



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

“EVALUACIÓN DE LOS RESIDUOS DE PODA URBANA PARA LA
GENERACIÓN DE ESTRATEGIAS DE APROVECHAMIENTO EN LA
CIUDAD DE IBARRA”

TRABAJO DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO/A EN
RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORES:

Joseph Andrés Albán Cevallos
Deisy Paulina Jácome Sangoquiza

DIRECTOR:

Ing. Santiago Mauricio Salazar Torres MSc

Junio, 2021



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

**CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Ibarra, 09 junio del 2021

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN DE LOS RESIDUOS DE PODA URBANA PARA LA GENERACIÓN DE ESTRATEGIAS DE APROVECHAMIENTO EN LA CIUDAD DE IBARRA”**, de autoría del señor **ALBÁN CEVALLOS JOSEPH ANDRÉS** y la señorita **JÁCOME SANGOQUIZA DEISY PAULINA** estudiantes de la Carrera de **INGENIERÍA RECURSOS NATURALES RENOVABLES**, el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que los autores ha procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencia realizadas por este tribunal.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

FIRMA

Ing. Santiago Salazar MSc.
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN



Ing. Santiago Salazar T. MSc

Biol. Renato Oquendo MSc
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN



Biol. Renato Oquendo MSc.
DOCENTE FICAYA

Dr. Juan Carlos García M. PhD
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN



Misión Institucional:

Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN NRO. 001-073-CEAACES-2013-13
Ibarra-Ecuador

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte de manera digital para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA:	1721875852	
NOMBRES Y APELLIDOS:	Albán Cevallos Joseph Andrés	
DIRECCIÓN:	Juan de Salinas y Liborio Madera 1-11	
EMAIL:	jaalbanc@utn.edu.ec	
TELEFONO FIJO Y MOVIL:	2 545-879	0984208127

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA:	0401757075	
NOMBRES Y APELLIDOS:	Jácome Sangoquiza Deisy Paulina	
DIRECCIÓN:	El Olivo - Ibarra - Ecuador	
EMAIL:	dpjacomes@utn.edu.ec	
TELEFONO FIJO Y MOVIL:	-	0969651927

DATOS DE LA OBRA		
TÍTULO:	EVALUACIÓN DE LOS RESIDUOS DE PODA URBANA PARA LA GENERACIÓN DE ESTRATEGIAS DE APROVECHAMIENTO EN LA CIUDAD DE IBARRA	
AUTORES:	Albán Cevallos Joseph Andrés Jácome Sangoquiza Deisy Paulina	
FECHA:	08 junio, 2021	
SOLO PARA TRABAJO DE TITULACIÓN		
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO	<input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingenieros en Recursos Naturales Renovables	
DIRECTOR:	Ing. Santiago Salazar MSc.	

MISIÓN INSTITUCIONAL: Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN NRO. 001-073-CEAACES-2013-13
Ibarra-Ecuador

2. CONSTANCIA

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asume responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 09 de junio de 2021

LOS AUTORES

Joseph Andrés Albán Cevallos
C.I: 1721875852

Deisy Paulina Jácome Sangoquiza
C.I: 0401757075

MISIÓN INSTITUCIONAL: Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por habernos dado sabiduría, fortaleza y constancia en el desarrollo del presente trabajo de titulación.

A nuestros padres y hermanos por habernos brindado su apoyo incondicional en cada una de las etapas que hemos cursado en la vida, para desarrollarnos con buenos principios y valores.

A nuestro director de tesis Ing. Santiago Salazar por la paciencia y orientación, quien estuvo presto a solventar cada una de nuestras inquietudes para culminar con éxito esta investigación. De la misma manera agradecemos a nuestros asesores Biol. Renato Oquendo y Dr. Juan Carlos García, quienes con sus acertados consejos y correcciones han sido parte fundamental para cumplir cada uno de los objetivos propuestos en el estudio.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Ibarra, en especial a la Dirección de Gestión Ambiental, Dirección de Avalúos y Catastros, Ing. Roberto Ortega de la Unidad de Patrimonio Natural e Ing. Cristian Moreno del Área de Parques y Jardines, por facilitarnos la información necesaria y apoyo técnico en el trabajo de campo realizado, también a todo el personal encargado del mantenimiento de áreas verdes y de la Loma de Guayabillas.

Al Ing. Paúl Arias por aportar sus conocimientos y experiencia dentro y fuera de las aulas.

A nuestros compañeros de aula y amigos con los que hemos compartido inolvidables experiencias académicas, deportivas y de recreación.

Joseph y Deisy

DEDICATORIA

A Dios y mis padres que constituyen el pilar fundamental de mi vida, por toda su paciencia, sabiduría y amor brindado a lo largo de mi vida.

A mi familia por sus palabras de aliento y cariño incondicional durante toda mi etapa universitaria.

A Iveth por su cariño y apoyo incondicional para concluir con éxito este trabajo de investigación.

Joseph Albán

DEDICATORIA

A Dios, por haberme ayudado a ser fuerte y perseverar a lo largo de mi formación académica.

A mi madre María. S., mi guía de vida a quien dedico este nuevo logro. Gracias por brindarme la oportunidad de la preparación académica, por su amor, su apoyo incondicional y enseñarme la importancia del esfuerzo continuo para alcanzar nuestros sueños.

A mi hermano Bryan J. mi cómplice de vida, por acompañarme en cada paso que doy, por darme palabras de aliento cuando las necesito y celebrar mis logros como suyos. Este logro es por y para ustedes mi familia. Los amo mucho.

A mi padre, Oswaldo J., por su cariño y apoyo en el transcurso del desarrollo de este estudio.

A mis tíos Hna. Martha S., por su apoyo incondicional y sus palabras de aliento en los momentos precisos y sus enseñanzas de vida.

A todas las grandiosas personas que estuvieron presentes a lo largo de mi vida universitaria y compartieron geniales experiencias que ahora se han convertido en hermosos recuerdos que llevaré en mi corazón.

A todos quienes formaron parte de esta investigación.

Deisy Jácome

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	14
Capítulo I: Introducción	15
1.1 Revisión de Antecedentes	15
1.2 Problema de Investigación y Justificación.....	17
1.3 Pregunta Directriz	18
1.4 Objetivos	18
1.4.1 <i>Objetivo General</i>	18
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i>	18
1.5 Hipótesis de la investigación.....	18
Capítulo II: Revisión de Literatura	19
2.1.1 <i>Espacios Verdes Urbanos e Índice Verde</i>	19
2.1.2 <i>Silvicultura Urbana</i>	20
2.1.3 <i>Manejo Silvicultural</i>	21
2.1.4 <i>Potencial de Aprovechamiento de los Residuos de Poda</i>	23
2.1.5 <i>Aprovechamiento de Poder Calórico</i>	23
2.1.6 <i>Aplicaciones para el Uso de Biomasa Residual de Poda Urbana</i>	24
2.1.7 <i>Estrategias de Manejo de Residuos de Poda</i>	25
2.1.8 <i>Gestión de Residuos Sólidos en el Ecuador</i>	26
2.1.9 <i>Fases de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos</i>	27
2.1.10 <i>Clasificación de los Residuos Sólidos</i>	27
2.1.11 <i>Residuos Sólidos Orgánicos</i>	29
2.1.12 <i>Efectos de los Residuos Orgánicos en Rellenos Sanitarios</i>	30
2.1.13 <i>Residuos Sólidos Orgánicos de Poda Urbana</i>	31

2.2 Marco legal.....	32
2.2.1 Constitución de la República del Ecuador.....	32
2.2.2 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD).....	32
2.2.3 Código Orgánico Ambiental (COA)	33
2.2.4 Reglamento al Código Orgánico Ambiental (RCOA).....	33
2.2.5 Acuerdo Ministerial 061	34
2.2.6 Ordenanza Municipal	34
2.2.7 Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 - Toda una vida	35
Capítulo III: Metodología	36
3.1. Descripción del Área de Estudio.....	36
3.2 Métodos.....	37
3.2.1 Fase I: Diagnóstico del manejo actual y la disponibilidad de los residuos de poda urbana de la ciudad Ibarra	37
Entrevista a los actores clave.	37
Selección de las áreas verdes de mayor generación de residuos de poda.	38
Caracterización y pesaje de residuos de poda.	42
Extrapolación del peso de la biomasa.	42
3.2.2 Fase II: Análisis del poder calorífico de los residuos de poda urbana para el aprovechamiento energético	43
Diseño muestral.....	43
Poder Calorífico.	45
3.2.3 Fase III: Planteamiento de estrategias para el manejo de los residuos de poda urbana	46
3.3 Materiales y Equipos.....	48
Capítulo IV: Resultados y Discusión	49

4.1 Diagnóstico del Manejo Actual y la Disponibilidad de los Residuos de Poda Urbana de la Ciudad Ibarra	49
4.1.1 <i>Entrevista a los Actores Clave</i>	49
4.1.2 <i>Selección de las Áreas Verdes de Mayor Generación de Residuos de Poda</i>	57
4.1.3 Caracterización y Pesaje de Residuos de Poda	60
4.1.4 <i>Extrapolación del Peso de Residuos de Poda</i>	64
4.2 Análisis del Poder Calorífico de los Residuos de Poda Urbana Para el Aprovechamiento Energético.....	65
4.2.1 <i>Diseño Muestral</i>	65
4.2.2 <i>Poder Calorífico</i>	66
4.3 Planteamiento de Estrategias Para el Manejo de los Residuos de Poda Urbana	72
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones	82
5.1 Conclusiones	82
5.2 Recomendaciones.....	83
REFERENCIAS	84
ANEXOS	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Clasificación de Residuos Sólidos</i>	28
Tabla 2. <i>Escala de 9 puntos para Comparaciones Pareadas</i>	39
Tabla 3. <i>Criterios para la selección de las Áreas Verdes</i>	40
Tabla 4. <i>Alternativas para la selección de Áreas Verdes mediante AHP</i>	40
Tabla 5. <i>Matriz Multicriterio para la priorización de problemas</i>	47
Tabla 6. <i>Materiales, equipos e insumos</i>	48
Tabla 7. <i>Nivel de importancia de los criterios</i>	58
Tabla 8. <i>Resumen de la información para la selección de Parques</i>	59
Tabla 9. <i>Resumen de la información para la selección de avenidas</i>	59
Tabla 10. <i>Áreas Verdes seleccionadas mediante AHP</i>	60
Tabla 11. <i>Especies representativas de los sitios de muestreo</i>	65
Tabla 12. <i>Resultado del análisis de varianza de los datos de poder calorífico</i>	67
Tabla 13. <i>Poder Calorífico Superior de distintos materiales y biomasa</i>	70
Tabla 14. <i>Potencial energético por especie</i>	71
Tabla 15. <i>Matriz multicriterio de problemas identificados</i>	73
Tabla 16. <i>Implementación de planta peletizadora para el aprovechamiento de los residuos de poda</i>	75
Tabla 17. <i>Reestructuración de la logística en el Dpto. de Parques y Jardines</i>	77
Tabla 18. <i>Generación de información actualizada de las áreas verdes de la ciudad de Ibarra</i>	79
Tabla 19. <i>Buenas prácticas de silvicultura urbana</i>	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Determinantes en la silvicultura urbana</i>	21
Figura 2. <i>Fases de la gestión integral de residuos sólidos</i>	27
Figura 3. <i>Clasificación de residuos orgánicos por la fuente de generación</i>	29
Figura 4. <i>Clasificación de residuos orgánicos por su naturaleza</i>	30
Figura 5. <i>Ubicación de la zona urbana de Ibarra</i>	36
Figura 6. <i>Diagrama de jerarquización para la selección de los puntos de mayor generación de residuos de poda</i>	38
Figura 7. <i>Diseño muestral de recolección de muestras para poder calorífico</i> ...44	
Figura 8. <i>Recolección de muestras y método de secado</i>	44
Figura 9. <i>Pruebas de calorimetría en calorímetro isoperibólico AC500-LECO</i> ...45	
Figura 10. <i>Jerarquía de los actores clave del manejo de los residuos de poda urbana</i>	49
Figura 11. <i>Número de áreas verdes identificadas por los actores clave</i>	50
Figura 12. <i>Clasificación de áreas verdes en la ciudad de Ibarra</i>	51
Figura 13. <i>Personal de mantenimiento en el Parque La Mujer</i>	52
Figura 14. <i>Percepciones de actores clave sobre áreas verdes con mayor generación de residuos de poda e individuos arbóreos</i>	53
Figura 15. <i>Mantenimiento del Parque de la Mujer para realización de actividades municipales en conmemoración del 8 de marzo</i>	54
Figura 16 <i>Área de depósito de residuos de poda en la Estación de Transferencia de Socapamba</i>	55
Figura 17. <i>Sector de las Tolas de Socapamba</i>	56
Figura 18. <i>Áreas verdes muestreadas</i>	60
Figura 19. <i>Pesaje diferenciado en parques seleccionados</i>	61
Figura 20. <i>Pesaje de ramas</i>	62
Figura 21. <i>Pesaje diferenciado de las avenidas seleccionadas</i>	62
Figura 22. <i>Generación de residuos de tres árboles de balsa Ochroma pyramidale</i>	63
Figura 23 <i>Histograma de normalidad de poder calorífico</i>	67
Figura 24 <i>Diagrama de caja y bigotes de los datos de poder calorífico</i>	68
Figura 25 <i>Producción de energía en el Ecuador</i>	72

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

EVALUACIÓN DE LOS RESIDUOS DE PODA URBANA PARA LA
GENERACIÓN DE ESTRATEGIAS DE APROVECHAMIENTO EN LA
CIUDAD DE IBARRA

Albán Cevallos Joseph Andrés
Jácome Sangoquiza Deisy Paulina

RESUMEN

Los residuos de poda del mantenimiento de áreas verdes en los cascos urbanos se han convertido en un problema para las administraciones municipales. Estos residuos generalmente no tienen un manejo adecuado y su disposición final son los rellenos sanitarios o botaderos a cielo abierto generando impactos ambientales. La correcta gestión de este tipo de residuo puede contribuir a la economía local dándoles un valor agregado, además de prolongar la vida útil de los lugares de disposición final. El objetivo de la presente investigación fue evaluar los residuos de poda urbana para generar estrategias de aprovechamiento en la ciudad de Ibarra. Mediante la información obtenida de la entrevista aplicada a los actores clave e información técnica facilitada por el municipio, se definieron las áreas verdes para el pesaje y muestreo de tres tipos de biomasa: césped, ramas y hojarasca, con el propósito de analizar la calorimetría y potencial energético. Con relación al peso estimado, en la ciudad de Ibarra el césped produciría 662.72 ton/año, mientras que las ramas podrían generar alrededor de 35.98 ton/año correspondiente a seis especies representativas de la ciudad. En cuanto al poder calorífico se determinó que los estratos ramas y hojarasca alcanzaron un valor medio de 19 MJ/kg, por otro lado, el césped obtuvo un valor medio de 17 MJ/kg, este último por su cantidad de generación presentó un mayor potencial energético. Con el aprovechamiento de estos residuos se podría contribuir a la producción local y nacional de energía mediante el uso de biomasa.

Palabras clave: áreas verdes, aprovechamiento, poder calorífico, potencial energético

ABSTRACT

Pruning residues from the maintenance of green areas in urban areas have become a problem for municipal administrations. This waste is generally not properly managed, and their final disposal is landfills or open dumps thus generating environmental impacts. The correct management of this type of waste can contribute to the local economy by giving them added value, in addition to prolonging the useful life of the final disposal sites. The objective of this research was to evaluate the waste of urban pruning to generate strategies of use in Ibarra city. Through the information obtained from the interview applied to the key stakeholders and technical information provided by the municipality, the green areas were defined for the weighing and sampling of three types of biomass: grass, branches, and leaf litter, for the purpose of analyze calorimetry and energy potential. In relation to the estimated weight, in the city of Ibarra the grass would produce 662.72 tons/year, while branches could generate around 35.98 tons/year corresponding to six representative species of the city. As for the calorific value, it was determined that the branch and leaf litter strata reached an average value of 19 MJ/kg, on the other hand, grass showed an average value of 17 MJ/kg, the latter for its amount of generation presented a greater energy potential. The use of this waste could contribute to local and national energy production through the use of biomass.

Key words: green areas, use, calorific value, energy potential

Capítulo I

Introducción

1.1 Revisión de Antecedentes

Actualmente el manejo de los residuos sólidos urbanos (RSU) se ha convertido en un problema fundamental a escala global; el uso desmedido de los recursos, la urbanización, el crecimiento demográfico y del sector industrial han ocasionado un aumento constante de la generación de desechos sólidos en todas las naciones, sobre todo en ciudades con altos ingresos económicos (Calva y Rojas, 2014). A escala global los residuos sólidos orgánicos representan el 46% del total de residuos sólidos; estos son producto de actividades domésticas, agrícolas y forestales (Chávez y Rodríguez, 2016).

En América Latina y el Caribe de acuerdo con el Banco Mundial, los RSU tienen una proyección de generación aproximada de 220 millones de toneladas para el año 2025. Por lo tanto, la gestión de estos residuos necesita una atención prioritaria a pesar de poseer un sistema de recolección que cubre casi el 93% (Hernández et al., 2016). En países de la región más del 50% de los residuos urbanos corresponde a la fracción orgánica, de estos se recicla tan solo el 0.3% que corresponde a restos de alimentos y áreas verdes o jardines, los encargados de la gestión son los municipios que en su mayoría no presentan planes de manejo para reducción y aprovechamiento de estos residuos, por lo tanto, su acumulación se realiza de forma inadecuada en botaderos a cielo abierto (Sáez y Urdaneta, 2014).

Dentro de los residuos sólidos orgánicos se encuentran los residuos de poda y jardinería, que aún sin ser los más abundantes se han convertido en un problema dentro de las administraciones municipales ya que el mantenimiento y gestión de los espacios verdes tienen costos de mano de obra, transporte y adquisición de equipos. Además, éstos han sido infravalorados como uso de materia prima para dar un valor agregado, permitiendo prolongar su vida útil e insertarlo en otro ciclo de producción, puesto que su eliminación mediante incineración representa un costo elevado y a la vez incrementa la emanación de CO₂ a la atmósfera, generando contaminación (Prieto et al., 2009; Shi et al., 2013). Cada municipio según su estado

de generación de residuos debe analizar aspectos técnicos, no técnicos y relacionarlos entre sí, ya que las acciones realizadas en una zona determinada pueden influenciar negativamente en otra, sobre todo en países subdesarrollados (Hoornweg y Bhada, 2012). Algunos países cuentan con un marco legal que aborda los procesos de gestión que se deberían llevar a cabo para el manejo de residuos tales como: generación, almacenamiento, recolección, transporte, transferencia, tratamiento, aprovechamiento y disposición final, sin embargo, la infraestructura física y los recursos humanos necesarios son insuficientes por lo tanto solo se maneja la gestión en dos pasos recolección y disposición final (Sáez y Urdaneta, 2014).

En Ecuador los residuos sólidos representan el 84% en las grandes ciudades donde el 61% corresponde a residuos orgánicos (Jarre, 2015). Según la estadística de AME-INEC para el año 2016 en el país, se contabilizaron 12 897.98 toneladas de residuos sólidos en promedio al día; el 9.74% se lo recolecta de manera diferenciada es decir tan solo 1 256.04 toneladas, de las cuales aproximadamente el 53% está conformado por desechos orgánicos. De las cuatro regiones del país la Sierra y Costa sobrepasan el 50% de la producción de residuos sólidos orgánicos, por lo tanto, su aprovechamiento debería ser un eje fundamental dentro de los GADs municipales (Consejo Nacional de Competencias, 2019).

Un aspecto importante para considerar es el Índice Verde Urbano (IVU), en el Ecuador para el año 2012 fue de 13.01 m²/hab, superando el rango propuesto por la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 9 m²/hab, sin embargo, el 46% de los municipios no cumplen con este estándar (INEC, 2012). Las propuestas para el aumento de este índice, indicador de calidad de vida urbana, a su vez ocasionaría que los residuos de poda producto del mantenimiento de los espacios verdes incrementen, que por lo general son desaprovechados y no reciben la aplicación de un tratamiento adecuado (Rendón, 2010).

Para el cantón Ibarra se aproxima una generación de 128.83 ton/día; el 63% representa a los residuos orgánicos, 5% papel, 3% cartón y 10% plástico (Modelo de Gestión Integral de Residuos Sólidos para la Mancomunidad de los cantones de

la provincia de Imbabura, 2012). Existen pocos datos referentes al manejo de los residuos de poda de la ciudad.

1.2 Problema de Investigación y Justificación

En la ciudad de Ibarra el manejo actual de los residuos orgánicos aún necesita cumplir con algunos procedimientos para mejorar su gestión, debido a que se desconoce el tipo y cantidades recolectadas de estos residuos, así como de programas inconclusos de aprovechamiento, ocasionando también un desinterés en la población, puesto que por parte de los municipios no se ha dado a conocer la política ambiental sobre la recolección de basura y el tratamiento de residuos sólidos orgánicos (Andrade, 2018). La población comúnmente paga una tasa por servicios municipales de aseo tales como; limpieza de calles y recolección de desechos, pero no por el tratamiento y una buena disposición final de los mismos (Uyaguari, 2012).

Los residuos de poda provenientes del mantenimiento de las áreas verdes y jardines dentro de la zona urbana no tienen un plan de manejo para el aprovechamiento, que según Jara (2014), pueden ser parte de un problema ambiental como producción de gases de efecto invernadero (GEI) debido a su pronta descomposición, así como también aparición de plagas y roedores. Debido a la inexistencia de datos sobre la capacidad de generación se aplica un modelo de gestión de dos etapas: recolección y disposición final en la Estación de Transferencia de Socapamba.

El aprovechamiento de los residuos de poda de áreas verdes en la ciudad de Ibarra aún no se ha contemplado, por lo que la utilización de esta biomasa residual fomentaría la recuperación del potencial productivo de los mismos, los cuales pueden ser fuente de producción de biocombustibles o bioenergía, evitando la generación de excedentes que comprometen al ambiente como los antes mencionados, además puede contribuir a la prolongación de la vida útil de los rellenos sanitarios o lugares de disposición final, de esta manera la economía local así como la gestión de estos residuos pueden verse altamente beneficiados. Por tal motivo el presente trabajo pretende realizar la evaluación de los residuos de poda urbana para posterior toma de decisiones y estrategias, promoviendo el manejo y

aprovechamiento de los residuos con el fin de mitigar los impactos ambientales generados por los mismos. Este proyecto se enmarca en el Objetivo 3 del Plan Nacional “Toda una Vida” 2017-2021 que garantiza los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones.

1.3 Pregunta Directriz

¿Los residuos de poda urbana de parques y parterres de la ciudad de Ibarra, se los puede considerar como un recurso con potencial energético?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Evaluar los residuos de poda urbana para la generación de estrategias de aprovechamiento en la ciudad de Ibarra.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar el manejo actual y la disponibilidad de los residuos de poda urbana de la ciudad de Ibarra.
- Analizar el poder calorífico de los residuos de poda urbana para el aprovechamiento energético
- Plantear estrategias de manejo de los residuos de poda urbana.

1.5 Hipótesis de la investigación

H0 = No existe diferencia significativa del poder calorífico en ninguno de los estratos de poda urbana.

H1 = Existe diferencia significativa del poder calorífico en al menos uno de los estratos de poda urbana.

Capítulo II

Revisión de Literatura

2.1 Marco Teórico

Se desarrolla a continuación, el marco teórico que fundamenta la realización y discusión de los objetivos planteados para el presente trabajo de investigación.

2.1.1 Espacios Verdes Urbanos e Índice Verde

Los espacios o áreas verdes urbanas son lugares de recreación y esparcimiento que mejoran la calidad de vida, están compuestos principalmente de vegetación, que permite la aproximación de la población urbana a un entorno natural con ecología urbana, donde la buena calidad de estos sitios permite ofrecer a la sociedad un elemento de equidad además de un embellecimiento en la ciudad (Rendón, 2010; Shi et al., 2013; Vera et al., 2017). Los espacios verdes van desde árboles y arbustos en las calles hasta varios tipos de parques, reservas naturales, bosques y jardines botánicos (Shuvo et al., 2020), también pueden ser corredores peatonales y viales que estén destinados al beneficio ecológico al momento del habitante transitar por la ciudad (Vera et al., 2017).

La implementación de estos lugares aparte de cumplir una función ornamental también sirve como estrategia para mejorar la salud comunitaria y mitigar la adaptación al cambio climático, debido a que la vegetación reduce el reflejo y brillo del sol, optimiza la calidad del aire siendo captadores de dióxido de carbono (CO₂), generan oxígeno, baja los niveles de temperatura, absorben agua de lluvia y añade calidad paisajística al lugar. Los beneficios ambientales y sociales son varios por lo que la OMS ha recomendado en las ciudades un índice verde mínimo de 9 m² por habitante (m²/hab) cifra que la Organización de las Naciones Unidas (ONU) sugiere sea no menor a 12 m²/hab (Rendón, 2010).

En Ecuador el índice verde urbano para el año 2012 fue de 13.01 m²/hab, sobrepasando el rango sugerido por la OMS de 9 m²/hab, esta cifra puede haberse incrementado hasta la actualidad por la creación de nuevas áreas verdes en la zona urbana (INEC, 2012), debido a esto se puede generar un incremento de la acumulación de residuos de poda producto del mantenimiento de jardines y parques

municipales los cuales frecuentemente se los ha considerado como biomasa residual, que al no ser gestionada adecuadamente genera un gran problema de contaminación.

2.1.2 Silvicultura Urbana

La cobertura arbórea en las zonas urbanas a nivel mundial supera el 30%, debido a iniciativas ecológicas para la expansión de la cubierta vegetal, sobre todo en las ciudades desarrolladas. Cada tipo de espacio verde requiere ciertas especificidades como: clima, suelo, topografía y selección de especies. Es el caso de las áreas verdes donde la circulación del ser humano es más frecuente, por lo tanto, requiere un manejo intensivo y diferenciado (Van-Stan et al., 2018).

El término de silvicultura urbana, aprobado por el Congreso Forestal Mundial de 1997 menciona que esta disciplina es una rama especializada de la silvicultura; cuyo propósito es el manejo y gestión de árboles y arbustos los cuales por sus características naturales pueden ser aprovechados de forma aislada o en arreglos especiales para generar servicios ambientales, económicos, fisiológicos, psicológicos y estéticos. Más ampliamente la silvicultura urbana comprende a un sistema de gestiones múltiples tales como: las cuencas hidrográficas municipales, hábitats de vida silvestre, oportunidades de recreación y esparcimiento al aire libre, diseño de paisaje, aprovechamiento de desechos municipales y el cuidado de árboles en general (Gallego et al., 2014). La silvicultura urbana está estrechamente relacionada con la arquitectura del paisaje y con la gestión de parques los cuales deben tener atención por parte de profesionales en estos ámbitos, esta técnica es parte de la horticultura ornamental, gestión del bosque y arboricultura (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2016).

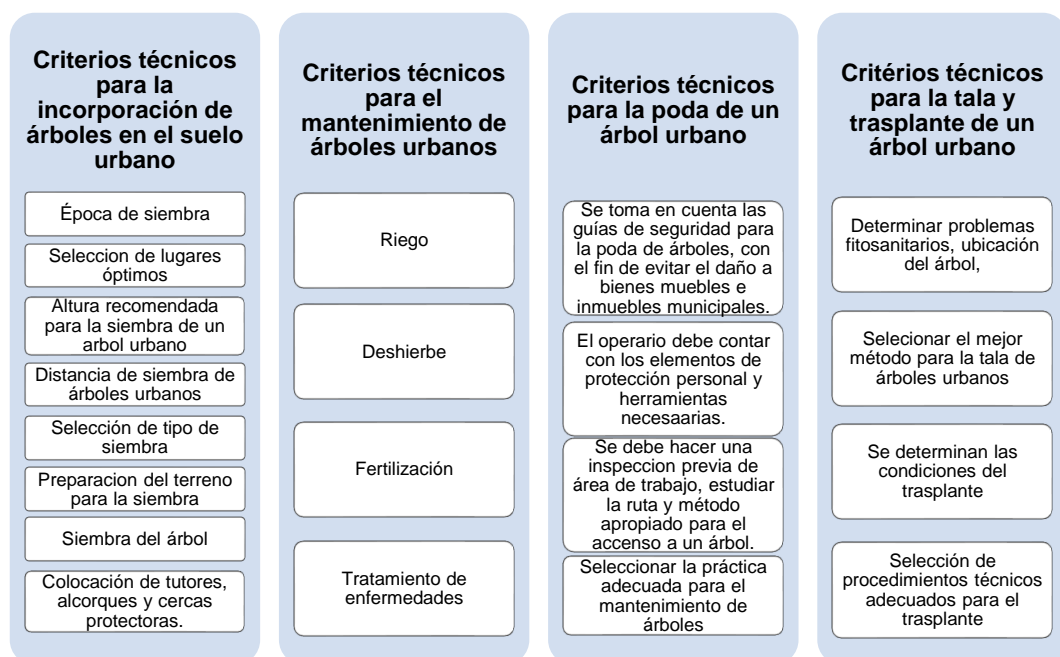
El arbolado urbano corresponde a todos los árboles que crecen dentro de los límites de la ciudad o municipio que han sido domesticados durante varias generaciones (Gobierno del Distrito Federal de México, 2000). Por otro lado, un árbol urbano es el conjunto de especies maderables y no maderables de tipo: árbol, arbusto, palma, guadua, bambú o caña que se encuentren en suelo urbano y que proveen servicios ecosistémicos a la población.

2.1.3 Manejo Silvicultural

La poda se ha convertido en un tratamiento cultural que permite suprimir las ramas inferiores que por sus características como altura, rectitud, vigor, grosor y ubicación pueden influir en el desarrollo del tallo principal disminuyendo su fuerza o producir bifurcaciones (Vásquez, 2001). Este es un proceso habitual que ocurre en el mantenimiento de áreas verdes, con el fin de mantener a los árboles atractivos y sanos, siguiendo técnicas y herramientas adecuadas (Badrulhisham y Othman, 2016). Algunos municipios de Latinoamérica han creado sus propios manuales para el manejo de la silvicultura urbana. En la figura 1 se encuentran algunas determinantes para llevar a cabo este proceso.

Figura 1

Determinantes en la silvicultura urbana



Nota. Adaptado de Alcaldía La Dorada, (2017).

Los principales beneficios del manejo silvicultural son: a) mantener una viabilidad e integridad tanto de los árboles como de las personas y sus bienes, b) formación y equilibrio del árbol, c) reducir los riesgos por posibles caídas, d) mejorar la visibilidad de alumbrado público, señales de tránsito y el recorrido de vehículos y peatones (Parra et al., 2010). En la mayoría de las ocasiones no existe un trato

correcto al árbol urbano y se aplican prácticas que se realizan en las zonas agrícolas y forestales, lo cual no es ni técnica ni científicamente correcto, por lo que el conocimiento apropiado del manejo de árboles urbanos permite analizar el vigor del árbol, su densidad de copa, el balance de copa, la estructura, la condición del tronco y el estado de su sistema de raíces, mismo que permiten asegurar la estabilidad de un árbol (Rivas, 2000).

Existen algunos términos que deben ser considerados en el mantenimiento del arbolado urbano tales como los que indica Rivas (2005):

- Aclareo de árboles. _ Eliminación de árboles en mal estado para mejorar el desarrollo de los árboles que aún se encuentran en pie y en buen estado.
- Aclareo de copa. _ Poda o remoción selectiva de ramas para aumentar la penetración de aire y luz a la copa.
- Arborista. _ Profesional con capacidad técnica y experiencia para manejar, realizar y supervisar el manejo de árboles.
- Desmoche. _ Práctica irracional en la que se realiza cortes indiscriminados en donde se descuartiza, mutila y elimina más de la cuarta parte de la copa de un árbol, sin ramas laterales, dejando muñones, perturbando de esta manera a la biología, la salud, estructura y estética de la planta, además deja imposibilitado al árbol para la fabricación de su propio alimento. Esta actividad generalmente es usada para resolver problemas de interferencia entre ramas con cables, infraestructura, obras civiles, carreteras, entre otras.
- Despunte. _ Acción de reducir la longitud de una rama, brazo o altura de un árbol, dejando ramas laterales.
- Elevación de copa. _ Eliminación de ramas bajas de un árbol para proveer espacio.
- Espaciamento. _ Distancia entre un árbol y otro para su plantación, que permita un correcto desarrollo y nula competencia entre los mismo.
- Limpieza de copa. _ Eliminación de ramas muertas, plagadas y unidas débilmente.
- Muñón. _ Fracción de rama que queda después de una poda inapropiada o de la caída de una rama de manera brusca.

- Poda. _ Eliminación selectiva de las ramas de un árbol con un propósito específico.
- Reducción de copa. _ Método donde se poda el eje central y ramas laterales hasta la unión con una rama menor, que tenga al menos un tercio del grosor de la que se ha eliminado, pero sin exceder más de un cuarto de volumen de follaje total de la copa.

2.1.4 Potencial de Aprovechamiento de los Residuos de Poda

La biomasa generada producto de la poda y mantenimiento de áreas verdes urbanas han generado mucho interés en los últimos años, esto debido a su disponibilidad y bajos costos para la producción de biocombustibles u otros productos en el sector industrial (Muñoz, 2020). La optimización en la gestión y un enfoque alternativo de estos residuos generaran beneficios ambientales, energéticos y económicos en las administraciones locales (Budí, 2016; Ferla et al., 2020).

Ríos et al. (2017) mencionan que dichos restos orgánicos pueden tener un importante potencial energético al ser aprovechados para la producción de biocombustibles sólidos que produzcan energía eléctrica y calorífica, contribuyendo positivamente a la diversificación de la matriz energética y la reducción de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Muchos países han empezado a aumentar el uso de biomasa como combustible, debido al gran interés por la lucha contra el cambio climático, el alto costo que tiene el petróleo y los combustibles fósiles.

2.1.5 Aprovechamiento de Poder Calórico

El poder calorífico puede ser definido como la cantidad de energía desprendida en forma de calor por unidad de peso o volumen de una unidad de combustible como consecuencia de la reacción química de combustión completa que forma CO₂ y H₂O a una temperatura y presión atmosférica normal de 25°C y 1 atm respectivamente. Cada combustible tiene un poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI). El PCS, es el calor liberado en la combustión completa del combustible cuando toda el agua se ha condensado, por lo tanto, libera la energía de condensación, mientras tanto el PCI se determina cuando el agua del combustible no condensa y se encuentra en estado de vapor. La magnitud que generalmente se

utiliza en la práctica es el PCI debido a que el agua que se produce en la combustión se encuentra en forma de vapor en los gases emitidos por los motores y quemadores, Las unidades utilizadas para medir el poder calorífico, son: kilocaloría/kilogramo (kcal/kg), kilocaloría/metro cúbico (kcal/m³), megajulio/kilogramo (MJ/kg), unidad térmica británica/libra (BTU/lb) y unidad térmica británica/pie cúbico (BTU/pie³) (Wauquier, 2004; Curto et al., 2017).

El uso energético de la biomasa residual es una alternativa sostenible para sustituir parcialmente el uso de combustibles fósiles y de la energía nuclear (Estrada y Zapata, 2004), a pesar de que la biomasa tiene un bajo contenido de energía, el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan obtener productos de alto poder calorífico permite que esta, sea fuente de energía renovable que tiene bajos niveles de emisiones e impactos ambientales a diferencia de lo que causan los combustibles fósiles (Romero et al., 2007).

Por ejemplo, la Empresa SINTRA (2016) de España se especializa en la recolección de material residual proveniente de actividades de podas y talas en la ciudad de Madrid, en donde utilizan maquinaria avanzada que les permite la generación de electricidad gracias al poder calorífico que tiene los restos de podas, esto funciona por pequeños sistemas de gasificación que están aplicados a moto generadores, para crear una energía más limpia, moderna y segura. Además, mencionan que durante el proceso de combustión se pueden generar cantidades mínimas de sulfurados o nitrogenados, debido a que los restos de podas entran dentro del ciclo de carbono, pero las plantas siempre absorben carbono por lo que se puede decir que existe un equilibrio entre el carbono liberado por el nuevo combustible y la cantidad que las plantas extraen de la misma.

2.1.6 Aplicaciones para el Uso de Biomasa Residual de Poda Urbana

La conversión física de la biomasa de poda permite aprovechar e incrementar sus propiedades físicas y caloríficas obteniendo mayores beneficios tanto económicos como ambientales con su procesamiento mediante tecnologías alternativas como se detalla a continuación:

Chips. Son piezas pequeñas que se pueden obtener de troncos y ramas de árboles mediante una astilladora, su tamaño es aproximadamente de 1.3 – 7.6 cm de longitud, 1.3 – 7.6 de amplitud y de 0.3 – 0.6 cm de grosor. Desde inicios del siglo XXI se han utilizado de forma frecuente para bio calentamiento o calefacción y generación de electricidad (Zhou et al., 2016).

Pellets. En relación con los chips los pellets son mejor procesados, se trituran los trozos de madera y ramas en un molino de martillos, de este proceso se obtiene aserrín, el cual se compacta en una granuladora que contiene huecos de 6 - 8 mm, tiene un diámetro de 5 - 12 mm y una longitud de 10 - 30 mm. Son más costosos que los chips por lo tanto en países desarrollados se utilizan para calefacción residencial, sin embargo, en países como Alemania, China, Japón, Países Bajos y Reino Unido se los emplea en generación de bioenergía (Guo et al., 2015; Zhou et al., 2016).

Briquetas. Son cilindros que tienen de 50 - 130 mm de diámetro y de 5 - 30 mm de longitud aproximadamente. Para realizar el briquetado se utiliza prensas mecánicas o hidráulicas que permiten compactar la biomasa, en ciertos casos se aplica aglutinantes o parafinas que mejoran la compactación y generan cierto grado de calor, dependiendo de los residuos a utilizar se deberá tener un proceso previo de trituración (Ríos et al., 2017; Peláez et al., 2015).

2.1.7 Estrategias de Manejo de Residuos de Poda

Para realizar un manejo adecuado y proponer estrategias viables para un lugar determinado, es necesario tomar en cuenta algunos aspectos relacionados a la cobertura arbórea como son el número de individuos, especies, ubicación territorial, alturas, estados físicos y tratamientos silviculturales con los cuales se podrá comparar de manera espacial y en porcentaje el número de podas respecto a la cantidad de individuos arbóreos plantados, toda esta información permitirá obtener una línea base del arbolado urbano para una gestión efectiva (Tovar, 2013).

Las prácticas más comunes dentro del manejo de los residuos de poda son el triturado de ramillas, hojas y ramas delgadas aprovechables en procesos de composta y mejoramiento de suelos o plantas de las mismas áreas, las ramas gruesas

y medianas pueden tener un uso maderable o también ser procesadas en una astilladora para su posterior aplicación en jardines y parques de la ciudad como cubrepiso, las ramas podridas o secas se descomponen con mayor facilidad por lo que podrían ser aplicadas directamente en el sitio de poda una vez que se hayan triturado por separado para brindar un aporte nutricional y paisajístico a las áreas verdes (Gobierno del Distrito Federal de México, 2000).

2.1.8 Gestión de Residuos Sólidos en el Ecuador

La definición de residuos sólidos puede ser relativo y subjetivo debido a que se lo define de acuerdo a su valor, considerándose a veces como un simple residuo y en otras ocasiones como materia prima, es así como el Ministerio del Ambiente del Ecuador (2015), define a los residuos sólidos como todos aquellos materiales o sustancias de forma sólida, que no contengan características peligrosas; corrosivas, reactivas, tóxicas, inflamable o con infecciones biológicas, que provienen del uso o consumo de actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que no han logrado generar ningún valor económico pero que es posible un aprovechamiento y transformación a un nuevo bien para que tenga un valor económico agregado.

Según la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), “los residuos sólidos son todas las materias que se generan de las actividades de producción y consumo, los cuales no han alcanzado un valor económico ya sea por falta de tecnología o porque no existe un mercado para su aprovechamiento” (Rondón et al., 2016).

André y Cerdá (2006), describen a la gestión integral de residuos sólidos como un conjunto de actividades y operaciones con el objetivo de permitir un aprovechamiento de los residuos sólidos y la energía contenida en los mismos, la cual aportará a la reducción de la contaminación con una adecuada disposición final de los que ya no son aprovechables y beneficiarse del material que aún puede tener una segunda vida útil. La gestión no solo está basada en los programas de limpieza que se dan en las ciudades, sino que incorpora otros elementos como acciones operativas, normativas, de planificación y financieras que las administraciones municipales tienen la capacidad de desarrollar (Jiménez, 2015), por lo tanto, la

cuantificación y caracterización de los residuos sólidos urbanos son actividades indispensables dentro de las estrategias de manejo (Karat et al., 2012).

2.1.9 Fases de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos

Según el Reglamento al Código Orgánico del Ambiente de 2019, la gestión integral de residuos sólidos tiene nueve fases que son la separación en la fuente, almacenamiento temporal, barrido y limpieza, recolección, transporte, transferencia, aprovechamiento, tratamiento y disposición final (Figura 2). Una gestión adecuada de residuos puede contribuir a la disminución de impactos ambientales en cada etapa de manejo de éstos.

Figura 2

Fases de la gestión integral de residuos sólidos



Nota. Adaptado de Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, (2019).

2.1.10 Clasificación de los Residuos Sólidos

La clasificación de los residuos sólidos puede tener varios enfoques. En la normativa ecuatoriana conforme con el Acuerdo Ministerial No. 061: Reforma al Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente estos pueden ser clasificados en: a) desechos no peligrosos generados de actividades domésticas, comerciales, industriales, institucionales o de servicios que

no poseen valor para el generador pero se les puede dar un valor agregado y convertir en bienes para alargar su ciclo de vida, b) desechos peligrosos son los que presentan características tóxicas, inflamables, corrosivas, reactivas y biopeligrosas que exceden el nivel permitido de su concentración como se detalla en la normativa ambiental y c) desechos especiales son aquellos que se degradan difícilmente pero no poseen características de peligrosidad sin embargo en gran cantidad pueden causar afectaciones negativas al ambiente por lo que requieren un tratamiento diferente al de los residuos no peligrosos (MAE, 2015).

De acuerdo con la perspectiva de otros autores (Tabla 1), los residuos sólidos se pueden clasificar en:

Tabla 1

Clasificación de Residuos Sólidos

Autor	Clasificación de Residuos	Descripción
EMAC, (2017)	Residuos Comunes	Restos de alimentos, productos de consumo domiciliario, desechos de áreas verdes, desechos de barrido municipal, envases entre otros.
	Residuos y/o Desechos Especiales	Son aquellos que, por sus características como cantidad, peso entre otras exigen un manejo especial.
	Residuos y/o Desechos Peligrosos	Son todos los desechos cuyas características biológicas o fisicoquímicas representan un riesgo para el bienestar humano y ambiental
	Residuos y/o Desechos de actividades de construcción	Residuos generados de actividades de construcción y demolición de carreteras, puentes, edificios, excavaciones, y otros residuos similares.
Coral, (2013)	Residuos del sector primario	Residuos del sector minero, agrícola, forestal y ganadero.
	Residuos del sector secundario	Son todos los residuos de origen industrial y actividades de transformación.
	Residuos del sector terciario	Se encuentran los residuos procedentes de la actividad domiciliaria y urbana, actividades empresariales y de servicios municipales.
	Residuos hospitalarios y sanitarios	Corresponde a todos los residuos procedentes de hospitales, clínicas, laboratorios de análisis clínicos y laboratorios de investigaciones biológicas.

Nota. Adaptado de Empresa Municipal de Aseo de Cuenca (2017) y Coral (2013).

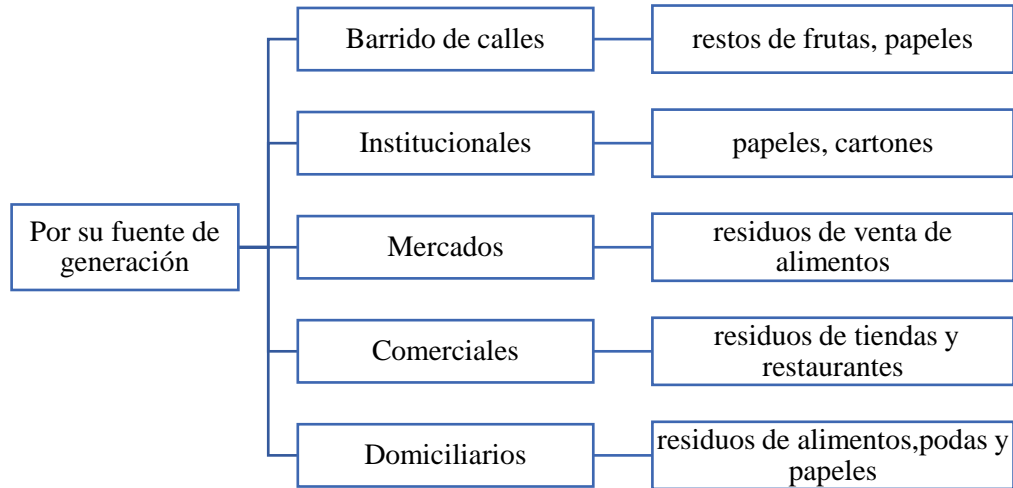
2.1.11 Residuos Sólidos Orgánicos

Flores (2003), define a los residuos orgánicos como los restos biodegradables capaces de descomponerse de manera natural, desintegrándose rápidamente y convirtiéndose en otro tipo de materia orgánica, como es el caso de los residuos de comida, verduras y frutas, también toma en cuenta a los residuos orgánicos de degradación lenta como el papel y cartón, además se incluye al plástico que a pesar de los que son fabricados el plástico que a pesar de tener un origen orgánico no presenta las propiedades antes mencionadas por poseer una composición molecular más compleja. Existen diversas formas de clasificarlos, sin embargo, las dos más conocidas son:

Por la fuente de generación (Figura 3):

Figura 3

Clasificación de residuos orgánicos por la fuente de generación

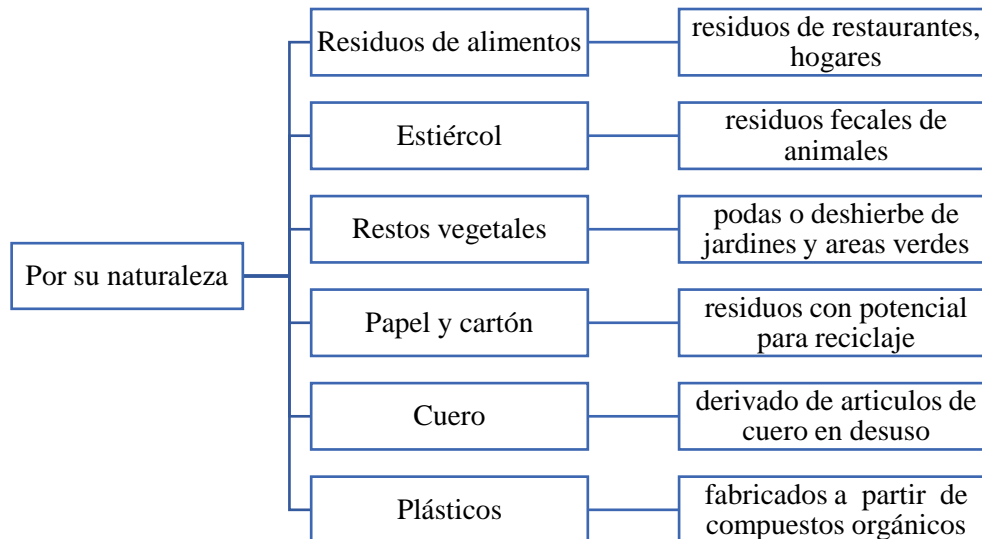


Nota. (Flores, 2003).

Por su naturaleza los residuos orgánicos se clasifican en (Figura 4):

Figura 4

Clasificación de residuos orgánicos por su naturaleza



Nota. (Flores, 2003).

2.1.12 Efectos de los Residuos Orgánicos en Rellenos Sanitarios

En un estudio realizado por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiente (Aidis) evidencian que los residuos sólidos domiciliarios (RSD) per cápita alcanzan el 0.63 kg de basura por habitante/día (kg/hab/día) y los residuos sólidos urbanos (RSU) logran 0.96 kg/hab/día de basura (Grau et al., 2015). La materia orgánica representa una alta proporción de los residuos sólidos en la mayoría de los países latinos, los cuales actualmente han impulsado el mejoramiento progresivo de sus sistemas de gestión mediante el uso de tecnologías de aprovechamiento, pero la falta de guías para la aplicación de métodos adecuados en la región y bajos estándares de calidad en el tratamiento de los residuos sólidos han conspirado contra el progreso (Rondón et al., 2016). Un gran porcentaje de los residuos orgánicos son arrojados en quebradas, ríos, terrenos baldíos o basureros clandestinos y una pequeña fracción reciben un tratamiento y buena disposición final.

Fernando et al. (2014) mencionan que la variación en la composición de los residuos sólidos, su elevada concentración de contaminantes y su bajo nivel de descomposición se convierten en una amenaza social, ambiental y económica. El aislamiento y vertido de los residuos es el método que más se ha utilizado históricamente por su bajo costo económico (Bonmatí, 2008). La degradación de los residuos orgánicos en los rellenos sanitarios genera niveles altos de contaminación del suelo, cuerpos de agua subterráneas y superficiales, aparición de focos infecciosos y transmisión de enfermedades, incluso la combustión de estos residuos aumenta la emanación de gases de efecto invernadero (GEI) y genera un impacto visual negativo del lugar de acopio de estos residuos (Ullca, 2005).

2.1.13 Residuos Sólidos Orgánicos de Poda Urbana

La biomasa residual de la poda urbana es uno de los recursos infrautilizados a pesar de tener gran potencial de uso y generación. Debido a su drástico aumento con la acelerada urbanización alrededor del mundo, demandando la expansión de áreas verdes para el beneficio humano (Shi et al., 2013). Este tipo de biomasa está conformado por varias estructuras vegetales tales como: ramas de árboles, ramas pequeñas, recortes de césped o hierba, hojas, esquejes y otros residuos de las mismas plantas (Raud et al., 2017), además estos residuos podrían aportar en la generación de biocombustibles, reducción de costos de eliminación de los residuos, así como también aumentar de manera significativa el rendimiento energético con la producción de bioenergía (Abdoulmoumine et al., 2012).

Los residuos de poda y jardines pueden ser considerados como materia prima para la producción de energía más ecológica, debido a que comparando con los residuos forestales, esta biomasa tiene menos impacto al ambiente ya que son residuos que se recolectan del mantenimiento de áreas verdes y/o jardines, y se transportan sin causar efectos sobre el equilibrio de los ecosistemas naturales. A pesar de existir algunas limitaciones para la utilización de estos residuos como: calidad de la madera, mercados disponibles, inventarios arbóreos o baja cooperación de autoridades, se debe generar propuestas para la utilización y aprovechamiento de esta biomasa como valor energético o enmiendas orgánicas de suelos, lo cual

permitiría obtener beneficios sociales, económicos y especialmente ambientales (Bratkovich et al., 2008; Shi et al., 2013).

2.2 Marco legal

El presente trabajo de investigación se desarrollará enmarcado a la normativa legal vigente y aplicable en el Ecuador referente al manejo de residuos sólidos. A continuación, se explicará de forma jerárquica la aplicación de las normas según el artículo 425 de la Constitución de Ecuador del 2008, bajo el cual se sustenta el presente estudio.

2.2.1 Constitución de la República del Ecuador

La Constitución de la República del Ecuador publicada mediante el Registro Oficial N° 449 el 20 de octubre de 2008 es la base de la legislación ambiental, siendo una de las pocas constituciones en otorgar derechos a la naturaleza. En el artículo 14 se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, en donde se garantice la sostenibilidad y el buen vivir mediante la preservación del ambiente y la conservación de los ecosistemas, también en su artículo 15 menciona que el Estado promoverá en el sector público y privado el uso de tecnologías alternativas ambientales y no contaminantes, este apartado se complementa con los artículos 413 y 415 en donde estas tecnologías o prácticas deberán ser amigables con el ambiente y que tengan el impacto más bajo posible. Finalmente, en el mismo marco constitucional en su artículo 264 describe las competencias de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales tales como: la prestación de servicios de agua potable, saneamiento ambiental, manejo de desechos sólidos y aquellos que establezca la ley, dentro de estos deberán desarrollar programas para el tratamiento de residuos sólidos (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

2.2.2 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)

En la ley orgánica del Cootad publicada mediante Registro Oficial N° 303 del 19 de octubre de 2010 en su artículo 55 instaure las competencias exclusivas de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales entre las cuales constan: la prestación de servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de

aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental entre otras que establezca la ley. Dentro de la misma línea en el artículo 137 en concordancia con la Constitución menciona que el manejo de desechos sólidos será competencia de los GADs municipales y será ejecutada con sus respectivas normativas (COOTAD, 2010).

2.2.3 Código Orgánico Ambiental (COA)

Dentro las leyes orgánicas en vigencia en el Ecuador, se encuentra el Código Orgánico Ambiental (COA) publicado mediante Registro Oficial N° 983 el 12 de abril de 2017, es una agrupación de varias leyes que se encontraban dispersas, derogando varias de ellas por ejemplo la Ley Forestal, entre otras. En esta se menciona la responsabilidad integral, compartida y diferenciada de quien promueve actividades que generen impactos sobre el ambiente, los cuales deben gestionar los desechos o residuos desde la cuna hasta la tumba. En el artículo 27 se delega las competencias ambientales sobre la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos a los gobiernos municipales o metropolitanos quienes deberán generar normas, planes, programas y proyectos para la gestión integral de los mismos con el fin de prevenirlos, aprovecharlos o eliminarlos. Además, se desarrolla el Título V sobre la Gestión Integral de Residuos y Desechos, en el capítulo II desde el artículo 228 al 234 se describe cómo se llevará a cabo en el Estado ecuatoriano la Gestión Integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos a los cuales según corresponda se les deberá dar un tratamiento y una correcta disposición final, o dar una segunda vida útil que genere beneficios (COA, 2016).

2.2.4 Reglamento al Código Orgánico Ambiental (RCOA)

Para la aplicabilidad de lo dispuesto en el Código Orgánico Ambiental, se expidió mediante Registro Oficial N° 507 del 12 de junio de 2019 el Reglamento al Código Orgánico, el cual es de cumplimiento obligatorio. En los artículos 407 y 408 se menciona la participación de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales y Metropolitanos los cuales deberán establecer ordenanzas para la práctica silvicultural, además serán los actores que promoverán el incremento de áreas verdes y vegetación dentro de sus límites cantonales. En el mismo reglamento

en el artículo 410 señala que los GADs Municipales y Metropolitanos establecerán lineamientos técnicos para el manejo responsable del arbolado urbano, donde la tala, poda y mantenimiento de los espacios públicos serán autorizadas por los mismos. Finalmente, en su artículo 593 menciona que los residuos orgánicos resultado de la limpieza y poda de la vegetación de espacios públicos generados en los cantones, deben ser aprovechados mediante alternativas adecuadas que también deberán incluirse en los Planes de Gestión Integral Municipal de residuos y desechos sólidos, en el caso de realizar aprovechamiento para generación de energía se deberá contar con la autorización de la Autoridad Ambiental Nacional (RCOA, 2019).

2.2.5 Acuerdo Ministerial 061

Dentro de la normativa ambiental ecuatoriana en el Acuerdo Ministerial N° 061 mediante Registro oficial 316 del 4 de mayo del 2015, Reforma del Libro VI del (TULSMA), en sus artículos 47 y 55 resalta el aprovechamiento de los residuos sólidos no peligrosos en donde mediante un manejo integral se les pueda dar un valor agregado, incorporando los materiales que puedan ser recuperados a un nuevo ciclo de vida, económico y productivo de manera eficiente. En el mismo acuerdo en su artículo 57 establece las responsabilidades de los GADs municipales los cuales deberán garantizar el manejo integral de los residuos sólidos que se generen en el área de su competencia, estos deberán promover el cumplimiento de las fases de gestión integral de residuos sólidos desde promover la minimización en la generación hasta su disposición final. Es necesario referirse al Anexo 6 de la Norma de Calidad Ambiental para el Manejo y Disposición final de Desechos Sólidos no Peligrosos, en donde se menciona que los restos de poda de árboles de las áreas verdes urbanas se los considera como un desecho sólido especial que por sus características, peso o volumen requieren un manejo diferenciado de los desechos sólidos domiciliarios (Ministerio del Ambiente, 2015).

2.2.6 Ordenanza Municipal

El Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Ibarra expide el 11 de marzo de 2019 la Ordenanza municipal que regula el cuidado y el mantenimiento de parques, jardines, espacios verdes y el arbolado urbano, en donde se establecen

mecanismos técnicos que permitan el mantenimiento de calidad que requieran las áreas verdes, en el artículo 19 menciona que a través de la Dirección de Gestión Ambiental se fomentará la participación ciudadana para el manejo, mantenimiento, uso y protección en la gestión del arbolado urbano, además en sus artículos 30 al 32 menciona la gestión ambiental que la municipalidad da a los restos de poda del arbolado urbano (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Ibarra, 2019).

2.2.7 Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 - Toda una vida

Publicado mediante Resolución N° CNP-003-2017 en septiembre del 2017, en su Objetivo 3 garantiza los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), 2017).

Capítulo III

Metodología

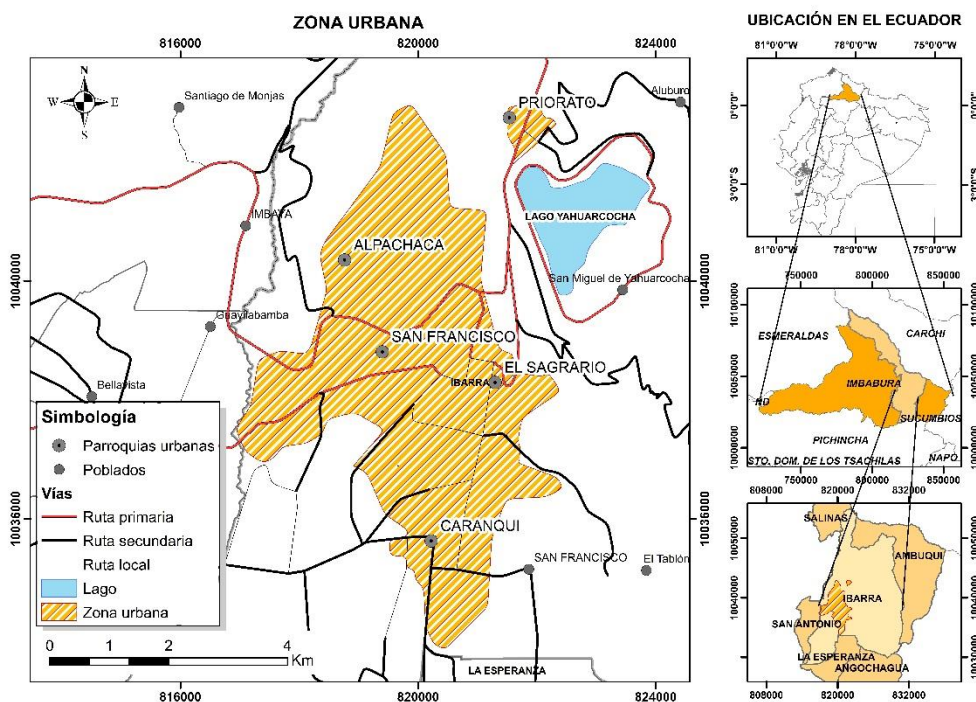
En la presente sección se describen los métodos, técnicas y procedimientos para el desarrollo del trabajo de investigación, además de la delimitación del área de estudio.

3.1. Descripción del Área de Estudio

El lugar de estudio es la zona urbana de la ciudad de Ibarra, situado en el cantón Ibarra, provincia de Imbabura, tiene una extensión de 41.68 km² conformada por cinco parroquias urbanas: El Sagrario, San Francisco, Caranqui, Priorato y Alpachaca (Figura 5) (Perfil Territorial Cantón San Miguel de Ibarra, 2013). Presenta dos microclimas: ecuatorial mesotérmico seco y ecuatorial mesotérmico semi-humedo, con una temperatura media anual de 15.9°C, precipitaciones entre 1000 - 1400 mm y una altitud de 2204 m.s.n.m. El punto centro de la ciudad se localiza en 10041000 Norte y 820.000 Oeste según coordenadas UTM (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra PDOT, 2015)

Figura 5

Ubicación de la zona urbana de Ibarra



El área urbana tiene aproximadamente 131 856 habitantes; en donde el 51.96% son mujeres y el 48.04% son hombres (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2014). Las actividades de la zona urbana se centran en el sector comercial y de servicio, la producción de desechos sólidos tiene un valor per cápita medio de 0.71 kg/hab/día lo cual supera el valor promedio de las ciudades medianas a nivel del Ecuador. El actual servicio de recolección cubre el 75% de la zona urbana y los desechos son depositados en un sitio destinado para el relleno sanitario en el sector de San Alfonso (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra PDOT, 2015).

3.2 Métodos

A continuación, se describen los métodos utilizados para la evaluación de los residuos de poda urbana, los cuales se desarrollaron en tres fases que corresponde a cada objetivo específico.

3.2.1 Fase I: Diagnóstico del manejo actual y la disponibilidad de los residuos de poda urbana de la ciudad Ibarra

Para los fines de la presente investigación, esta fase se desarrolló en base a un método descriptivo con el cual se recolectó información sobre el manejo de los residuos de poda urbana en la ciudad de Ibarra.

Entrevista a los actores clave.

Para conocer sobre el manejo de los residuos de poda en la ciudad de Ibarra se elaboró una entrevista de tipo estructurada la cual, según Díaz et al. (2013) es un instrumento técnico que facilita la sistematización, clasificación y análisis de la información. La entrevista consistió en doce preguntas planteadas con anterioridad y fue validada por el PhD. José Alí Moncada, docente e investigador del Instituto de Postgrado de la Universidad Técnica del Norte (Anexo 1).

La población entrevistada fue elegida mediante el método Snowball o bola de nieve, donde argumentado por Baltar y Gorjup (2012), se aplica en investigaciones descriptivas, cualitativas y exploratorias, con este método la representatividad puede ser determinada por los investigadores. Se requirió la estrecha colaboración de los actores clave del Departamento de Gestión Ambiental del Gobierno

Autónomo Descentralizado del cantón Ibarra, los cuales conocen acerca del manejo de los restos de podas con el fin de complementar y garantizar la información.

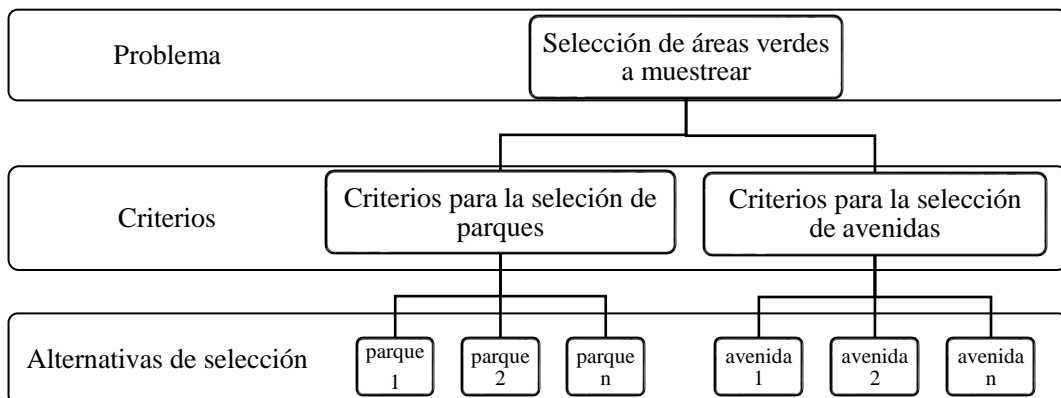
Se aplicó un total de cuatro entrevistas, la información fue tabulada en un aplicativo diseñado en Excel, obteniendo una línea base sobre los procesos, procedimientos y prácticas que se llevan a cabo para el manejo de estos residuos en la ciudad.

Selección de las áreas verdes de mayor generación de residuos de poda.

Para la selección de los puntos de mayor generación de residuos de poda, se utilizó el muestreo no probabilístico por conveniencia, según Otzen y Manterola (2017), esta técnica permite seleccionar los casos accesibles de los objetos de estudio. Por lo tanto, la muestra del estudio fue tomada de las menciones de áreas verdes que realizaron los actores clave en las entrevistas, para la aplicación de un análisis multicriterio o Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) de Thomas Saaty, donde Toskano (2005), menciona que está diseñado con el fin de resolver problemas complejos de criterios múltiples permitiendo integrar varios factores en la evaluación y transformación de las percepciones de importancia de criterios y alternativas mediante la construcción de un modelo jerárquico (Figura 6).

Figura 6

Diagrama de jerarquización para la selección de los puntos de mayor generación de residuos de poda



AHP tiene varias ventajas frente a otros modelos de análisis multicriterio, uno de ellos es que presenta un sustento matemático, aplicando comparaciones pareadas ordenadas para determinar los niveles de importancia o ponderación de los

elementos o criterios utilizando la escala de Saaty (Tabla 2) que califica las preferencias relativas entre dos elementos dentro de una matriz, permitiendo desglosar y analizar un problema por partes (Toskano, 2005).

Tabla 2

Escala de 9 puntos para Comparaciones Pareadas

Importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen idénticamente al objetivo.
3	Dominancia débil	Manifiesta una débil o moderada dominancia de un elemento sobre otro.
5	Fuerte dominancia	Manifiesta esencial o fuerte dominancia de un elemento sobre otro
7	Demostrada dominancia	La dominancia de un elemento sobre otro es completamente demostrada
9	Absoluta dominancia	Un elemento es absolutamente dominante sobre otro
2, 4, 6, 8	Valores intermedios	Son valores intermedios de decisión

Nota. García et al., 2006, p120.

En una matriz cuadrada se realizó la comparación pareada de cada criterio como explica la metodología de García et al. (2006) para determinar el nivel de importancia, donde la comparación entre el elemento i con el elemento j es ubicado en la posición de a_{ij} de la matriz A , comparando si el criterio que está en la fila es más importante que el criterio de la columna, los valores recíprocos de las comparaciones son colocados en la posición a_{ji} ; esto con el propósito de preservar la consistencia de juicio del decisor.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{2n} \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{nm} \end{pmatrix}$$

Los criterios para la selección de las áreas verdes fueron definidos en dos tipos (Tabla 3):

Criterios técnicos. - Contiene información facilitada por la Dirección de Avalúos y Catastros, Unidad de Patrimonio Natural y Área de Parques y Jardines del Municipio de Ibarra (Anexo 2.1).

Criterios de percepción. - Están compuestos por información de las entrevistas a los actores clave.

Tabla 3

Criterios para la selección de las Áreas Verdes

Nº	Tipo de criterio	Criterio	Simbología
1	Criterios técnicos	Extensión del área	Ea
2		Podas al año	Pa
3		Individuos arbóreos	Ia
4		Esfuerzo de trabajo de poda	Et
5	Criterios de percepción (entrevista)	Mayor Generación	Mg
6		Importancia Municipal	Im

Las áreas verdes fueron divididas en dos grupos: grupo 1 (parques) y grupo 2 (avenidas) (Tabla 4). Fueron consideradas de esta manera por las características que presentan, habiendo una diferencia en extensión del área e individuos arbóreos, para evitar un sesgo en la selección.

Tabla 4

Alternativas para la selección de Áreas Verdes mediante AHP

Grupo 1	Simbología	Grupo 2	Simbología
Parque Boyacá	P1	Av. Atahualpa	A1
Parque Ciudad Blanca	P2	Av. Camilo Ponce	A2
Parque de la Basílica	P3	Av. Cristóbal de Troya	A3
Parque del Periodista	P4	Av. El Retorno	A4
Parque Germán Grijalva	P5	Av. Jaime Rivadeneira	A5
Parque la Familia	P6	Av. Mariano Acosta	A6
Parque La Merced	P7	Av. Ricardo Sánchez	A7
Parque la Mujer	P8		
Parque Pedro Moncayo	P9		
Parque San Agustín	P10		

Cada criterio influye en la selección de las alternativas, por lo tanto, se evaluó la importancia que tiene cada una de estas con respecto a cada criterio mediante una nueva comparación pareada. Después se realizó el cálculo de prioridades (eigenvalores) y el índice de consistencia (eigenvectores), resolviendo la siguiente ecuación:

$$A * w = \lambda * w$$

Donde:

A = Matriz recíproca de comparaciones pareadas (juicios de importancia/preferencia de un criterio sobre otro)

λ = Máximo Eigenvalor de A

w = Eigenvector correspondiente a λ

Se calculó la inconsistencia de los juicios de los decisores, incorporando en el análisis el cálculo de la Relación de Consistencia (RC), en donde se considera que un $RC < 0.1$ es aceptable, pero si el $RC > 0.1$ (10%) demostraría juicios inconsistentes, por lo tanto, el tomador de decisiones debe reconsiderar sus valoraciones o juicios (García et al., 2006).

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

El índice RC está en función del índice de Consistencia (IC) y del Índice aleatorio (IA).

$$IC = \frac{\lambda_{MAX} - n}{n - 1}; \quad IA = \frac{1,98(n - 2)}{n}$$

El IA es un estimado del promedio del IC de 500 matrices recíprocas positivas generadas de manera aleatoria (García et al., 2006) por lo tanto, el índice depende del número de elementos a comparar (n). El coeficiente utilizado fue 1.98 sugerido por varios autores para cualquier número de elementos a comparar.

El análisis de AHP se lo realizó mediante un aplicativo diseñado en Excel, los resultados obtenidos fueron las mejores alternativas de parques y avenidas para la realización del pesaje con un orden jerárquico de importancia, según los datos recolectados.

Caracterización y pesaje de residuos de poda.

Posterior a la aplicación de AHP se seleccionaron dos áreas verdes de cada grupo, las cuales se georreferenciaron en sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) para la caracterización y pesaje de los residuos de poda. El trabajo de campo se efectuó en los meses de febrero y marzo de 2020, con la colaboración del personal del Área de Parques y Jardines del Municipio de Ibarra, en las áreas verdes seleccionadas se realizó la recolección diferenciada de: hierba, ramas y hojarasca, registrando sus valores en la hoja de campo (Anexo 2.2), este proceso se lo realizó una sola vez, de tal manera que los dos primeras biomasa fueron recolectadas directamente en el camión municipal y la última se recolectó en costales o fundas para el posterior pesaje en la recicladora Eco-reciclar utilizando una báscula de camiones y báscula de residuos.

Extrapolación del peso de la biomasa.

Debido a los puntos limitados de muestreo para el pesaje se considera tener una baja representatividad, por lo cual se realizó el promedio de las áreas y pesos muestreados, con estos datos se calculó de la siguiente manera para los diferentes estratos:

- Césped

Para conocer la generación anual de biomasa de césped, se tomó como base los resultados del pesaje de las áreas verdes muestreadas, realizando una relación del peso promedio obtenido con respecto al área promedio muestreada, el producto entre esta relación y el área total de cada avenida o parque de la ciudad nos dio el peso extrapolado o peso total estimado de cada área verde.

$$\text{Peso extrapolado césped} = \frac{\text{Peso promedio obtenido}}{\text{Área promedio muestreada}} * \text{Área del sitio}$$

Subsiguiente al cálculo mencionado se determinó el peso anual total por parques y avenidas, realizando un producto entre el peso extrapolado y la frecuencia de poda.

$$\text{Peso anual estimado} = \text{Peso extrapolado} * \text{Frecuencia de poda}$$

Finalmente, la generación anual de césped de parques y avenidas fue obtenida de la sumatoria de los pesos anuales estimados de cada grupo de áreas verdes.

- Ramas

La extrapolación del pesaje de las ramas se realizó con respecto al número de individuos arbóreos de las especies pesadas en los parques y avenidas muestreados. Se consideró el número de árboles por especie del inventario de arbolado urbano proporcionado por el GAD municipal, por lo que se hizo un producto entre el peso individual y el número de individuos:

*Peso extrapolado ramas (por especie) = peso indiv. árbol * N° de individuos*

- Hojarasca

La hojarasca en el momento del muestreo fue pesada de manera total conforme se encontró en el área verde, más no se realizó el peso por especie y debido a la variedad de especies y la distinta generación de este tipo de biomasa la extrapolación podría ser sesgada, por lo tanto, no se realizó el peso estimado anual.

3.2.2 Fase II: Análisis del poder calorífico de los residuos de poda urbana para el aprovechamiento energético

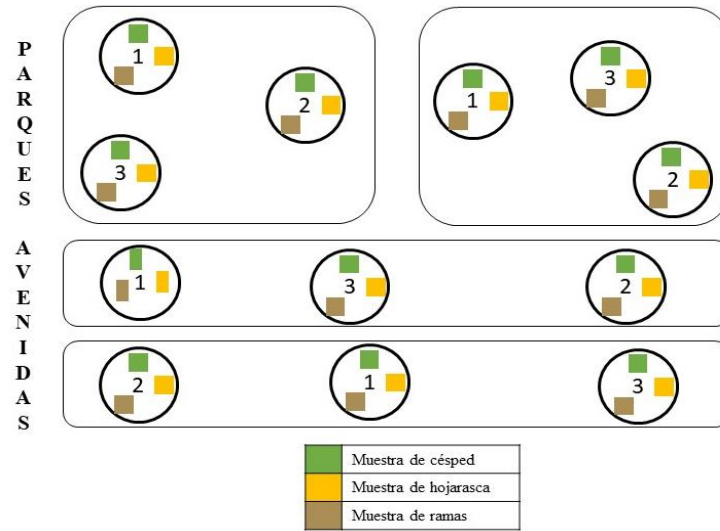
Esta segunda fase tuvo un enfoque experimental con salidas de campo para la recolección de muestras, ensayos de laboratorio y aplicación de métodos estadísticos.

Diseño muestral.

Para conocer el poder calorífico de los residuos de poda urbana se seleccionaron tres puntos aleatorios en las cuatro áreas verdes elegidas en la fase I, para validar estadísticamente la biomasa como se muestra en la (Figura 7).

Figura 7

Diseño muestral de recolección de muestras para poder calorífico



Se recolectaron 200 gramos de biomasa por cada uno de los tres estratos conformados: césped, hojarasca y ramas (Figura 8) cabe acotar que los puntos de muestreo fueron determinados por las especies arbóreas más representativas de los sitios, se encuentran georreferenciados mediante coordenadas UTM (Anexo 3.2). La recolección de muestras se realizó en el mes de julio y se sometieron a un proceso de secado natural (Figura 8 d) de 4 a 6 horas diarias de sol, durante 15 a 30 días dependiendo de la biomasa. Por lo tanto, no se realizó la curva de secado en laboratorio.

Figura 8

Recolección de muestras y método de secado



Nota. Recolección a) césped b) hojarasca c) ramas y d) secado natural

Poder Calorífico.

El análisis del contenido energético de los residuos de poda se determinó mediante ensayos de combustión en base seca, con el uso del calorímetro isoperibólico AC500 - LECO, el cual tiene una alta precisión para establecer el calor desprendido de la masa que es proporcional al poder calorífico de la misma, obteniendo de manera directa el poder calorífico superior (PCS). Estos ensayos se realizaron en el Laboratorio de Investigaciones Ambientales UTN (LABINAM-UTN) en el mes de septiembre con una duración de dos semanas (Figura 9).

Figura 9

Pruebas de calorimetría en calorímetro isoperibólico AC500-LECO



Para el análisis en el equipo se utilizó la metodología propuesta por National Standards Authority of Ireland (2009), con la norma EN-14918 que describe de lo siguiente:

- Pulverizar previamente los restos de poda para obtener un material homogéneo en el pulverizador “Fritsch Pulverisette 19” utilizando una malla de 0.5 mm.
- Tomar 0.5 gr de muestra pulverizada y colocarla dentro de un crisol, añadiendo en el material un alambre de indicción.

- Introducir el crisol dentro de la bomba calorimétrica, cerrar y aplicar presión de aproximadamente 420 psi.
- Introducir la bomba dentro del calorímetro isoperibólico AC500 al que previamente se le llenará agua destilada.
- Realizar la programación del software para determinar el poder calorífico de las muestras.
- Finalmente se deberá realizar una limpieza de la bomba calorimétrica para el análisis de la siguiente muestra.

Con los datos obtenidos se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk utilizada cuando existen menor a 50 datos para determinar si los datos son paramétricos o no paramétricos. Con estos resultados se realizó una comparación de las medias del poder calorífico entre los estratos de césped, ramas y hojarasca de los parques y avenidas seleccionados, mediante el estadístico de análisis de varianza (ANOVA) junto con la prueba de significación de TUKEY al 0.05% realizado en el software InfoStat, con el fin de aceptar o rechazar las siguientes hipótesis de investigación:

H_0 = No existe diferencia significativa del poder calorífico en ninguno de los estratos de poda urbana.

H_1 = Existe diferencia significativa del poder calorífico en al menos uno de los estratos de poda urbana.

Finalmente, se realizó una extrapolación estimada del potencial energético que se podría generar en cuanto a su producción anual con respecto a los estratos césped y ramas, esta última tomando en cuenta las especies muestreadas.

3.2.3 Fase III: Planteamiento de estrategias para el manejo de los residuos de poda urbana

Con la información obtenida mediante las entrevistas y salidas de campo, se identificaron algunos problemas en el manejo de residuos de poda, para lo cual se aplicará otro modelo de evaluación multicriterio, con el fin de priorizar los

problemas encontrados y elaborar una estrategia que proporcione una solución a dicha problemática (Grajales, 2013).

Las metodologías multicriterio integran una diversidad de factores, además transforma las percepciones y mediciones en una única escala que permite comparar entre problemas y criterios, estableciendo de esta manera un orden de prioridad a problema, selección de alternativas o proyectos. Contreras et al. (2008) propone utilizar la Matriz Multicriterio para la priorización de problemas, colocando los criterios seleccionados en las columnas y los problemas identificados en las filas (Tabla 5). Las celdas fueron llenadas valorando cada uno de los problemas, según cada uno de los criterios utilizando la siguiente escala de importancia: 3 Alta, 2 Media, 1 Baja o 0 Nula. Finalmente, se realiza la sumatoria de puntos obtenidos en cada problema, esto establece un orden de prioridad de los problemas para los cuales se diseñaron estrategias.

Tabla 5

Matriz Multicriterio para la priorización de problemas

Problemas	Criterio 1	Criterio 2	Criterio “n”	Suma
Problema 1				
Problema 2				
Problema “n”				

Nota. Contreras et al. (2008)

Una vez obtenido la priorización de los problemas del manejo de los residuos de poda urbana en la ciudad de Ibarra, se procedió a plantear estrategias que contribuyan a la solución de los problemas, cumpliendo así con los objetivos propuestos en la presente investigación.

Las estrategias están compuestas de objetivo general, objetivos específicos, actividades, indicadores, responsables y un presupuesto referencial.

3.3 Materiales y Equipos

A continuación, se detallan los materiales de campo y materiales de oficina utilizados en la investigación (Tabla 6).

Tabla 6

Materiales, equipos e insumos

Materiales de campo	Equipos	Insumos
Libreta de campo	GPS	Muestras de biomasa de césped, ramas y hojarasca
Marcadores y bolígrafos	Báscula de camiones	
Costales	Báscula de pesaje de residuos	
Guantes de nitrilo	Balanza de mano	
Fundas ziploc	Balanza analítica	
Segueta	Calorímetro Isoperibólico AC500	
Hoz	Pulverizador "Fritsch pulversiette 19"	
Fundas para la recolección de material vegetal	Tamiz de 0,05 mm	
	Estufa "Memmert TV4QU1"	
	Cámara fotográfica	
	Computadora portátil	

Capítulo IV

Resultados y Discusión

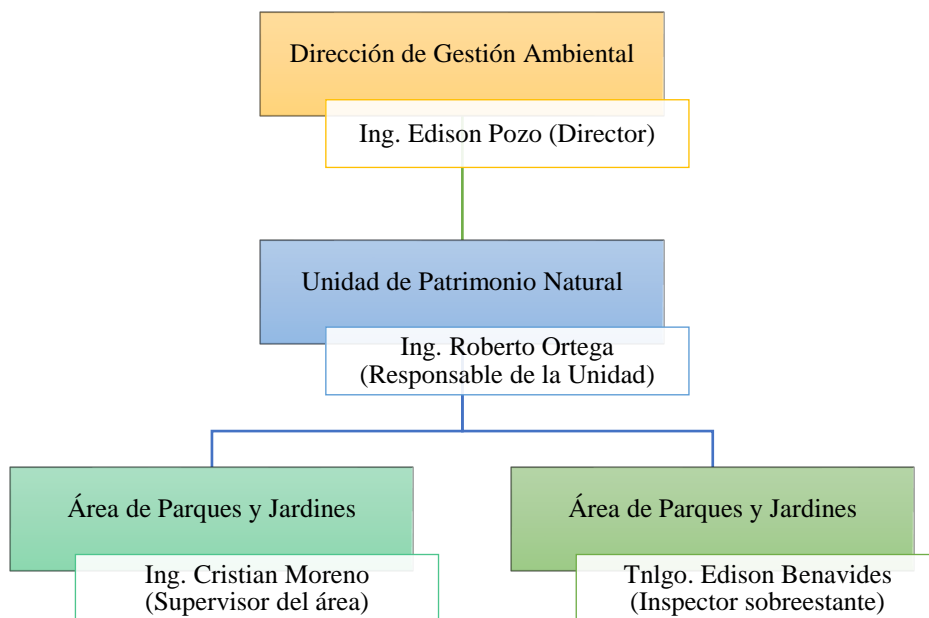
4.1 Diagnóstico del Manejo Actual y la Disponibilidad de los Residuos de Poda Urbana de la Ciudad Ibarra

4.1.1 Entrevista a los Actores Clave

Para el diagnóstico del manejo actual de los residuos de poda se identificaron a cuatro actores clave responsables de esta actividad a quienes se aplicó la entrevista en el mes de noviembre de 2019, la cual fue validada previamente. Es de conocimiento público sobre las competencias de cada Dirección departamental de la Municipalidad de Ibarra, de tal manera que en la Dirección de Gestión Ambiental se identificó al primer actor clave el Ing. Edison Pozo (Director), quien nos dirigió al siguiente actor clave, formando de esta manera una jerarquía en el manejo de estos residuos como se muestra en la (Figura 10).

Figura 10

Jerarquía de los actores clave del manejo de los residuos de poda urbana

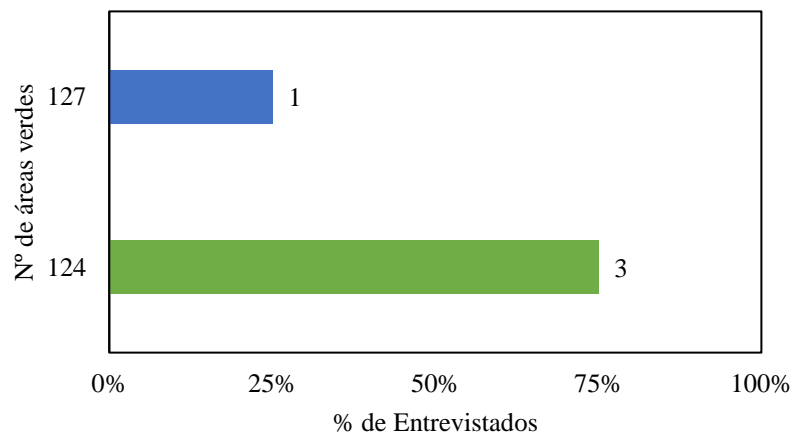


Los cuatro actores clave brindaron información acerca del número de áreas verdes, donde el 75% de los entrevistados (n=3) manifestaron la existencia de 124 áreas

verdes en la ciudad de Ibarra, mientras que el 25% restante (n=1) hizo mención de 127 áreas verdes como se muestra en la (Figura 11), además los entrevistados identificaron al Área de Parques y Jardines como la unidad responsable de la recolección de los residuos de poda urbana, la cual está bajo la dirección de la Unidad de Patrimonio Natural. Esta Unidad es quien gestiona directamente los cronogramas mantenimiento, recolección y disposición final de los residuos de poda, además de manejar la información de abundancia de especies arbóreas en el cantón.

Figura 11

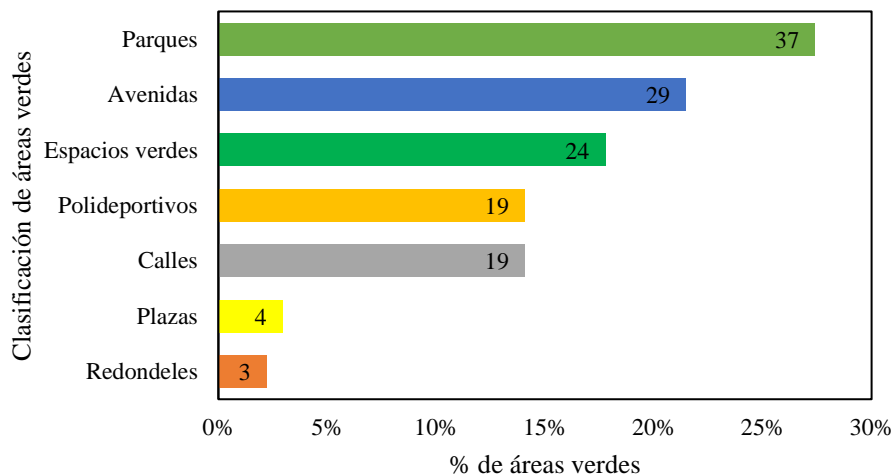
Número de áreas verdes identificadas por los actores clave



El número de áreas verdes de la zona urbana identificado por los entrevistados fue verificado mediante información técnica facilitada por el Área de Parques y Jardines, en la cual según el inventario arbóreo y el cronograma de actividades, el municipio está a cargo del mantenimiento de 135 áreas verdes clasificadas en: parques 27%, avenidas 21%, espacios verdes 18%, polideportivos 14%, calles 14%, plazas 3% y redondeles 2% (Figura 12), cabe recalcar que la clasificación calles son espacios de la ciudad en donde se han plantado ciertas especies arbóreas las cuales también requieren de mantenimiento.

Figura 12

Clasificación de áreas verdes en la ciudad de Ibarra



La clasificación de áreas verdes de la ciudad de Ibarra es propia del GAD municipal tal y como mencionan Flores y Gonzáles (2010); Vargas (2013), quienes sugieren que la clasificación o tipología de áreas verdes urbanas sean en función a las ciudades o regiones metropolitanas debido a las distintas características sociales, económicas y ambientales de cada lugar. Por ejemplo, en otros lugares de la región como en Costa Rica, Morales et al. (2018) en su estudio sobre indicadores ambientales de áreas verdes urbanas identifica otro tipo de clasificación como: espacios arbolados, vegetación ribereña, parques, pastizales, polideportivos o plaza y pastizales arbolados, obteniendo mayor porcentaje los espacios arbolados que es equivalente a las avenidas o parterres del estudio. Salvador (2003), menciona que la tipología puede ser un instrumento para la planificación de actividades de manejo de las áreas verdes tales como: poda, siembra de árboles y recolección de residuos.

A pesar de que el Bosque Protector Loma de Guayabillas se encuentra ubicada en la parroquia urbana San Francisco, no es considerada como área verde debido a que se encuentra categorizado como Bosque y Vegetación Protectora desde 2001 mediante Acuerdo Ministerial N.º 047 (Saránsig, 2017).

Para el número de áreas verdes antes citadas los entrevistados mencionaron que se realiza un cronograma mensual-anual, el cual se puede modificar de acuerdo con

disposiciones o requerimientos de las autoridades y ciudadanía. En los acompañamientos de las salidas de campo se notó el bajo cumplimiento del cronograma, debido a que se realizan constantes cambios de rutas de mantenimiento de áreas verdes lo que genera una desorganización para el manejo de los residuos de poda en la ciudad. En otros cantones como Samborondón Mora (2017), expresa una situación similar, en donde la recolección no cumple con los horarios causando dificultad en el manejo de residuos e inclusive para conocer cantidades de generación. A nivel de Latinoamérica el problema de incumplimiento de las actividades de mantenimiento en áreas verdes se asemeja en una logística decadente, que no permite llevar a cabalidad los proyectos o programas para conocer respecto a la generación de este tipo de residuo.

Durante el mes se realiza el mantenimiento de aproximadamente 60 a 70 áreas verdes, es decir 2 o 3 diarias esto puede variar dependiendo de la extensión del lugar y la cantidad generada. El grupo de mantenimiento de las áreas verdes está conformado generalmente de: 1 o 2 operarios de moto guadaña, 1 o 2 operarios de motosierras (en el caso de realizar mantenimiento de árboles o arbustos), 4 o 6 recolectores de los residuos resultantes de la poda y 1 conductor del camión municipal (Figura 13).

Figura 13

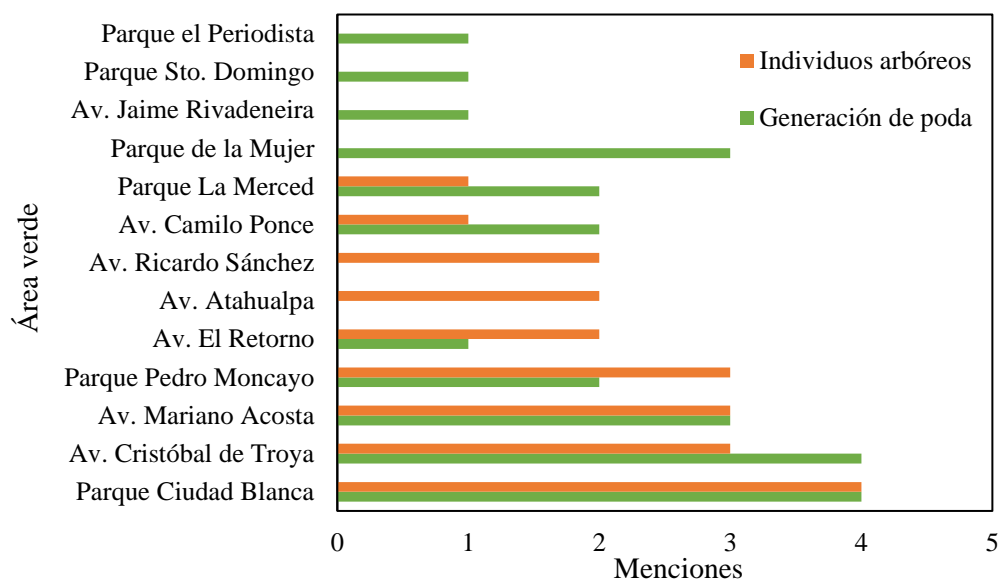
Personal de mantenimiento en el Parque La Mujer



El número de individuos arbóreos fue un aspecto importante a tomar en cuenta dentro de la entrevista, pues dependiendo de la cantidad, tamaño y especie pueden generar grandes cantidades de residuos de poda. De esta manera, según la apreciación de los actores clave el Parque Ciudad Blanca con cuatro menciones (n=4), es el área verde con más individuos arbóreos y alta generación de residuos de poda (Figura 14). Esto se debe a las características que presenta teniendo una superficie de aproximadamente 12.47 hectáreas de espacios verdes y alrededor de 2 339 individuos arbóreos, debido a su gran extensión este parque en particular, así como otras áreas de gran extensión reciben un mantenimiento por etapas mensuales que se encuentran dentro de la planificación que manejan los técnicos a cargo.

Figura 14

Percepciones de actores clave sobre áreas verdes con mayor generación de residuos de poda e individuos arbóreos



La Av. Cristóbal de Troya, Av. Mariano Acosta, Parque Pedro Moncayo, Av. El Retorno fueron mencionadas por los entrevistados como espacios verdes a los que consideran se realiza varias veces mantenimiento y por ende tienen alta generación de residuos de poda, además de tener una alta cantidad arbórea debido a que se encuentran en los sectores principales de la zona urbana.

Los actores clave citaron que tanto parques como avenidas son de importancia para el GAD municipal por sus beneficios como reducción de la contaminación del aire y adcentamiento de la ciudad. Sin embargo, los parques centrales como: Parque Pedro Moncayo, La Merced, Sto. Domingo; los visitados para distracción y esparcimiento: Parque Ciudad Blanca, Parque La Familia y áreas verdes donde se realizan actividades municipales como: Parque de la Mujer; tienen cierta preferencia al momento de realizar el mantenimiento y recolección de residuos de poda al igual que las avenidas Mariano Acosta, El Retorno, Cristóbal de Troya y Camilo Ponce que se encuentran dentro de las zonas más transitadas de la ciudad (Figura 15).

Figura 15

Mantenimiento del Parque de la Mujer para la realización de actividades municipales en conmemoración del 8 de marzo



En cuanto al pesaje de estos residuos hay opiniones divididas, el 50% (n=2) de los entrevistados manifiestan que se da un pesaje por el volumen de volqueta o camión municipal utilizado para la recolección, mientras que el otro 50% (n=2) mencionan que no se da un pesaje como tal, siendo un aspecto importante para la toma de decisiones futuras respecto al manejo y aprovechamiento de estos residuos de poda, por lo tanto, hasta la fecha del estudio la municipalidad realiza solo la recolección y disposición final en la Estación de Transferencia de Socapamba donde son acumulados sin ningún tratamiento o tipo de aprovechamiento (Figura 16).

Figura 16

Área de depósito de residuos de poda en la Estación de Transferencia de Socapamba



A pesar de que en varios municipios del Ecuador este tipo de residuos pasa desapercibido para su aprovechamiento, en la ciudad de Cuenca el panorama es diferente, pues el GAD municipal mediante la empresa EMAC EP, garantiza el correcto manejo y tratamiento de los residuos provenientes del mantenimiento de áreas verdes urbanas como césped y podas realizando la recolección, un pesaje para mantener el registro de la cantidad de los residuos y un tratamiento de estos mediante la planta de compostaje que procesa diferentes residuos orgánicos para convertirlos en humus, el cual es usado en las áreas verdes de la ciudad y otra parte se comercializa para viveros y cultivos de la ciudadanía (Cartella Comunicaciones Públicas, 2015).

Referente al conocimiento sobre los tipos de aprovechamiento que se podría realizar con los residuos de poda de las áreas verdes los entrevistados destacaron la técnica de compostaje como el principal método de aprovechamiento, además hubo menciones de la utilización de estos residuos para creación de abonos orgánicos, pellets y chips, cabe recalcar que los actores clave mencionaron que actualmente no se aplica ningún método de aprovechamiento a los residuos orgánicos que genera la ciudad, sin embargo cierta cantidad de residuos en ocasiones es entregada a una empresa de cárnicos requerida para realizar compostaje.

En una corta intervención del Ing. Milton Vásquez responsable de residuos sólidos mencionó que aproximadamente hace 10 años hubo el planteamiento de conformar una planta de compostaje la cual debido a los cambios administrativos no se logró concretar (Figura 17).

Figura 17

Sector de las Tolas de Socapamba



Esto se puede corroborar en el estudio de Flores (2019), donde en las entrevistas realizadas al Ing. Milton e Ing. Dayana Albán (directora de Gestión Ambiental de esa fecha) declaran que referente al manejo y aprovechamiento de los residuos orgánicos de la ciudad como municipio no cuentan con instrumentos para el procedimiento, a pesar de existir una ordenanza que regula el tema de residuos sólidos, los proyectos piloto para el manejo de residuos orgánicos por los frecuentes cambios de administración no ayudan al desarrollo de los mismos. De manera similar ocurre en otros municipios del país, tal es el caso del GAD de Samborondón donde Mora (2017), menciona que en años anteriores en el cantón se realizaba actividades de reciclado y compostaje sin embargo esas iniciativas no han podido mantenerse en el tiempo ya que están sujetas al cambio de administraciones.

Finalmente, acerca de la necesidad de un programa para el aprovechamiento de los residuos de poda urbana los entrevistados en general mencionaron que sería indispensable implementar un programa para optimizar recursos, reducir residuos y dar una segunda vida útil a los restos de poda. Algunas de las opiniones de los entrevistados sobre la necesidad de un programa de aprovechamiento fueron las siguientes:

(Pozo, E): *"Si, porque cuando se tiene un programa se puede distribuir de mejor manera y optimizar la utilización de estos residuos para realizar pellets y otros métodos de aprovechamiento"*

(Moreno, C): *"Es importante reutilizar el material de podas para utilizar de abono para nuestras mismas plantas, ese es el proyecto que está realizando la empresa de cárnicos para reutilizar en nuestros propios parques"*

El césped, ramas y hojas de las actividades silviculturales de las ciudades pueden ser usadas en diferentes alternativas incluso industriales, las cuales necesitan altas inversiones para su producción, cumplir la demanda y normativa vigente (Parra et al., 2010). Dentro de América Latina varios países se han sumado a la iniciativa de colaborar con la reducción de volúmenes de residuos orgánicos que son destinados a los rellenos sanitarios, se conoce la experiencia de la Ciudad de Rosario en Argentina que a través de la Dirección General de Política Ambiental en colaboración con otras entidades públicas y privadas se pudo concretar el proyecto "Residuos Rosario" donde se utiliza las ramas producto de las podas, hojas y césped proveniente del mantenimiento y limpieza de jardines para generar abono orgánico vegetal mediante el compost (Jaramillo y Zapata, 2008).

Prieto et al. (2009) expresa que en los últimos años se han realizado grandes esfuerzos para incrementar el uso de varios tipos de biomasa como biocombustibles para reemplazar el uso de combustibles fósiles mediante combustión, pirólisis, digestión anaeróbica, peletización, briquetado, entre otros. Sorensen et al. (1998) manifiesta que un programa de manejo de áreas verdes urbanas bien planificado puede aportar a la reducción del presupuesto destinando al transporte de los residuos generados, además de aprovechar estos residuos y darles una segunda vida útil.

4.1.2 Selección de las Áreas Verdes de Mayor Generación de Residuos de Poda

Mediante la aplicación del método multicriterio AHP se determinó el nivel de importancia de cada criterio obteniendo que; el criterio extensión del área según los juicios de los decisores tuvo una importancia de 43.48% sobre el resto de los criterios, seguido del criterio individuos arbóreos con 26.63%, siendo dos

características importantes para conocer la cantidad de residuos que puede generar un área verde. No obstante, los criterios de percepción de los entrevistados de mayor generación e importancia municipal sumaron una importancia de 7.27%, esto debido a que la percepción puede variar dependiendo del conocimiento y juicio de los actores clave (Tabla 7).

Tabla 7

Nivel de importancia de los criterios

Criterios	Ponderación	%
Extensión del área	0.43	43.48
Individuos arbóreos	0.27	26.63
Podas al año	0.13	13.43
Esfuerzo de trabajo de poda	0.09	9.19
Mayor Generación	0.04	4.29
Importancia Municipal	0.03	2.98

Nota. El análisis multicriterio obtuvo una relación de consistencia RC = 0.0607.

En la evaluación de las alternativas de parques (Tabla 8) la alternativa **P1** correspondiente al Parque Ciudad Blanca tiene el nivel más alto de priorización con el 39.24% del total, debido a las características que presenta (Anexo 2.2) con referencia a las otras áreas verdes, posee una extensión de 124 726 m² de espacios verdes, 2 097 individuos arbóreos, tiene podas mensuales por lo tanto es necesario la asistencia de al menos 12 personas; es decir el esfuerzo realizado por el personal de mantenimiento, es considerada como una área de mayor generación de residuos de poda además de tener alta importancia municipal al momento de su mantenimiento y recolección de residuos de poda. La segunda opción de priorización fue la alternativa **P6** correspondiente al Parque de la Familia, pero en el transcurso de la investigación se encontraba inhabilitado por remodelación por lo tanto fue descartado como opción de muestreo y pesaje en el estudio, de tal manera que fue remplazado por la alternativa **P8** Parque de la Mujer con una priorización de 9.21% con una extensión de 4 335.30 m² y 69 individuos arbóreos

Tabla 8*Resumen de la información para la selección de Parques*

Criterio/ alternativa	EA	IA	PA	ET	MG	IM	Priorización	%
P1	0.04	0.04	0.05	0.05	0.07	0.07	0.05	4.59
P2	0.44	0.45	0.31	0.25	0.27	0.12	0.39	39.24
P3	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.12	0.05	4.61
P4	0.04	0.04	0.05	0.05	0.07	0.04	0.05	4.51
P5	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	4.38
P6	0.16	0.17	0.15	0.25	0.04	0.04	0.16	16.18
P7	0.04	0.04	0.05	0.05	0.12	0.20	0.05	5.18
P8	0.07	0.04	0.15	0.17	0.18	0.12	0.09	9.21
P9	0.07	0.08	0.05	0.05	0.12	0.20	0.08	7.63
P10	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.07	0.04	4.46
Ponderación	0.43	0.27	0.13	0.09	0.04	0.03		

Para la selección de avenidas a muestrear también se evaluaron simultáneamente 6 criterios los cuales después del análisis (Tabla 9), se determinó que la alternativa **A4** correspondiente a la Av. El Retorno es el área con mayor nivel de priorización con un 32.05% del total, tiene una extensión de 57 212.5 m², 519 individuos arbóreos, realizándose 6 podas al año para lo cual se necesita al menos 12 personas para el mantenimiento del área, es la avenida más extensa de la zona urbana, por lo tanto, es un área que puede aportar datos reales al estudio. La siguiente opción de priorización con 20.34% fue la alternativa **A6** que corresponde a la Av. Mariano Acosta tiene 27 812.9 m² y 375 individuos arbóreos.

Tabla 9*Resumen de la información para la selección de avenidas*

Criterio/ alternativa	EA	IA	PA	ET	MG	IM	Priorización	%
A1	0.10	0.07	0.10	0.24	0.05	0.06	0.10	10.27
A2	0.04	0.07	0.10	0.10	0.15	0.11	0.07	6.88
A3	0.14	0.28	0.17	0.24	0.34	0.11	0.20	19.98
A4	0.44	0.28	0.17	0.24	0.09	0.25	0.32	32.05
A5	0.04	0.04	0.04	0.03	0.09	0.06	0.04	4.28
A6	0.17	0.18	0.37	0.10	0.23	0.36	0.20	20.34
A7	0.06	0.07	0.06	0.03	0.05	0.06	0.06	6.19
Ponderación	0.43	0.27	0.13	0.09	0.04	0.03		

Por lo tanto, al final del proceso de decisión se logró seleccionar las dos mejores opciones de cada tipo de área verde, tanto de parques como avenidas, para posterior

caracterización y pesaje de los residuos de poda (Tabla 10), muestra un orden jerárquico de importancia según su porcentaje de priorización.

Tabla 10

Áreas Verdes seleccionadas mediante AHP

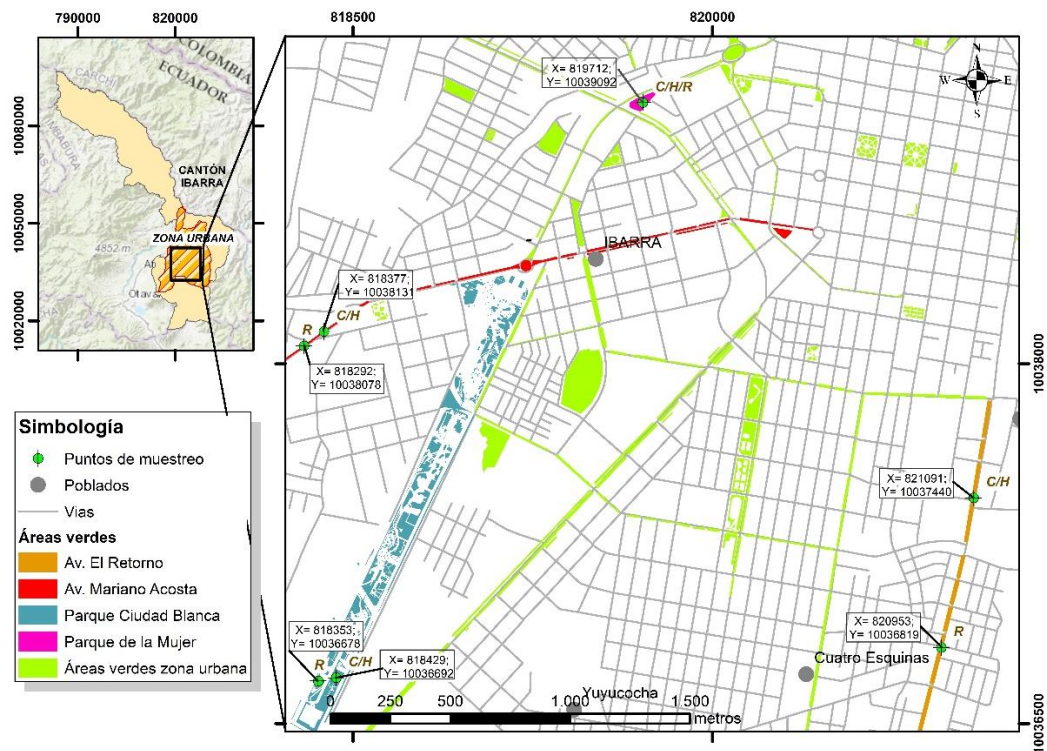
Tipo de área verde	Nombre área verde	Simbología	% Priorización
Parque	Parque Ciudad Blanca	P2	39.24
	Parque de la Mujer	P8	9.21
Avenida	Av. El Retorno	A4	32.05
	Av. Mariano Acosta	A6	20.34

4.1.3 Caracterización y Pesaje de Residuos de Poda

La caracterización de las áreas verdes seleccionadas (Figura 18), se lo realizó del 26 de febrero al 13 de marzo de 2020.

Figura 18

Áreas verdes muestreadas

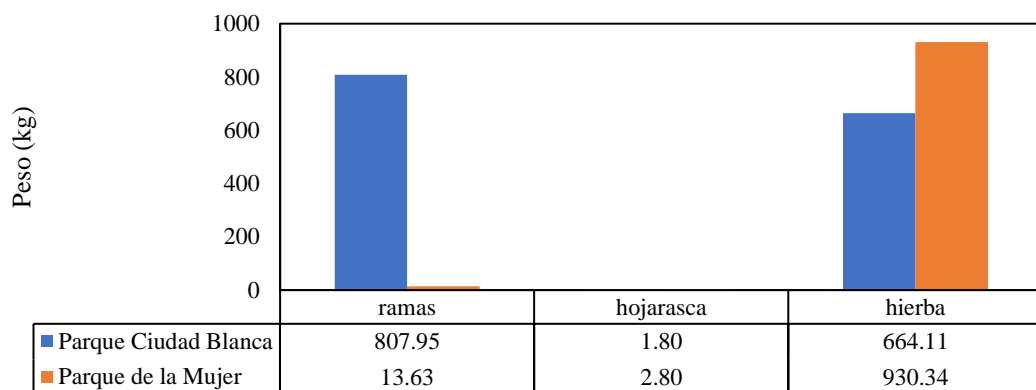


Nota. Las letras C, H y R son los puntos de muestreo de césped, hojarasca y ramas, respectivamente

Como se explicó anteriormente, las áreas verdes de mayor extensión requieren de mantenimiento por etapas semanales o mensuales, por lo tanto, el pesaje en las áreas seleccionadas se lo realizó en una sola ocasión. Respecto a la recolección de residuos de poda de los parques la (Figura 19) indica que los residuos de césped son más abundantes, obteniendo 1 594.45 kg entre los parques Ciudad Blanca y de la Mujer. Resaltando que el peso obtenido del Parque Ciudad Blanca corresponde a un tramo de 2 936.28 m² con relación al área total. Por otro lado, los residuos de ramas tuvieron un pesaje de 821.58 kg, obteniendo mayor biomasa del Parque Ciudad Blanca, finalmente de los residuos de hojarasca se obtuvo un peso de 4.60 kg entre los dos parques siendo el tipo de biomasa de menor producción.

Figura 19

Pesaje diferenciado en parques seleccionados



La diferencia en el pesaje de ramas se debe a la ausencia de una silvicultura urbana programada, más bien se realiza el mantenimiento dependiendo de las necesidades de la ciudadanía y municipalidad para la poda de árboles urbanos. Para los árboles mayores a tres metros se solicita el apoyo del carro escalera del Cuerpo de Bomberos, sin embargo, en la mayoría de las ocasiones el personal de mantenimiento lo realiza mediante escaleras para los árboles menores a tres metros. De esta manera resalta la diferencia en el mantenimiento del Parque de la Mujer en el cual se realizó la poda de 1 árbol con un peso de 13.63 kg (Figura 20 a) y en el Parque Ciudad Blanca se obtuvo un peso de 807.95 kg de 33 árboles (Figura 20 b), apreciando una gran generación de residuos de poda en esta área verde.

Figura 20

Pesaje de ramas

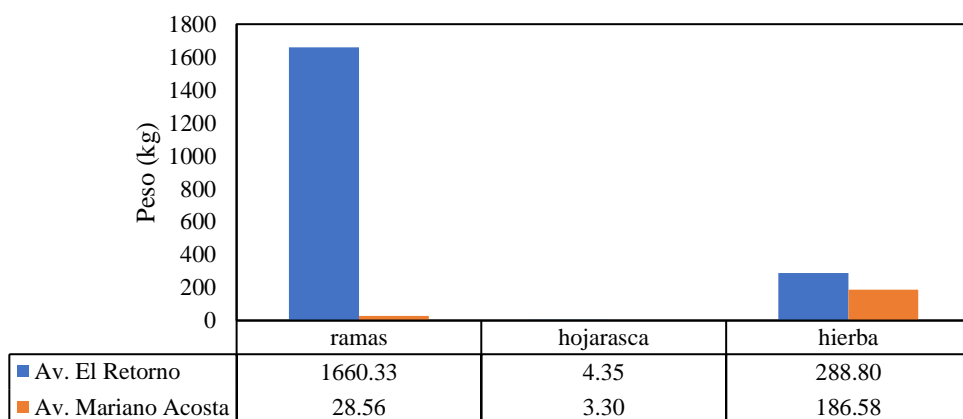


Nota. a) Parque de la Mujer y b) Parque Ciudad Blanca

En el pesaje de residuos de poda de las avenidas, se observó una alta generación de ramas en la Av. El Retorno obteniendo un peso 1660.33 kg de la poda de 6 árboles como muestra la (Figura 21) superando la cantidad podada en la Av. Mariano Acosta que tan solo obtuvo un peso de 28.56 kg de 4 árboles. Los residuos de hierba suman 475.38 kg entre las dos avenidas debido a la extensión del área muestreada, la hojarasca tuvo un pesaje de 7.65 kg en las dos avenidas.

Figura 21

Pesaje diferenciado de las avenidas seleccionadas



Al igual que en el caso de los parques se puede observar una clara diferencia del pesaje de ramas, esto debido a la variedad de especies que se encuentran en las

distintas avenidas de la ciudad y la cantidad de individuos arbóreos podados, un claro ejemplo se observó en la Av. El Retorno donde la biomasa pesada fue de la especie *Ochroma pyramidale* conocido como balsa, de grandes hojas y ramas haciéndolo peculiarmente frondoso, desprendiendo gran cantidad de residuos (Figura 22). Esto es de esperar debido a la mayor variabilidad en los crecimientos de diferentes especies en un entorno urbano con condiciones naturales no uniformes a diferencia de las plantaciones o bosques naturales en donde las condiciones son más uniformes.

Figura 22

*Generación de residuos de tres árboles de balsa *Ochroma pyramidale**



La diferencia de generación de biomasa en las especies arbóreas según Fonseca et al. (2009) se debe al diámetro a la altura del pecho (dap) del árbol, el modelo aplicado para determinación de biomasa en diferentes especies de su estudio, el dap actúa como variable independiente lo cual podría ayudar a estimar la biomasa a partir de esta variable que es fácil de medir. De manera similar Sanquetta et al. (2008) para la estimación de biomasa en plantaciones forestales de *Pinus taeda* L., menciona que en modelos para calcular el volumen de residuos arbóreos existe una alta correlación entre la biomasa generada con el diámetro o la altura y una correlación media entre la biomasa con el follaje y ramas.

Por otro lado, Chou y Gutiérrez (2012), expresan que la densidad de las especies a pesar de que no exista una correlación significativa con la generación de biomasa

influye en la cantidad de esta, pues menciona que dos árboles con mismo dap y misma altura, pero con diferentes densidades sus cantidades de biomasa serán distintas. Villela et al. (2018) en su estudio menciona que cada especie requiere un modelo o ecuación para conocer la generación de sus residuos en el caso de necesitar un estudio puntual, caso contrario se puede utilizar un modelo para determinar la generación de biomasa por género.

4.1.4 Extrapolación del Peso de Residuos de Poda

Césped.

La extrapolación de peso estimado de residuos de poda de este estrato se realizó para 37 parques y 28 avenidas del sector urbano, cabe recalcar que algunas áreas verdes solo poseen árboles más no césped, por lo tanto, no fueron consideradas para este cálculo. Se obtuvieron datos de acuerdo con su cronograma de poda anual; en los parques se produciría aproximadamente 592.74 ton/año mientras que en las avenidas se estimó 69.98 ton/año, sumando un total de 662.72 ton/año en el caso de cumplir a cabalidad el cronograma con sus respectivas frecuencias de mantenimiento.

Ramas.

Para las ramas el peso se extrapoló por especies muestreadas y por el número de individuos arbóreos que se encuentran tanto en parques como avenidas, el peso estimado anual para *Schinus molle* fue de 12.68 ton/año, seguido de *Acacia melonoxylon* con 6.34 ton/año, *Jacaranda mimosifolia* con 5.77 ton/año, *Callistemon citrinus* con 4.01 ton/año, *Ochroma pyramidale* con 3.87 ton/año y finalmente *Hibiscus rosa sinensis* con 3.31 ton/año las cuales sumaron 3022 individuos arbóreos que representarían 35.98 toneladas si se podaran todos los individuos al menos una vez al año.

Hojarasca.

Para la hojarasca no se pudo obtener un valor estimado para el total de áreas verdes de la ciudad, esto debido a la diversidad de especies existentes en cada lugar y a la cantidad de biomasa que generan, las cuales influyen directamente en los resultados donde no se obtuvo un peso por especie sino por área en general en una sola

recolección. Quinto et al. (2007) y Huechacona (2016), recomiendan que para el cálculo de la generación de hojarasca es necesario la aplicación de una metodología que incluye instalación movable de colectores o trampas para medir la caída de hojarasca que deben ser sistemáticamente ubicados en toda el área a evaluar, siendo de esta manera un método invasivo el cual tiene mayor aplicación para el cálculo de generación de hojarasca para bosques, parcelas o sitios donde exista nula intervención humana ya que podría alterar los resultados.

4.2 Análisis del Poder Calorífico de los Residuos de Poda Urbana Para el Aprovechamiento Energético

4.2.1 Diseño Muestral

Una vez finalizada la etapa de muestreo se obtuvo un total de 36 muestras, 18 en parques y 18 en avenidas compuestas de los tres estratos césped, ramas y hojarasca, además se pudo observar que las especies arbóreas representativas en los lugares de muestreo fueron las que se adjuntan en la (Tabla 11; Anexo 2.2).

Tabla 11

Especies representativas de los sitios de muestreo

Lugar de muestreo	Nombre científico	Nombre común
	<i>Spathodea campanulata</i> P.Beauv	Tulipán africano
Av. El Retorno	<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. Ex Lam.) Urb.	Balso
	<i>Juglans neotropica</i> Diels	Nogal
	<i>Hibiscus rosa sinensis</i> L.	Cucarda
Av. Mariano Acosta	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D.Don	Jacaranda
	<i>Callistemon citrinus</i> (Curtis) Skeels	Cepillo rojo
Parque Ciudad Blanca	<i>Acacia melonoxylon</i> R.Br.	Acacia negra
	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth	Cholán
	<i>Melaleuca armillaris</i> (Sol. ex Gaertn.) Sm.	Melaleuca
	<i>Schinus molle</i> L.	Molle
Parque de la Mujer	<i>Populus alba</i> L.	Álamo
	<i>Spathodea campanulata</i> P.Beauv	Tulipán africano

Las especies representativas de las zonas de muestreo se encuentran en algunos parques y parterres de la ciudad de Ibarra, cabe recalcar que, en las áreas verdes existe una arborización bastante heterogénea, con alrededor de 130 especies entre

nativas e introducidas en el casco urbano. Yáñez et al. (2020) como parte de su estudio, identificó a 72 especies arbóreas que son parte de la poda de las áreas verdes en la ciudad de Cuenca, en donde especies como *Tecoma stans*, *Jacaranda mimosifolia*, *Schinus molle*, *Hibiscus rosa-sinensis*, *Juglans neotropica*, *Papulus alba* y *Callistemon citrinus*, también son especies representativas de los espacios verdes públicos. En otros lugares de la región como Costa Rica se compararon las áreas verdes de dos distritos (El Carmen y Heredia) donde se identificaron 61 y 41 especies arbóreas respectivamente, siendo *Callistemon citrinus*, *Spathodea campanulata* y *Jacaranda Mimosifolia* las más representativas de las dos zonas (Morales et al., 2018)

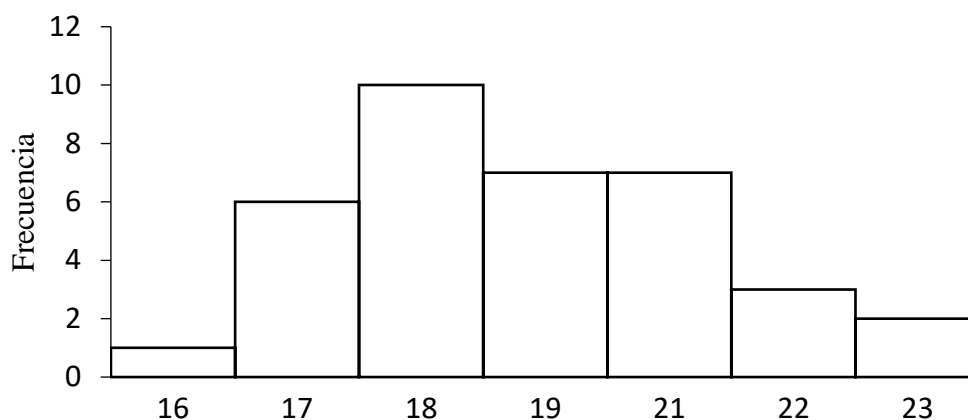
La diferencia de la cantidad de especies dentro de un casco urbano puede deberse a la superficie del lugar de estudio y al programa de arborización que tenga la ciudad. Sánchez y Artavia (2013), sugieren que un 75% a 80% de las especies plantadas en arborización urbana sean nativas. Esto genera algunas ventajas como realizar un menor mantenimiento, un manejo más fácil de los árboles debido a que requieren menos riego, fertilización y son más resistentes a las plagas, además que se adaptan fácilmente al entorno donde se desarrolla, de modo que contribuye a las administraciones de las ciudades con la reducción de gastos del manejo y mantenimiento del arbolado urbano (Uribe, 1998).

4.2.2 Poder Calorífico

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk presentó un *p-valor* de 0.21 mayor al 0.05 de la significancia, por lo que se determinó que los datos muestran una distribución normal, al igual como se puede observar en el histograma, donde las barras de frecuencias se encuentran relativamente en orden aceptando la normalidad (Figura 23).

Figura 23

Histograma de normalidad de poder calorífico



Posterior a esto, los resultados del análisis de varianza del poder calorífico de los diferentes tipos de biomasa demostraron que existe una diferencia significativa entre los estratos, ya que el *p-valor* es de $1.3e^{-3}$ siendo menor al 0.05 del valor de significancia, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa afirmando que existe diferencia significativa del poder calorífico en al menos uno de los estratos (Tabla 12).

Tabla 12

Resultado del análisis de varianza de los datos de poder calorífico

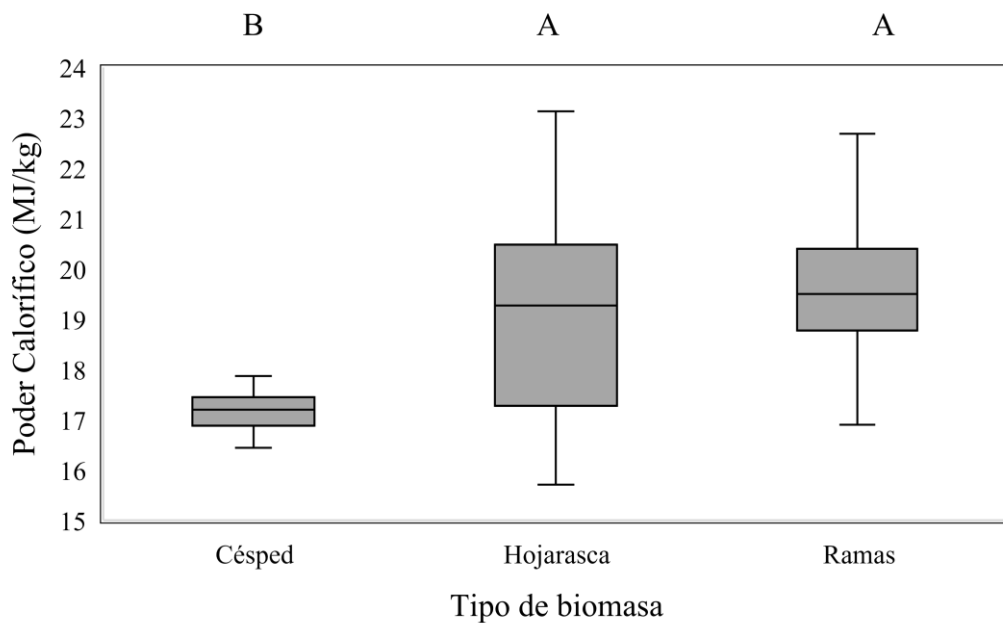
	SC	gl	CM	F	p-valor
Tipo de Biomasa	37.39	2	18.69	8.23	0.0013
Error	74.98	33	2.27		
Total	112.37	35			

Los tres estratos no evidenciaron valores atípicos, en cuanto a la dispersión de datos el estrato de hojarasca presento mayor dispersión en relación con las ramas y el césped, este último fue el de menor dispersión determinado por el tamaño de su caja (Figura 23). La mediana de los estratos de hojarasca y ramas tienen un valor aproximado de 19 MJ/kg, mientras que la mediana del césped sobrepasa los 17 MJ/kg. Para conocer cuál de los estratos fue diferente, se comparó sus medias aplicando la prueba de Tukey, en donde se considera que las medias con una letra

común son significativamente iguales y los estratos que tengan letras distintas tienen diferencias significativas. De esta manera se identificaron dos grupos: el primer grupo contiene los estratos de hojarasca y ramas representados por la letra A, por otro lado, la letra B representa únicamente al estrato césped (Figura 24).

Figura 24

Diagrama de caja y bigotes de los datos de poder calorífico



A partir de los hallazgos encontrados, se acepta la hipótesis alternativa estableciendo que existe una diferencia significativa del poder calorífico entre los dos grupos, por lo tanto, al grupo (A) se le podría atribuir un mayor potencial energético, esto debido a la variabilidad del contenido de humedad en los tres tipos de biomasa. Es importante considerar que no se realizó la curva de secado de la biomasa, debido a la aplicación de secado natural al aire libre, pero se comprobó que el césped requirió mayor tiempo de secado para disminuir su contenido de humedad a diferencia de las ramas y hojarasca que su secado fue menos tardío.

Romo et al. (2011) y Arroyo y Reina (2016), manifiestan que existe una relación inversamente proporcional entre la humedad y el poder calorífico, pues entre menor sea la humedad, mayor será el valor del poder calorífico de la biomasa y la densidad energética. Salazar (2016), en su estudio evaluó el poder calorífico de tres especies

de pasto: *Arundo donax*, *Pennisetum purpureum* y *Pennisetum purpureum x Pennisetum glaucum*, en el cual se obtuvo un rango de poder calorífico de 15.80 MJ/kg a 17.85 MJ/kg, siendo *P. purpureum* la especie de pasto que tuvo mayor poder calorífico con menor contenido de humedad, a diferencia de *A. donax* que obtuvo un poder calorífico relativamente más bajo con un contenido de humedad más alto.

Para considerar la viabilidad de un tipo de biomasa para la generación de biocombustibles, es necesario realizar un análisis elemental en donde sus altas o bajas cantidades de los elementos químicos como: carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), azufre (S) y oxígeno (O), determinarían la eficiencia del uso de la biomasa como una alternativa de aprovechamiento energético que garantice menores emisiones de Dióxido de nitrógeno (NO₂) y de Dióxido de azufre (SO₂) al ambiente, reduciendo de esta manera el impacto ambiental (Al-Kassir, 2013; Cantos et al., 2018).

De la misma manera, un análisis inmediato o proximal para conocer el contenido de cenizas y volátiles de la biomasa, permitiría comprobar características de poder calorífico, el cual sería alto si su cantidad de cenizas es baja al igual que su porcentaje de humedad y un alto contenido de material volátil permitiría su utilización en procesos de combustión directa, gasificación y pirolisis (Armas, 2017).

La biomasa de nuestro estudio obtuvo los siguientes rangos de poder calorífico: ramas de 16.90 a 22.68 MJ/kg, césped de 16.44 a 17.88 MJ/kg y hojarasca de 15.71 a 23.13 MJ/kg. Según Forero et al. (2012); De Lucas y Del Peso (2012) entre otros autores, los valores obtenidos en el estudio se encuentran dentro del rango estándar de poder calorífico en comparación con otros materiales orgánicos e inorgánicos como se puede observar en la (Tabla 13).

Tabla 13*Poder Calorífico Superior de distintos materiales y biomasa*

Autor	Material	Poder Calorífico (MJ/kg)
Chávez y Rodríguez (2016)	Poliestireno	46
	PVC	18.9
	Gas natural	48
	Fuel- oil	44
	Cuero	18.9
	Papel	16.8
	Basura doméstica	8
Forero et al. (2012)	Madera	10 – 20
	Cáscara de coco	16
	Tallos de algodón	16
	Cáscaras de cacao	13 – 16
	Cáscara de arroz	13 – 14
	Tallos de maíz	13 – 15
	Aserrín	11
	Pellet de aserrín	20.5
	Pellet de madera	20.3
De Lucas y Del Peso (2012)	Paja de trigo	18.6
	Paja de centeno	18.6
	Residuos de maíz	18.4
	Plátano de sombra	19.1
	Tomate	17.5
	Pimiento	18
	Poda del olivo	18.1
Ayala (2013),	<i>Pennisetum Clandestinum</i> (kikuyo)	14.82

El potencial energético del estrato césped se realizó tomando en cuenta la producción anual de generación de parques y avenidas con sus respectivas frecuencias de mantenimiento, produciría alrededor de 3160.94 MWh, si se cumpliera a cabalidad los cronogramas de mantenimiento y sin variables ambientales que influyan en su crecimiento, esta estimación se realizó con datos tomados en época lluviosa. Es importante considerar esta variable debido a que la generación de césped en época seca será diferente a la de la época lluviosa.

Por otro lado, el estrato ramas podría generar 194.53 MWh de energía en el caso de aprovechar la biomasa resultante de la poda de especies como: *Acacia melanoxyton*, *Schinus molle*, *Ochroma pyramidale*, *Hibiscus rosa sinensis*, *Jacaranda mimosifolia* y *Callistemon citrinus*, la generación de energía por especie se observa en la (Tabla 14).

Tabla 14

Potencial energético por especie

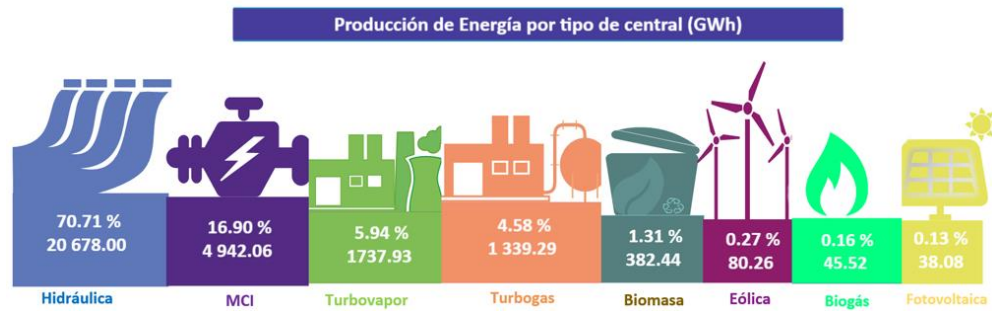
Especies	Poder Calorífico (MJ/kg)	Potencial Energético anual (MWh)
<i>Acacia melanoxyton</i>	18.97	33.41
<i>Schinus molle</i>	20.90	73.59
<i>Ochroma pyramidale</i>	19.49	20.97
<i>Hibiscus rosa sinensis</i>	16.90	15.55
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	18.77	30.11
<i>Callistemon citrinus</i>	18.78	20.90

Existe un estudio similar en la ciudad de Cuenca, donde Yanez et al. (2020) estimó la eficiencia energética de los residuos forestales de las áreas verdes públicas, obteniendo un potencial energético de 476.83 MWh/año correspondiente a nueve especies representativas de la ciudad. La diferencia de valores entre el estudio mencionado y el nuestro, se debe a varios componentes tales como: el tamaño de las ciudades, las especies representativas de los sitios de muestreo y la superficie de sus áreas verdes, lo que influirá directamente en la extracción del recurso y la disposición final realizada en cada ciudad a la poda urbana.

Actualmente en Ecuador, la biomasa más utilizada para generación de electricidad es el bagazo de caña, sin considerar otros tipos de biomasa que también podrían ser utilizados en diferentes procesos como pirolisis o calderos para generar energía (Gomelsky, 2013). A nivel nacional para el 2018, la biomasa represento el 1.31% de la energía total producida correspondiente a 382.44 GWh o 383 440 MWh (Figura 25), superando la producción de la energía eólica, biogás y fotovoltaica (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2018).

Figura 25

Producción de energía en el Ecuador



Nota. Agencia de Regulación y Control de Electricidad (2018).

De tal manera que la biomasa de los residuos de poda de césped y ramas de la ciudad de Ibarra, aportaría a la generación del 0.88% de producción de energía mediante el uso de biomasa en el país.

4.3 Planteamiento de Estrategias Para el Manejo de los Residuos de Poda Urbana

Después de la aplicación multicriterio, se obtuvo como problema principal a la ausencia de un método de aprovechamiento para los residuos de poda, seguido de los problemas relacionados al limitado número de equipos, maquinaria y el incumplimiento del cronograma de mantenimiento de las áreas verdes. Con una priorización más baja se encuentra la información catastral desactualizada, el desconocimiento de los volúmenes de generación de residuos y por último las inapropiadas prácticas silviculturales (Tabla 15).

Un manejo adecuado de los residuos de biomasa que provienen del mantenimiento de áreas verdes urbanas puede generar varios beneficios sociales, económicos y ambientales, ya que este tipo de biomasa puede ser utilizado para generación de energía. Yáñez et al., (2020) sostiene que estos residuos que han carecido de valor pueden formar parte de las alternativas que constituyen la matriz energética a nivel local y nacional fortaleciendo la no dependencia de combustibles fósiles e identificando tecnologías eficientes que aprovechen el recurso evaluado. Los problemas identificados serán afrontados mediante estrategias acorde a la capacidad municipal.

Tabla 15*Matriz multicriterio de problemas identificados*

Problemas	Tipo de criterio						Suma
	Social	Social	Técnico	Social	Ambiental	Económico	
	Capacidad para obtener éxito al enfrentar el problema	Población afectada	Importancia para el municipio	Impacto sobre otros problemas	Beneficios ambientales	Inversión presupuestaria	
No existe información detallada sobre el volumen de generación de los residuos de poda	2	1	1	3	1	2	10
Incumplimiento del cronograma de mantenimiento de áreas verdes	3	1	2	2	1	3	12
Inapropiada práctica silvicultural	2	1	1	1	2	2	9
Información catastral de áreas verdes e inventarios arbóreos desactualizados	3	1	2	2	1	2	11
No existe ningún tipo de aprovechamiento de la biomasa de podas y son acumulados en el relleno sanitario	2	2	2	3	3	2	14
Escasez de equipos y maquinarias para el mantenimiento de áreas verdes	2	2	2	3	2	2	13

4.3.1 Estrategia 1

Implementación de planta peletizadora para el aprovechamiento de los residuos de poda de la ciudad de Ibarra.

El poder calorífico de los distintos tipos de biomasa muchas veces es desconocido, sin embargo, poseen un alto contenido energético que puede ser utilizado en biocombustibles sólidos como los pellets catalogándolos como un producto con CO₂ neutro (Nojek, 2009). Por ejemplo, en países que se ha utilizado esta tecnología representa una industria creciente que satisface más de 7.5 billones ton/año, para lo cual se han creado normas estandarizadas para su producción y comercialización (Forero et al., 2012). Pueden ser utilizados en calefacción de viviendas, calderos, restaurantes, asaderos y una aplicación a gran escala como en el proceso de centrales de generación de energía (Soto, 2017; Carrasco y Ligua, 2019). Este plan aportará con la reducción del ingreso de residuos orgánicos al relleno sanitario.

Objetivo General

Implementar una planta peletizadora para el aprovechamiento de los residuos de poda en la ciudad de Ibarra.

Objetivos Específicos

- Realizar un análisis elemental y proximal de los residuos de poda.
- Identificar los macroprocesos de la peletización.
- Determinar las zonas estratégicas para la implementación de la planta peletizadora en la ciudad de Ibarra.
- Diseñar la planta de peletización según la capacidad de generación de los residuos de poda.

Meta

Aprovechar en al menos un 80% los residuos de podas con la implementación de una planta peletizadora acorde a la capacidad de generación de este residuo.

Tabla 16

Implementación de planta peletizadora para el aprovechamiento de los residuos de poda

NOMBRE DEL PROYECTO	ALCANCE	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	INDICADORES	RESPONSABLES	PRESUPUESTO REFERENCIAL
Implementación de una planta peletizadora para el aprovechamiento de los residuos de poda.	Sector urbano de la Ciudad de Ibarra	- Realizar un análisis elemental y proximal de los residuos de poda.	-Recolección de muestras de ramas y césped. -Preparación de muestras. - Análisis de resultados	-Reporte de laboratorio sobre muestras enviadas -Registro fotográfico	GAD Ibarra	2 500
		- Identificar los macroprocesos de la peletización	-Revisión bibliográfica para reconocer la línea de procesos desde la generación hasta la peletización	-Diagrama de flujo		1 000
		- Determinar las zonas estratégicas para la implementación de la planta peletizadora en la ciudad de Ibarra.	- Salidas de campo - Reconocimiento de los lugares que contengan características idóneas.	-Registro fotográfico. -Coordenadas GPS de los sitios -Cartografía		200
		- Diseñar la planta de peletización según la capacidad de generación de los residuos de poda	- Cotización de máquinas y equipos necesarios. -Estudio macro de la generación de biomasa -Esquematización y diseño de la planta peletizadora	- Documento con los precios de maquinarias y equipos - Plano arquitectónico del diseño de la planta peletizadora - Construcción de infraestructura		70 000
TOTAL						73 700

4.3.2 Estrategia 2

Reestructuración de la logística en el departamento de parques y jardines

Esta estrategia de reestructuración de la logística en el departamento de parques y jardines del GAD Ibarra, permitirá perfeccionar las actividades de mantenimiento en las áreas verdes de la ciudad, optimizando recursos humanos y económicos, desarrollando de esta manera una gestión integral que permitirá contrarrestar las falencias del manejo actual de los residuos de poda, además promoverá el cumplimiento de otras estrategias para un posterior aprovechamiento de residuos (Peña et al., 2014).

Objetivo General

Reestructurar la logística en el departamento de parques y jardines.

Objetivos Específicos

- Fortalecer el Departamento de parques y jardines con personal necesario para el cumplimiento de actividades relacionado al manejo de podas.
- Identificar la disponibilidad de maquinarias y equipos para el mantenimiento de áreas verdes.

Meta

Cumplir con al menos un 80% el cronograma de actividades de mantenimiento y solventar la escasez de personal, maquinaria y equipos indispensables.

Tabla 17

Reestructuración de la logística en el Dpto. de Parques y Jardines

NOMBRE DEL PROYECTO	ALCANCE	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	INDICADORES	RESPONSABLES	PRESUPUESTO REFERENCIAL
Reestructuración de la logística en el Dpto. de Parques y Jardines	Departamento de parques y jardines del GAD- Ibarra	-Fortalecer el Departamento de parques y jardines con personal necesario para el cumplimiento de actividades relacionado al manejo de podas	- Contratación de personal adicional -Optimización de rutas de mantenimiento de áreas verdes para cumplimiento del cronograma. - Realizar inventario de equipos y maquinaria disponibles - Adquisición de carro escalera para la poda de árboles de altura - Inspección técnica de equipos	- Contratos de trabajo - Registro del personal de - Cartografía de rutas - Cronograma actualizado - Registro diario de actividades	GAD Ibarra	2 500
		-Identificar la disponibilidad de maquinarias y equipos para el mantenimiento de áreas verdes	- Listado de equipos - Facturación de repuestos y adquisición de maquinaria - Pagos por asistencia mecánica	22 000		
TOTAL						24 500

4.3.3 Estrategia 3

Generación de información actualizada de las áreas verdes de la ciudad de Ibarra

Es indispensable conocer y actualizar constantemente la información digitalizada sobre áreas verdes para la gestión municipal y desarrollo de nuevos estudios, que apoyarán a la toma de decisiones estableciendo medidas regulatorias que permitan el dimensionamiento, organización y correcto desarrollo de los trabajos de mantenimiento y limpieza de áreas verdes urbanas (Ayuntamiento de Zaragoza, 2017).

Objetivo General

Generar información actualizada de las áreas verdes de la ciudad de Ibarra.

Objetivos Específicos

- Actualizar el catastro de áreas verdes de la ciudad de Ibarra.
- Ratificar información del inventario arbóreo.
- Generar información de pesaje de residuos de poda.

Meta

Actualizar el 100% de la información de las áreas verdes urbanas.

Tabla 18

Generación de información actualizada de las áreas verdes de la ciudad de Ibarra

NOMBRE DEL PROYECTO	ALCANCE	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	INDICADORES	RESPONSABLES	PRESUPUESTO REFERENCIAL
		Actualizar el catastro de áreas verdes de la ciudad de Ibarra	-Levantamiento topográfico de espacios verdes de la ciudad. - Clasificación de las áreas verdes según su tipología	-Base de datos shapefile de espacios verdes. *Cartografía -Registro fotográfico		1 500
Generación de información actualizada de las áreas verdes de la ciudad de Ibarra	Sector urbano de la Ciudad de Ibarra	Ratificar información del inventario arbóreo.	- Salidas de campo. - Identificación de especies arbóreas -Obtención de coordenadas GPS de los individuos arbóreos.	-Base de datos de especies arbóreas -Base de datos shapefile de individuos arbóreos -Registro fotográfico	GAD Ibarra	1 500
		Generar información de pesaje de residuos de poda	- Pesaje de residuos de poda en la báscula - Registro de pesos de biomasa recolectada al día	- Factura de compra de báscula de camiones para pesaje de residuos - Base de datos de pesaje de residuos		25 000
TOTAL						28 000

4.3.4 Estrategia 4

Buenas Prácticas de Silvicultura Urbana

Un correcto manejo silvicultural de la poda urbana garantiza la integridad de los árboles retirando partes afectadas por plagas y enfermedades, realzando la vitalidad de las especies arbóreas, controlando la frecuencia y cantidad de poda en un árbol. Un personal con conocimientos de poda urbana estará capacitado para planificar y optimizar de manera adecuada los recursos destinados para el mantenimiento de áreas verdes (Parra et al., 2010; Tovar, 2013).

Objetivo General

Implementación de buenas prácticas de silvicultura urbana

Objetivos Específicos

- Capacitar al personal del Departamento de Parques y Jardines sobre la poda de árboles urbanos.
- Implementar técnicas de manejo silvicultural.

Meta

Capacitar al 100% de personal que realiza las actividades de mantenimiento de las áreas verdes urbanas.

Tabla 19

Buenas prácticas de silvicultura urbana

NOMBRE DEL PROYECTO	ALCANCE	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	INDICADORES	RESPONSABLES	PRESUPUESTO REFERENCIAL
		Capacitar al personal del Dpto. de Parques y Jardines sobre la poda de árboles urbanos	<ul style="list-style-type: none"> - Fortalecimiento de los conocimientos de poda urbana para el personal de mantenimiento de áreas verdes - Talleres sobre buenas prácticas silviculturales para la poda urbana. 	<ul style="list-style-type: none"> - Infografía y presentación en Power Point - Registro de asistencia - Registro fotográfico - Certificados de aprobación 		1 500
Buenas prácticas de silvicultura urbana	Departamento de parques y jardines del GAD- Ibarra	Implementar técnicas de manejo silvicultural	<ul style="list-style-type: none"> - Uso adecuado de herramientas según la especie arbórea - Aplicación de técnicas adecuadas de podas - Uso de señalética de prevención para casos necesarios en la poda arbórea. 	<ul style="list-style-type: none"> - Registro fotográfico - Manual de prácticas silviculturales 	GAD Ibarra	1 500
TOTAL						3 000

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

La gestión de los residuos de poda en la ciudad de Ibarra está alejada de los estándares que se deberían llevar a cabo en la recolección, manejo y aprovechamiento de estos, debido a varios factores especialmente a los múltiples cambios administrativos, dificultando el desarrollo de planes o proyectos que los actores clave consideran indispensables para un aprovechamiento adecuado. En cuanto a la disponibilidad de biomasa de poda se obtuvo que el estrato césped presenta el valor más alto de generación, esto debido a la extensión de las áreas verdes, seguido del estrato ramas en el cual se obtuvo datos referenciales de especies puntuales ya que no se realiza una silvicultura programada influyendo directamente en su cantidad de generación, en el caso de la hojarasca no pudo ser estimada por la variación de especies plantadas en la ciudad.

El poder calorífico en los tres tipos de biomasa césped, ramas y hojarasca presentó diferencias significativas, identificando al estrato césped como la biomasa con el valor promedio más bajo de 17 MJ/kg, mientras que las ramas y hojarasca tuvieron un valor promedio similar de 19 MJ/kg, sin embargo, el potencial energético anual del césped fue superior debido a su cantidad de generación.

Las estrategias planteadas en este estudio tienen como fin mejorar y fortalecer los procesos que se desarrollan dentro de la gestión integral de los residuos de poda en la ciudad de Ibarra, fomentando un aprovechamiento de estos para obtener beneficios ambientales, sociales y económicos.

Los residuos de poda urbana de las áreas verdes de la ciudad de Ibarra se pueden considerar como un recurso con potencial energético, debido a que el poder calorífico de estos residuos se encuentra en un rango de 16 a 20 MJ/kg al igual que otros materiales orgánicos los cuales han sido utilizados para la generación de energía.

La información recopilada mediante la metodología propuesta en la fase de campo aportó al cumplimiento de cada uno de los objetivos propuestos, obteniendo una línea base sobre el manejo y generación estimada de los residuos de poda al año en la zona urbana de Ibarra. Estos datos serán de utilidad para los actores directos, quienes a través de estrategias efectivas lograrían dar un valor agregado a estos residuos que generalmente son desaprovechados.

5.2 Recomendaciones

Se sugiere la actualización y socialización de la información acerca de las áreas verdes de la ciudad a todo el personal afín a esta actividad, para que no existan contradicciones de información y se disponga de una base de datos confiable que sirva de aporte para futuras investigaciones.

Se recomienda realizar un pesaje de las especies arbóreas más representativas de todos los espacios verdes de la ciudad, para contemplar una estimación más exacta de la biomasa que se generaría de la poda urbana.

Para la estimación de generación de hojarasca es recomendable elegir el método adecuado dependiendo de la especie a muestrear.

Se recomienda crear programas o proyectos en cooperación con la academia que impulsen a un aprovechamiento de los residuos de poda con el uso de técnicas o tecnologías amigables con el ambiente y que se mantengan en el tiempo.

Se sugiere llevar a cabo las estrategias del presente estudio con el fin de realizar una gestión integral de este tipo de residuos, lo que permitirá optimizar los recursos disponibles.

REFERENCIAS

- Abdoulmoumine, N., Kulkarni, A., Adhikari, S., Taylor, S. y Loewenstein, E. (2012). Economic analysis of municipal power generation from gasification of urban green wastes: case study of Fultondale, Alabama, USA. *Biocombustibles, bioproductos y biorefinación*, 6(5), 521–533. <https://doi.org/10.1002/bbb.1346>
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2018). *Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano*. Autor.
- Al-Kassir,R. (2013). *Caracterización y Preparación de Residuos de Biomasa con Ensayos Experimentales de Secado Térmico y Combustión no Contaminante* (Tesis de Maestría, Instituto Politécnico de Portoalegre, Portugal). <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/17064/1/RaulDiserta%C3%A7aoJunio2013.pdf>
- Andrade, L. (2018). *El reciclaje de desechos sólidos orgánicos y su incidencia en los derechos del Buen Vivir de los habitantes del sector Las Cuadras, Distrito Metropolitano de Quito 2015* (Tesis de Pregrado, Universidad Central del Ecuador). <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/16736/1/T-UCE-0013-JUR-081.pdf>
- André, F y Cerdá, E. (2006). Gestión de residuos sólidos urbanos: análisis económico y políticas públicas. *Cuadernos económicos de ICE*, 71, 71 - 91.
- Alcaldía La Dorada. (2017). *Manual de Silvicultura urbana: Plan maestro de espacio público del Municipio de La Dorada*. Secretaria de Planeación- División de proyectos. Caldas.
- Armas, D. (2017). *Determinación Del Potencial Energético De La Biomasa Residual De Guayaba (Psidium Guajava L.) En Rocafuerte, Cantón Ibarra, Provincia De Imbabura* (Tesis de Pregrado, Universidad Técnica del Norte, Ecuador). <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6479/1/03%20RNR%20234%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>

- Arroyo, J. y Reina, W. (2016). Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor. *Revista de Ciencia y Tecnología Ingenius*. 16, 20-29. <http://doi.org/10.17163/ings.n16.2016.03>.
- Ayala, J. (2013). El Pennisetum Clandestinum como Fuente Energética para Aplicaciones Térmicas en el Ecuador. *Revista Técnica "Energía"* 9(1), 214-223. <http://revistaenergia.cenace.org.ec/index.php/cenace/article/view/153>
- Ayuntamiento de Zaragoza. (2017). *Pliego de prescripciones técnicas para la conservación y limpieza de las zonas verdes de la ciudad de Zaragoza. Sector I. Oficina del Espacio Urbano y Gestión de Residuos*.
- Badrulhisham, N., y Othman, N. (2016). Knowledge in Tree Pruning for Sustainable Practices in Urban Setting: Improving Our Quality of Life. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 234, 210-217. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.10.236>
- Baltar, F.y Gorjup, M.T. (2012). Muestreo mixto online: Una aplicación en poblaciones ocultas. *Intangible Capital*, 8(1), 123-149. <https://core.ac.uk/download/pdf/207863864.pdf>
- Bonmatí, A. (2008). Gestión y tratamiento de residuos sólidos urbanos. En P. Andrés y R. Rodríguez (Ed.), *Evaluación y prevención de riesgos ambientales en Centroamérica* (215-250). Girona, España: Documenta Universitaria.
- Bratkovich, S., Bowyer, J., Fernholz, K. y Lindburg, A. (2008). *Urban tree utilization and why it matters*. Richmond, VA: Dovetail Partners, Inc.
- Budí, A. (2016). *Estimación del potencial energético de la biomasa residual agrícola y análisis de aprovechamiento en los municipios de la Comarca del Alto Palancia* (Tesis de Maestría, Universidad Jaime I. Castelló, España). http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/165971/TFM_2016_BudiOrdu%c3%b1aAlicia.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Calva, C., y Rojas, R. (2014). *Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en el Municipio de Mexicali, México: Retos para el Logro de una Planeación Sustentable*. Baja California-México.
- Cantos, M., Quesada, O., Ross, A., Brito, A. y Casanova, A. (2018). Cinética de la pirólisis de residuos madereros ecuatorianos. *Revista Cubana de Química*, 30 (3). 400-422. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212018000300003&lng=en&tlng=es.
- Cartella Comunicaciones Públicas Cia Ltda. (2015). *Evaluación y análisis de residuos y desechos Ecuador 2015*.
- Carrasco, J. y Ligua, F. (2019). *Plan de negocios para la creación de una empresa productora y comercializadora de pellets de madera en el cantón Lomas de Sargentillo* (Tesis de Pregrado, Universidad de Guayaquil). <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/40490/1/TEISIS%20ISCE%20-%20253%20%20creaciempesa%20product%20comercializad%20pellets%20madera.pdf>
- Código Orgánico del Ambiente (COA). (2016). Promulgado por la Asamblea Nacional en el *Registro Oficial N° 983* del 12 de abril del 2017. Quito: Asamblea Constituyente.
- Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización del Ecuador (COOTAD). (2010). Promulgado por la Asamblea Nacional en el *Registro Oficial N° 303* del 19 de octubre del 2010. Quito: Asamblea Constituyente.
- Consejo Nacional de Competencias. (2019). *Informe sobre mapeo de actores generadores de información a nivel territorial e identificación de fuentes de información de la competencia de desechos sólidos*. Quito, Ecuador: Autor.
- Constitución de la República del Ecuador (2008). Promulgada por la Asamblea Nacional en el *Registro Oficial N° 449* del 20 de octubre del 2008. Ciudad Alfaro, Ecuador: Asamblea Constituyente.

- Contreras, F., Hanakia, K., Aramakia, T. y Connors, S. (2008). Application of analytical hierarchy process to analyze stakeholders preferences for municipal solid waste management plans, Boston, USA. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(7), 979-991. doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.03.003.
- Coral, K. (2013). *Tratamiento de Residuos Sólidos* (Tesis de Maestría, Universidad Internacional SEK Ecuador).
- Curto, P., Pena, G., Mantero, C., Siri, G., Tancredi, N., Amaya, A., Durante, A., Ibáñez, A., Ernst, F., Braga, L. y Flores, M. (2017). *Cuantificación y evaluación de potencial energético de residuos agrarios y agroindustriales no tradicionales* (Tesis de Maestría, Universidad de la República, Montevideo).
https://www.fing.edu.uy/sites/default/files/2012/6384/FSE_1_2014_1_102079.pdf
- Chávez, Á. y Rodríguez, A. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Academia y Virtualidad*, 9(2), 90-107. <http://dx.doi.org/10.18359/ravi.2004>.
- Chou, S. y Gutiérrez, E. (2012). Ecuación para estimar la biomasa arbórea en los bosques tropicales de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. 26(2), 41-54. <https://doi.org/10.18845/tm.v26i2.1402>
- De Lucas, A. y Del Peso, C. (2012). Bloque I. Materias Primas. En E. Sanz y M. Sánchez (Eds.), *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad*. 4-64. Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. ITAGRA.CT.
- Díaz, L., Torruco, U., Martínez, M y Varela, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación en Educación Médica*, 2(7), 162-167. <https://www.redalyc.org/pdf/3497/349733228009.pdf>
- Estrada, C. y Zapata, A. (2004). Gasificación de biomasa para producción de combustibles de bajo poder calorífico y su utilización en generación de

potencia y calor. *Scientia et Technica*. 25, 155-159.
<https://www.redalyc.org/pdf/849/84911685028.pdf>

Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC). (2017). *Reforma Integral y Codificación de las Ordenanzas de Competencia de la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca EMAC EP*.

Fernando, J., Concepción, D., Barrios, G., y González, E. (2014). Gestión de los residuos sólidos y sus impactos económicos, sociales y medioambientales. *Revista Centro Azúcar*, 41(4), 9-20.
http://centrozucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/268?articlesBySameAuthorPage=9

Ferla, G., Caputo, P., Colaninno, N., y Morello, E. (2020). Urban greenery management and energy planning: A GIS-based potential evaluation of pruning by-products for energy application for the city of Milan. *Renewable Energy*, 160, 185-195. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.105>

Forero, C., Guerrero, C. y Sierra, F. (2012). Producción y uso de pellets de biomasa para la generación de energía térmica: una revisión a los modelos del proceso de gasificación. *ITECKNE*, (9)1, 21-30.
<http://revistas.ustabuca.edu.co/index.php/ITECKNE/article/view/57>

Flores, D (2003). *Guía práctica N.º 2. Para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos*/Elaborado por IPES Promoción del Desarrollo Sostenible, Quito, Ecuador: Programa de Gestión Urbana.

Flores, R. y Gonzáles, M. (2010). Planificación de sistemas de áreas verdes y parques públicos. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. (1)1, 17-24.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322010000100003

Flores, M. (2019). *Modelo de Ordenanza para el tratamiento de los desechos orgánicos para la ciudad de Ibarra basados en el modelo del cantón*

Cayambe (Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra).

Fonseca G, W., Alice G, F., y Rey B, J. M. (2009). Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la Zona Caribe de Costa Rica. *Bosque (Valdivia)*, 30(1), 36-47. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002009000100006>

Gallego, J.H., Tabares, A.A., Hernández, L.E. y Sierra-Giraldo, J.A. (2014). *Manual de Silvicultura Urbana para Manizales*. CHEC, Alcaldía de Manizales, CORPOCALDAS y Universidad de Caldas. Manizales.

García, J., Noriega, S., Díaz, J y De la Riva, J. (2006). Aplicación del proceso de jerarquía analítica en la selección de tecnología agrícola. *Revista agronomía costarricense*. 30(1), 107-114. <https://www.redalyc.org/pdf/436/43630110.pdf>

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Ibarra 2015-2023. Ibarra.

Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Ibarra. (2019). Ordenanza que regula el cuidado y el mantenimiento de parques, jardines, espacios verdes y el arbolado urbano del cantón Ibarra. Ibarra, Ecuador: Autor.

Gobierno del Distrito Federal de México. (2000). *Manual Técnico para la Poda, Derribo y Transplante de Árboles y Arbustos de la Ciudad de México*. Banco Interamericano de Desarrollo y Secretaría el Medio Ambiente.

Gomelsky, R. (2013). *Evaluación rápida y análisis de brechas en el sector energético*. Banco Interamericano de Desarrollo. 44-45.

Grajales, A., Serrano, D. y Hahn, C. (2013). Los métodos y procesos multicriterio para la evaluación. *Revista Luna Azul: Universidad de Caldas*, 36, 285-306. <https://www.redalyc.org/pdf/3217/321728584014.pdf>

- Grau, J., Terraza, H., Rodríguez, D., Rihm, A y Sturzenegger, G. (2015). *Situación de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe*. Organización Panamericana de la Salud, Banco Interamericano de Desarrollo y Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiente.
- Guo, M., Song, W., y Buhain, J. (2015). Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 712-725. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.013>
- Hernández, M., Aguilar, Q., Taboada, P., Lima, R., Eljaiek, M., Márquez, L. y Buenrostro, O. (2016). Generación y composición de los residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32, 11–22. <https://doi.org/10.20937/rica.2016.32.05.02>
- Hoornweg, D y Bhada, P. (2012). *What a waste: A Global review of solid waste management*. World Bank.
- Huechacona, A. (2016). *Dinámica de la producción de hojarasca y el índice de área foliar (IAF) en un Bosque Tropical Seco en Yucatán* (Tesis de Postgrado, Centro de Investigación Científica de Yucatán). https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/419/1/PCB_M_Tesis_2016_Astrid_Huechacona.pdf
- Instituto Espacial Ecuatoriano. (2014). *Memoria Técnica Cantón Ibarra: “Generación de Geo información para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional Escala 1:25.000”*. Ibarra.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2012). *Índice verde urbano 2012*. Quito, Ecuador.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2016). *Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales Gestión de Residuos Sólidos*. Asociación de Municipalidades Ecuatorianas.

- Jara, J. (2014). *Manejo y caracterización de los residuos sólidos urbanos de la provincia de Chimborazo – Ecuador y su potencial uso en agricultura* (Tesis de Maestría, Escuela Superior Politécnica del Orihuela). <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2003/1/TFM%20Jara%20Samaniego%2C%20Janneth.pdf>
- Jaramillo, G y Zapata, L. (2008). *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia* (Tesis de Maestría, Universidad de Antioquia, Colombia). <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>
- Jarre, E. (2015). *Planta de Compostaje de RSU y Residuos Cítricos Industriales* (Tesis de Maestría, Universidad de Sevilla). <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70677/fichero/06.4.+PROCESO+DE+COMPOSTAJE.pdf>
- Jiménez, N. (2015). La gestión integral de residuos sólidos urbanos en México: entre la intención y la realidad. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (17), 29-56. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.17.2015.1419>
- Karak, T., Bhagat, R. M., y Bhattacharyya, P. (2012). Municipal Solid Waste Generation, Composition, and Management: The World Scenario. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(15), 1509-1630. <https://doi.org/10.1080/10643389.2011.569871>.
- Ministerio del Ambiente (MAE). (2015). Acuerdo Ministerial No. 061 Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. *Registro oficial* No. 316, del 4 de mayo del 2015. Ecuador
- Modelo de Gestión Integral de Residuos Sólidos para la Mancomunidad de los cantones de la provincia de Imbabura (2012). Ibarra.

- Mora, A., y Molina, M. N. (2017). Diagnóstico del manejo de residuos sólidos en el Parque Histórico Guayaquil. *La Granja*, 26(2), 84. <https://doi.org/10.17163/lgr.n26.2017.08>
- Morales, V., Piedra, L. y Romero, M. (2018). Indicadores ambientales de áreas verdes urbanas para la gestión en dos ciudades de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1421-1435. doi10.15517/rbt.v66i4.32258
- Muñoz, M. (2020). *Evaluación del potencial de podas urbanas de Liquidambar styraciflua como biomasa para generar compuestos fenólicos como precursores de productos químicos de alto valor* (Tesis de Pregrado, Universidad Católica de la Santísima Concepción). <http://repositoriodigital.ucsc.cl/handle/25022009/2064>
- National Standards Authority of Ireland. (2009). *Solid biofuels-Determination of calorific value*. European Committee for Standardization.
- Nojek, J. (2009). *Pellets de madera: una fuente de energía renovable* (Tesis de Pregrado, Instituto Tecnológico de Buenos Aires). https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/1130/41180_JuanPablo_Nojek.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2016). Directrices para la silvicultura urbana y periurbana. En F. Salbitano, S. Borelli, M. Conigliaro y Y. Chen (Eds.), *Directrices para la silvicultura urbana y periurbana, Estudio FAO: Montes N° 178*.
- Otzen, T y Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *Int. J. Morphol*, 35(1), 227-232. https://pdfs.semanticscholar.org/e7d4/b6a683a61074fd19f13a318adc5182e1ef35.pdf?_ga=2.211976660.1143572542.1618541234-1154162302.1582859985

- Parra, R., Sáenz, O y Pulgarín, J. (2010). *Guía para el manejo de los productos de tala, poda y rocería*. Área Metropolitana del Valle de Aburra y Universidad Nacional de Colombia. ISBN: 978-958-8513-26-3.
- Peña, C., Rojas, R., Arias, A. y Íñiguez, Y. 2014. Las áreas verdes urbanas de Baja California. En L. Ojeda y I. Espejel (Eds.), *Cuando las áreas verdes se transforman en paisajes urbanos: La visión de Baja California* (Págs. 53-116). El Colegio de la Frontera Norte, A. C.
- Peláez, M., García, M., Barriga, A., Martí, J., Montero, A., Mayer, F. y García, J. (2015). *Energías renovables en el Ecuador. Situación actual, tendencias y perspectivas*, Cuenca, Ecuador: Graficas Hernández.
- Perfil Territorial Cantón San Miguel de Ibarra. (2013). *Proyecto Análisis de Vulnerabilidades a Nivel Municipal*. Ibarra.
- Prieto, M., González, J., Rollano, L., y Ayuso, C. (2009). Aprovechamiento de residuos de poda de árboles de alineación como biocombustible sólido. *Vida Rural*.
https://www.researchgate.net/publication/285650573_Aprovechamiento_de_residuos_de_poda_de_arboles_de_alineacion_como_biocombustible_solid_o
- Quinto, H., Ramos, Y. y Abadía, D. (2007). La caída de hojarasca como medida de la productividad primaria neta en un bosque pluvial tropical en Salero, Chocó, Colombia. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó D.L.C.* (26), 28-41.
- Raud, M., Mitt, M., Oja, T., Olt, J., Orupo Id, K. y Kikas, T. (2017). The utilisation potential of urban greening waste: Tartu case study. *Urban Forestry and Urban Greening*, 21, 96-101. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.014>.
- Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (RCOA). (2019). Promulgado por la Asamblea Nacional en el *Registro Oficial N° 507* del 12 de junio del 2019. Quito: Asamblea Constituyente.

- Rendón, R. (2010). *Espacios verdes públicos y calidad de vida* (tesis de maestría). Universidad de Guadalajara, México.
- Rivas, D. (2000). *ArbolSIG: Sistema de Información Geográfica para Árboles Urbanos*. (tesis de Especialización en SIG, Universidad Distrital Francisco José de Caldas). http://www.rivasdaniel.com/Articulos/proyecto_1027.pdf
- Rivas, D. (2005). *Planeación, espacios verdes y sustentabilidad en el Distrito Federal* (Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, México). <http://www.rivasdaniel.com/Espaciosverdes.pdf>
- Ríos, I.M., Santos, J. y Gutiérrez, C. (2017). Biocombustibles sólidos: Una solución al calentamiento global. *Revista ciencia*, 68(4), 2-7. <https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/online/BiocombustiblesSolidos.pdf>
- Romo, N., Toro, A., Flores, L y Cañas, A. (2011). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y térmicas de tallos de café y su análisis económico para la producción de pellets como biocombustible sólido. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, (10), 79-91. <https://www.redalyc.org/pdf/2311/231122666007.pdf>
- Romero, M., Moya, M., Cara, C., Ruiz, E. y Castro, E. (2007). La poda de olivar como fuente de energía renovable: obtención de biocombustible. *Cultivo calidad y medioambiente*. 587- 601.
- Rondón Toro, E., Szantó Narea, M., Pacheco, J. F., Contreras, E. y Gálvez, A. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Santiago de Chile: Naciones Unidas-CEPAL.
- Sáez, A. y Urdaneta, G. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 20(3), 121-135. <https://www.redalyc.org/pdf/737/73737091009.pdf>
- Salazar, E. (2016). *Evaluación del potencial energético para las especies de pasto de Arundo donax, Pennisetum purpureum y Pennisetum purpureum x Pennisetum glaucum para tres diferentes cosechas, localizadas en una*

plantación agroenergética en condiciones de clima Tropical Húmedo de Costa Rica (Tesis de Postgrado, Instituto Tecnológico de Costa Rica).
<http://hdl.handle.net/2238/6817>

Sánchez, G. y Artavia, R. (2013). Inventario de la foresta en San José: Gestión Ambiental Urbana. *Ambientico*, (232-233), 26-33.

Sanquetta, C., Watzlawick, L., Arce, J. y De Mello, A. (2008). Ecuaciones de biomasa aérea y subterránea en plantaciones de *Pinus taeda* en el sur del estado de Paraná, Brasil. Universidad Federal de Paraná, Departamento de Ciencias Forestales. *Revista Patagonia Forestal*.

Salvador, P. (2003). *La planificación verde en las ciudades*. Editorial Gustavo Gilli.

Saránsig, C. (2017). *Evaluación de la capacidad de resiliencia del Bosque Protector "Loma De Guayabillas" a la perturbación producida por Incendios Forestales dentro del Marco de un convenio de vinculación interinstitucional de PUCESI*. (Tesis de Pregrado, Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra).

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES). (2017). Plan Nacional de desarrollo 2017-2021: Toda una vida (Resolución N° CNP-003-2017). <http://www.planificacion.gob.ec>.

Servicios Industriales y Transportes, S.A. (SINTRA). (9 de junio de 2016). *Residuos de poda como energía alternativa*. <http://www.sintra-sa.es/residuos-poda-energia-alternativa/>

Shi, Y., Ying, G., Jie, Ch, Hongbo, S. y Yuli, T. (2013). Garden waste biomass for renewable and sustainable energy production in China: Potential, challenges and development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 432-437. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.003>

Shuvo, F., Feng, X., Akaraci, S. y Astell-Burt, T. (2020). Urban green space and health in low and middle-income countries: A critical review. *Urban Forestry & Urban Greening*, (52). <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126662>.

- Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K. y Williams, J. (1998). *Manejo de áreas verdes urbanas: Documento de buenas prácticas*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Soto, N. (2017). *Generación de pellets y compost a partir de residuos agrícolas* (Tesis de Pregrado, Universidad Técnica Federico Sant María). <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/22658/3560900231641UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tovar, G. (2013). Aproximación a la silvicultura urbana en Colombia. *Revista Bitácora Urbano Territorial*, 22(1), 119-136. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/bitacora/article/view/119-136>
- Toskano, G.H. (2005). *El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores: Aplicación en la selección del proveedor para la Empresa Gráfica Comercial MyE S.R.L.* Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Ullca, J. (2005). Los rellenos sanitarios. *La Granja Revista de Ciencias de la Vida*, (4), 2-17. <https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047388001.pdf>
- Uribe, E. (1998). Enverdecimiento urbano en Colombia. En L. Krishnamurthy & J. Rente (eds.), *Áreas verdes en Latinoamérica y el Caribe*. Bogotá (pp. 253-304). Banco Interamericano de Desarrollo.
- Uyaguari, E. (2012). *Manejo de residuos vegetales de los mercados de Cuenca para la elaboración de abonos orgánicos* (Tesis de Pregrado, Universidad de Cuenca). <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/3345>
- Van-Stan, J., Underwood, S. y Friesen, J. (2018). Urban Forestry: An Underutilized Tool in Water Management. *Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection*. 8. doi.org/10.1016/bs.apmp.2018.04.003.
- Vargas, L. (2013). *Superficie y accesibilidad a las áreas verdes en la parroquia Puerto Bolívar de Machala, provincia El Oro* (Tesis de Pregrado,

Universidad Estatad de Guayaquil).
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/6954>

Vásquez, A. (2001). *Silvicultura de plantaciones forestales en Colombia*.
Universidad de Tolima.

Vera, L., Ramírez, M. y Pértile, V. (2017). Disponibilidad de espacios verdes en la ciudad de resistencia: Estudios mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG). En Actas del VII Seminario de Políticas Urbanas, Gestión Territorial y Ambiental para el Desarrollo Local. Resistencia. *Universidad Nacional del Nordeste*.

Villela, J. M., Aguirre, O. A., Treviño, E. J. y Vargas, B. (2018). Disponibilidad de residuos forestales y su potencial para la generación de energía en los bosques templados de El Salto, Durango. *Madera y Bosques*, 24(3), 1-18.
<https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431529>

Wauquier, J.P, (2004). *El refinado del petróleo*. París, Francia: Editions Technip.

Yáñez, L., Urgilés, E., Zalamea, E. y Barragán, A. (2020). Potencial de los Residuos Forestales para la contribución a la Matriz Energética Urbana. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. 32(2): 42-53.
<http://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.04>.

Zhou, Y., Zhang, Z., Zhang, Y., Wang, Y., Yu, Y., Ji, F., Ahmad, R. y Dong, R. (2016). A comprehensive review on densified solid biofuel industry in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1412-1428.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.096>

ANEXOS

ANEXO 1: ENTREVISTA

Anexo 1.1

Instrumento aplicado en las entrevistas



Ingeniería en Recursos
Naturales Renovables



Entrevista dirigida a los actores clave de la gestión de los residuos de poda urbana en la ciudad de Ibarra

Introducción:

Saludos cordiales, somos estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables de la Universidad Técnica del Norte. Estamos realizando una investigación acerca de la gestión de los residuos de poda urbana en la ciudad de Ibarra, su conocimiento respecto al manejo de estos residuos será un aporte importante.

Le agradecemos nos otorgue unos minutos de su tiempo para responder estas preguntas.

Fecha: .../11/2019

Nº:

Datos del entrevistado:

Nombre: Edad:

Instrucción académica: Ninguna Básica Secundaria Profesional

Área/ departamento o unidad laboral:

Ocupación/ Cargo:

Cuestionario:

1. ¿Conoce usted el número de áreas verdes que existe en la zona urbana de la ciudad de Ibarra?

Si No

En caso de ser afirmativa, indique cuántas:

2. ¿Cuál es la unidad responsable dentro de la organización para la recolección de los residuos resultados de la poda de áreas verdes?

.....

3. ¿Existe algún cronograma de actividades para la poda de áreas verdes?

Si No

En el caso de ser afirmativa indique ¿Cómo es?.....

.....

4. ¿Conoce cuántas áreas verdes se podan al mes?

.....

5. ¿Cuáles son las áreas verdes de mayor generación de residuos de podas y con qué frecuencia se realiza el mantenimiento?

Área verde	Frecuencia
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

6. ¿Cuáles son las áreas verdes que poseen mayor cantidad de individuos arbóreos?

Área verde	Cantidad estimada
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

7. ¿Cuáles son los parques de la zona urbana que tienen mayor importancia para el GAD Municipal de Ibarra?

.....
.....
.....
.....
.....



8. ¿Se realiza un pesaje de los residuos de podas de las áreas verdes urbanas de la ciudad de Ibarra?

Si No

En caso de ser afirmativa, indique: en qué lugar se realiza y de qué manera.

.....

9. ¿Conoce usted la disposición final de los residuos de poda de áreas verdes urbanas?

Si No

Explique su respuesta:

.....

.....

10. ¿Usted tiene conocimiento de los tipos de aprovechamiento que se puede realizar con los residuos de poda de las áreas verdes?

Si No

¿Cuáles?

.....

.....

11. ¿Se aplica algún método de aprovechamiento para los residuos de poda de áreas verdes de la ciudad de Ibarra?

Si No

En caso de ser afirmativa, indique cuál:

.....

12. ¿Cree usted necesario un programa para el aprovechamiento de los residuos resultados de la poda de áreas verdes urbanas?

Si No

Explique su respuesta:

.....

.....

Gracias por su colaboración.

Anexo 1.2

Validación del instrumento aplicado

Constancia de Validación

Quién suscribe, JOSE ALI MONCADA RANGEL con cédula de identidad 1757128267, de profesión EDUCADOR con Grado de: DOCTOR, ejerciendo actualmente como: DOCENTE, en la Institución UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de Validación el Instrumento (entrevista), a los efectos de su aplicación en el estudio denominado: “EVALUACIÓN DE LOS RESIDUOS DE PODA URBANA PARA LA GENERACIÓN DE ESTRATEGIAS DE APROVECHAMIENTO EN LA CIUDAD DE IBARRA”, de autoría del sr. Joseph Albán y la señorita Deisy Jácome.

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones:

	Deficiente	Aceptable	Bueno	Excelente
Congruencia de Ítems			X	
Amplitud de contenido			X	
Redacción de los Ítems			X	
Claridad y precisión			X	
Pertinencia			X	

Fecha: 24/09/2019



.....
PhD. José Alí Moncada Rangel

ANEXO 2: TABLAS

Anexo 2.1

Información técnica del Área de Parques y Jardines

Áreas verdes	Criterios Técnicos			
	Extensión del área (m ²) (EA)	Individuos arbóreos (IA)	Podas al año (PA)	Esfuerzo realizado (n°.personas) (ET)
Av. Atahualpa	23181.8	199	5	12
Av. Camilo Ponce	6091.45	151	7	10
Av. Cristóbal de Troya	25542.8	402	6	12
Av. El Retorno	57212.5	456	6	12
Av. Jaime Rivadeneira	3222.87	53	3	6
Av. Mariano Acosta	27812.9	381	8	10
Av. Ricardo Sánchez	11940.1	191	4	6
Parque Boyacá	2178.31	30	4	6
Parque Ciudad Blanca	124726.00	2339	12	12
Parque de la Basílica	2288.14	62	4	6
Parque del Periodista	2099.11	40	4	6
Parque Germán Grijalva	1087.67	19	4	6
Parque la Familia	23402.30	295	8	12
Parque La Merced	3740.46	72	4	6
Parque la Mujer	4335.30	70	8	10
Parque Pedro Moncayo	4948.00	96	4	6
Parque San Agustín	546.48	13	4	6

Anexo 2.2

Hoja de registro de puntos de muestreo

Lugar de muestreo	Punto referencial de muestreo		Tipo de masa	N° árboles muestreados	Nombre común	Nombre científico	Área muestreada (m ²)	Peso realizado
	Coordenada X	Coordenada Y						
Parque Ciudad Blanca	818353	10036678	ramas	33	acacia negra	<i>Acacia melonoxylon</i>	-	807.95
	818429	10036692	césped	-	-	-	2936.28	664.11
			hojarasca	-	-	-	2936.28	1.80
Parque de la Mujer	819712	10039092	ramas	1	molle	<i>Schinus molle</i>	-	13.63
			césped	-	-	-	4335.3	930.34
			hojarasca	-	-	-	4335.3	2.80
Av. El Retorno	820953	10036819	ramas	6	balso	<i>Ochroma pyramidale</i>	-	1660.33
	821091	10037440	césped	-	-	-	6741.52	288.80
			hojarasca	-	-	-	6741.52	4.35
Av. Mariano Acosta	818292	10038078	ramas	1	cucarda	<i>Hibiscus rosa sinensis</i>	-	4.28
			ramas	2	jacaranda	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	-	17.14
	818377	10038131	ramas	1	cepillo rojo	<i>Callistemon citrinus</i>	-	7.14
			césped	-	-	-	4355.34	186.58
hojarasca	-	-	-	4355.34	3.30			

Anexo 2.3

Hoja de cálculo de generación anual extrapolada de césped en parques y avenidas

Parques y Avenidas	Área (m ²)	Frecuencia Anual de Poda	Peso Anual Extrapolado (kg)
Av. 17 de Julio	9161.73	6	2354.88
Av. Aguarico	273	6	70.17
Av. Atahualpa	23181.8	5	4965.44
Av. Camilo Ponce	6091.45	5	1304.76
Av. Corredor Sur	7988	7	2395.39
Av. Cristóbal de Troya	25542.8	6	6565.39
Av. El Retorno	57212.5	6	14705.61
Av. Eloy Alfaro	3537.17	4	606.12
Av. Eugenio Espejo	41711.3	5	8934.38
Av. Fray Vacas Galindo	19475.4	5	4171.55
Av. Heleodoro Ayala	7516.12	5	1609.92
Av. Jaime Rivadeneira	3222.87	3	414.19
Av. Jaime Roldós aguilera	911.4	7	273.31
Av. Jesús Yerovi	800	6	205.63
Av. Jorge Rueda Guzmán	450	6	115.67
Av. José Miguel Vaca	5303.53	5	1135.99
Av. José Tobar y Tobar	1165.07	6	299.46
Av. Luis Abel Tafur	1022.4	5	218.99
Av. Mariano Acosta	27812.9	8	9531.85
Av. Monseñor Leónidas Proaño	900	6	231.33
Av. Padre Pablo a. Polit	7091.43	6	1822.74
Av. Pérez Guerrero	1736.59	5	
Av. Rafael Miranda	2290.95	6	588.85
Av. Rafael Sánchez	7644.45	5	1637.41
Av. Ricardo Sánchez	11940.1	4	2046.01
Av. Teodoro Gómez de la torre	12937.5	6	3325.39
Av. Víctor Manuel Guzmán	424.73	6	109.17
Av. Víctor Manuel Peñaherrera	1328.39	6	341.44
Parque 16 de Febrero	1432.4	4	1256.34
Parque Ajaví Chiquito	2434	6	3202.24
Parque Alpachaca	6952.3	5	7622.21
Parque Ana Luisa Leoro	1702.55	4	1493.28
Parque Atahualpa	3393.03	4	2975.98
Parque Boyacá	2178.31	4	1910.56
Parque Central de Caranqui	1675.21	5	1836.63

Parque Chile	4233.48	5	4641.41
Parque Ciudad Blanca	124726	12	328186.23
Parque Cristo Resucitado	1246.54	6	1639.98
Parque de la Av. Carchi	4875.3	5	5345.07
Parque de la Basílica	2288.14	4	2006.90
Parque de la Familia	23402.3	8	41051.65
Parque de la Mujer	4335.3	8	7604.86
Parque de Priorato	2947.87	6	3878.30
Parque del Niño	3630.66	5	3980.50
Parque del Retorno	800	6	1052.50
Parque del Sol	8874.26	4	7783.49
Parque del Tiempo	3271.78	6	4304.45
Parque del Tren	28956.5	7	44445.34
Parque el Periodista	2099.11	4	1841.10
Parque Eloy Alfaro	1095.12	4	960.51
Parque German Grijalva	1087.67	4	953.98
Parque Héroes del 41	8856.59	7	13593.98
Parque Infantil de Azaya	5835.41	5	6397.69
Parque Ingenieros Civiles	1281.89	6	1686.49
Parque Juan Montalvo	976	6	1284.05
Parque la Merced	3740.46	4	3280.70
Parque Nuevos Horizontes	6085.15	6	8005.80
Parque Pedro Moncayo	4948	4	4339.82
Parque Pílanquí	32741.3	8	57433.86
Parque San Agustín	546.48	4	479.31
Parque San Francisco	569.6	4	499.59
Parque San Martín de Porres	4536.68	6	5968.59
Parque Simón Bolívar	1660.77	4	1456.64
Parque urb. Santo Domingo	5972.46	4	5238.36
Parque Zona Industrial	2354	6	3096.99
Generación Anual			662716.46

Anexo 2.4

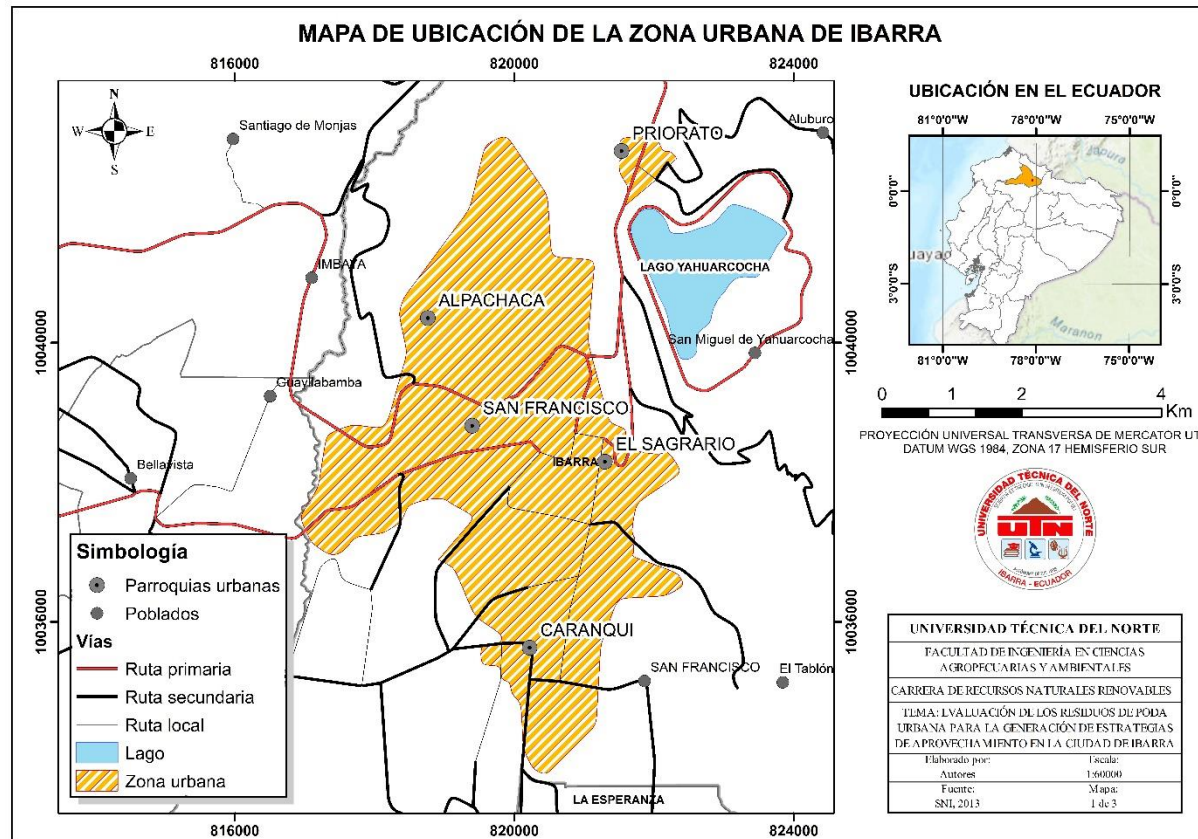
Hoja de cálculo de generación anual extrapolada de ramas correspondiente a seis especies representativas de la ciudad

Nombre Científico	Nombre Común	Peso Individual (kg)	Nº Total de individuos	Peso total extrapolado (kg)
<i>Acacia melonoxylon</i>	acacia negra	24.48	259	6341.18
<i>Schinus molle</i>	molle	13.63	930	12675.90
<i>Ochroma pyramidale</i>	balso	276.72	14	3874.10
<i>Hibiscus rosa sinensis</i>	cucarda	4.28	773	3311.53
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	jacaranda	17.14	337	5774.83
<i>Callistemon citrinus</i>	cepillo rojo	7.14	561	4005.54
Generación anual				35983.09

ANEXO 3: MAPAS

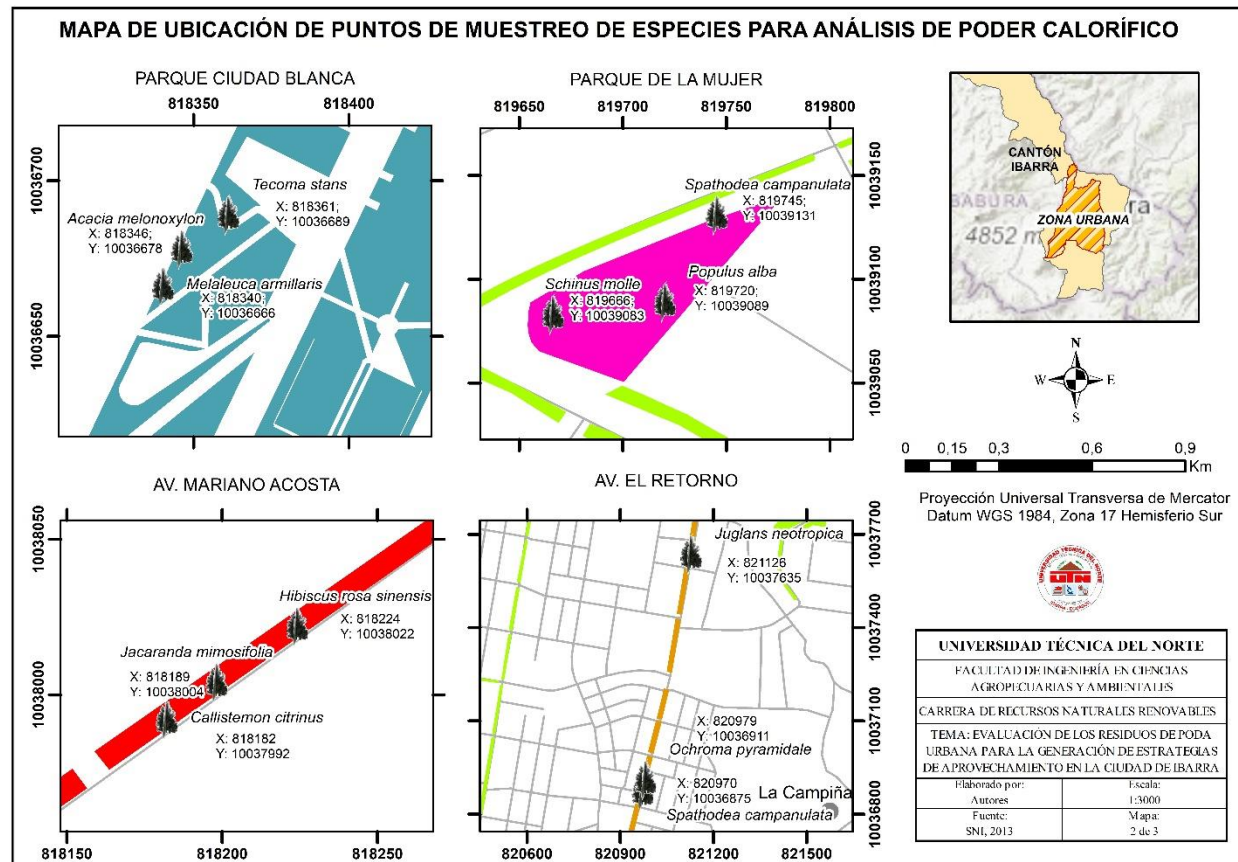
Anexo 3.1

Mapa de ubicación de la zona urbana de la ciudad de Ibarra



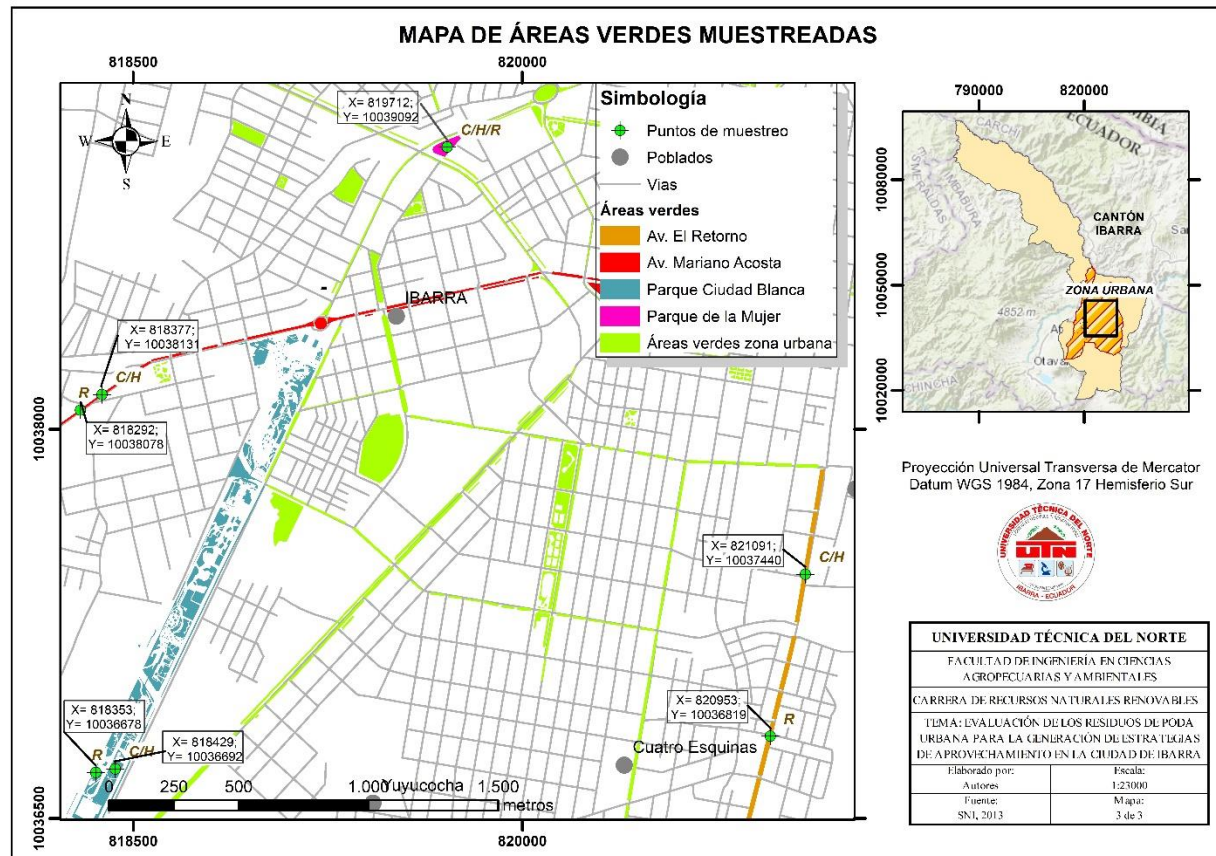
Anexo 3.2

Mapa de ubicación de puntos de muestreo de especies para análisis de poder calorífico



Anexo 3.3

Mapa de áreas verdes muestreadas para pesaje



ANEXO 4: REGISTRO FOTOGRÁFICO

Anexo 4.1

Entrevista a los actores clave



Anexo 4.2

*Intervención del Ing. Milton Vásquez
(Gestión manejo de residuos en Ibarra)*



Anexo 4.3

*Visita a la Estación de Transferencia
de Socapamba*



Anexo 4.4

Recolección y pesaje de los residuos de poda



Anexo 4.5

Calorímetro isoperibólico AC500 – LECO



Anexo 4.6

Pruebas de calorimetría

