

Análisis de la generación de residuos de podas en el área metropolitana de Cúcuta (Colombia)

Analysis of the generation of pruning waste in the metropolitan area of Cúcuta (Colombia)

^aJohn Fredy Gelves-Díaz, ^bRichard Monroy-Sepúlveda, ^cSandra Milena Rozo-Rincón, ^dYebrail Alexis Romero-Arcos

 a. Doctor en Ingeniería, johnf.gelved@unilibre.edu.co, Universidad Libre Cúcuta, Cúcuta, Colombia.

 b. Magister en ingeniería ambiental, richard.monroys@unilibre.edu.co, Universidad Libre Cúcuta, Cúcuta, Colombia.

 c. Magister en ciencia y tecnología de materiales, sandram.rozor@unilibre.edu.co, Universidad Libre Cúcuta, Cúcuta, Colombia.

 d. Magister en gerencia de empresas, yebrail.romeroa@unilibre.edu.co. Universidad Libre Cúcuta, Cúcuta, Colombia.

Recibido: Junio 1 de 2021 Aceptado: Octubre 8 de 2021

Forma de citar: J.F. Gelves-Díaz, R. Monroy-Sepúlveda, S.M. Rozo-Rincón, Y.A. Romero-Arcos “Análisis de la generación de residuos de podas en el área metropolitana de Cúcuta (Colombia)”, *Mundo Fesc*, vol. 11, S4, pp. 209-222, 2021

Resumen

Se estimó la cantidad de biomasa generada por las especies más representativas presentes en la zona urbana de Cúcuta, Villa del Rosario y Los Patios a fin de establecer su potencial (másico) en la generación de energía térmica. La metodología contempló la identificación de especies, conteo en barrios y su proyección a cada uno de los municipios estudiados. De igual manera se estimó la cantidad de especímenes presentes al interior de los hogares. Se determinó la biomasa generada, a partir de los datos de especímenes identificados, frecuencia y cantidad de poda promedio recolectada, así como la cantidad de masa seca y poder calorífico que se puede obtener para realizar combustión. 13 especies son las más representativas en la generación de estos residuos, donde *Licania tomentosa* y *Azadirachta indica* aportan más del 84% de la biomasa generada, alcanzando un potencial de 2.200 toneladas al mes y una energía de 15305 kJ/kg.

Palabras clave: Biomasa vegetal, especies de neotrópico, potencial energético, valorización de residuos

Autor para correspondencia:

*Correo electrónico: johnf.gelved@unilibre.edu.co



Abstract

The amount of biomass generated by the most representative species present in the urban areas of Cúcuta, Villa del Rosario and Los Patios was estimated in order to establish their potential (mass) in the generation of thermal energy. The methodology contemplated the identification of species, counting in neighborhoods and their projection to each of the municipalities studied. In the same way, the number of specimens present inside the homes was estimated. The generated biomass was determined, from the data of identified specimens, frequency and average amount of pruning collected, as well as the amount of dry mass and calorific power that can be obtained to carry out combustion. 13 species are the most representative in the generation of this waste, where *Licania tomentosa* and *Azadirachta indica* contribute more than 84% of the biomass generated, reaching a potential of 2,200 tons per month and an energy of 15305 kJ/kg.

Keywords: Energy potential, neotropical species, plant biomass, waste recovery.

Introducción

La ciudad de Cúcuta y los municipios del área metropolitana (Colombia) se caracterizan por ser centros urbanos con un alto nivel de arborización [1-3]. Esta característica del territorio se fundamenta en el hecho de que la presencia de árboles en calles, frentes de casas y patios contribuye a reducir los efectos del clima de la zona, el cual puede superar hasta los 35°C durante el día [4-5].

A pesar de las ventajas que trae la presencia de árboles en los centros urbanos existen también algunos aspectos negativos que deben ser tenidos en consideración [6,7]. El primero de ellos está asociado a las hojas que caen al piso producto del proceso natural de los árboles, este material no cuantificado suele ser recolectado en los hogares y por las empresas encargadas de la limpieza de calles en el área metropolitana de Cúcuta (Veolia). Estos residuos debido al volumen que ocupan generan sobrecostos tanto al usuario residencial como a la empresa de aseo, puesto que los mismos deben ser llevados hasta el relleno sanitario para su disposición final.

Por otro lado, los árboles sembrados en los andenes/aceras de la ciudad deben ser podados para mantener funcionales las líneas de energía eléctrica y telefonía existentes.

Acorde con la empresa Centrales Eléctricas del Norte de Santander, responsables de las podas de especies que afectan la red eléctrica, y la Sociedad de Mejoras Públicas (empresa contratista para las podas), se recogen más de 600 toneladas de biomasa al año en los municipios estudiados, como resultado de la poda en zonas públicas, material que actualmente no tiene ninguna aplicación y que también representa sobrecostos debido al proceso de disposición final que se debe realizar.

La biomasa vegetal ha mostrado, en los últimos años, tener grandes aplicaciones en muchos campos, la obtención de energía por su combustión, obtención de fases gaseosas de mayor valor agregado, obtenciones de fase líquidas de interés para la sociedad como el caso de etanol y metanol y compuestos sólidos también de gran valor, entre estos los más comunes son los carbones activados, útiles para procesos de separación de sustancias, soporte de catalizadores, limpieza de sustancias en medio líquidos entre otras posibilidades [8-13]

Alrededor del mundo diferentes tipos de biomasa (natural, residual y por cultivos) se han utilizado en la búsqueda de compuestos de valor agregado. Cultivos de maíz, risino, residuos como el bagazo de caña, cascarilla de arroz, coco, cisco de café, oliva, residuos

de la palma de aceite entre otros han sido reportados en la literatura [14-18].

La investigación está fundamentada en la necesidad de identificar las principales especies arbóreas en los municipios de Cúcuta, Villa del Rosario y Los Patios a partir de donde se identifican las frecuencias de poda y cantidades recolectadas, para finalmente estimar las cantidades de biomasa vegetal generadas que serán el principal insumo para el desarrollo de futuras investigaciones, entre estas el potencial para generar energía térmica.

Materiales y métodos

El presente estudio se desarrolló en el departamento Norte de Santander (Colombia), en la zona urbana de los municipios de Cúcuta, Villa del Rosario y Los Patios, que hacen parte del área metropolitana de Cúcuta y cuya temperatura media oscila entre 23°C – 34°C [19].

En estos municipios se identificaron las especies presentes, información necesaria para identificar el potencial de biomasa. Se siguieron los siguientes pasos:

- ***Determinación de las especies representativas de los municipios de Cúcuta, Villa del Rosario y Los Patios.***

Se identificaron las 10 comunas que conforman la ciudad de Cúcuta, en cada una de ellas se seleccionó de manera aleatoria un barrio, en cada uno se determinó su área (calles y avenidas que lo conforman), se usó la herramienta Google Maps. A partir de esta información se realizó la salida de campo en donde se efectuó el conteo manual de cada una de las especies encontradas. Para el caso de Villa del Rosario y Los Patios se seleccionó un sector y se efectuó el mismo procedimiento anterior. A continuación, en la Tabla I, se presenta la delimitación geográfica de los barrios en donde se realizó el conteo de especies.

Tabla I. Delimitación geográfica de comunas del municipio de Cúcuta

Municipio	Sector	Delimitación geográfica
Cúcuta	Comuna 1: El contenido	Desde avenida 8 hasta avenida 14 y desde calle 11 hasta calle 15.
	Comuna 2: Quinta oriental	Avenida 12E hasta avenida 7e y desde avenida Gran Colombia hasta calle 0 AN.
	Comuna 3: La Libertad	Sector 1: desde calle 12 hasta calle 15 y desde avenida 8 hasta avenida 11; Sector 2: calle 15 a hasta calle 20 y desde avenida 9 hasta avenida 13.
	Comuna 4: San Luis	Desde avenida 1 hasta avenida 7 y desde calle 3 hasta calle 19.
	Comuna 5: Colpet –Pescadero	Desde calle 7 Norte hasta calle 2 Norte y desde avenida canal Bogotá hasta avenida 7 (vía Sevilla).
	Comuna 6: Aeropuerto	Desde calle 1 hasta calle 17 y desde avenida 1 hasta avenida 4.
	Comuna 7: Comuneros	Desde autopista vía al Zulia hasta la calle 5 y desde avenida de Las Américas (avenida 00) hasta vía acceso a Motilonos (es decir redoma de Palustre hasta redoma de Claret, avenida 14 o avenida 24).
	Comuna 8: Ceci	Desde calle 2 hasta calle 9 y desde avenida 2 hasta avenida 9.
	Comuna 9: Belén	Desde calle 21 hasta calle 33 y desde la avenida 26 a avenida 29.
	Comuna 10: San Rafael - Puente Barco	Desde avenida Libertadores hasta avenida 5 (sin tener en cuenta callejuelas y cerros) y desde antiguo DAS hasta calle 21, avanzando por avenida 3 y luego tomando la calle 18 hasta llegar a la avenida 5.
Los Patios	Zona centro del casco urbano	Desde carrera 6 hasta carrera 2 y desde calle 37 hasta calle 25.
Villa del Rosario	Zona centro del casco urbano	Desde carrera 6 hasta carrera 12 y desde calle 1 hasta calle 8.

Los datos recolectados se registraron en una matriz y se totalizó la frecuencia encontrada de cada una de las especies, en el área analizada. A partir de esta información se determinó el área de la zona de muestreo y el área de la comuna o municipio (para Los patios y Villa del Rosario), según el caso, usando la herramienta Google Maps, excluyendo de la medida zonas en donde no se evidenció calles (zonas de ladera). A partir de esto, se estimó la cantidad de cada especie en la zona analizada mediante la expresión (1):

$$E_i = \frac{C_i \cdot A_t}{A_1} \quad (1)$$

En donde:

E_i = Cantidad total de la especie en la comuna o municipio

C_i = Cantidad de la especie en el barrio analizado

A_t = área total de la comuna o municipio

A₁ = área de muestreo del barrio en donde se realizó el conteo de especies

Para identificar la cantidad total de cada especie se realizó la sumatoria de las cantidades estimadas en cada comuna para el caso de Cúcuta, y así mismo para Los Patios y Villa del Rosario.

• *Determinación de especies presentes en los hogares*

Se construyó, validó y aplicó un instrumento de recolección de datos para responder a información sobre la existencia de árboles al interior de los hogares, la cantidad y especies de árboles con que se cuenta. Para el cálculo de la muestra se utilizó el muestreo probabilístico haciendo uso de la ecuación (2) [20], teniendo en cuenta la cantidad de hogares de la cabecera municipal de cada uno de los municipios, según información del Censo 2018 del DANE, tal como se presenta en la Tabla 2.

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot P \cdot Q}{d^2 \cdot (N-1) + Z^2 \cdot P \cdot Q} \quad (2)$$

Tabla II. Determinación del tamaño de muestra para aplicación de encuestas en los hogares

Municipio	Hogares	Población ajustada a cabecera (N)	Nivel de confianza (Z)	Error admisible (d)	Probabilidad de éxito / fracaso (P y Q)	Muestra (n)
Cúcuta	185.450	237.994*0,96	95%	7,5%	50% 50%	171
Los Patios	28.295					133
Villa del Rosario	24.249					20
						18

El resultado arrojó como tamaño de muestra 171 hogares. Conforme a la representatividad de hogares en cada municipio: 78% para Cúcuta, 12% para Los Patios y 10% para Cúcuta, se determinó un tamaño de muestra de 133, 20 y 17 hogares respectivamente.

A partir de la información recolectada de la encuesta aplicada se estimó el total de árboles presentes al interior de los hogares en la muestra analizada. Posteriormente; se identificó el porcentaje de representatividad de cada especie usando la ecuación (3).

$$\%E_i = \frac{E_i}{E_t} * 100 \quad (3)$$

Donde:

E_i = Cantidad total de la especie en los hogares

E_t = Cantidad total de especies

Teniendo en cuenta esta representatividad se estimó el valor sobre la cantidad total de hogares (cabecera) de Cúcuta, Los Patios y Villa del Rosario la cual es de 228.474.

• *Total de especies en el territorio*

Una vez obtenida la información de especies presentes en los espacios públicos de los barrios

de los municipios estudiados y al interior de los hogares se totalizó la cantidad de cada una de ellas para establecer el total y su representatividad final en el territorio.

- ***Determinación de biomasa vegetal que se puede generar***

Teniendo en cuenta el total de especies presentes en la zona urbana de los municipios estudiados se determinaron las especies más representativas y entre ellas se escogieron aquellas que en verdad tiene potencial de podas, esto permite descartar algunas especies, particularmente aquellas de porte alto como el samán (*Samanea samán*), camajón (*sterculia apetala*) o la ceiba pentandra [1,3] sobre las cuales no es común que se realice un proceso de poda.

A partir de esta información se identificó la cantidad de podas obtenidas de las diferentes especies, se tuvo en cuenta las de mayor representatividad que estuvieran sobre calles y avenidas por su facilidad al acceso, y de ellas se escogieron y se recolectaron las podas con el apoyo de la sociedad de mejoras públicas del municipio de Cúcuta Norte de Santander, este material recolectado fue molido en una maquina chipiadora (triturado) de la misma entidad. Una vez esto se pesaron los sacos con la biomasa húmeda, posteriormente se secaron muestras de cada especie en estufa de secado a 110°C hasta obtener peso constante en cada muestra. Posteriormente, se determinó el porcentaje de humedad y el peso seco de cada especie.

Cantidad de Biomasa húmeda por especie = Cantidad de especímenes * número de podas promedio anual * número de sacos por poda * peso de saco de biomasa húmeda

Para hallar la cantidad de biomasa seca se realizó el siguiente cálculo:

Cantidad de Biomasa seca por especie = Cantidad de Biomasa húmeda por especie * porcentaje de humedad.

- ***Determinación del poder calorífico inferior***

Conociendo el porcentaje de biomasa aportada por cada una de las especies seleccionadas en el apartado anterior se preparó una mezcla representativa a la cual se le determinó su poder calorífico inferior. Para ello se hizo uso de una bomba calorimétrica marca Parr modelo 1341EB, empleando 1,0 gramo de biomasa para el ensayo (11% humedad), material que fue previamente sometido a una reducción de grano y sometido a tamizado hasta lograr que toda la muestra lograra atravesar la malla 40 Tyler.

Resultados y discusión

- ***Estimación especies representativas en los municipios estudiados en calles y andenes***

Como resultado del trabajo desarrollado en las comunas de Cúcuta y en los municipios de Los Patios y Villa del Rosario, en la Tabla III se presenta en el consolidado de las especies y especímenes estimadas para las zonas de estudio (andenes, separadores y parques).

Tabla III. Especies representativas en espacios públicos

Especie	Cúcuta	Los Patios	Villa del Rosario	Total	Representatividad (%)
Oiti (<i>Licania tomentosa</i>)	87242	10103	15150	112494	52,57
Neem (<i>Azadirachta indica</i>)	22898	5962	3128	31989	14,95
Ficus normal (<i>Ficus benjamina</i>)	6908	859	2242	10009	4,68
Mirto costeño (<i>Guaia cum sanctum</i>)	5921	928	714	7563	3,53
Mirto normal (<i>Murralla paniculate</i>)	6094	533	911	7538	3,52
Almendrón (<i>Terminalia catappa</i>)	4751	550	838	6138	2,87
Chirlobirlo (<i>Tecoma stants</i>)	1746	584	887	3217	1,50
Mango (<i>Mangifera indica</i>)	2383	344	123	2850	1,33
Cuji (<i>Prosopis juliflora</i>)	2122	567	74	2763	1,29
Limón de cerca (<i>Swinglea glutinosa</i>)	2189	241	172	2602	1,22
Mamoncillo (<i>Melicocca bijugatus</i>)	1711	361	123	2195	1,03
pino libro (<i>Thuja orientalis</i>)	1733	120	172	2026	0,95
Urapo (<i>Tabebuia rosea</i>)	1518	155	320	1993	0,93
Acacia amarilla (<i>Senna siamea</i>)	1612	137	148	1897	0,89
Veranera (<i>Bougainvillea</i>)	1613	69	25	1706	0,80
Leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	1145	172	49	1366	0,64
Chiminango (<i>Pithecellobium dulce</i>)	1119	103	123	1345	0,63
Limón normal (<i>Citrus x limón</i>)	900	103	197	1200	0,56
Azuceno blanco (<i>Plumeria pudica</i>)	856	52	148	1055	0,49
Coralito (<i>Cordia sebestena</i>)	1001	34	0	1035	0,48
Papayuelo (<i>Cnidioscolus aconitifolius</i>)	770	86	0	856	0,40
Cañahuate (<i>Tabebuia chrysantha</i>)	481	0	222	702	0,33
Matarratón (<i>Gliricidia septum</i>)	485	69	0	554	0,26
Samán (<i>Samanea saman</i>)	330	120	74	524	0,24
Carbonero (<i>Calliandra pittieri</i>)	432	17	49	499	0,23
Moringa (<i>moringa oleifera</i>)	406	86	0	492	0,23
Pino araucaria (<i>Araucaria araucana</i>)	355	34	74	464	0,22
Maíz tostado (<i>Coccoloba acuminata</i>)	246	0	197	444	0,21
Lluvia de oro (<i>Cassia fistula</i>)	277	137	0	415	0,19
Tamarindo (<i>Tamarindus indica</i>)	389	17	0	406	0,19
Ixora (<i>Ixora coccinea</i>)	277	17	99	393	0,18
Retamo calentano (<i>Parkinsonia aculeata</i>)	281	34	0	316	0,15
Noni (<i>Morinda citrifolia</i>)	223	34	25	282	0,13
Gusimo negro (<i>Guazuma ulmifolia</i>)	190	69	0	259	0,12
Ficus variegado (<i>Ficus variegata</i>)	93	17	148	257	0,12
Marañón (<i>Anacardium occidentale</i>)	191	17	49	257	0,12
Tulipán africano (<i>Spathodea Campanulate</i>)	207	0	49	256	0,12
Naranja (<i>Citrus x sinensis</i>)	212	0	25	237	0,11
Habillo (<i>Hura crepitans</i>)	110	0	123	233	0,11
Patevaca (<i>Bauhinia forficata</i>)	169	0	49	218	0,10
Acacia roja (<i>Delonix regia</i>)	96	120	0	217	0,10
Nispero (<i>Eriobotrya japonica</i>)	179	17	0	196	0,09
Anón (<i>Annona squamosa</i>)	182	0	0	182	0,08
Totumo (<i>Crescentia cujete</i>)	173	0	0	173	0,08
Higuerilla (<i>Ricinus communis</i>)	149	17	0	166	0,08
Peregrina (<i>Jatropha integerrima</i>)	159	0	0	159	0,07
Jaboncillo (<i>Sapindus saponaria</i>)	150	0	0	150	0,07
Guanabana (<i>Annona muricata</i>)	41	34	74	149	0,07
Clemón (<i>Thespesia populnea</i>)	95	52	0	147	0,07
Algodón de seda (<i>Calotropis gigantea</i>)	109	34	0	143	0,07
Clavelino (<i>Caesalpinia pulcherrima</i>)	100	0	0	100	0,05
Cerezo calentano (<i>Malpighia glabra</i>)	56	34	0	90	0,04
Mandarino (<i>Citrus reticulata</i>)	87	0	0	87	0,04

Continuación Tabla III. Especies representativas en espacios públicos

Especie	Cúcuta	Los Patios	Villa del Rosario	Total	Representatividad (%)
Manzano de agua (<i>Syzygium malaccense</i>)	65	17	0	83	0,04
Zapotoongo (<i>Pachira insignis</i>)	61	17	0	78	0,04
Callistemon (<i>Callistemon citrinus</i>)	51	17	0	68	0,03
Pomaroso (<i>Syzygium jambos</i>)	64	0	0	64	0,03
Aguate (<i>Persea americana</i>)	63	0	0	63	0,03
Guayabo (<i>Psidium guajava</i>)	57	0	0	57	0,03
Caujaro (<i>Cordia alba</i>)	9	34	0	43	0,03
Olivo negro (<i>Bucida spinosa</i>)	37	0	0	37	0,03
Orejero (<i>Enterolobium cyclocarpum</i>)	14	0	25	39	0,02
Caucho (<i>Ficus elástica</i>)	35	0	0	35	0,02
Uvo de playa (<i>Coccoloba uvifera</i>)	9	0	25	34	0,02
Ceiba pentandra (<i>Ceiba pentandra</i>)	26	0	0	26	0,01
Moral (<i>Maclura tinctoria</i>)	24	0	0	24	0,01
Guayacan carrapo (<i>Bulnesia arborea</i>)	24	0	0	24	0,01
Higuerón (<i>Ficus lucidissima</i>)	20	0	0	20	0,01
Bambú (<i>Bambusoideae</i>)	20	0	0	20	0,01
Teca (<i>Tectona grandis</i>)	19	0	0	19	0,01
Guadua (<i>Bambusa angustifolia</i>)	0	17	0	17	0,01
Duranta (<i>Duranta repens</i>)	17	0	0	17	0,01
Cedro rosado (<i>Cedrela odorata</i>)	14	0	0	14	0,01
TOTAL	163.791	23.141	26.851	213.786	100,0

De la información de la Tabla III, destaca que las especies Oití y el Neem representan el 67,5% del total de especies encontradas en calles y avenidas de los municipios de Cúcuta, Villa del Rosario y Los Patios. Por otra parte, especies como: Ficus normal, Mirto costeño, Mirto normal, Almendrón, Chirlobirlo, Mango, Cují, Limón de cerca, Mamoncillo, tienen una representatividad menor con porcentajes que oscilan entre el 5% y 1%. Las demás especies cuentan con una participación inferior al 1%.

En este listado no se consideró especies muy pequeñas debido a que no generan cantidades significativas de podas, de igual manera no se incluyó las diferentes especies de palmeras también debido a su baja producción de residuos de biomasa vegetal.

• *Estimación de especies presentes en los hogares*

A partir del instrumento de recolección se buscó determinar qué cantidad de hogares poseen por lo menos un árbol al interior de este, los resultados obtenidos se presentan en la Figura 1.

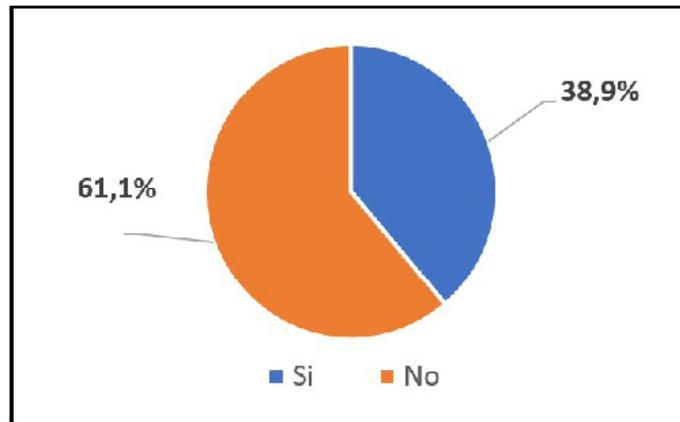


Figura 1. En su vivienda, ¿tiene árboles en su patio o solar? (no incluya el andén o antejardín)

A partir de este resultado se logró establecer que solo en el 38,9% de los hogares de los tres municipios existe árboles al interior de las casas, es decir, que en 1 de cada 3 hogares de la zona urbana analizada hay al menos un árbol. Tomando como base la cantidad total de hogares (cabecera) de Cúcuta, Los Patios y Villa del Rosario que es 228.474 se tendría que, aproximadamente, 88.779 hogares cuentan al menos un árbol en su propiedad.

Al indagar sobre la cantidad de árboles presentes en los hogares se logró consolidar la información de la Figura 2.

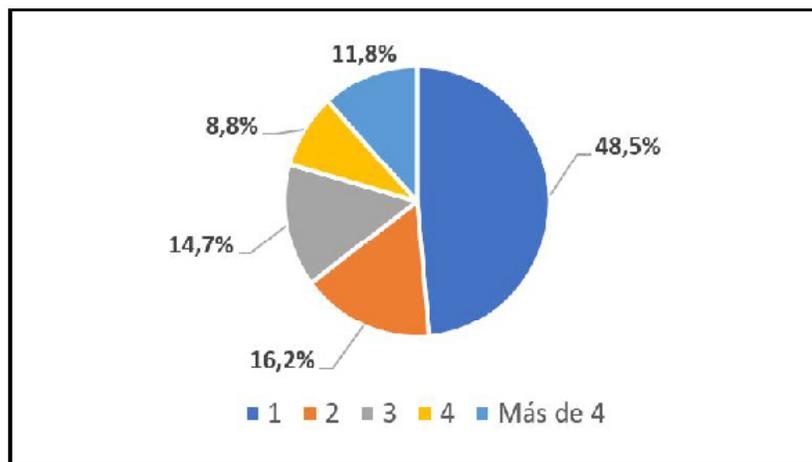


Figura 2. ¿Cuántos árboles hay en su patio o solar?

Acorde con la información de la Figura 2 se podría afirmar que del total de hogares que poseen árboles (88.779 hogares) 43.084 de ellos (48,5%) cuentan con un solo árbol, 14.361 hogares (16,2%) disponen de dos árboles, 13.056 hogares (14,7%) tienen tres árboles, 7.833 hogares (8,8%) cuentan con cuatro árboles y 10.445 hogares (11,8%) conservan más de cuatro árboles. Con la información anterior se logró cuantificar la cantidad de árboles que hay en todos los hogares de los municipios objeto de estudio, los resultados se presentan a continuación en la Tabla IV.

Tabla IV. Cantidad estimada de árboles al interior de los hogares

Cantidad de árboles	Hogares según cantidad de árboles	Cantidad total de árboles en hogares
1	43.084	43.084
2	14.361	28.722
3	13.056	39.167
4	7.833	31.334
Más de 4*	10.445	52.223
Total		194.529

Con relación a la Tabla IV, en la zona urbana de los tres municipios objeto de estudio se establece un aproximado de 194.529 especímenes. Una cantidad muy cercana a la que se estimó para las zonas públicas (andenes, separadores y parques).

Finalmente se diseñó una pregunta para conocer qué tipo de especie o especies era la que se tenía al interior de los hogares. Los resultados obtenidos se presentan a continuación en la Tabla V.

Tabla V. Estimación de la cantidad de especímenes al interior de las casas.

Especie	Cantidad	Representatividad (%)
Mango	40.028	20,6
Limón	35.695	18,3
Oití	11.973	6,2
Neem	7.402	3,8
Moringa	9.867	5,1
Naranja	4.179	2,1
Mandarina	4.150	2,1
Mamoncillo	9.064	4,7
Tamarindo	1.567	0,8
Palma de coco	11.158	5,7
Nispero	1.657	0,9
Matarratón	4.150	2,1
Pinos	11.888	6,1
Ficus	3.656	1,9
Otros	38.097	19,6
Total	194.529	100,0

De acuerdo con la información de la Tabla V, es notorio que las especies de árboles frutales son significativas al interior de los hogares. Las especies más representativas son las siguientes: mango (20,6%), limón (18,3%), oití (6,2%), moringa (5,1%), palma de coco (5,7%), los pinos en sus diferentes variedades (6,1%) y mamoncillos (4,7%). Dentro del componente Otros, los datos más reportados por los encuestados fueron el guanábano, la guayaba, el aguacate y el marañón, aunque también aparecen reportes de noni, chocheco, hobo y mirto. Especies como el neem y el oití si bien tienen representación al interior de los hogares, su participación es muy inferior a la identificada en las zonas públicas.

• *Total estimado de especímenes en el territorio*

Una vez establecidas las estimaciones de especímenes en las zonas públicas y al interior de los hogares de los tres municipios (Cúcuta, Los Patios y Villa del Rosario) se estableció el consolidado para el territorio, información que es presentada en la Tabla VI.

Tabla VI. Cantidad aproximada de especímenes en el territorio

Área	Cantidad de especímenes
Zona pública (calles, separadores, parques)	213.786
Interior de las casas	194.529
Total	408.315

Este dato obtenido permite inferir una mayor aproximación de la población de árboles de la zona objeto de estudio, información que podría ser útil a personas dedicadas a la academia, a la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (Corponor), Gobernación de Norte de Santander, Alcaldías de los municipios objeto de estudio y entidades como Centrales eléctricas del Norte de Santander, Veolia, Corpocero y Sociedad de Mejoras Públicas de Cúcuta, quienes de una u otra forma intervienen en el cuidado, poda y recolección de residuos de biomasa vegetal.

Finalmente, en la Tabla VII se presenta el consolidado de las especies más relevantes incluido zonas públicas y hogares en la zona de estudio.

Tabla VII. Estimación de las especies más relevantes en el territorio (zonas públicas e interior de hogares)

Especie	Especímenes	Representatividad (%)
Oití	124.467	30,46
Mango	42.878	10,49
Neem	39.391	9,64
Limón	36.895	9,03
Especies de pino	14.378	3,52
Ficus benjamina	13.665	3,34
Palma de coco	11.158	2,73
Moringa	10.359	2,53
Mirto costeño	7.563	1,85
Mirto normal	7.538	1,84
Almendrón	6.138	1,50
Mataratón	4.704	1,15
Naranja	4.416	1,08
Mandarino	4.237	1,04
Chirlobirlo	3.217	0,79
Cují	2.763	0,68
Otros	76.990	18,33

• *Estimación de la cantidad de biomasa vegetal de especies más representativas*

A partir de los resultados obtenidos y en compañía del personal de una de la empresa encargada de realizar podas en la zona metropolitana de Cúcuta, se logró establecer que, del total de especies identificadas, 13 de ellas son la que tienen más potencial en la generación de material de poda de la zona objeto de estudio. De igual manera se realizó algunos ajustes sobre algunas especies que por su característica de porte alto no siempre son sometidas a poda, estas especies son el mango y el urapo. En el primer caso solo se tomó el 30% de los especímenes de mango con potencial de ser podado especialmente los que están en andenes y separadores. En el caso del Urapo se consideró solo el 40% de la población estimada, esto debido al gran tamaño que puede alcanzar la especie, dejando una gran parte de los especímenes sin necesidad de poda. El consolidado de cada especie y el total esperado de biomasa de poda para la región se presenta en la Tabla VIII.

Tabla VIII. Cantidades de biomasa generadas por especie

Especie	Cantidad	Número de podas al año	Número de sacos obtenidos en poda	Peso de un saco de poda húmedo (kg)	Total de masa húmeda (kg)	% humedad de la especie	Peso seco de la biomasa(kg)
Oití	124467	2	3	13,5	10081827	47,4	5305057
Neem	39391	3	5	18,0	10635570	54,7	4813659
Ficus Benjamina	13665	2	4	12,0	1311840	36,6	832362
Almendrón	6138	3	4	16,5	1215324	56,8	525020
Cují	2763	2	3	11,5	190647	52,4	90843
Chiminango	1345	3	5	12,0	242100	66,5	81104
Mango	12863	1	2	15,0	385902	59,3	157216
Limón de cerca	2602	3	0,33	15,0	38991	59,3	15877
Acacia amarilla	1897	2	2	17,5	132790	48,9	67789
Leucaena	1366	3	3	18,5	227439	51,2	110945
Mirto costeño	7563	1	1	14,0	105882	50,0	52941
Urapo	797	3	6	16,5	236768	62,5	88907
Mamón	1097	1	5	14,5	79569	57,9	33530
Total anual (kilogramos)					24884649		12175251
Total (toneladas/mes)					2073,7		1016,1

De la información de la Tabla VIII se logra evidenciar que las dos especies que aportan la mayor cantidad de biomasa (poda) en la zona objeto de estudio son el neem y el oití, sin embargo, es importante destacar que a pesar de que el Oití es la especie con mayor cantidad de especímenes, el neem genera una cantidad muy similar de poda a pesar de solo contar una tercera parte de la población de Oití. Se evidencia que esta biomasa húmeda posee diferentes contenidos de humedad según la especie siendo la más húmeda el chiminango y la menos húmeda el Ficus Benjamina, con un valor medio de 51%, lo cual deja como resultado una cantidad de biomasa seca de 12175 toneladas anuales, o su equivalente mensual de 1016 toneladas. Esta cantidad de biomasa seca resulta muy significativa, la cual podría ser útil en muchos procesos como la combustión directa para generar energía, su transformación a través de procesos de pirolisis o biogásificación incluso en la fabricación de abonos orgánicos.

• Poder calorífico

Finalmente, y pensando en la opción más simple que es la combustión de esta biomasa se determinó el poder calorífico de esta biomasa, a partir de las mezclas de las diferentes especies de la Tabla 8 teniendo en cuenta su representatividad másica. Los resultados son presentados en la Tabla IX.

Tabla IX. Poder calorífico inferior de la biomasa de la zona y de otros referentes

Material	Poder calorífico (kJ/kg)
Biomasa de la zona	15305
Cascarilla de arroz*	15397
Bagazo de caña*	16188

* Datos tomados de [21,22]

De la información de la Tabla IX se evidencia que el valor de poder calorífico de la mezcla de biomasa proveniente de la poda de la zona urbana de Cúcuta y municipios aledaños no resulta nada despreciable si se compara con otros referentes de biomasa usados actualmente en combustión como lo son la cascarilla de arroz y el bagazo de caña. Este dato deja ver

que, si hay potencial para usar este residuo como fuente de generación de energía, información que será tenida en cuenta por los investigadores de este trabajo a fin de seguir profundizando en el tema.

Conclusiones

A través de la presente investigación se logró estimar la cantidad de árboles que existen en la zona urbana de los municipios de Cúcuta, Los Patios y Villa del Rosario los cuales ascienden a 408.315 especímenes provenientes de más de 70 especies.

De este total de especies se identificó que 13 de ellas son las principales generadoras de residuos de biomasa en la zona, ya sea por su cantidad, pero también por su velocidad de crecimiento y/o cantidad de biomasa generada en cada poda. Estas especies son el oití, neem, mango, ficus, almendrón, cují, chiminango, acacia amarilla, urapo, mamoncillo, mirto costeño, limon swinglea y leucaena.

A pesar de que el oití triplica en cantidad de unidades al neem, esta última especie con su mayor frecuencia y cantidad de poda, aporta un valor similar de biomasa, entre ambas especies pueden aportar el 84% del total de la biomasa vegetal que se estima se está generando en la zona por las 13 especies más relevantes.

Existe un potencial de 2073 toneladas/mes de biomasa vegetal producto de las podas de las 13 especies identificadas en la zona urbana municipios de Cúcuta, Villa del Rosario y Los Patios dato muy valioso que puede orientar acciones de investigación para su aprovechamiento. Los datos de humedad establecidos para las especies relevantes indican valores de entre 36,5% y 66,5%, con un valor medio de 51%, lo cual deja una masa útil 1015 toneladas/mes para su posible uso en la generación de energía.

Los resultados de caracterización preliminares sobre el poder calorífico de la biomasa que se genera actualmente en la zona arrojaron un poder calorífico de 15305 kilojulios/kilogramo de biomasa, dato que resulta interesante ya que es superior o similar a otras biomásas que actualmente tienen aplicabilidad en la generación de energía térmica.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación a través del Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, Tecnología e Innovación “Fondo Francisco José de Caldas” por la financiación brindada para el desarrollo del proyecto (proyecto 120885272102, convocatoria 852 de 2019). De igual forma expresar los agradecimientos a la Universidad Libre, la Universidad Nacional de Colombia, Centrales eléctricas de Norte de Santander, la Sociedad de mejoras públicas y a la Corporación para la recuperación y mantenimiento de la avenida Cero (CORPOCERO), por el apoyo brindado para el desarrollo de la presente investigación.

Referencias

- [1] E. Valderrama, “Design and implementation of a preliminar dendromorphical or arborescent key for the identification of the botanical families of the arboreal species of San José de Cúcuta”, *Respuestas*, vol. 24, no. 3, pp. 26-30, 2019. <https://doi.org/10.22463/0122820X.1846>
- [2] B. Garzón, L. Prieto, “Árboles para Cúcuta: Especies que fortalecen la Estructura Ecológica Principal Nodo: Arquitectura Ciudad”, *Medio Ambiente*, vol. 1, no. 1, pp. 45-62, 2006
- [3] J. Gelves, S. Rozo, R. Monroy, Y. Romero,

- Cincuenta especies de árboles no tan comunes en el área metropolitana de Cúcuta. San José de Cúcuta, Colombia: Editorial Universidad Libre seccional Cúcuta, 2021*
- [4] J. Soza, M. Silva, J. de Faria, "Temperatura Superficial de Materiais sob a influência do sombreamento de diferentes Espécies Arbóreas", *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, vol. 12, no. 1, pp. 14-28, 2016. <https://doi.org/10.17271/1980082712120161311>
- [5] A. Galindo-Bianconi, R. Victoria-Uribe, "La vegetación como parte de la sustentabilidad urbana: beneficios, problemáticas y soluciones, para el Valle de Toluca Quivera", *Revista de Estudios Territoriales*, vol. 14, no. 1, pp. 98-108, 2012. <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894006.pdf>
- [6] L. Prieto, "Árboles para el fortalecimiento de la estructura ecológica principal de Bucaramanga y Cúcuta", *Revista M*, vol. 3, no. 1, pp. 44-53, 2006
- [7] J. Hernández, C. Dobbs, "Evaluación y Seguimiento de la Vegetación Urbana", *Sustentabilidad y Biodiversidad Urbana*, pp. 133-170, 2015
- [8] V. Kirubakaran, V. Sivaramakrishnan, R. Nalini, T. Sekar, M. Premalatha, P. Subramanian, "A review on gasification of biomass", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 1, pp. 179-186, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.07.001>
- [9] R. García, C. Pizarro, A. Lavín, J. Bueno, "Characterization of Spanish biomass wastes for energy use", *Bioresource technology*, vol. 103, no. 1, pp. 249-258, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.10.004>
- [10] Y. Singh, P. Mahanta, U. Bora, "Comprehensive characterization of lignocellulosic biomass through proximate, ultimate and compositional analysis for bioenergy production", *Renewable Energy*, vol. 103, pp. 490-500, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.11.039>
- [11] E. Cerdá, "Energía obtenida a partir de biomasa", *Cuadernos económicos del ICE*, pp. 117-124, 2012
- [12] P. Aguilar, P. Bonelli, M. Cassanello, A. Cukierman, J. García, M. Suárez, "Producción de carbón activado a partir de residuos de la industria azucarera", *Afinidad*, vol. 60, no. 506, pp. 338-343, 2003
- [13] F. Cuadros, A. González-González, A. Ruiz-Celma, F. López-Rodríguez, J. García-Sanz-Calcedo, J. García, "¿Qué pasa con la biomasa?", *Revista Española de Física*, vol. 25, no. 1, pp. 13-22, 2011
- [14] H. Dorado Guerra. "Uso de subproductos de la industria de café y caña de azúcar como fundente y formador de poros en la manufactura de ladrillos de arcilla roja", Tesis doctoral, Cali: Universidad del Valle, 2015
- [15] C. Estrada, A. Meneses, "Gasificación de biomasa para producción de combustibles de bajo poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor", *Scientia et Technica*, vol. 2, no. 25, pp. 155-159, 2004
- [16] J. Sandoval, "Tusa del maíz: una fuente de energía renovable", *Universitas Científica*, vol. 16, no. 2, pp. 62-65, 2013
- [17] C. Pérez, L. López, "Análisis de residuos sólidos de palma africana, como alternativa de aprovechamiento de energías renovables en el departamento

- del Cesar”, *Ingenierías USBMed*, vol. 10, no. 1, pp. 8-18, 2019
- [18] J. Berbel, C. Gutiérrez-Martín, J. La Cal, “Valorización de los subproductos de la cadena del aceite de oliva”, *Mediterr. Econ*, vol. 31, pp. 273-289, 2018
- [19] V. Sarmiento, Estructura, composición florística y diversidad funcional del bosque seco tropical de Cúcuta, Colombia. Trabajo de grado Biología, Pamplona: Universidad de Pamplona, 2018
- [20] J. Sánchez, J. Gelves, Y. Romero-Arcos, “Caracterización tecnológica y del talento humano de las empresas fabricantes de cerámica roja ubicadas en el área metropolitana de Cúcuta”, *Respuestas*, vol. 17, no. 2, pp. 71-80, 2012
- [21] D. Muñoz, M. Cuatin, A. Pantoja, “Potencial energético de residuos agroindustriales del departamento del Cauca, a partir del poder calorífico inferior”, *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 11, no. 2, pp. 156-163, 2013
- [22] S. Ramón, J. Gutiérrez, J. Rojas-Suárez, “Poder calorífico de la cascarilla de arroz usada como combustible en hornos de secado”, *Mundo Fesc*, vol. 8, no. 16, pp. 63-67, 2018