectar tanto la producción del ecosistema por estrés, como la precisión de las mediciones al usar parte de la biomasa. Al comparar con Jingan encontramos que el campus universitario es menos productivo ya que esta ciudad china posee 43 ha menos jardinadas y una producción de más del doble. La causa de esto puede ser que Jingan, al ser parte de Shanghai, está sometida a los programas de conservación y sustentabilidad que comenzaron desde el 2002 con el propósito de convertir a esta megaurbe en la “Ciudad-jardín nacional” (Hu Xin, 2003).

Para comprar el contenido calórico de los desechos de este estudio usaremos datos de un proyecto en Richmon, Canadá. El sistema que usan para producir biogás tiene la capacidad de procesar 17,687 Mgpf para generar 6.78 GWh anualmente (Gobierno de Canadá, 2015). Esto nos permite calcular que 1,022 Mgpf de su biomasa pueden producir 0.39 GWh. Esa misma cantidad en CU nos estaría aportando casi el doble de energía (0.72 GWh). Por lo tanto, el contenido calórico de los residuos de jardinería que encontramos en el campus es mucho mayor que el de los de Richmon.

Pero, ¿cuánta energía pueden aportar los residuos al consumo energético de CU? El consumo total de electricidad para el año 2011 en CU fue de 83.6 GWh, siendo el

32.6% para iluminación (Sheinbaum *et al.*, 2012). Partiendo de estos datos, y considerando los 0.72 GWh potenciales en los residuos de jardinería, podemos afirmar que se podría cubrir aproximadamente el 2.7% del gasto energético para iluminación anual. Este porcentaje podría variar debido al aumento de construcciones, ya que se incrementa el consumo de electricidad y se reducen las áreas verdes. Sin embargo, el uso de biodigestores representa una atractiva solución al manejo de residuos biomásicos.

El uso de esta materia evitaría un aumento en el deterioro de la reserva. Cano-Santana *et al.* (2009) señala que un factor central de destrucción del ecosistema natural de la reserva ecológica es la desaparición del sustrato basáltico por la acumulación de cascajo o basura, lo que favorece la colonización de especies exóticas y malezoides que ofrecen un paisaje y una estructura vegetal completamente distinta a la natural. Aunque actualmente una parte de los residuos triturados se depositan cerca de CU en un camellón en la calle Delfín Madrigal (M. Ímaz, com. pers.), otra parte sigue siendo arrojada en la REPSA (Z. Cano-Santana, com pers.). La gasificación es una opción al tratamiento de desechos orgánicos tomando parte de la energía contenida en ellos (Belgiorno *et al.*, 2003), evitando así los problemas derivados de su manejo.

Por otro lado, al caracterizar la composición de plantas en los contenedores pudimos determinar de forma precisa el potencial energético y conocer la proporción de basura inorgánica que puede afectar el funcionamiento del gasificador. Kamińska-Pietrzak y Smoliński (2013) señala que conocer la composición de residuos y la presencia de plásticos y grasas permite seleccionar las condiciones del proceso, la catálisis y el uso de aditivos y la construcción de una unidad de purificación del gas.

Otro aspecto importante es que el biodigestor está cerca del sitio de recolección de biomasa ya que se ubica en la planta de composta de CU, por lo que el costo de transporte sería reducido. Diji (2013) sugiere que la conversión de biomasa debe ocurrir cerca del sitio de recolección para reducir la huella de carbono y los costos de transportación. En el presente caso se cumple este punto, con lo que se puede sugerir que el proyecto es sustentable, aunque hace falta un estudio que calcule los costos de transporte y almacenaje, las emisiones de gases de efecto invernadero y la captación de carbono de la REPSA.

Debe considerarse también que la extracción de biomasa sin reincorporación de nutrientes puede generar deterioro de los suelos. Una forma de regresar parte de los minerales al ecosistema es aplicar los residuos de la combustión, estas cenizas pueden

compensar parcialmente la pérdida de nutrientes (IEA, 2002), aunque Kamińska-Pietrzak y Smoliński (2013) señalan que es importante considerar que la producción de cenizas con metales pesados durante la gasificación puede integrarse a los ecosistemas adquiriendo una configuración química tóxica. Por lo tanto, un aspecto que debe monitorearse al usar biomasa es la condición del suelo y su transformación en zonas jardinadas y zonas de la REPSA si fuera el caso. Además, deben realizarse estudios para conocer la composición de las cenizas producto de la gasificación de manera que pueda garantizarse la sustentabilidad y salud de los suelos. Los estudios de productividad deben ser las guías operacionales para ajustar la intensidad de poda y el plan de manejo sustentable del sitio (IEA, 2002).

En el caso de la REPSA, Cano-Santana *et al.* (2009) discuten que la hojarasca proveniente de los materiales de las cuatro especies vegetales dominantes se descompone a razón de 51% al año, lo cual provoca que se acumule una cantidad considerable de materia vegetal como combustible en el mantillo. Aunado a esto la biomasa que aporta el pasto kikuyo y el mantillo originado por los eucaliptos facilitan los incendios (Cano-Santana *et al.*, 2006). Por lo tanto, una medida para reducir el impacto de los incendios en la reserva sería la remoción sustentable de estos dos elementos, con lo que se tendría un triple beneficio: menos incendios, control de especies exóticas que afectan la diversidad y producción de electricidad. El manejo de áreas naturales debe enfatizar la conservación de la biodiversidad, protegiendo la estructura y funcionalidad del ecosistema (IEA, 2002).

6.2. Los eucaliptos

La mayoría de los estudios de biomasa de *E. camaldulensis* se hacen en plantaciones, por lo que usaremos datos de una en Tailandia y los compararemos con los de la población de CU. La densidad en estos sembradíos fue de 12.5 ind/100 m², con árboles con edades de 2, 3 y 4 años y aportes de biomasa de 24.3, 51.3 y 75.5 Mg ha⁻¹ respectivamente (Chakrapholwararit *et al.*, 1985). En el campus, la densidad encontrada fue de 4.44 ind/100 m² con un aporte de biomasa de 24.9 Mg ha⁻¹. Aunque la población de CU tiene una mayor edad el terreno en el que se distribuye es abrupto y con escaso suelo. La biomasa de la población solo es parecida a la de los eucaliptos cultivados de 2 años. Esto se debe principalmente a la alta densidad de la plantación que es casi tres veces mayor, a que no hay limitantes nutrimentales, a que el tamaño de los árboles es

uniforme lo que disminuye el efecto de sombra y a que el clima tropical de Tailandia favorece el crecimiento óptimo de los eucaliptos (Cheamwongsa, 2010).

Aun así, la población de eucaliptos de CU tiene el potencial de cubrir el 17.0% de la demanda de energía para iluminación anual del campus. Pero hay varios aspectos a considerar: *E. camaldulensis* fue introducido a la reserva en la década de 1950 a la Ciudad Universitaria y ha invadido sobre todo los bordes de la REPSA (Cano-Santana *et al.*, 2009). Tomando en cuenta que los eucaliptos alcanzan su madurez a los 50 años, muchos de los árboles de la población han alcanzado su talla máxima y son peligrosos. Al tener un gran tamaño y estar en zonas con poco suelo la posibilidad de que una rama o incluso todo el árbol caigan es mucho mayor. Por ello, el plan de manejo del eucalipto debe centrarse en remover primero los árboles más viejos. La biomasa derivada del control de la planta exótica tiene un gran potencial, ya que la energía potencial que mantiene equivale a casi tres veces la energía por residuos de jardinería que se produce en un año.

En muchos lugares con alta demanda energética las plantaciones de eucaliptos son una buena opción energética (Rockwood *et al.*, 2008), pero en CU no es así. Los factores negativos sobre la biota endémica y los transeúntes convierten al eucalipto en una especie a controlar. Los desechos de dicho manejo tienen el potencial de proveer energía a corto y mediano plazo. Además, al ubicarse en los bordes de la reserva su extracción implica un menor gasto energético. También hay que considerar que durante la época de lluvias la extracción y secado de la madera es un problema (Ravindranath *et al.*, 2004).

Maravilla-Romero y Cano-Santana (2009) reportan una densidad de *E. camaldulensis* en zonas de amortiguamiento de 8.02 ind/100 m², la cual, al compararla con los 4.44 ind/100 m² de este estudio, encontramos que la densidad en las zonas de amortiguamiento es mucho mayor en todo CU. Esto indica que los sitios con mayor cantidad de biomasa se encuentran más accesibles, por lo que el costo energético de la extracción sería menor que en la zona núcleo. Por otro lado existían unos 28,000 eucaliptos en CU en 1994, aunque desde 1998 se dejaron de extraer de la REPSA, para el 2005 se habían eliminado 14,000 (Cano-Santana *et al.*, 2006; Segura-Burciaga, 2009). Este dato al compararlo con los 17,192 árboles calculados en este estudio podemos inferir que ha habido un aumento poblacional, por lo que se recomienda aumentar las acciones en el control de esta especie.

Hay que considerar que si utilizáramos todos los eucaliptos también se transformarían las dinámicas ecosistémicas. La remoción de estos árboles no debe representar una presión ecológica para la reserva. En el plan de extracción de biomasa de eucaliptos debe considerarse la mejor estrategia para removerlos por completo, prioritariamente de las zonas núcleo. Estas áreas presentarían la menor cantidad de biomasa, por lo que los trabajos podrían llevar menos tiempo a pesar de estar en un sitio menos accesible. En los camellones que corresponden a las zonas de amortiguamiento deberían removerse poco a poco para ir ayudando a su restauración ecológica con plantas nativas de la REPSA, ya que estas zonas están muy afectadas. Estos sitios con menor riqueza y cobertura de especies nativas (Segura-Burciaga, 2009) se verían beneficiados mejorando sus dinámicas ecosistémicas con un plan adecuado de restauración.

6.3. El pasto kikuyo

Al comparar la productividad de este estudio con la de revisión que hace van der Colf (2010) encontramos una baja productividad en CU. Él encontró al comparar 9 estudios de *P. clandestinum* que su productividad está entre los 6.24 y 35 Mgha⁻¹año⁻¹, mientras que en el campus fue en zonas de temporal y de riego de 807.6 y 380.4 kggha⁻¹año⁻¹ respectivamente. Mears (1970) encontró que al aplicar nitrógeno en un pastizal pasó de producir 750 a 2,454 kggha⁻¹, por lo que si se fertiliza la zona de riego podríamos tener mayores rendimientos y un mayor aporte de energía para electricidad. Aún con esta baja productividad, con lo que el pasto kikuyo genera en un año se podría cubrir el 3.3% de la energía destinada a iluminación en CU en un año. Por otro lado, contrastando la medición de 10.9 TJ año⁻¹ potenciales por la PPNA del kikuyo y los 0.4 TJ año⁻¹ potenciales en el pasto por desechos de jardinería, encontramos que 10.5 TJ año⁻¹ se están quedando en la reserva y sobre las zonas jardinadas. Esto podría deberse a que mucha de la biomasa en la zona de riego debe dejarse sobre el pasto para fertilizar parcialmente el suelo y en la zona de secas no hay mantenimiento, por lo que la biomasa sólo es retirada si hay alguna jornada de restauración o un incendio.

La PPNA fue más alta en la zona de temporal que en la de la zona de riego. Esto pudo deberse a que en las zonas de temporal se producen estructuras de resistencia a las sequías y en las zonas de riego que son sometidas a podas constantes los suelos podrían estar empobrecidos. En cuanto a la distribución de las cosechas sucesivas encontramos el comportamiento esperado en el caso de las zonas de riego, pero en las zonas de

temporal la distribución fue errática, con dos drásticas disminuciones en los meses de febrero y julio.

El pasto kikuyo es muy sensible a los niveles de nitrógeno en el suelo (Mears, 1970). Esto debe considerarse si se plantea la posibilidad de extraer la biomasa por poda, ya que debe evitarse el desgaste del suelo y mantener la sustentabilidad de las zonas con pasto. Asimismo, Marais (2001) sugiere que existen podas más eficientes para la productividad del pasto, por lo que estos dos aspectos se deben incorporar al plan de manejo de ser el caso. Su asociación con plantas nitrificantes de la reserva debe ser estudiada, ya que puede ser usada en las zonas de riego. Dicho plan deberá considerar prioritario retirar el pasto de las zonas de la reserva, ya que su alta competitividad y producción de sustancias alelopáticas (Marais, 2001) atenta contra la biodiversidad de la REPSA. Además, el pasto en zonas de temporal es más energético que el de zonas de riego (Tabla 5.1), por lo que puede aportar bastante energía al inicio del proyecto. De igual manera la tasa y manera de extraer el pasto debe planearse para garantizar la sustentabilidad ambiental del proyecto.

6.4. Seguridad energética, políticas públicas e información en la red

Una de las prioridades del gobierno debe ser garantizar la seguridad energética de la población a la que representa. Sin embargo la información que presenta la SENER (2012, 2013, 2014, 2015) muestra el cuasi nulo desarrollo de energías renovables y el interés del gobierno de México en hacer negocios con el sector privado. Aunque nuestro país está en el cuarto lugar en registros CDM (mecanismos de desarrollo limpio) con 117 proyectos, solamente 20 generan energía renovable debido a las políticas gubernamentales y al poco apoyo del sector privado (ECOFYS Germany GmbH, 2009). El desarrollo de energías limpias debería ser prioritario en nuestro país debido a que dentro de 15 años disminuirán drásticamente las reservas de petróleo según datos de BP (2014). En muchos países en desarrollo el uso de bioenergéticos no ha podido materializarse por el enorme número de retos políticos (Karekezi *et al.*, 2004).

Rockwood *et al.* (2008) señala que las políticas sustentables deben otorgar más subsidios a la agricultura y a su vez revisar los subsidios energéticos para poder internalizar los costos negativos de los combustibles fósiles. Una posibilidad es aplicar impuestos de carbono a las empresas que usen predominantemente combustibles fósiles, y éstos podrían ser usados para el desarrollo de proyectos con bioenergía y otras energías limpias. En tal caso, el gobierno tendría que garantizar que dichos proyectos

sean sustentables y en apoyo a la economía local. Estas tecnologías son relegadas ya que no representan un negocio a corto plazo, sin embargo su uso puede promoverse con la aplicación de políticas eficaces. Con ayuda de éstas, a largo plazo, la biomasa puede resolver de forma sustentable parte de la demanda energética y los problemas medioambientales del futuro (IEA, 2002; Demirbas, 2006).

El escaso fomento de energías alternativas no garantiza un carácter sustentable y se hace en sectores socialmente conflictivos. Para alcanzar las proyecciones de generación de energía por fuentes renovables se centran en grandes hidroeléctricas y centrales eólicas (Huacuz, 2013). Estas energías pueden tener un costo social y ambiental bastante elevado. Tan solo en diciembre del 2014 marcharon campesinos de más de 60 comunidades en Tapachula, Chiapas, rechazando la construcción de hidroeléctricas que empezarían en enero de 2015, ya que las mismas ponen en riesgo su salud y dañan al medio ambiente (Henríquez, 2014). En este sentido, tomando en cuenta que Chiapas es uno de los estados más pobre del país, debería ser prioritario para el gobierno mejorar la calidad de vida de las comunidades.

El gobierno tiene que realizar inversiones en el sector bioenergético ya que los gasificadores en áreas rurales no permiten una recuperación de la inversión rápida, por lo que el capital privado no está interesado en su implementación (Jingjing *et al.*, 2001). Aun así, la creación de trabajos asociados a bioenergías en áreas rurales remotas debe ser otro aliciente para que el Estado implemente su uso (White *et al.*, 2013). Además, la generación de bioenergía puede crear fuentes de trabajo y puede revitalizar a las comunidades rurales (Ravindranath *et al.*, 2004; Demirbas, 2006).

Muchos proyectos en países en desarrollo demuestran la contribución al desarrollo de la economía local con su uso (Diji, 2013). Adicionalmente, la generación de energía por biomasa para comunidades alejadas y rodeadas de bosques pueden volverse autosuficientes energéticamente, reduciendo costos de distribución, generando empleos y al mismo tiempo integrando una cultura del uso sustentable del ecosistema (IEA, 2002). El acceso a la electricidad es esencial para el desarrollo humano, sobre todo en áreas rurales, ya que puede reducir la intensidad de diversas labores en el hogar y el tiempo empleado en ellas, con lo que se incrementa la salud y la educación (Jingjing *et al.*, 2001; IEA, 2011;).

Por otro lado, y como muestra de la negligencia gubernamental imperante, encontramos el caso del tiradero del Bordo en la Ciudad de México. A pesar de que la SEMARNAT pidió gestionar el proyecto, el Gobierno del D.F. prefirió licitarla a una

compañía privada (Luege, 2014). Dicha compañía no cuenta con página de internet, no hay información de ella en la red. Ni siquiera en las páginas del gobierno se puede encontrar algo de información. Esto es grave, ya que hace dudar del supuesto carácter medioambiental del proyecto.

Asimismo y siguiendo con la información disponible en las páginas de internet del gobierno, encontramos que se presentan datos muy diferentes, aunque todas dependan directamente de la SENER. Esto es un problema, ya que algunas exponen que no hubo generación de energía por biomasa (SENER, 2013), mientras que otras afirman que sí pero con datos diversos (INERE, 2015). Esta falta de homologación de la información de energías renovables habla la falta de interés y del caos que debe reinar dentro de la Secretaría.

Su vanagloriado Inventario de Energías Renovables (INERE, 2015) solamente muestra la ignorancia que existe sobre los proyectos de generación de energía y el potencial de México. Es evidente que invirtieron más en el diseño de la página que en obtener y presentar información útil. Frente a este panorama sería deseable la existencia de una dependencia autónoma que monitoreara la información que es publicada por el gobierno, con la capacidad de pedir rendición de cuentas.

7. CONCLUSIONES

Ciudad Universitaria tiene un innegable potencial biomásico-energético ya que cuenta con una reserva ecológica y extensas zonas jardinadas que generan una producción constante de biomasa. Con la biomasa por desechos de jardinería de un año se puede abastecer en 2.7% de la energía para iluminación en CU de un año. La población de eucaliptos puede aportar potencialmente el 17.0%, mientras que el pasto kikuyo el 3.3% anual. En caso de usar la biomasa de cualquiera de las tres opciones debe hacerse un plan que garantice la sustentabilidad del proyecto, manteniendo y propiciando la biodiversidad de la REPSA y la salud de los suelos. Es prioritario remover los eucaliptos y al pasto kikuyo de la reserva ecológica debido a su impacto negativo en la biota y a su alto aporte energético potencial. La remoción de biomasa en esta zona debe hacerse de forma bien planeada, de modo que ayude a reducir el impacto de los incendios. La información en este estudio debe permitir tomar mejores decisiones para el plan de manejo, manteniendo siempre un carácter sustentable.

El uso de biogasificadores debe desarrollarse en nuestro país debido a su gran potencial. El gobierno debe cambiar de perspectiva y garantizar la seguridad energética invirtiendo en programas de energías renovables realmente prácticos y sustentables. Asimismo, su implementación en México debe ser considerada como una opción seria para cubrir la demanda energética eléctrica de forma sustentable, sobre todo en las zonas más alejadas y pobres del país. El bienestar social y la seguridad energética deberían ser objetivos claros del gobierno.

Finalmente, algunas preguntas que brotan con el análisis energético son ¿Cuánta energía habrá necesitado el hombre hace 100,000 años para garantizar su “bienestar”? ¿Cuánta energía se necesita para que de noche una luz alumbre nuestro camino por desiertos de concreto? ¿Cuánta energía más extraeremos de nuestro planeta para construir una realidad electrónica de plásticos táctiles? ¿Cuánta para escribir una tesis? ¿Cuánta se necesita para criar un hijo? ¿Cuánta para quemar a 43 estudiantes?

LITERATURA CITADA

- Allgeier, H., G. Caratti and O. Sandberg. 1994. Towards a European bio-energy strategy. Pp. 11-19, *In*: P. Chartier, A. Beenackers y G. Grassi (eds.). Biomass for energy environment agriculture and industry, vol. 1. Pergamon, Oxford.
- Augustine, D., S. MacNaughton y D. Frank. 2003. Feedbacks between soil nutrients and large herbivores in a managed savanna ecosystem. *Ecological Applications*, 13: 1325-1337.
- Arezki, R. y O. Blanchard. 2014. Siete preguntas acerca de la caída reciente del precio del petróleo, en: <<http://blog-dialogoafondo.org/?p=4751>>. Consultado el 5 de mayo del 2015.
- Begon, M., J. Harper y C. Towsend. 2006. Ecology: from individuals to ecosystems. Cuarta edición. Blackwell Publishing, Cambridge, Reino Unido.
- Belgiorno, V., G. De Feo, C. Della Rocca y R.M.A. Napoli. 2003. Energy from gasification of solid wastes. *Waste Management*, 23: 1-15.
- BP, Beyond Petroleum. 2010. BP Statistical review of world energy june 2010. Beacon Press, Londres.
- BP, Beyond Petroleum. 2014. BP Statistical review of world energy june 2014. Beacon Press, Londres.
- Billings, W. D. 1966. Las plantas y el ecosistema. Herrero, México, D. F.
- Bonan, G. B. 1993. Physiological derivation of the observed relationship between net primary production and mean annual air temperature. *Tellus*, 45B: 397-408.
- Calderón, V. 2015. Más de 25 000 pescadores mexicanos denuncian a British Petroleum, en: <http://internacional.elpais.com/internacional/2015/04/29/actualidad/1430336214_980738.html>. Consultado el 5 de mayo de 2015.

- Cano-Santana, Z. 1994. Flujo de energía a través de *Sphenarium puspurascens* (Orthoptera: Acrididae) y productividad primaria neta aérea en una comunidad xerofita. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 300 pp.
- Cano-Santana, Z., I. Pisanty, S. Segura, P. Mendoza-Hernandez, R. Leon-Rico, J. Soberón, E. Tovar, E. Martínez-Romero, L. Ruíz y A. Martínez-Ballesté. 2006. Ecología, conservación, restauración y manejo de las áreas naturales y protegidas del Pedregal del Xitle. Pp. 203-226, *In*: K. Oyama y A. Castillo (eds.) Manejo, Conservación y Restauración de Recursos Naturales en México: perspectivas desde la investigación científica. Universidad Nacional Autónoma de México y Siglo XXI, México, D.F.
- Cano-Santana, Z., L. Domínguez-Álvarez, R. Moyers-Arévalo, R. Velázquez-López y C. García-Jiménez. 2009. La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: Estudios ecosistémicos. [CD]. *Memorias in extenso CoFC1507e-25* VII Congreso sobre Áreas Naturales Protegidas de México. San Luis Potosí, S.L.P. Jul. 13-17. Organizado por Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión de Áreas Naturales Protegidas y el Gobierno del Estado de San Luis Potosí.
- Castillo-Argüero, S., Y. Martínez-Orea, J. Meave, M. Hernández-Apolinar, O. Núñez-Castillo, G. Santibáñez-Andrade y P. Guadarrama-Chávez. 2009. Flora: susceptibilidad de la comunidad a la invasión de malezas nativas y exóticas. Pp. 107-133, *In*: A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). Biodiversidad del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México, Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y Coordinación de la Investigación Científica, México, D.F.
- Castillo, N. 2012. Un alumbrado inteligente para Ciudad Universitaria, en: http://ciencia.unam.mx/leer/96/Un_alumbrado_inteligente_para_Ciudad_Universitaria >. Consultado el 14 de febrero de 2015.

- Chakrapholwararit, C; P. Petmak y P. Sahunalu. 1985. Planting density effects on biological production and stem volume of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Plantation. Research Report: Annual Report 1985. Kasetsart University; Bangkok. P.130.
- Chávez-Castañeda, N. y M. Gurrola-Hidalgo. 2009. Avifauna. Pp. 261-275, *In*: A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). Biodiversidad del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México, Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y Coordinación de la Investigación Científica, México, D.F.
- Cheamwongsa, P. 2010. The potential of carbon dioxide content on aboveground biomass in *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Tesis de Maestría. Facultad de Estudios Graduados, Universidad Mahidol, Bangkok, Tailandia. 114 pp.
- Chiti, Y. y M. Kemiha. 2013. Thermal conversion of biomass, pyrolysis and gasification: A review. *The International Journal of Engineering And Science*, 2(3): 75-85.
- Chopra, S. y A. Jain. 2007. A review of fixed bed gasification systems for biomass. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, 9: 1-23.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2015. Vecinos verdes, árboles comunes de la Ciudad de México, en: <<http://www.biodiversidad.gob.mx/Difusion/cienciaCiudadana/urbanos/ficha.php?item=Eucalyptus%20camaldulensis>>. Consultado el 2 de junio de 2015.
- Demirbas, A. 2006. Biomass gasification for power generation in Turkey. *Energy Sources, Part A*, (28): 433–445.
- DGCS, Dirección General de Comunicación Social. 2015. Causan derrames petroleros efectos de largo plazo sobre el ambiente marino, en: <http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2015_205.html>. Consultado el 5 de mayo de 2015.

- Diji, C. 2013. Electricity production from biomass in Nigeria options, prospects and challenges. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(4): 84-98.
- ECOFYS Germany GmbH. 2009. Energy-policy framework conditions for electricity markets and renewable energies. Deutsche Gesellschaft für, Eschborn.
- Ecoosfera. 2014. El primer tren ligero impulsado por energía generada con basura está en México, en: <<http://www.ecoosfera.com/2014/10/el-primer-tren-ligero-impulsado-por-energia-generada-con-basura-esta-en-mexico>>. Consultado el 14 de febrero de 2015.
- El País. 2010. El vertido de crudo del golfo de México es el mayor de la historia, en: <http://sociedad.elpais.com/sociedad/2010/08/03/actualidad/1280786401_850215.html>. Consultado el 14 de febrero de 2015.
- Espinosa-Pérez, H. 2009. Los peces y sus hábitats. Pp. 357-362, *In*: A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). Biodiversidad del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México, Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y Coordinación de la Investigación Científica, México, D.F.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 1985. Efectos ecológicos de los eucaliptos. Estudio FAO, México, D.F.
- FOCER, Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central. 2002. Biomasa, manuales sobre energía renovable. San José, Costa Rica. 56 pp.
- Gobierno de Canadá. 2015. Urban waste to electricity demonstration, en: <<http://www.nrcan.gc.ca/energy/funding/current-funding-programs/cef/4963>>. Consultado el 4 de julio de 2015.
- González, R. 2015. Destapan crisis en la hacienda pública, en: <<http://www.jornada.unam.mx/ultimas/2015/01/30/anuncia-hacienda-recorte-en-el-gasto-por-124-mil-mdp-4088.html>>. Consultado el 14 de febrero de 2015.

- Goodwin, N. 2007. Internalizando externalidades: haciendo que los mercados y las sociedades funcionen mejor, en: <http://ase.tufts.edu/gdae/Pubs/te/OpinionSur_NevaGoodwin_Dec07.pdf>. Consultado el 10 de mayo de 2015.
- Guzmán, A. 2015. Derrames de Pemex en la Laguna Mecoaacán causan desastre económico, en: <<http://www.proceso.com.mx/?p=397785>>. Consultado el 5 de mayo de 2015.
- Heinimo, J. y M. Junginger. 2009. Production and trading of biomass for energy –An overview of the global status. *Biomass and Bioenergy*, 33: 1310-1320.
- Henríquez, E. 2014. Marchan campesinos de Chiapas contra minas e hidroeléctricas. *La Jornada*, martes 9 de diciembre de 2014: 36.
- Hortelano-Moncada, Y., F. Cervantes y A. Trejo-Ortiz. 2009. Mamíferos silvestres. Pp. 277-293, *In*: A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). Biodiversidad del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México, Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y Coordinación de la Investigación Científica, México, D.F.
- HPTA, Henan Province Tourism Administration. 2015. Puyang city, en: <<http://en.hnta.cn/Htmls/City/Puyang/>>. Consultado el 4 de julio de 2015.
- Huacuz, J. 2013. El inventario de las energías renovables en el marco de la transición energética de México. *Boletín IIE*, julio-septiembre: pp. 92-100.
- IEA, International Energy Agency. 2002. Sustainable production of woody biomass for energy: a position paper prepared by IEA Bioenergy. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos /International Energy Agency, París.
- IEA, International Energy Agency. 2011. Advantage energy: emerging economies, developing countries and the private-public sector interface. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos/International Energy Agency, París.

IEA, International Energy Agency. 2014. World energy investment outlook -Special report. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos/International Energy Agency, París.

IINGEN, Instituto de Ingeniería. 2007. Generación de energía eléctrica para el alumbrado de algunas calles de la Ciudad Universitaria por medio de gasificación de residuos biomásicos orgánicos, en: <http://eventos.iingen.unam.mx/Informe2003_2007/Archivos/graficas0004/0004_1_6_%20%289%29.pdf>. Consultado el 10 de mayo de 2015.

INERE, Inventario Nacional de Energías Renovables, en: <<http://inere.energia.gob.mx/publica/version3.1/>>. Consultado el 14 de febrero de 2015.

Jingjing, L., Z. Xing, P. DeLaquil y E. Larson. 2001. Biomass energy in China and its potential. *Energy for Sustainable Development*, 5(4): 66-80

Jordan, C. F. 1983. Productivity of tropical rain forest ecosystems and the implications for their use as future wood and energy sources. Pp. 117-136, *In: Golley, F. B. (ed.). Tropical rain forest ecosystems. A structure and function.* Elsevier, Amsterdam.

Kamińska-Pietrzak, N. y A. Smoliński. 2013. Selected environmental aspects of gasification and co-gasification of various types of wastes. *Journal of Sustainable Mining*, 12(4): 6-13.

Karekezi, S., K. Lata y S. Teixeira. 2004. Traditional biomass energy: improving its use and moving to modern energy use, en: <<http://www.ren21.net/Portals/0/documents/irecs/renew2004/Traditional%20Biomass%20Energy.pdf>>. Fecha de consulta: 25 de diciembre del 2014.

Kelly, L y A. Delgado. 2015. Árboles de la UNAM, en: <<http://www.arboles.org/>>. Consultado el 10 de mayo de 2015.

- Klauss, D. 1994. Excerpt of biomasa in North America policies. Pp. 63-73, *In*: P. Chartier, A. Beenackers y G. Grassi (eds.). Biomass for energy environment agriculture and industry, vol. 1. Pergamon, Oxford.
- La Jornada. 2007. El campus de CU, patrimonio cultural de la humanidad, en: <<http://www.jornada.unam.mx/2007/06/29/index.php?section=sociedad&article=047n1soc>>. Consultado el 10 de mayo de 2015.
- Lahijani, P., Z. Zainal y M. Mohammadi. 2013. Air gasification of oil palm waste over dolomite in a fluidized bed. *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences*, 37: 123-136.
- Larson, E. y S. Kartha. 2000. Expanding roles for modernized biomass energy. *Energy for Sustainable Development*, 4(3): 15-25.
- Lot, A. y P. Camarena. 2009. El Pedregal de San Ángel de la Ciudad de México: reserva ecológica urbana de la Universidad Nacional. Pp. 19-25, *In*: A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). Biodiversidad del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México, Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y Coordinación de la Investigación Científica, México, D.F.
- López, R. y E. Zamudio. 2002. Importancia de las plantas nativas en la dasonomía urbana. Pp. 57-66, *In*: Memorias del Seminario Michoacano sobre la problemática ambiental de las especies introducidas. Caso *Eucalyptus*. Coordinación de Relaciones Públicas del Centro de Investigación y Desarrollo del Estado de Michoacán, México, Morelia.
- Luege, J. 2014. Biogás del Bordo Poniente, en: <<http://www.eluniversalmas.com.mx/editoriales/2014/09/72242.php>>. Consultado el 14 de febrero de 2015.
- Lynch, J. 1995. Root architecture and plant productivity. *Plant Physiology*, 109: 7-13

- Marais, J.P. 2001. Factors affecting the nutritive value of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*)—a review. *Tropical Grasslands* 35: 65-84.
- Maravilla-Romero, M. y Z. Cano-Santana. 2009. Riqueza florística, estado de conservación y densidad de eucaliptos en cinco zonas de amortiguamiento y un área natural no protegida de Ciudad Universitaria. Pp. 509-521, *In*: A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). Biodiversidad del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México, Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y Coordinación de la Investigación Científica, México, D.F.
- Mears, P. T. 1970. Kikuyu-(*Pennisetum clandestinum*) as a pasture grass- A review. *Tropical Grasslands*, 4(2): 139-152.
- Méndez de la Cruz, F., A. Díaz de la Vega Pérez y V. Jiménez Arcos. 2009. Herpetofauna. Pp. 243-260, *In*: A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). Biodiversidad del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México, Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y Coordinación de la Investigación Científica, México, D.F.
- McKendry, P. 2002. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83: 37–46.
- Moll, G. y J. Petit. 1994. The urban ecosystem: putting nature back in the picture. *Urban Forests*, oct-nov: 8–15.
- Montoya, J. y X. Fonseca. 2001. Promueve la UNAM la cultura ecológica en el Distrito Federal. *Gaceta UNAM*, 3: 425.
- Montoya, J. 2004. La planta de composta, única en América Latina. *Gaceta UNAM*, 3: 696.
- Nava-López, M., J. Jujnovsky, R. Salinas-Galicia, J. Álvarez-Sánchez y L. Almeida-Leñero. 2009. Servicios ecosistémicos. Pp. 51-60, *In*: A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). Biodiversidad del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México,

Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y Coordinación de la Investigación Científica, México, D.F.

Notimex. 2012. GDF elige a empresa que explotará biogás en Bordo Poniente, en: <<http://www.excelsior.com.mx/2012/11/01/comunidad/867466>>. Consultado el 14 de febrero de 2015.

Odum, E.P. 1971. *Fundamentals of ecology*. W.B. Saunders, Nueva York, EUA.

Patzek, T. y D. Pimentel. 2006. Thermodynamics of energy production from biomass. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24, (5-6): 327-364.

Peralta-Higuera, A. y J. Prado-Molina. 2009. Los límites y la cartografía. Pp. 27-42. *In*: A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). Biodiversidad del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México, Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y Coordinación de la Investigación Científica, México, D.F.

Pickett, S., M. Cadenasso, J. Grove, C. Boone, P. Groffman, E. Irwin, S. Kaushal, V. Marshall, B. McGrath, C. Nilon, R. Pouyat, K. Szlavecz, A. Troy, y P. Warren. 2011. Urban ecological systems: Scientific foundations and a decade of progress. *Journal of Environmental Management*, 92: 331-362.

Phillipson, J. 1975. *Ecología energética*. Omega, Barcelona. 56 pp.

PUMA, Programa Universitario de Medio Ambiente. 2015. Seminarios, en: <<http://www.puma.unam.mx/?p=seminarios>>. Consultado el 10 de mayo de 2015.

PVEM, Partido Verde Ecologista de México. 2014, en: <<http://www.aldf.gob.mx/archivo-acc71f2408d90b1f440fca5421ae485c.pdf>>. Consultado el 10 de mayo de 2015.

Ravindranath, N., H. Somashekar, S. Dasappa y C. Jayasheela. 2004. Sustainable biomass power for rural India: Case study of biomass gasifier for village electrification. *Current Science*, 87(7): 932-941.

- REN21, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. 2014. Renewables 2014 global status report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, París.
- REPSA, Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. 2015. Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Patrimonio natural de la sociedad en la UNAM, en: <<http://www.repsa.unam.mx/>>. Consultado el 2 de junio de 2015.
- Rodríguez, L. y E. Cohen-Fernández (eds.). 2003. Guía de árboles y arbustos de la zona metropolitana de la Ciudad de México. Gobierno del Distrito Federal y Secretaría de Medio Ambiente, México, D.F.
- Rockwood, D., A. Rudie, S. Ralph, J.Y. Zhu y J. Winandy. 2008. Energy product options for *Eucalyptus* species grown as short rotation woody crops. *International Journal of Molecular Sciences*, 9: 1361-1378.
- Rzedowski, J. 1954. La vegetación del Pedregal de San Ángel (D.F., México). *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, I. P. N., México*, 8: 59-429.
- Saxe-Fernández, J. 2004. Petróleo y criminalidad de Estado, en: <<http://www.jornada.unam.mx/2004/08/19/025a1eco.php?origen=opinion.php&fly=2>>. Consultado el 5 de mayo del 2015.
- Segura-Burciaga, S. 2009. Introducción de especies: la invasión y el control de *Eucalyptus resinífera*. Pp. 533-538, In: A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). Biodiversidad del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México, Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y Coordinación de la Investigación Científica, México, D.F.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2001. Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D.F.

- SENER, Secretaría de Energía. 2012. Información energética del estado de Distrito Federal, 2012, en: <http://gob2.energia.gob.mx/portal/Informacion_Energetica/inicioAdm.html>. Consultado el 14 de febrero de 2015
- SENER, Secretaría de Energía. 2013. Prospectiva de energías renovables 2013-2027. Secretaría de Energía, México, D.F.
- SENER, Secretaría de Energía. 2014. Programa nacional de infraestructura 2014-2018. Secretaría de Energía, México, D.F.
- SENER, Secretaría de Energía. 2015. Proyecto de electrificación a comunidades aisladas, en: <<http://www.energia.gob.mx/portal/Default.aspx?id=2939>>. Consultado el 14 de febrero de 2015.
- Sheinbaum, C., S. Briceño, A. Escobedo y H. Juárez. 2012. Inventario y escenarios de mitigación de GEI asociados con el consumo de energía en Ciudad Universitaria, UNAM, en: <<http://www.iingen.unam.mx/es-mx/Publicaciones/GacetaElectronica/GacetaOctubre2012/Paginas/InventarioyescenariosdemitigaciondelGEI.aspx>>. Consultado el 14 de febrero de 2015.
- SIE, Sistema de Información Energética. 2015. Información estadística, en: <<http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas>>. Consultado el 14 de febrero del 2015.
- Siebe, C. 2009. La erupción del volcán Xitle y las lavas del Pedregal hace 1670 +/- 35 años AP y sus implicaciones. Pp. 43-49, *In*: A. Lot y Z. Cano-Santana (eds.). Biodiversidad del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México, Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel y Coordinación de la Investigación Científica, México, D.F.
- Silva, M. y L. Gurdi. 2002. El problema de los eucaliptos en las áreas urbanas de Morelia. Pp. 50-56. *In*: Memorias del Seminario Michoacano sobre la problemática ambiental de

- las especies introducidas. Caso *Eucalyptus*. Coordinación de Relaciones Públicas del Centro de Investigación y Desarrollo del Estado de Michoacán, México, Morelia.
- Souto, X., J. Bolaño; L. González y M. Reigosa. 2001. Allelopathic effects of tree species on some soil microbial populations and herbaceous plants. *Biología Plantarum*, 44(2): 269-275.
- Times Higher Education. 2015. World reputation rankings 2015, en: <<https://www.timeshighereducation.co.uk/world-university-rankings/2015/reputation-ranking#/sort/0/direction/asc>>. Consultado el 4 de julio de 2015.
- UCCS, Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad. 2009. La producción de agrocombustibles en Chiapas. Descargado el 14 de febrero del 2015 de la página: <http://www.uccs.mx/downloads/index.php?id=file_4d3679551c6af>.
- UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México. 1994. Memoria 1993. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México. 1999. Memoria 1998. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México. 2001. Memoria 2000. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México. 2013. Agenda estadística UNAM 2013, en: < <http://www.planeacion.unam.mx/Agenda/2013/disco/>>. Consultado el 10 de mayo de 2015.
- UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México. 2014. Memoria 2013. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- UNESCO, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 1993. Ciudades. Cuadernos de educación ambiental del Centro UNESCO.

- UNIATMOS, Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales. 2015. Mapa Interactivo de la UNAM, Ciudad Universitaria, en: <http://132.248.8.125:8083/UNAM_CU/servmapas>. Consultado el 2 de junio de 2015.
- Van der Colf, J. 2010. The production potential of Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pastures over-sown with Ryegrass (*Lolium spp.*). Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Naturales y Agrícolas, Universidad de Pretoria, Sudafrica, Pretoria. 2001 pp.
- Walmsley, M., J. Caminera, J. Detling y M. Dyer. 1987. Growth of blue grama and western wheatgrass following grasshopper defoliation and mechanical clipping. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 60: 51-57.
- Webb, W., W. Lauenroth, S. Szarek y R. Kinerson. 1983. Primary production and abiotic controls in forests, grasslands and desert ecosystems in the United States. *Ecology*, 64: 134-151.
- White, W, A. Lunnan, E. Nybakk y B. Kulisic. 2013. The role of governments in renewable energy: The importance of policy consistency. *Biomass and bioenergy*, 57: 97-105.
- Shi Y., Y. Ge, J. Chang, H. Shao y Y. Tang. 2013. Garden waste biomass for renewable and sustainable energy production in China: Potential, challenges and development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22: 432–437.
- Xin, H. 2003. Shanghai: Construyendo una ciudad verde, en: <<http://doc.bjreview.com/s-br/2003-31/2003.31-china-3.htm>>. Consultado el 4 de julio de 2015.
- Yang, Y., V. Sharifi y J. Swithenbank. 2005. Substoichiometric conversion of biomass and solid wastes to energy in packed beds. *AIChE Journal*, 52(2): 809-817.

Apéndice 1

Aporte relativo de los elementos que se detectaron en los contenedores de jardinería de Ciudad Universitaria entre enero y diciembre de 2006. No id. = no identificada.

Tabla A1. Composición de elementos de desecho en cuatro contenedores de residuos de jardinería de C. U. revisados en enero y febrero de 2006. La mayoría de elementos arbóreos se refiere a hojas, salvo cuando se indique lo contrario. Hojarasca mixta se refiere a hojas secas muy fragmentadas derivadas de varias especies de plantas no identificadas. ND = no hay datos.

Contenedor	Fecha	Peso fresco (kg)	Componente	Composición (%)
1	18/01/2006	324.0	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	17.33
			<i>Liquidambar styraciflua</i>	12.45
			Hojarasca mixta	41.63
			<i>Fraxinus uhdei</i>	18.90
			<i>Ficus elastica</i>	3.73
			<i>Buddleia cordata</i>	0.86
			<i>Pinus</i> sp.	4.70
			<i>Pennisetum clandestinum</i>	0.41
2	26/01/06	564.5	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	16.6
			<i>Fraxinus uhdei</i>	29.3
			Ramas de <i>Fraxinus uhdei</i>	17.5
			Hojarasca mixta	27.4
			<i>Grevillea robusta</i>	9.2
			<i>Ficus</i> sp.	12.8
3	01/02/06	293.5	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	6.4
			<i>Fraxinus uhdei</i>	23.4
			<i>Liquidambar</i> sp.	14.8
			<i>Bougainvillea glabra</i>	9.9
			<i>Pennisetum clandestinum</i>	4.8
			Ramas mixtas	9.3
			Ramas de <i>Fraxinus uhdei</i>	18.5
			N.D.	
4	9/02/06	668.0		
5	23/02/06	472.3	<i>Fraxinus uhdei</i>	35.4
			Ramas de <i>Fraxinus uhdei</i>	12.4
			Hojarasca mixta	19.3
			Ramas mixtas	4.8
			<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	6.4
			<i>Pennisetum clandestinum</i>	0.5
			Rocas	0.2
			<i>Ficus</i> sp.	0.6
			Triturado de madera	20.1
			<i>Bougainvillea glabra</i>	0.1

Tabla A1 (Continúa).

Contenedor	Fecha	Peso fresco (kg)	Componente	Composición (%)
6	02/03/06	362.05	N.D.	
7	02/03/06	506.6	N.D.	
8	30/03/06	500	N.D.	
9	01/04/06	570	N.D.	

Tabla A2. Porcentaje del peso fresco de los elementos encontrados en dos contenedores revisados en marzo de 2006.

Especie	Composición (%)
Triturado	18.84
<i>Liquidambar styraciflua</i>	18.68
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	10.64
Hojarasca mixta y pasto	9.36
<i>Fraxinus udhei</i> y pasto	9.33
Hojarasca mixta	5.68
<i>Fraxinus udhei</i>	5.06
Ramas mixta	4.72
Ramas <i>Fraxinus uhdei</i>	4.06
Pasto no id.	3.36
<i>Buddleia cordata</i>	2.7
<i>Ficus benjamina</i>	1.66
<i>Populus alba</i>	1.36
<i>Schinus molle</i>	1.33
Sp. 1	1.21
<i>Grevillea robusta</i>	0.87
<i>Fraxinus udhei</i> y <i>Schinus molle</i>	0.44
Sp. 2	0.37
<i>Pennisetum clandestinum</i>	0.23

Tabla A3. Contenido de 16 contenedores de desechos de jardinería en abril de 2006, se muestra el porcentaje de la cobertura de cada uno de los elementos encontrados.

Componente	Cobertura (%)
<i>Pennisetum clandestinum</i>	30.508
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	26.092
<i>Ligustrum japonium</i>	15.917
<i>Grevillea robusta</i>	7.958
<i>Casuarina equisetifolia</i>	6.292
<i>Fraxinus uhdei</i>	3.433
<i>Buddleia cordata</i>	2.592
<i>Bougainvillea glabra</i>	1.475
<i>Schinus molle</i>	1.367
Rama mixta	1.250
<i>Ficus</i> sp.	0.767
<i>Pinus cembroides</i>	0.608
<i>Araucaria excelsa</i>	0.475
Basura inorgánica	0.342
<i>Pinus</i> sp.	0.225
Corteza no id.	0.192
<i>Cupressus lusitanica</i>	0.150
Sp. 8	0.117
<i>Liquidambar styraciflua</i>	0.083
<i>Yucca</i> sp.	0.042
<i>Wigandia urens</i>	0.042
<i>Quercus rugosa</i>	0.042
Sp. 9	0.017
Piedras	0.017

Tabla A4. Contenido de 16 contenedores de desechos de jardinería en mayo de 2006, se muestra el porcentaje de la cobertura de cada uno de los elementos encontrados.

Componente	Cobertura (%)
<i>Pennisetum clandestinum</i>	38.762
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	19.162
<i>Schinus molle</i>	10.502
<i>Ficus indica</i>	6.088
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	5.885
<i>Phyllostachys</i> sp.	4.299
<i>Buxus sempervirens</i>	2.387
<i>Araucaria excelsa</i>	2.142
<i>Casuarina equisetifolia</i>	2.051
<i>Pinus cembroides</i>	1.767
Ramas	1.279
<i>Bougainvillea glabra</i>	1.179
<i>Fraxinus uhdei</i>	0.804
<i>Eriobotrya japonica</i>	0.676
Basura inorgánica	0.390
Pasto no id.	0.338
<i>Echeveria gibiflora</i>	0.252
Sp. 1	0.225
<i>Juniperus</i> sp.	0.216
Sp. 4	0.191
“Hiedra” no id.	0.186
<i>Tulipa</i> sp.	0.145
Sp. 13	0.125
<i>Acacia</i> sp.	0.120
Sp. 10	0.103
<i>Erythrina colralloides</i>	0.100
<i>Grevillea robusta</i>	0.098
<i>Yucca</i> sp.	0.091
Tierra	0.069

Tabla A4 (Continúa).

Componente	Cobertura (%)
Sp. 2	0.051
<i>Buddleia cordata</i>	0.051
Sp. 11	0.034
Sp. 3	0.032
<i>Liquidambar styraciflua</i>	0.029
Hierba no id.1	0.029
<i>Cupressus lusitanica</i>	0.027
<i>Wigandia urens</i>	0.022
<i>Platycladus orientalis</i>	0.015
Sp. 7	0.012
<i>Ligustrum japonicum</i>	0.010
Sp. 6	0.010
Sp. 14	0.010
Corteza	0.010
Sp. 12	0.007
Sp. 5	0.005
Rosaceae no id.	0.005
Rocas	0.005

Tabla A5. Contenido de 16 contenedores de desechos de jardinería en junio de 2006, se muestra el porcentaje de la cobertura de cada uno de los elementos encontrados.

Componente	Cobertura (%)
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	32.92
<i>Fraxinus uhdei</i>	14.99
<i>Pennisetum clandestinum</i>	11.46
<i>Schinus molle</i>	9.98
<i>Dombeya wallichii</i>	6.37
<i>Pinus</i> sp.	6.25
<i>Ficus retusa</i>	4.47
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	1.78
<i>Arctostaphylos pungens</i>	1.39
<i>Nicotiana glauca</i>	1.13
<i>Pinus cembroides</i>	1.00
<i>Ficus benjamina</i>	0.98
<i>Wigandia urens</i>	0.88
Sp. E	0.83
<i>Casuarina equisetifolia</i>	0.77
<i>Eriobotrya japonica</i>	0.61
<i>Phytolacca icosandra</i>	0.46
<i>Acacia retinodes</i>	0.48
<i>Xanthosoma</i> sp.	0.36
Basura inorgánica	0.36
<i>Pittosporum tobira</i>	0.35
<i>Ulmus parvifolia</i>	0.25
Sp. H	0.19
<i>Agapanthus umbellatus</i>	0.18
Tierra	0.15
<i>Buddleia cordata</i>	0.14
<i>Juniperus</i> sp.	0.14
<i>Ligustrum</i> sp.	0.11
Sp. A	0.11

Tabla A5 (Continúa).

Componente	Cobertura (%)
<i>Erythrina coracoides</i>	0.09
<i>Antirrhinus majus</i>	0.08
<i>Schinus terevensifolius</i>	0.08
<i>Ficus elastica</i>	0.08
<i>Buxus sempervirens</i>	0.07
Sp. D	0.05
<i>Cissus sicyoides</i>	0.05
Palma no id.	0.05
<i>Persea americana</i>	0.04
Sp. F	0.04
Sp. B	0.04
Sp. G	0.03
<i>Verbesina virgata</i>	0.02
Sp. C	0.02
Ramas	0.02
<i>Liquidambar styraciflua</i>	0.02
Helechos no id.	0.01
<i>Cupressus lusitanica</i>	0.01
<i>Phyllostachys</i> sp.	0.01

Tabla A6. Contenido de 16 contenedores de desechos de jardinería en julio de 2006, se muestra el porcentaje de la cobertura de cada uno de los elementos encontrados.

Componente	Cobertura (%)
<i>Pennisetum clandestinum</i>	49.2
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	15.17
<i>Schinus molle</i>	13
<i>Fraxinus uhdei</i>	8.6
<i>Pinus radiata</i>	2.7
Pasto no id. 2	2.5
<i>Ricinus communis</i>	2.3
<i>Eupatorium petiolare</i>	0.87
<i>Prunus serotina</i>	0.8
Solanaceae no id.	0.71
<i>Cupressus lusitanica</i>	0.67
<i>Wigandia urens</i>	0.6
<i>Dahlia coccinea</i>	0.4
<i>Buddleia cordata</i>	0.35
<i>Cassuarina equisetifolia</i>	0.34
<i>Montanoa tomentosa</i>	0.34
<i>Nicotiana glauca</i>	0.21
<i>Cissus sicyoides</i>	0.2
Basura inorgánica	0.14
<i>Phytolacca icosandra</i>	0.14
<i>Ipomea</i> sp.	0.1
<i>Grevillea robusta</i>	0.07
Helecho no id.	0.07
<i>Ficus retusa</i>	0.03
<i>Commelina</i> sp.	0.02
<i>Dioscorea galeottiana</i>	0.01
<i>Populus alba</i>	0.01
<i>Juniperus</i> sp.	0.007

Tabla A7. Contenido de ocho contenedores de desechos de jardinería en agosto del 2006, se muestra el porcentaje de la cobertura de cada uno de los elementos encontrados.

Componente	Cobertura (%)
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	18.97
<i>Fraxinus uhdei</i>	18.6
<i>Dombeya wallichii</i>	12.5
<i>Ficus retusa</i>	10.26
<i>Pinus radiata</i>	9.02
<i>Ficus elastica</i>	6.33
<i>Ficus benjamina</i>	5.23
<i>Persea americana</i>	4.06
<i>Ligustrum japonicum</i>	3.41
<i>Pinus teocote</i>	2.84
<i>Cupressus lusitanica</i>	2.26
<i>Juniperus</i> sp.	1.84
<i>Phyllostachys</i> sp.	1.7
<i>Prunus serotina</i>	1.67
<i>Thuja</i> sp.	0.52
<i>Jacaranda mimosaeifolia</i>	0.22

Tabla A8. Contenido de 11 contenedores de desechos de jardinería en septiembre de 2006, se muestra el porcentaje de la cobertura de cada uno de los elementos encontrados.

Componente	Cobertura (%)
<i>Schinus molle</i>	17.89
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	16.7
<i>Pennisetum clandestinum</i>	15.1
<i>Fraxinus uhdei</i>	8.01
<i>Buddleia cordata</i>	6.56
<i>Jacaranda mimosaeifolia</i>	5.69
<i>Cupressus lusitanica</i>	4.8
<i>Phytolacca icosandra</i>	4.79
<i>Alnus firmifolia</i>	3.53
<i>Grevillea robusta</i>	2.53
<i>Hippeastrum puniceum</i>	1.94
<i>Ficus retusa</i>	1.9
<i>Dioscorea galeottiana</i>	1.7
<i>Juniperus sp.</i>	1.34
<i>Cassuarina equisetifolia</i>	1.05
<i>Montanoa tomentosa</i>	0.96
<i>Ficus benjamina</i>	0.61
<i>Dahlia coccinea</i>	0.6
Basura inorgánica	0.54
<i>Acacia retinodes</i>	0.49
<i>Pyracantha koidzumii</i>	0.39
Asteraceae no id.	0.38
<i>Ficus elastica</i>	0.35
<i>Zantedeschia aethiopica</i>	0.34
Solanaceae no id.	0.34
<i>Ricinus communis</i>	0.32
<i>Taxodium mucronatum</i>	0.31
<i>Stevia sp.</i>	0.28

Tabla A8 (Continúa).

Componente	Cobertura (%)
<i>Asteraceae</i> no id. 2	0.24
<i>Cissus sicyoides</i>	0.1
<i>Buxus sempervirens</i>	0.07
<i>Bougainvillea glabra</i>	0.06
<i>Populus alba</i>	0.05
<i>Ligustrum japonicum</i>	0.04
<i>Pyracantha koidzumii</i>	0.015
<i>Erythrina coralloides</i>	0.007

Tabla A9. Contenido de 16 contenedores de desechos de jardinería en octubre de 2006, se muestra el porcentaje de la cobertura de cada uno de los elementos encontrados.

Componente	Cobertura (%)
<i>Ligustrum japonicum</i>	12.7
<i>Schinus molle</i>	12.62
<i>Pennisetum clandestinum</i>	10.32
<i>Pinus radiata</i>	7.2
<i>Phyllostachys</i> sp.	6.25
<i>Populus alba</i>	6.25
<i>Fraxinus udhei</i>	5.92
Cucurbitaceae no id.	5.74
<i>Liquidambar styraciflua</i>	4.6
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	4.26
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	4.17
“Hiedra” no id.	3.16
<i>Cissus sicyoides</i>	2.92
<i>Cupressus lusitánica</i>	2.91
<i>Eupatorium petiolare</i>	2.41
Sp. 3	1.68
<i>Pinus alepensis</i>	1.29
Basura inorgánica	1.15
<i>Tapetes</i> sp.	0.73
<i>Dioscorea galeottiana</i>	0.63
<i>Buddleia cordata</i>	0.6
<i>Salvia mexicana</i>	0.45
<i>Juniperus</i> sp.	0.28
<i>Ficus retusa</i>	0.2
<i>Tuja orientales</i>	0.15
Sp. 1	0.13
<i>Commelina coelestis</i>	0.12
<i>Prunus persica</i>	0.12
<i>Polypodium</i> sp.	0.12

Tabala A9 (Continúa).

Componente	Cobertura (%)
<i>Agapanthus umbellatus</i>	0.09
<i>Cassuarina equisetifolia</i>	0.08
<i>Erythrina coralloides</i>	0.08
“Palo amargo” no id.	0.05
“Quelite” no id.	0.05
Sp. 2	0.05
<i>Wigandia urens</i>	0.05
<i>Prunus serotina</i>	0.04
<i>Ficus benjamina</i>	0.03
Rosaceae no id.	0.03
<i>Bougainvillea glabra</i>	0.01
<i>Dombeya walichii</i>	0.01

Tabla A10. Contenido de 16 contenedores de desechos de jardinería en noviembre de 2006, se muestra el porcentaje de la cobertura de cada uno de los elementos encontrados.

Componente	Cobertura (%)
<i>Pennisetum clandestinum</i>	50.99
<i>Fraxinus udhei</i>	9.08
<i>Dombeya walichii</i>	7.17
<i>Ligustrum japonicum</i>	7.05
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	6.86
<i>Cassuarina equisetifolia</i>	4.53
<i>Buxus sempervirens</i>	2.47
<i>Wigandia urens</i>	2.26
<i>Schinus molle</i>	1.68
<i>Buddleia cordata</i>	1.63
<i>Cissus sycioides</i>	0.73
<i>Erythrina coralloides</i>	0.68
<i>Polypodium</i> sp.	0.61
Moraceae no id.	0.6
<i>Eupatorium petiolare</i>	0.59
<i>Agave</i> sp.	0.53
Cucurbitaceae no id.	0.48
<i>Ficus benamina</i>	0.38
“Hiedra” no id.	0.32
Basura inorgánica	0.21
<i>Ficus elastica</i>	0.21
<i>Tagetes</i> sp.	0.16
<i>Aralia</i> sp.	0.15
“Quelite” no id.	0.13
Asteraceae no id.	0.11
<i>Lampranthus</i> sp.	0.1
Rosaceae no id.	0.062
<i>Pinus</i> sp.	0.039

Tabla A10 (Continúa)

Componente	Cobertura (%)
<i>Piqueria trinervia</i>	0.028
<i>Bidens</i> sp.	0.01
<i>Ipomea</i> sp.	0.0052

Tabla A11. Contenido de 16 contenedores de desechos de jardinería en diciembre de 2006, se muestra el porcentaje de la cobertura de cada uno de los elementos encontrados.

Componente	Cobertura (%)
<i>Schinus molle</i>	21.16
<i>Fraxinus udhei</i>	17.4
<i>Pennisetum clandestinum</i>	16.72
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	8.98
<i>Ligustrum japonicum</i>	8.41
<i>Phyllostachys</i> sp.	5.84
<i>Montanoa tomentosa</i>	4.57
<i>Agave</i> sp.	3.37
Basura inorgánica	2.92
<i>Ficus retusa</i>	1.99
<i>Pinus</i> sp.	1.67
<i>Dioscorea galeottiana</i>	1.39
<i>Ficus benamina</i>	1.21
<i>Liquidambar styraciflua</i>	0.6
<i>Cassuarina equisetifolia</i>	0.52
<i>Buddleia cordata</i>	0.52
<i>Buxus sempervirens</i>	0.47
<i>Eupatoriuma petiolare</i>	0.42
<i>Cissus sycioides</i>	0.29
Helechos no id.	0.29
<i>Bougainvillea glabra</i>	0.17
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	0.125
<i>Gnaphallium</i> sp.	0.081
<i>Persea americana</i>	0.05
<i>Erythrina coralloides</i>	0.042
<i>Symphoricarpos microphyllus</i>	0.031
Lamiaceae no id.	0.029

Tabla A12. Aporte promedio de cada uno de los 117 elementos que contribuyeron con menos del 0.9 % durante el periodo de enero a diciembre de 2006.

Componente	Promedio (%)
<i>Phyllostachys</i> sp.	0.7
Ramas diversas	0.7
<i>Fraxinus uhdei</i> y pasto	0.7
<i>Bougainvillea glabra</i>	0.65
<i>Populus alba</i>	0.63
<i>Pinus</i> sp. 1	0.52
Rama mixta	0.5
<i>Montanoa tomentosa</i>	0.5
Cucurbitaceae no id.1	0.5
Basura inorgánica	0.47
<i>Buxus sempervirens</i>	0.45
<i>Pinus cembroides</i>	0.42
<i>Phytolacca icosandra</i>	0.41
<i>Wigandia urens</i>	0.35
<i>Eupatorium petiolare</i>	0.35
<i>Cissus sicyoides</i>	0.35
<i>Persea americana</i>	0.34
<i>Agave</i> sp.	0.32
<i>Juniperus</i> sp.	0.31
<i>Dioscorea galeottiana</i>	0.31
<i>Hydra</i> sp.	0.3
<i>Alnus firmilfolia</i>	0.3
<i>Pinus teocote</i>	0.23
<i>Ricinus communis</i>	0.21
<i>Araucaria excelsa</i>	0.21
Pasto no id. 1	0.2
Pasto no id. 2	0.2
<i>Prunus serotina</i>	0.2
<i>Hippeastrum puniceum</i>	0.16

Tabla A12 (Continúa).

Componente	Promedio (%)
<i>Nicotiana glauca</i>	0.11
<i>Arctostaphylos pungens</i>	0.11
Sp. 1	0.1
Solanaceae no id.	0.1
<i>Pinus alepensis</i>	0.1
<i>Eriobotrya japonica</i>	0.1
<i>Dahlia coccinea</i>	0.1
<i>Erythrina colralloides</i>	0.1
<i>Acacia retinodes</i>	0.1
Sp. 2	0.1
<i>Tagetes</i> sp.	0.07
Sp. 3	0.06
Moraceae	0.05
Helecho no id. 1	0.05
<i>Phytolacca icosandra</i>	0.04
Asteraceae no id. 1	0.04
<i>Xanthosoma</i> sp.	0.03
<i>Pyracantha koidzumii</i>	0.03
<i>Salvia mexicana</i>	0.03
Helecho sp. 2	0.03
<i>Fraxinus udhei</i> y <i>Schinus molle</i>	0.03
Sp. 4	0.03
<i>Thuja orientalis</i>	0.02
Pasto no id. 3	0.02
<i>Echeveria gibiflora</i>	0.02
<i>Ulmus parvifolia</i>	0.02
<i>Stevia</i> sp.	0.02
Desechos orgánicos	0.02
Asteraceae no id. 2	0.02
<i>Pittosporum tobira</i>	0.02

Tabla A12 (Continúa).

Componente	Promedio (%)
<i>Zantedeschia aethiopica</i>	0.02
<i>Taxodium mucronatum</i>	0.02
<i>Agapanthus umbellatus</i>	0.02
<i>Yucca</i> sp.	0.01
<i>Hibiscus</i> sp.	0.01
Tierra	0.01
Sp. 5	0.01
Sp. 6	0.01
Sp. 7	0.01
Sp. 8	0.01
Sp. 9	0.01
Sp. 10	0.01
Sp. 11	0.01
Rocas	0.01
“Quelite” no id.	0.01
<i>Prunus persica</i>	0.01
Corteza	0.01
<i>Commelina coelestis</i>	0.01
<i>Oreopanax</i> sp.	0.01
<i>Ligustrum</i> sp.	0.009
Sp. 12	0.009
<i>Sedum</i> sp.	0.008
Rosaceae no id. 1	0.007
<i>Schinus terevensifolius</i>	0.006
<i>Gnaphallium</i> sp.	0.006
<i>Antirrhinus majus</i>	0.006
Sp. 13	0.004
Sp. 14	0.004
Sp. 15	0.004
“Palo amargo” no id.	0.004

Tabla A12 (Continúa).

Componente	Promedio (%)
Palma no id.	0.004
Sp. 16	0.003
Sp. 17	0.003
<i>Quercus rugosa</i>	0.003
<i>Persea americana</i>	0.003
<i>Symphoricarpos microphyllus</i>	0.002
Sp. 18	0.002
Sp. 19	0.002
Sp. 20	0.002
<i>Piqueria trinervia</i>	0.002
Lamiaceae no id.	0.002
Sp. 21	0.002
Sp. 22	0.001
Sp. 23	0.001
Sp. 24	0.001
Sp. 25	0.001
Sp. 26	0.001
<i>Verbesina virgata</i>	0.001
<i>Commelina coelestis</i>	0.001
<i>Bidens</i> sp.	0.0008
<i>Ipomea</i> sp.	0.0005
Sp. 27	0.0005
Sp. 28	0.0004
Rosaceae no id. 2	0.0004
Amarantaceae no id.	0.0004

Apéndice 2

Tabla A13. Datos de eucaliptos para calcular la regresión lineal biomasa y PAP en la población de CU. s.d.= sin datos.

Variable	Número de eucalipto							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Altura (m)	3.5	4.6	8.0	7.8	19.17	19.32	s.d.	s.d.
PAP (m)	0.09	0.10	0.26	0.30	0.61	0.98	1.10	1.27
Peso fresco (kg)	25.0	5.0	3.0	5.0	664.5	950.0	1240.0	1670.0
Peso seco (kg)	11.2	2.7	8.0	25.9	485.6	469.0	649.2	1007.3