

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA



CENTRO DE POSTGRADO MAESTRÍA EN SILVICULTURA MENCIÓN MANEJO Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS FORESTALES

TÍTULO A OBTENER: MAGISTER EN SILVICULTURA

Proyecto de innovación

**SILVICULTURA URBANA COMO HERRAMIENTA PARA EL MANEJO DEL
ARBOLADO EN LA PARROQUIA PUYO, CANTÓN PASTAZA**

AUTOR: Alexandra Jacqueline Sarmiento Rosero

DIRECTOR: PhD. Yasiel Arteaga

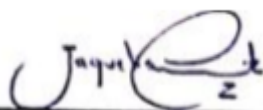
Puyo – Ecuador

2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Alexandra Jacqueline Sarmiento Rosero** con cédula de identidad 0401170881, declaro ante las autoridades educativas de la Universidad Estatal Amazónica, que el contenido del Proyecto de Innovación titulado: “**SILVICULTURA URBANA COMO HERRAMIENTA PARA EL MANEJO DEL ARBOLADO EN LA PARROQUIA PUYO, CANTÓN PASTAZA**”, es absolutamente original, auténtico y personal.

En tal virtud y según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente, certifico libremente que los criterios y opiniones que constan en el Proyecto de Investigación y Desarrollo son de exclusiva responsabilidad de la autora; y que los resultados expuestos pertenecen a la Universidad Estatal Amazónica



Alexandra Jacqueline Sarmiento Rosero

CI. 0401170881

AUTORA

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE
SUSTENTACIÓN**

**EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN
CERTIFICA QUE:**

El presente Trabajo de Titulación: **"SILVICULTURA URBANA COMO HERRAMIENTA PARA EL MANEJO DEL ARBOLADO EN LA PARROQUIA PUYO, CANTÓN PASTAZA"**, bajo la responsabilidad de la egresada **ALEXANDRA JACQUELINE SARMIENTO ROSERO**, ha sido meticulosamente revisado, autorizando su presentación a la Defensa Pública:

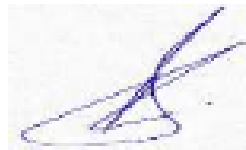
MIEMBROS DEL TRIBUNAL



Dr. C. Yudel Garcia Quintana, PhD
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Dr. C. David Alan Neill, PhD
MIEMBRO 1 DEL TRIBUNAL



MSc. Victor Hugo Eras Guaman
MIEMBRO 2 DEL TRIBUNAL



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
CENTRO DE POSTGRADOS
AVAL

Quien suscribe Dr.C Yasiel Arteaga Crespo, PhD, Director del trabajo de titulación, modalidad Proyecto de Innovación titulado: **“SILVICULTURA URBANA COMO HERRAMIENTA PARA EL MANEJO DEL ARBOLADO EN LA PARROQUIA PUYO, CANTÓN PASTAZA”**, a cargo de la Ing. Alexandra Jacqueline Sarmiento Rosero, con, egresada de la segunda cohorte de la Maestría en Silvicultura mención Manejo y Conservación de los Recursos Forestales de la Universidad Estatal Amazónica.

Certifico haber acompañado el proceso de elaboración del Proyecto de Innovación y considero cumple los lineamientos y orientaciones establecidas en la normativa vigente de la Institución por lo que se encuentra listo para ser sustentado.

Por lo antes expuesto se avala el Proyecto de Innovación para que sea presentado ante la Dirección de Posgrado como forma de titulación como Magister en silvicultura mención Manejo y Conservación de los Recursos Forestales y que dicha instancia considere el mismo a fin de que tramite lo que corresponda.

Para que así conste, firmo la presente a los 14 días del mes de agosto del 2020.

Dr.C Yasiel Arteaga Crespo, PhD.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN



**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
CENTRO DE POSTGRADOS
SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND**

OFICIO S/N-YAC-UEA-2020

Puyo, 13 de agosto del 2020

Por medio del presente **CERTIFICO** que, el trabajo de titulación “**SILVICULTURA URBANA COMO HERRAMIENTA PARA EL MANEJO DEL ARBOLADO EN LA PARROQUIA PUYO, CANTÓN PASTAZA**”, correspondiente a la Ing. Alexandra Jacqueline Sarmiento Rosero, con cédula 0401170881, de la maestría en Silvicultura Mención Manejo y Conservación de Recursos Forestales cuyo director del proyecto es el Dr.C Yasiel Arteaga Crespo, PhD. ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud de 2%, informe generado el día 13 de agosto del 2020 por parte del director del proyecto.

Particular que comunico para los fines pertinentes

Dr.C Yasiel Arteaga Crespo, PhD.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento infinito a Dios por demostrarme que el poder de confiar y entregarle mis sueños a él, me llevó a culminar con éxito esta carrera de postgrado.

A mis padres: Ángel, que desde el cielo siempre está pendiente de mí y María, mi madre amada, que siempre me convence que tengo la fuerza de cumplir cual reto que me proponga.

A mi esposo Andrés, mis hijos Emilia y Sebastián; por el amor, la paciencia, a la espera y el tiempo que me dieron para poder caminar por este sendero.

A mis tutores y amigos Dr. Yasiel y Dr. Yudel, por ser quienes me enseñan, comparten sus conocimientos y aportaron para llevar a cabo y culminar esta investigación.

DEDICATORIA

Esta investigación está dedicada a Emilia y Sebastián, con ella quiero demostrarles que no importa el camino que elijamos en la vida, lo importante es alcanzar la felicidad.

RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un modelo técnico de silvicultura urbana como herramienta de planificación que contribuya al adecuado arbolado urbano de las áreas verdes de la ciudad del Puyo. Para ello se realizó un inventario florístico en cuatro sectores (Avenidas, Calles, Complejos y Parques), a través de un censo total, se evaluaron las condiciones físicas, afectaciones por patógenos, daños a bienes públicos y se determinaron los parámetros dasométricos. Los resultados indicaron una composición florística variada, determinada por 898 individuos, 53 especies, 49 géneros y 27 familias botánicas con predominio de especies exóticas de las familias *Arecaceae* y *Moraceae*. Se identificó que las especies que se emplean para Parques y Complejos son de mayor tamaño (DAP, HT y DC), existiendo una inadecuada planificación de la silvicultura urbana en la ciudad del Puyo. Los parámetros estructurales del arbolado urbano indicaron una diferenciación de los sitios determinado por los patrones de abundancia. Las tres especies arbóreas de mayor importancia ecológica y con más contribución de biomasa y captura de carbono fueron: *Phoenix roebelenii*, *Ficus benjamina* y *Veitchia merrillii*. La biomasa aérea total acumulada fue de 113.26 Mg. El índice verde urbano fue de 0,0195 m² por habitante en una cobertura arbórea de 977,12 m², lo cual indicó un insuficiente espacio verde. Se desarrolló un modelo técnico de silvicultura urbana en base a criterios técnicos, ecológicos y socioculturales que facilitarán la adecuada selección de especies y la implementación de estrategias de manejo como herramienta de planificación que contribuya al arbolado urbano.

Palabras claves: *Silvicultura urbana, inventario forestal, diversidad de especies, índice verde urbano, manejo de especies.*

ABSTRACT

The objective of this work was to develop a technical model of urban forestry as a planning tool that contributes to the adequate urban trees in the green areas of the city of Puyo. For this purpose, a floristic inventory was carried out in four sectors (Avenues, Streets, Complexes and Parks), through a total census, the physical conditions, pathogen damage, damage to public property were evaluated and the parameters were determined. The results indicated a varied floristic composition, determined by 898 individuals, 53 species, 49 genera and 27 botanical families with a predominance of exotic species from the Arecaceae and Moraceae families. It was identified that the species used for Parks and Complexes are larger (DAP, HT and DC), and there is inadequate planning of urban forestry in the city of Puyo. The structural parameters of the urban trees indicated a differentiation of the sites determined by the abundance patterns. The three tree species of greatest ecological importance and with the greatest contribution of biomass and carbon capture were: *Phoenix roebelenii*, *Ficus benjamina* and *Veitchia merrillii*. The total accumulated above-ground biomass was 113.26 Mg. The urban green index was 0.0195 m² per inhabitant in a tree cover of 977.12 m², which indicated insufficient green space. A technical model of urban forestry was developed based on technical, ecological and sociocultural criteria that will facilitate the adequate selection of species and the implementation of management strategies as a planning tool that contributes to urban trees.

Key words: Urban forestry, forest inventory, species diversity, urban green index, species management.

TABLA DE CONTENIDOS

Numeral	Contenido	Página
	CAPÍTULO I	1
1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	PROBLEMA CIENTÍFICO	2
1.2.	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3.	OBJETIVOS	3
	CAPÍTULO II	4
2.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1.	SILVICULTURA URBANA O BOSQUES URBANOS	4
2.1.1.	Beneficios del arbolado urbano o bosques urbanos	6
2.1.1.1.	La salud y el bienestar humano	6
2.1.1.2.	Mitigación al cambio climático	8
2.1.1.3.	La biodiversidad y los paisajes	9
2.1.1.4.	Beneficios económicos y economía verde	10
2.1.1.5.	Mitigación de la degradación de la tierra y del suelo	12
2.1.1.6.	La seguridad alimentaria y nutricional en la silvicultura urbana	12
2.1.1.7.	La seguridad maderera y los bosques urbanos	13
2.1.1.8.	Los valores socioculturales	13
2.1.2.	La gobernanza como proceso fundamental para la silvicultura urbana	14
2.2.	LA POLÍTICA Y LAS NORMAS COMO REGULADORES DE LA EXPANSIÓN O REDUCCIÓN LA SILVICULTURA URBANA	15
2.3.	LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) COMO HERRAMIENTA PARA LA SILVICULTURA URBANA	17
2.4.	LA DASOMETRÍA	19
2.4.1.	Los inventarios dasonómicos urbanos	19
2.5.	LA CAPTURA DE CO ₂ Y LA VEGETACIÓN URBANA COMO SUMIDERO DE CARBONO	20
	CAPÍTULO III.	24
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1.	LOCALIZACIÓN	24
3.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	25
3.3.	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	26
3.4.	TRATAMIENTO DE DATOS	26
3.4.1.	Diagnóstico del estado actual del arbolado urbano	26
3.4.2.	Determinación de los parámetros estructurales del arbolado urbano y el índice verde urbano (IVU) de la parroquia	29
3.4.3.	Diseño de un modelo técnico de silvicultura urbana, en base a resultados obtenidos y criterios técnicos, ecológicos y socioculturales	33
	CAPÍTULO IV	35
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1.	DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DEL ARBOLADO	35

	URBANO	
4.1.1.	Censo forestal	35
4.1.2.	Especies nativas y exóticas presentes en el área de estudio	37
4.1.3.	Parámetros dasométricos	38
4.1.3.1.	Estadísticos descriptivos de las variables dasométricas por sitios de estudios	41
4.1.4.	Evaluación de las condiciones físicas de los individuos presentes en el área de estudio	42
4.1.4.1.	Evaluación de fuste	42
4.1.4.2.	Evaluación por patógenos	43
4.1.4.3.	Evaluación de daños causados por los árboles a la infraestructura urbana	44
4.1.5.	Base gráfica y alfanumérica con uso de la herramienta SIG del estado actual del arbolado urbano de Puyo	46
4.2.	PARÁMETROS ESTRUCTURALES DEL ARBOLADO URBANO E ÍNDICE VERDE URBANO PARA LA PARROQUIA PUYO	46
4.2.1.	Conglomerado jerárquico con las medidas de abundancia de especies	46
4.2.2.	Índice de valor de importancia de las especies (IVI)	47
4.2.3.	Índices de dominancia, diversidad y riqueza de especies	48
4.2.4.	Biomasa aérea y captura de carbono en el área de estudio	49
4.2.5.	Distribución de especies arbóreas y su contribución a la biomasa acumulada	49
4.2.6.	Contenido de carbono acumulado por sitio	51
4.2.7.	Determinación del índice verde urbano del cantón	52
4.3.	PROPUESTA DE ARBOLADO URBANO EN LA CIUDAD DE PUYO	52
4.3.1.	Presentación	52
4.3.2.	Parte I: La importancia del arbolado vs situación real ciudad de Puyo	54
4.3.3.	Segunda parte: Propuesta	58
4.3.3.1.	Estrategias y metas	58
4.3.3.2.	Objetivos	59
4.3.3.3.	Indicadores, medios de verificación y supuestos	59
4.3.3.4.	Alcance	60
4.3.3.5.	Actividades	62
4.3.3.6.	Actividades de manejo	67
4.3.3.7.	Cronograma de actividades para los sitios propuestos a reforestar	69
4.3.3.8.	Costos de producción, implementación y mantenimiento para los sitios propuestos a reforestar	70
	CONCLUSIONES	72
	RECOMENDACIONES	73
	BIBLIOGRAFÍA	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Contenido	Página
Tabla 1.	Evaluación del fuste por daños antrópicos	27
Tabla 2.	Evaluación del fuste por afectaciones patógenas	28
Tabla 3.	Evaluación de afectaciones a bienes públicos ocasionados por el árbol	28
Tabla 4.	Presencia de individuos nativos y exóticos por sector.	38
Tabla 5.	Estadísticos descriptivos de las variables dasométricas por sitios de estudios	41
Tabla 6.	Valores de media y error estándar para las variables TH, DAP y DC en los sitios de estudio	42
Tabla 7.	Medias y error estándar de los índices de dominancia, diversidad y riqueza de especies por sitios de estudio.	48
Tabla 8.	Biomasa acumulada por sectores en el área de estudio	49
Tabla 9.	Análisis de correspondencia canónica sin tendencia (DCA)	50
Tabla 10.	Contenido de carbono acumulado por sitio de estudio.	52
Tabla 11.	Matriz marco lógico	59
Tabla 12.	Lista de especies arbóreas a considerar para la repoblación en el arbolado urbano	62
Tabla 13.	Lista de especies arbustivas a considerar para la repoblación en el arbolado urbano	63
Tabla 14.	Lista de palmas y helechos a considerar para la repoblación en el arbolado urbano	64
Tabla 15.	Distribución de las especies en los 21 sitios determinados para la propuesta de arbolado urbano	66
Tabla 16.	Distancias a considerar en la plantación según la especie	66
Tabla 17.	Cronograma de actividades para los sitios propuestos a reforestar	69
Tabla 18.	Costo de producción por especie a considerada en la propuesta de reforestación	70

Tabla 19.	Costo de mano de obra y herramientas a utilizar	71
Tabla 20.	Costos por adquisición de fertilizante y alquiler de vehículo	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Contenido	Página
Figura 1.	Mapa de ubicación del área de estudio	25
Figura 2.	Mapa de distribución de los espacios verdes recreacionales ecológicos de la ciudad del Puyo	35
Figura 3.	Presencia de individuos por familias presentes en el área de estudio	36
Figura 4.	Géneros por familias botánicas presentes en el área de estudio	37
Figura 5.	Número de individuos por rangos de altura presentes en el área de estudio	39
Figura 6.	Número de individuos por clase diamétrica presentes en el área de estudio	40
Figura 7.	Número de individuos por diámetro de copa (DC) presentes en el área de estudio	40
Figura 8.	Estado de afectación del fuste de los individuos presentes en el área de estudio	43
Figura 9.	Presencia de plagas en los individuos del área de estudio	44
Figura 10.	Daños ocasionados a la infraestructura antrópica por el arbolado urbano	45
Figura 11.	Conglomerado jerárquico con las medidas de Bray Curtis al 25% de similitud de la abundancia en la composición de especies en los sitios de estudio	47
Figura 12.	Índice de valor de importancia (IVI) de las 10 primeras especies del área de estudio	48
Figura 13.	Distribución del número de especies por sitios (un aumento del tamaño de los círculos indica mayor cantidad de especies)	50
Figura 14.	Ordenación espacial de los sitios y acumulación de biomasa por especie	51
Figura 15.	Representación cartográfica de la ciudad de Puyo y propuesta de arbolado urbano	53
Figura 16.	Parque central de Puyo, en la fotografía se observa la especie <i>Roystonea regia</i> (palma botella), protegiendo con sus grandes hojas el efecto de la radiación solar, sobre las personas	55

Figura 17.	Ciudad del Puyo, calle General Villamil, sin presencia de arbolado existiendo exposición directa de la radiación solar sobre, asfalto, veredas, vehículos y personas	56
Figura 18.	Avenida Alberto Zambrano de la ciudad de Puyo, con poca presencia de arbolado urbano	56
Figura 19 a y b.	Se observa el estadio municipal Víctor Hugo Georgis y la construcción de la concha acústica en el malecón Boayacu, de la ciudad de Puyo, lugares destinados a la celebración de conciertos y eventos musicales, con poca presencia de arbolado urbano	57
Figura 20.	Arbolado urbano en el parque acuático Morete Puyo, de la ciudad de Puyo, con presencia de palmas de Morete, cuyos frutos son comestibles para aves y roedores	58
Figura 21.	Sitios seleccionados para la propuesta de arbolado urbano para la ciudad del Puyo	62
Figura 22.	Especies arbóreas (1- <i>Ocotea quixos</i> , 2- <i>Tabebuia chrysantha</i> , 3- <i>Erythrina poeppigiana</i> , 4- <i>Jacaranda copaia</i> , 5- <i>Schizolobium parahyba</i> , 6- <i>Grias neuberthii</i> , 7- <i>Triplaris cumingiana</i> y 8- <i>Vochysia ferruginea</i>)	63
Figura 23.	Especies arbustivas (9- <i>Crescentia cujete</i> , 10- <i>Garcinia madruno</i> , 11- <i>Cestrum nocturnum</i> , 12- <i>Heliconia subulata</i> , 13 <i>Heliconia collinsiana</i> , 14- <i>Tibouchina sp</i> , 15- <i>Cespedesia spathulata</i> y 16- <i>Carludovica palmata</i>)	64
Figura 24.	Especies de palmas (17- <i>Oenocarpus bataua</i> , 18- <i>Iriartea deltoidea</i> , 19- <i>Cyathea arborea</i> , 20- <i>Aphandra natalia</i> , 21- <i>Mauritia flexuosa</i> , 22- <i>Pholidostachys synanthera</i> , 23- <i>Phytelephas macrocarpa</i> y 24- <i>Wettinia quinaria</i>)	65
Figura 27.	Técnicas de poda	68

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La silvicultura urbana es el conjunto de actividades y técnicas tendientes a lograr la adecuada plantación, crecimiento, desarrollo y aspecto del arbolado urbano, necesario en la actualidad debido a que las personas que viven en las ciudades son cada vez más sensibles y receptivos a la importancia de los bosques urbanos como componente esencial del paisaje, la infraestructura y calidad de vida.

Los árboles urbanos sirven como lugares de reunión, espiritualidad y actividad física (Shackleton et al., 2015) y en general embellecer el entorno urbano, mejorando así la psicología y estado de salud (Canetti et al., 2018) de habitantes urbanos. Por lo tanto, los árboles son indispensables para la sostenibilidad de las zonas urbanas (Ordóñez & Duinker, 2015). A pesar de su aparente importancia, la literatura sobre árboles urbanos es muy limitado en Ecuador, así como en muchos países en desarrollo (Zhao et al., 2013). El aumento de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) y aerosoles son los principales impulsores del cambio climático (Escobedo et al., 2011). Desde el comienzo de la Revolución Industrial, las actividades humanas han producido un aumento relevante de GEI como dióxido de carbono (CO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), metano (CH₄) y ozono (O₃) y otras sustancias suspendidas en la atmósfera (Bell et al., 2013). El ozono es el tercer gas de efecto invernadero más importante (Abdoulmoumine et al., 2015). Las Naciones Unidas (2018) afirmaron que el 68% de la población mundial se concentrará en las zonas urbanas para 2050, con mayores proporciones aportadas por Asia, África y América del Sur, por lo tanto, es indispensable la necesidad de una mayor investigación en cuanto a la composición y diversidad de los árboles urbanos, los beneficios proporcionan, así como las amenazas que enfrentan (Galilea et al.).

El cantón Pastaza está conformado con una parroquia urbana y trece parroquias rurales con asentamientos dispersos. La parroquia urbana Puyo, está altamente poblada comparada con las parroquias rurales del cantón Pastaza, ya que cuenta con 36.659 habitantes y abarca el 0,60% del área del cantón, mientras que el resto de parroquias

cuenta con 25.357 personas y ocupan el 99,4% del área total del cantón, además la tasa de crecimiento actual del cantón es de 3,44%, mientras la tasa de crecimiento a nivel nacional es de 0,98%, lo que determina el alto crecimiento poblacional actual, debido a su privilegiado clima y ubicación como entrada a la región amazónica (Inec, 2010).

De acuerdo al código de regulación urbana del cantón Pastaza, título séptimo, literal 7.1.2.1 manifiesta que “en toda urbanización y fraccionamiento del suelo se entregará a la municipalidad, mínimo el 15% y máximo el 25% calculado del área útil del terreno urbanizado o fraccionado en calidad de áreas verdes y comunales”, con la finalidad de realizar en estos espacios construcciones de equipamiento urbano público (deportivo, seguridad, salud, educación y parques); en la actualidad el área urbana del cantón cuenta con 755.455,86 m² de área verde que representa el 5,5% del total de superficie (Villacres Pérez & Malucin León, 2010).

En el estudio Índice Verde Urbano efectuado por INEC en el 2010, menciona que el Ecuador Continental no cuenta con una adecuada distribución de los espacios verdes de acuerdo con su población. De los 221 municipios que se distribuyen en el territorio, el 95% no acata con la recomendación de la OMS, que establece como parámetro internacional mantener 9 m² como mínimo de espacio verde por habitante; en el caso de Ecuador existe 4,69 m² de espacios verdes por persona; por lo tanto, se puede afirmar que existe un déficit en las ciudades de 4,31 m² por habitante.

Actualmente el cantón Pastaza cuenta con 2.830 espacios catastrados como áreas verdes públicas, de las cuales 968 se encuentran en la parroquia Puyo y solo el 21% están ocupados con arbolado urbano y forman parte de los llamados espacios verdes recreacionales ecológicos, que el Gobierno Autónomo Descentralizado Cantonal de Pastaza en conjunto con los habitantes de los barrios diseñaron y determinaron con número y especies a plantarse, según el pedido de la población y la disponibilidad de plantas en viveros del GAD, sin tomar en cuenta aspectos claves como la ecología, características de crecimiento, requerimientos y factores limitantes de cada especie según el área donde se plantaron, convirtiéndose en un problema futuro para los habitantes del sector y la municipalidad.

1.1 PROBLEMA CIENTÍFICO

¿Cómo contribuye un modelo técnico de silvicultura urbana a un adecuado arbolado en la parroquia Puyo?

1.2 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

La propuesta de un modelo de silvicultura urbana sustentado en criterios técnicos, que incluya número y especies a plantar, en áreas determinadas como espacio verde recreacional ecológico permitirá contar con una herramienta de planificación que garantice un adecuado arbolado en la ciudad del Puyo en beneficio de la población y la municipalidad.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar un modelo técnico de silvicultura urbana como herramienta de planificación que contribuya al adecuado arbolado urbano en áreas de la ciudad de Puyo.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el estado actual del arbolado urbano en las avenidas, calles, plazas y parques de la ciudad de Puyo.
- Determinar parámetros estructurales del arbolado urbano y el índice verde urbano en la parroquia Puyo.
- Diseñar un modelo de silvicultura urbana, en base a criterios técnicos, ecológicos y socioculturales establecidos en la investigación.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. SILVICULTURA URBANA O BOSQUES URBANOS

Se define la silvicultura urbana como la orientación planificada, integrada y sistemática del ordenamiento de árboles en zonas urbanas, con el fin de un aporte efectivo al bienestar fisiológico, sociológico y económico de la sociedad urbana. La silvicultura urbana es multifacética, trata de zonas boscosas, grupo de árboles donde viven densos conglomerados de personas, abarca una gran variedad de hábitats, calles, parques, andenes (Alanís et al., 2014).

Se puede definir a los bosques urbanos como redes o sistemas que comprenden todos los arbolados (rodales), grupos de árboles y árboles individuales ubicados en las áreas urbanas y periurbanas; por tanto, se incluyen bosques, árboles en las calles, árboles en los parques y jardines y árboles en las esquinas de las calles. Los bosques urbanos son la espina dorsal de la infraestructura verde que conecta las áreas urbanas a las rurales y mejora la huella ambiental de las ciudades. Los bosques urbanos se pueden clasificar de diferentes maneras, sin embargo, para la FAO (2014) clasifican estos cinco tipos de bosques urbanos por importancia, a fin de afrontar los elementos específicos del entorno urbano y periurbano.

La forestería urbana y periurbana (SUP) es la práctica de gestión de los bosques urbanos para asegurar su contribución óptima al bienestar psicológico, sociológico y económico de las sociedades urbanas. La SUP es un enfoque integrado, interdisciplinario, participativo y estratégico de planificación y gestión de los bosques y árboles en y alrededor de las ciudades. Engloba la evaluación, planificación, plantación, mantenimiento, preservación y monitoreo de los bosques urbanos y puede operar a escalas que van desde un solo árbol hasta todo el paisaje. El ámbito de la SUP comprende todo el espectro del desarrollo, desde las extensas áreas metropolitanas que crecen espontáneamente hasta los proyectos de urbanización cuidadosamente planificados. A escala de la comunidad, la SUP pone de relieve el compromiso de los habitantes de las ciudades en la gestión de los árboles privados y públicos, incluso por medio de su educación sobre el valor y beneficio de los árboles y bosques y apoyando su completa

apropiación y responsabilidad por el ambiente que les rodea (Alanís et al., 2014).

Sin embargo, algunos autores relacionan la silvicultura urbana con el arbolado urbano; según (Molina-Prieto & Acosta-Hernández, 2018), el arbolado urbano es el acto de plantar árboles en espacios urbanos incrementando de esta manera el patrimonio natural de las ciudades. La arborización o arbolado ejerce un papel muy importante para el mejoramiento de la calidad de vida de las personas que viven en los centros urbanos. Las avenidas, calles, plazas y demás lugares pertenecientes a las ciudades, llegan a ser más agradables por el hecho de tener árboles plantados.

Según National Urban Forest Alliance (2015), la silvicultura urbana comprende cinco espacios verdes clasificados de la siguiente manera:

- a) *Bosques y arbolados periurbanos*. Los bosques y las masas boscosas que rodean los poblados y ciudades y que pueden suministrar bienes y servicios tales como leña, fibras, frutas, otros productos forestales no madereros (PFNM), agua limpia, recreación y turismo.
- b) *Parques municipales y bosques urbanos (> 0,5 ha)*. Grandes parques urbanos o municipales con una variedad de cubierta terrestre y, al menos, parcialmente equipados con instalaciones para el tiempo libre y la recreación
- c) *Parques y jardines pequeños con árboles (menores a 0.5 ha)* Pequeños parques municipales equipados con instalaciones para la recreación- tiempo libre y áreas verdes privadas.
- d) *Árboles en las calles o en las plazas públicas*. Poblaciones de árboles lineales, pequeños grupos de árboles y árboles individuales en las plazas, aparcamientos, calles, etc.
- e) *Otras áreas verdes con árboles*. Por ejemplo, los lotes agrícolas urbanos, campos deportivos, terrenos baldíos, prados, riberas de ríos, campos abiertos, cementerios y jardines botánicos.

Sin embargo en varias publicaciones a nivel mundial, se cataloga al espacio verde urbano como una sola área verde urbana ya que es un sinónimo del utilizado en el idioma inglés "Urban Forestry" establecido por primera vez en la Universidad de Toronto, Canadá en el año 1965, que se enmarca en una rama de la Dasonomía, enfocada al manejo y mantenimiento de las especies arbóreas en ciudades y que contribuye en el desarrollo de una sociedad urbana, enfocado en lo recreativo, estético y de la salud de la población (Steenberg et al., 2015).

2.1.1. Beneficios del arbolado urbano o bosques urbanos

Entre los aspectos más considerables podemos destacar:

2.1.1.1. La salud y el bienestar humano

Los bosques urbanos y demás áreas verdes, si están bien diseñados y gestionados, pueden tener un papel importante para garantizar vidas saludables y promover el bienestar por medio de la prevención, terapia y recuperación de enfermedades (Randrup et al., 2005).

En muchos entornos, el índice de crecimiento urbano ha excedido la capacidad de los sistemas de salud de responder a poblaciones en constante crecimiento y los habitantes de las áreas urbanas y periurbanas enfrentan muchos desafíos de salud. Los estilos de vida urbanos sedentarios, los altos niveles de contaminación del aire y las peculiaridades del microclima urbano pueden aumentar enormemente las afecciones y enfermedades humanas, incluyendo el agotamiento mental; incomodidad térmica y deshidratación; cánceres asociados con la contaminación del aire o con la escasa actividad física; diabetes y enfermedades cardiovasculares; y obesidad. Además, el rápido crecimiento urbano puede producir la proliferación de tugurios y otros asentamientos empobrecidos que producen altas condiciones de insalubridad. El equilibrio entre los entornos naturales y los edificados es un factor que influye en la salud urbana (Jiménez-Águila et al., 2015).

El glosario de promoción de la salud de la OMS en el 2012 citado por (Castro-Arroyave & Duque-Paz, 2020), define una ciudad saludable como “una ciudad que crea y mejora continuamente aquellos entornos físicos y sociales y expande aquellos recursos comunitarios que permiten a la población apoyarse mutuamente en la elaboración de todas las funciones de la vida y en el desarrollo de su máximo potencial”.

Los bosques urbanos pueden desempeñar tres funciones relacionadas con la salud: 1) prevención de enfermedades; 2) terapia; 3) recuperación de enfermedades. Pueden reducir las causas directas e indirectas de algunas enfermedades no contagiosas, factores estresantes urbanos como las radiaciones ultravioletas y la contaminación del aire y acústica; y pueden ayudar a refrescar el entorno (Jiménez-Águila et al., 2015).

La presencia de áreas verdes puede también tener un efecto positivo sobre el bienestar fisiológico, reduciendo el estrés y mejorando la salud mental. Por ejemplo, se ha demostrado que los pacientes operados cuyas habitaciones de convalecencias dan a arboledas o bosques se recuperan con mayor rapidez y consumen menos analgésicos que pacientes similares que miran sólo paredes de ladrillos (Martínez, 2016). Además, se ha demostrado que sentarse en una habitación con vista hacia los árboles estimula la

disminución más rápida de la presión arterial diastólica que estar sentados en cuartos sin vista (Martínez-Soto, 2016). Hoy día se están diseñando y gestionando bosques urbanos para apoyar programas de convalecencia; por ejemplo, se están instalando jardines de recuperación a lo largo de las estructuras sanitarias tradicionales.

Estudios relacionados con el beneficio salud han comprobado por ejemplo que:

- Los paseos al aire libre en las áreas verdes urbanas pueden reducir la depresión clínica en más del 30%, comparados con las actividades de interior (Frühauf et al., 2016).
- Un estudio en Londres encontró que el número de prescripciones médicas disminuyó en 1,18 por 1000 personas por cada árbol extra por km de calle (Martínez, 2016).
- Se demostró que los niños y niñas que viven en zonas que tienen buen acceso a áreas verdes pasan menos tiempo frente a la televisión, ordenadores y teléfonos y tienen un 11–19% menos de prevalencia de obesidad, comparados con los niños y niñas que tienen acceso limitado, o no lo tienen del todo, a las áreas verdes (Amato-Lourenço et al., 2014).
- En EE.UU., los árboles ayudan a reducir o a prevenir más de 670000 casos de enfermedades respiratorias agudas por año, salvando por tanto más de 850 vidas al año (Amato-Lourenço et al., 2014).
- Cinturones amplios (30 m) de árboles altos y frondosos, combinados con superficies blandas del terreno pueden reducir la intensidad aparente de la intensidad del sonido del 50% o más (6–10 decibeles) (Leal, 2019).

En un estudio de caso de Rehabilitación verde “Gröna Rehab” está destinada a empleados de la región sueca de Västra Götaland que tienen o corren el riesgo de padecer sobra enfermedades relacionadas con el estrés o depresiones leves. Está albergada en la cabaña del jardinero en Lilla Änggården, al sur del jardín botánico de Gothenburg y la cabaña es adyacente a la Reserva Natural de Änggårdsbergen y rodeada por un jardín de rehabilitación. Este programa se basa en las reflexiones de la investigación sobre cómo los jardines y la naturaleza pueden ayudar a la recuperación humana. Este sistema combina estas reflexiones con métodos establecidos, y entre su personal se incluyen un biólogo, un jardinero, un terapeuta ocupacional, un psicoterapeuta y un fisioterapeuta. Los participantes siembran y cosechan en el jardín y realizan paseos guiados juntos en el bosque aledaño o en el jardín botánico. En invierno, podan los árboles y arbustos y realizan trabajos manuales. Entre otras actividades se incluyen conciencia corporal, gestión del estrés y terapia artística (Shinzato ,2009).

2.1.1.2. Mitigación al cambio climático

Los bosques urbanos pueden contribuir a la mitigación del cambio climático, tanto directamente por medio de la fijación del carbono, como indirectamente produciendo ahorro de energía y reduciendo el efecto urbano de “isla de calor” (Reyes et al 2019).

Las áreas urbanas son los principales contribuidores al cambio climático; si bien cubren sólo el 2 % de la superficie de la tierra, producen más del 70% de las emisiones de gas carbónico del mundo, además de enormes cantidades de otros GEI. Las áreas urbanas son también altamente vulnerables ante el cambio climático. El aumento del nivel del mar, las crecientes precipitaciones, las inundaciones continentales, los ciclones y tormentas más frecuentes y potentes y el aumento del calor y del frío extremos – todos fenómenos previstos bajo el escenario de cambio climático – probablemente afectarán a centenares de millones de habitantes de las áreas urbanas y periurbanas de todo el mundo en las décadas venideras (Portella, 2014).

A pesar de estos riesgos, muchas ciudades todavía tienen que planificarse adecuadamente para afrontar el cambio climático. Los bosques urbanos pueden tener un papel crucial para ayudar a que las ciudades sean más resilientes ante los efectos del cambio climático. Por ejemplo, pueden mitigar las escorrentías, mejorar la calidad del aire, almacenar carbono, disminuir el consumo energético urbano ofreciendo ambientes sombreados y frescos (mitigando potencialmente el efecto urbano de isla de calor) y reducir los impactos de las condiciones climáticas extremas y de las inundaciones. La vegetación y los suelos de los bosques urbanos potencialmente ofrecen enormes sumideros de carbono. El potencial que tienen los bosques urbanos para reducir la vulnerabilidad de las ciudades ante el cambio climático tiene claras implicaciones para las políticas que fomentan la densificación urbana, altas densidades de viviendas y la consecuente reducción potencial o pérdida de áreas verdes (Moura, 2015).

Como una estrategia urbana de adaptación al cambio climático la municipalidad de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso) apoyada por la Iniciativa Ciudades y Cambio Climático de la ONU-Hábitat, bajo la coordinación de la Fundación RUAF, se comprometió a promover la agricultura y la silvicultura urbana y periurbana como estrategia de adaptación al cambio climático. El proyecto persiguió la contribución a: 1) reducir la temperatura y las escorrentías, mitigando el efecto isla de calor de las ciudades y sirviendo como “pulmón verde” para la ciudad; 2) aumentar la resiliencia de los residentes, ampliando y diversificando sus fuentes de alimentos e ingresos. En 2012, se habían establecido ocho corredores verdes de alrededor de 60 ha que conectan la ciudad con sus bosques

periurbanos, cada uno de los cuales está destinado a una función y uso diferentes. En la Fase 3 de la Iniciativa Ciudades y Cambio Climático, la municipalidad se comprometió a promover la agricultura y la silvicultura urbana y periurbana como estrategia de mitigación y adaptación al cambio climático. Este proyecto piloto en curso está dirigido a exhibir los corredores verdes como modelo de desarrollo frente al cambio climático y a ofrecer un ejemplo de buena gestión regida por el reglamento municipal apropiado. La implementación sobre el terreno se completó con sistemas de divulgación dirigidos a la adopción de reglamentos, que especifican las funciones de la agricultura y silvicultura urbana y periurbana en los corredores verdes (ONU-Habitat, 2014).

2.1.1.3. La biodiversidad y los paisajes

Las ciudades deberían adoptar medidas urgentes y significativas para reducir la degradación de los hábitats naturales, detener la pérdida de biodiversidad y proteger y prevenir la extinción de las especies amenazadas (Gauthier, 2016).

El bienestar humano depende enormemente del suministro actual de servicios ecosistémicos que, por ejemplo, apoyan la producción de alimentos, mantienen la fertilidad y estabilidad del suelo y ofrecen servicios de purificación de las aguas. Sin embargo, la expansión de las ciudades está causando la destrucción, degradación y fragmentación de los ecosistemas naturales en y alrededor de las áreas urbanas, con la consecuente pérdida de biodiversidad y de servicios ecosistémicos y la exacerbación de conflictos entre las personas y la fauna silvestre (Dobbs, 2018).

Esta destrucción, degradación y fragmentación no se limitan a los confines físicos del desarrollo urbano; las ciudades pueden ser también causas indirectas de degradación del paisaje y de agotamiento de los recursos en las áreas periurbanas y rurales. Además, la urbanización tiende a favorecer especies oportunistas de fauna silvestre, a costa de las más especializadas (Gauthier, 2016).

En un estudio llevado a cabo por el Programa de biodiversidad forestal urbana de Adelaide (Australia), que tuvo como objetivo el revertir la pérdida de diversidad biológica en el área metropolitana de Adelaide, con la protección de la flora y la fauna autóctonas remanentes y la creación de corredores para las especies autóctonas de la localidad. La conservación de las especies autóctonas de plantas y animales se logró de varias formas, por ejemplo, identificando áreas de conservación prioritarias para acciones y apoyando los esfuerzos de conservación de individuos, comunidades, escuelas, industrias, agencias y gobiernos locales. La oficina septentrional de la Unidad de Biodiversidad Urbana, con

sede en la ciudad de Salisbury (unidad administrativa en el área metropolitana de Adelaide), trabajó para proteger las áreas de hábitats naturales entre las municipalidades de Salisbury, Tea Tree Gully, Playford, Mallala y Gawler y el confín metropolitano al norte de Adelaide y la Junta del Plan de gestión de la captación de aguas de la municipalidad de Barossa. El programa “Un millón de árboles” de la Unidad de Biodiversidad Urbana restauró las comunidades de vegetación con la plantación de plantas autóctonas de cada localidad, utilizando especies de origen local, en otras palabras, el programa utilizó las plantas que crecían en el área local antes del asentamiento europeo. La Unidad de Biodiversidad Urbana también animó a los residentes de la localidad y a las comunidades a participar en el programa “Patios para la vida silvestre” que englobó la plantación de plantas autóctonas de la localidad en sus patios (Sánchez, 2014).

2.1.1.4. Beneficios económicos y economía verde

Los bosques urbanos ofrecen muchos beneficios económicos que ayudan a las ciudades a construir economías verdes dinámicas, energéticas y prósperas, incluso por medio de estrategias de etiquetado verde y de comercialización (Paulino, 2018).

Por un lado, las ciudades generan más del 80% del producto interno bruto global; por el otro, alrededor de mil millones de habitantes de las áreas urbanas y periurbanas viven en tugurios sin acceso, o con poco acceso, a los servicios básicos (Kang et al 2015).

Para los propietarios, es probable que sea más rentable construir y vender inmuebles residenciales, sin embargo, las decisiones sobre el uso de la tierra a nivel de planificación municipal deberían tomar en cuenta los beneficios colectivos de los bosques urbanos.

Según ONU-Hábitat (2018), la disponibilidad de espacios comunes es uno de los factores principales que contribuyen al valor de la tierra urbana. Los bosques urbanos y demás infraestructura verde ofrecen muchos servicios y beneficios ecosistémicos, tangibles e intangibles, que pueden ayudar a mejorar las condiciones de vida y los medios de vida de los residentes urbanos. Por ejemplo, aumentan el valor de la propiedad y de la tierra, además de los precios de arrendamiento y atraen inversiones, empresas y turismo.

Los efectos de sombreado y de refrescamiento de los bosques urbanos pueden producir ahorro en el consumo de energía, reduciendo la exigencia de enfriamiento artificial y se pueden generar ahorros adicionales por los efectos positivos en la salud física y mental de los ciudadanos, disminuyendo el número de estancia hospitalaria y, por consiguiente, reduciendo el coste de la salud pública (Lopez et al, 2017).

La planificación, diseño, gestión y uso de los bosques urbanos puede generar empleo y oportunidades empresariales, por ejemplo, en los viveros; jardinerías; producción de alimentos (p.ej., frutas, nueces comestibles, bayas y setas) y otros productos forestales no madereros (PFNM) como leña y medicinas; en la industria de la madera y del bambú; en los servicios de cuidado de los árboles; turismo; paisajismo; y en la gestión forestal. De tal forma, las inversiones en los bosques urbanos son estrategias prometedoras para crear sosteniblemente empleos, aumentar los ingresos y fomentar las economías verdes locales. Los bosques urbanos pueden también suministrar sustento directamente con la producción de madera y de PFNM (FAO, 2019).

Algunas experiencias en países que han desarrollado un modelo de gestión planificado en las áreas urbanas demuestran los diferentes beneficios económicos que se puede obtener, entre los más exitosos son:

- En la ciudad de Nueva York (EE.UU.) cada dólar gastado en la plantación de árboles y en su cuidado genera hasta 5,6 USD en beneficios (Escobedo et al., 2008).
- En EE. UU, el valor estimado de las casas adyacentes a los parques naturales y a las áreas verdes es, típicamente, 8–20% mayor que el de las propiedades comparables que no tienen dichos servicios (Manosso, 2016).
- Un estudio encontró que los precios medios para los bienes comprados en Seattle (EE.UU.) eran un 11% mayores en las áreas con paisajes que en las áreas que no tenían árboles (Escobedo et al., 2008).

Un estudio realizado por la FAO (2006), analizó la contribución de los bosques urbanos a los medios de vida para las poblaciones pobres de la ciudad de Dhaka, capital de Bangladesh, que tiene una población de más de 14 millones de habitantes y un índice de pobreza del 30,50%. Se encontró que la silvicultura urbana puede aumentar la calidad de vida de la gente pobre, por ejemplo, por medio del empleo en los viveros y otras industrias forestales. La mayoría de los pobres de Dhaka carece de acceso a los servicios de la ciudad, tales como el suministro de electricidad, agua potable y otros beneficios. La silvicultura urbana puede ayudar a salvar esta brecha, por ejemplo, produciendo combustible leñoso y ayudando a purificar el agua. La mayoría de los pobres de Dhaka trabaja al aire libre donde sufren condiciones ambientales peligrosas producidas por la contaminación del aire; los bosques urbanos pueden contribuir a mejorar estas condiciones.

2.1.1.5. Mitigación de la degradación de la tierra y del suelo

Al proteger los suelos y aumentar su fertilidad, los bosques urbanos pueden contribuir a combatir la desertificación, restaurar los suelos y tierras degradados y prevenir sequías e inundaciones (Ortiz, 2020).

La degradación de la tierra y del suelo, y la consiguiente reducción de su capacidad de suministrar bienes y servicios ecosistémicos a las comunidades locales, incluso en las áreas urbanas y periurbanas se ha vuelto un problema mundial que cuesta alrededor de 40000 millones de USD al año (Ortiz, 2020).

La creciente erosión del suelo, salinización, desertificación y contaminación están reduciendo la fertilidad del suelo, su capacidad de filtración de aguas y su capacidad de almacenamiento de carbono en las tierras urbanas y periurbanas, reduciendo su capacidad de producción de alimentos y, por tanto, amenazando los medios de vida y el bienestar de millones de personas en todo el mundo (Ortiz, 2020).

2.1.1.6. La seguridad alimentaria y nutricional en la silvicultura urbana

Al producir leña para cocinar, alimentos y productos no alimentarios para su venta en el mercado, los bosques urbanos pueden contribuir enormemente a la seguridad alimentaria y nutricional en los entornos urbanos y periurbanos (Bustos, 2016).

La alimentación de la población urbana en rápido crecimiento en todo el mundo es uno de los principales desafíos del siglo XXI. El hambre y la pobreza afectan un creciente número de ciudades y de habitantes de las áreas urbanas. La urbanización y la pobreza a menudo van mano a mano y muchas ciudades – especialmente en los países en desarrollo – combaten para suministrar a los residentes acceso a alimentos suficientes, nutritivos y asequibles (Maldonado et al, 2019).

El bosque comestible de Beacon en Seattle (EE.UU.) es un proyecto de jardín comunitario en manos de la comunidad. Surgió en 2013 como proyecto final de diseño para un curso de diseño de permacultura, y hoy día es un proyecto en el Programa de jardinería comunitaria P-Patch, del Departamento de vecindades de Seattle, que combina aspectos de rehabilitación del paisaje autóctono y de jardinería de bosque comestible. Este bosque utiliza una técnica de jardinería que imita un ecosistema de zona arbolada y abarca árboles y arbustos comestibles, perennes y anuales. Los árboles de frutas y de nueces comestibles están al nivel más alto y los arbustos de bayas comestibles, perennes y anuales, están en los niveles inferiores. La tierra es de propiedad de los Servicios Públicos de Seattle que han asignado 1,75 ha para la fase inicial del proyecto. Centenares de personas han

participado en todos los aspectos de la visión, diseño y construcción del proyecto; y muchos centenares más participaron en los trabajos para construir el bosque comestible, con tareas que iban desde la propagación de astillas de madera hasta la instalación del sistema hídrico (Assadourian et al 2017).

2.1.1.7. La seguridad maderera y los bosques urbanos

Al suministrar fuentes adicionales de madera y de combustible leñoso, los bosques urbanos pueden tener una función clave en la respuesta a las exigencias urbanas de productos madereros, mientras contribuyen a reducir la presión sobre los bosques naturales y demás zonas boscosas ante la sobreexplotación (Guillén, 2014).

El dendrocombustible – leña y carbón vegetal – es la fuente más vieja de energía en las sociedades humanas. Incluso hoy representa el 60–80 por ciento del consumo de madera en los países en desarrollo y puede andar por el 50–90 por ciento del consumo energético nacional (Guillén, 2014).

2.1.1.8. Los valores socioculturales

Los bosques urbanos pueden ayudar a las comunidades a mantener su identidad cultural por generaciones, ofrecer a los residentes espacios comunitarios para socializar y disminuir la diferencia entre vecindades ricas y pobres (Nowak et al, 1997).

Según ONU (2015) los valores sociales, culturales y religiosos sólidos se asocian a menudo con los bosques urbanos; muchas comunidades urbanas expresan enorme apoyo a la plantación de árboles y a la conservación de los árboles y bosques existentes tanto en las áreas ricas como en las pobres de las ciudades. Los bosques y árboles ancestrales a menudo tienen fuertes valores culturales y sociales; su persistencia por décadas y siglos ofrece conexiones entre las viejas y nuevas generaciones y ayuda a la gente a sentirse más apegada a sus ciudades. Si bien los valores morales, espirituales, estéticos y éticos asociados con los bosques urbanos pueden cambiar enormemente entre ciudades y culturas, en general tienen un papel central en la protección y conservación de los bosques urbanos. En India, por ejemplo, los valores y prácticas religiosas asociados con los árboles sagrados que comúnmente se encuentran en las ciudades, a menudo son la única forma de protección de los bosques urbanos. La disponibilidad de bosques urbanos y otras áreas verdes también ofrece espacios naturales, o cercanos a la naturaleza, para la educación (especialmente de los niños y niñas y de la juventud) sobre aspectos relacionados con el medioambiente.

Un estudio realizado en Baltimore (EE.UU.) demostró que el 10 por ciento de aumento en la cubierta arbórea estaba relacionado al 12 por ciento de disminución de los delitos (Arboit et al 2019).

Un árbol de *Ceiba pentandra* (Ceibo) es el símbolo histórico de Freetown (Sierra Leona), es el más viejo que la ciudad, misma que fue fundada en 1787 (Flores, 2017).

2.1.2. La gobernanza como proceso fundamental para la silvicultura urbana

La participación de todas las partes interesadas en la planificación, diseño y gestión de los bosques urbanos es fundamental para garantizar la gobernanza eficaz de una ciudad (FAO, 2018).

La gobernanza comprende los esfuerzos, medios y herramientas utilizados para dirigir las acciones de grupos e individuos hacia metas comunes. Más específicamente, se trata de la formulación, aplicación y cumplimiento de las reglas generales del juego (Urban Forest Biodiversity Program, 2015).

Cualquiera que sea su definición, la gobernanza sólida de una ciudad moderna implica una transición fundamental desde el concepto de gobierno local hasta el de gobernanza local, en la cual todas las partes interesadas tienen la responsabilidad del desarrollo político, la planificación y la gestión.

Según FAO (2018), existen tres aspectos de la gobernanza forestal urbana:

- a) **La gobernanza estratégica:** Si bien la gobernanza de los arbolados, parques y áreas naturales (públicos) se vuelve cada vez más estratégica – y produce un creciente conjunto de enfoques, políticas y estrategias – los bosques urbanos no siempre forman parte del discurso. Los departamentos o agencias responsables de la gestión de la infraestructura verde urbana deberían participar directamente en los procesos municipales de toma de decisiones a fin de garantizar la debida consideración a las funciones estratégicas de los bosques urbanos.
- b) **La integración:** La atención prestada en la gobernanza urbana se encuentra a menudo limitada por la fragmentación de responsabilidades y por los servicios técnicos y administrativos en los documentos normativos y de planificación en todos los niveles de gobierno. “Integración” es un aspecto clave de la gobernanza urbana.
- c) **Gobernanza y conocimiento:** La gobernanza de los bosques urbanos requiere que los departamentos de planificación tengan las habilidades técnicas y el conocimiento necesarios para incluir los aspectos fundamentales de silvicultura

urbana en el proceso general de planificación

Es fundamental también que la comunidad tenga la capacidad – por ejemplo, con respecto al tiempo, recursos, habilidades y conocimientos – para aprovechar las oportunidades ofrecidas por el proceso de gobernanza. Esto podría darse sólo en algunas comunidades o para determinados miembros de una comunidad y, por tanto, la gobernanza innovadora de los bosques urbanos podría requerir formación y creación de capacidad (Flores, 2012).

2.2. LA POLÍTICA Y LAS NORMAS COMO REGULADORES DE LA EXPANSIÓN O REDUCCIÓN LA SILVICULTURA URBANA

Las políticas, planes locales y nacionales tienen el potencial para expandir o contraer rápidamente el acceso, administración y apreciación públicos de los recursos naturales en las ciudades, poblados y aldeas, con repercusiones sobre la salud pública, la seguridad y el disfrute del entorno urbano (Bravo et al., 2014).

Una política es la formulación de un sistema de principios englobados en una visión común que trata de orientar decisiones específicas o conjuntos de decisiones, además de establecer las medidas requeridas para implementarlas (Bravo et al., 2014).

Todos los países tienen sus propios enfoques de políticas urbanas: para algunos podría ser apropiado desarrollarlas a nivel nacional o subnacional; mientras otros podrían desarrollarlas a nivel de cada ciudad. En el Ecuador, dentro del Plan Nacional Toda una Vida, establecido por el presidente Lenin Moreno y aprobado por la SENPLADES en el 2017, se destaca los siguientes objetivos:

Objetivo 3. Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones.

Política 3.2. Distribuir equitativamente el acceso al patrimonio natural, así como los beneficios y riquezas obtenidos por su aprovechamiento, y promover la gobernanza sostenible de los recursos naturales renovables y no renovables.

Política 3.4. Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global.

Así mismo, el Código Orgánico Ambiental (COA) aprobado en abril de 2017 y vigente desde abril 2018, nombra artículos que regulan de alguna manera el arbolado urbano:

Art. 152. Del arbolado urbano para el desarrollo urbano sostenible. Con el fin de promover el desarrollo urbano sostenible, se reconoce como de interés público el establecimiento, conservación, manejo e incremento de árboles en las zonas urbanas,

priorizando los árboles nativos en las zonas territoriales respectivas. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Metropolitanos o Municipales incluirán estas actividades en su planificación territorial como estrategias esenciales para disminuir la contaminación del aire y acústica, mejorar el microclima, fortalecer el paisaje y equilibrio ecológico, apoyar al control de las inundaciones, mitigar los efectos del cambio climático y adaptarse al mismo, favorecer la estética de las ciudades, promover cuatro oportunidades educativas ambientales, mejorar la calidad de vida, salud física y mental de los habitantes, entre otros.

Art. 154. Forestación y reforestación en los espacios públicos. Se promoverán las actividades de forestación y reforestación de espacios públicos de acuerdo a criterios técnicos, ecológicos y socioculturales, destacándose el fomento del uso de especies forestales nativas con características ornamentales o de especies que contribuyan a los procesos ecológicos indispensables para mantener corredores ecológicos y la conectividad de la fauna propia de cada circunscripción territorial. Se fomentará la construcción de viveros y se incentivará la investigación asociada a la identificación de especies nativas con características ornamentales y otros usos en las distintas zonas territoriales, en coordinación con las universidades e instituciones de investigación relacionadas. Las investigaciones se realizarán aplicadas a la forestaría urbana.

Art 156. Del censo del arbolado urbano. Dentro del cálculo y medición del área verde urbana, los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos podrán incorporar un registro del número de árboles, tanto por habitante como por unidades territoriales. Para el mismo objetivo, podrán llevar un censo periódico y georeferenciado de la tipología de árboles existentes, de sus características dasométricas, del número de individuos y de la cantidad de especies nativas e introducidas presentes. Este censo deberá establecer también el potencial urbano para incrementar el número de árboles en la ciudad. Toda la información generada será remitida al Sistema Único de Información Ambiental para su sistematización y publicación.

Así mismo, el Ministerio del Ambiente y Agua (MAAE), al ser la entidad pública encargada de diseñar las políticas ambientales y coordinar las estrategias, los proyectos y programas para el cuidado de los ecosistemas y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, creó la normativa para la conservación, uso y manejo de los árboles urbanos, de donde se establece lo siguiente:

- a) **Objetivo de árboles urbanos:** La presente norma tiene por objetivo establecer los parámetros técnicos nacionales para la conservación, uso, manejo y fomento

del arbolado urbano, como parte integral del Patrimonio Nacional, Histórico, Cultural y Urbano del país. Complementariamente, se orienta a proteger el equilibrio ecológico del medio urbano nacional, fomentar la vinculación de las personas con el espacio público y contribuir a la consolidación de corredores biológicos que permitan el correcto desarrollo de las especies silvestres (MAE, 2016).

- b) **Alcance de árboles urbanos.** La presente normativa técnica se aplica a los árboles en las zonas urbanas, es decir, todos los ejemplares de cualquier tamaño, edad y especie arbórea que se ubiquen en suelo urbano público o privado (MAE, 2016).
- c) **Del manejo y conservación del arbolado urbano:** Cada Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal o Metropolitano, en el ámbito de sus competencias, deberá proponer el cumplimiento de estos parámetros, así como, elaborar materiales o manuales técnicos para asegurar un buen manejo del arbolado público local y, la repotenciación de la reforestación urbana considerando los siguientes aspectos técnicos, literal a. Plantación, literal b. Mantenimiento, literal c. Cuidados especiales, literal d (MAE, 2016).

2.3. LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) COMO HERRAMIENTA PARA LA SILVICULTURA URBANA

Con el avance de la tecnológica y los sistemas informáticos, se puede utilizar herramientas que ayuden a la planificación, seguimiento y monitoreo del arbolado urbano.

En un estudio realizado por Boulos et al. (2017), usando la plataforma tecnológica Arc GIS 8.3, ubicó los árboles en los planos digitales del barrio La Magnolia (España) representados por un punto. La ubicación se realizó utilizando toda la información geográfica de la cual se disponía (información sobre planos y tablas). Esto se hizo digitalizando directamente los puntos en Arc Map, previa determinación del lugar donde estaban ubicados. El código identificador de cada árbol fue el mismo que se asignó a los individuos en el inventario. Luego se dibujó en los mapas digitales las copas de los árboles, empleando para ello su diámetro promedio, las cuales fueron representadas por un polígono de forma circular. Una vez completado el mapa con la ubicación de los árboles, se procedió a importar la base de datos para que la información correspondiente a cada individuo quedara asociada a los identificadores de los árboles presentes en el

mapa digital. También se realizó un shapefile de los cables más bajos presentes en la zona estudiada, para realizar el análisis de los conflictos de los árboles con el entorno. Luego de procesada la información gráfica y alfanumérica en la base de datos espacial diseñada para el manejo de información arbórea en ambientes urbanos, ésta sirvió como herramienta de consulta y análisis de manera rápida y sencilla.

Algunas consultas generales pueden referirse a diferentes aspectos tales como: Familia, nombre científico, nombre vulgar; ubicación geográfica respectiva de cada árbol; dirección donde se encuentra ubicado cada individuo; características morfométricas y la condición de los árboles; tratamientos silviculturales requeridos por los individuos inventariados; conflictos con el entorno entre la infraestructura presente, la población y las especies vegetales; valoración económica del árbol urbano (Perez et al., 2018)

Igualmente se pueden realizar mapas en donde se muestren las zonas de conflicto tanto para redes de energía, cables de teléfono y posibles riesgos hacia la población o se puede determinar la densidad de siembra de los individuos inventariados. Por medio de las fotografías incluidas en la información alfanumérica, se puede obtener una idea más clara de la condición del arbolado urbano (Perez et al., 2017).

Toda la información contenida en la base de datos puede superponerse con otra información municipal, tal como catastro, redes viales, infraestructura eléctrica, etc., facilitando la toma de decisiones y planeación de las actividades silviculturales requeridas. Una función muy útil que posee el SIG es la de poder buscar información de los individuos inventariados de una manera ágil y sencilla, mediante consultas por atributos almacenados en la base de datos, con lo cual se pueden sacar estadísticas, realizar análisis y programar las actividades necesarias para el manejo del bosque urbano, con la ayuda de más herramientas y extensiones que posee el SIG (Boulos et al., 2017).

2.4. LA DASOMETRÍA

La dasometría es la parte de la dasonomía (ciencia de los bosques) que se ocupa de la aplicación de métodos estadísticos para la búsqueda de soluciones a problemas asociados con la existencia, crecimiento y el manejo de bosques, a través de inventarios de la masa boscosa existente (Hernández et al., 2016).

En los inventarios se registran variables como: CAP (circunferencia a la altura del pecho, es la circunferencia el troco del árbol, medida a 1.3 metros de altura; HT (altura total, altura del árbol desde la base del tronco hasta la punta de la copa del árbol); HC (altura comercial, distancia vertical entre el nivel del tocón y la posición terminal de la última

porción comercialmente aprovechable del árbol); copa (medida tomada en el eje X y el eje Y de la copa del árbol). Los datos obtenidos en los inventarios sirven para determinar la cantidad y volumen de árboles (Matínez et al, 2014).

2.4.1. Los inventarios dasonómicos urbanos

Un inventario forestal urbano es un método o herramienta básica para obtener información necesaria que permite diagnosticar en forma práctica y efectiva su número, condición y distribución; anticipar y efectuar el mantenimiento preventivo y ayudar a tomar decisiones a corto mediano y largo plazo. Además, constituyen parte integral de un sistema de manejo para lograr una adecuada administración del recurso forestal urbano sanidad y daños a las estructuras urbanas; por lo cual, sólo se registra los árboles que presentan la condición que es de interés, estos inventarios también son llamados por objetivo (Hernández et al., 2016).

En el contexto de los inventarios parciales que se desarrollan en alguna zona de la ciudad que se desea conocer, se evalúan las características predefinidas (condición del arbolado, riqueza de especies, frecuencia o condiciones sanitarias), es decir, la intensidad con que se realice el inventario y la proporción de la muestra estará determinada por los recursos disponibles y la información que se pretende obtener, se recomienda la evaluación del 5 al 50% del arbolado (Hernández et al., 2016).

Los inventarios totales son los más recomendables, ya que permiten obtener la información completa sobre la situación del arbolado, frecuencia de especies, ubicación. Sin embargo, son los que demandan una mayor cantidad de recursos. Cuando el inventario se realiza por una sola vez y no se tiene planeado realizar una segunda evaluación, se considera al inventario como de tipo temporal. La vigencia de información es de 10 años, no obstante que la dinámica del bosque urbano, es común en encontrar cambios a los 5 o 6 años, por lo que la información recabada ya no será tan confiable después de 10 años (Martínez et al, 2014).

2.5. LA CAPTURA DE CO₂ Y LA VEGETACIÓN URBANA COMO SUMIDERO DE CARBONO

Desde 1900 ha existido un interés por reverdecer las zonas urbanas y maximizar los beneficios ambientales que la vegetación brinda (Pitola et al., 2013). Sin embargo, antes de 2010, la influencia de las áreas verdes urbanas sobre la calidad del aire y

particularmente sobre las concentraciones de CO₂ atmosférico, fue escasamente estudiada (Silva, 2012).

Algunos estudios previos a ese año han resaltado el papel que juegan los árboles urbanos en el mejoramiento de la calidad del aire, cuantificando su potencial de captura de carbono (Silva, 2012). Actualmente se sabe que el secuestro de CO₂ está directamente relacionado con la tasa de variación interanual de carbono almacenado en la biomasa sobre y bajo el suelo (Lopez et al., 2018).

Diversos estudios han planteado comparar las emisiones versus la captura de carbono que se da en las áreas urbanas, como lo hicieron se hicieron Popa et al. (2017) en Shenyang, China. Estos autores estimaron la capacidad de captura de carbono de los bosques urbanos mediante ecuaciones alométricas, y los compararon con las emisiones anuales provenientes de la quema de combustibles fósiles (identificando el tipo y coeficiente de conversión respectivo). Los resultados de este estudio encontraron que los bosques urbanos pueden desempeñar un papel importante en la mitigación de los efectos del cambio climático en las zonas urbanas por la reducción de CO₂ atmosférico; otro resultado mostró que es necesario contar con ecuaciones alométricas a nivel especie para estimar de forma más precisa la biomasa.

Durante las últimas décadas, se han desarrollado diferentes metodologías para calcular la captura y almacenamiento de carbono que realiza la vegetación en las áreas verdes urbanas (Mijangos, 2015), en diversas escalas de tiempo y espacio (árboles individuales, parques, colonias, ciudades).

Las primeras metodologías desarrolladas para estimar la captura y almacenamiento de carbono en zonas urbanas se realizaron con base en la biomasa de los árboles de Milwaukee, en EUA; en el cálculo se utilizaron ecuaciones alométricas para árboles forestales, las cuales permitieron predecir la biomasa de un árbol a partir de características fáciles de medir como el diámetro del tronco y la altura (López et al 1995). Años más tarde, al usar estas mismas ecuaciones en bosques cultivados, se comenzó a resaltar el potencial que los árboles urbanos podían tener para equilibrar las emisiones urbanas de CO₂; dado que esto permitiría conocer la cantidad de árboles necesarios para mitigación (Nowak, 1993).

Hay que agregar que la biomasa de los parques urbanos está influenciada por el área cubierta de vegetación, el tamaño de la copa y la densidad de los árboles, la densidad de

la madera, las tasas de fotosíntesis, las condiciones del lugar, el diámetro a la altura del pecho de los árboles (DAP). Para estimar la biomasa existen dos métodos, el más preciso, pero más destructivo es cortar el árbol, pesar en seco sus partes y determinar con la suma de cada sección la cantidad de carbono almacenado (Bianco, 2015).

El otro método, que es más común y menos destructivo es la aplicación de ecuaciones alométricas (Weissert et al, 2014). Las ecuaciones alométricas, se basan en la relación entre el diámetro a la altura del pecho (1,30 m), el volumen del árbol (Bianco, 2015), la altura del árbol, la densidad de la madera y el estado del árbol entre otros parámetros y varían entre especies (Strohbach et al, 2012).

Las ecuaciones de biomasa mejoran su predicción cuando se considera al mismo tiempo las variables diámetro y altura, pero la medición de esta última no se realiza en la práctica debido a que toma mucho tiempo en bosques extensos y no es fácil de identificar la punta del árbol, en la mayoría de los casos se logra una precisión satisfactoria utilizando un modelo alométrica sugerido por Brown (1997) (Douterlungne et al., 2013).

$$\text{Bat} = e^{(-2.4090 + 0.9544 \ln(\text{DAPH}\delta))}$$

Donde:

- Bat = Biomasa aérea total (kg)
- e = Base del logaritmo natural (2,718271)
- DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm)
- h = Altura total del árbol (m)
- δ = Densidad de básica de la madera (g/cm^3 o t/m^3).

Otra forma de ecuación alométrica, es la de Chave *et al.* (2005), ecuación para las especies de bosques húmedos tropicales que consideran altura total (h), el diámetro (D) y densidad de madera (ρ) como las variables predictoras. Un argumento geométrico simple sugiere que la total biomasa aérea (AGB, en kg) de un árbol con diámetro D debe ser proporcional al producto de densidad específica de la madera (Douterlungne et al., 2013).

$$\text{Bat} = \exp(-2.977 + \ln(\delta * \text{DAP} * h))$$

Dónde:

- Bat = Biomasa aérea total (kg)

- DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm)
- δ = Densidad básica de la madera (kg/m³)

En un estudio llevado a cabo en la Universidad de Valladolid (España), donde evaluaron el CO₂ fijado por el arbolado urbano en la ciudad de Palencia (España), realizando estimaciones de la cantidad de carbono acumulado y capturado anualmente por el arbolado urbano en la ciudad, donde el valor de las emisiones de CO₂ es de cuatro toneladas y media por habitante/año. Para estimar las emisiones que podrían compensarse a través del carbono proveniente de la biomasa aérea en los distintos barrios de la ciudad, se realizó un inventario de arbolado urbano donde se midieron los parámetros de diámetro a la altura normal, altura del fuste y altura de la copa en un muestreo aleatorio de 1195 árboles de las diferentes especies arbóreas presentes en las zonas verdes de la ciudad con una intensidad de muestreo del 10%. Los 12.820 árboles inventariados acumulan 4100 Mg de carbono, los géneros con mayor cantidad de carbono almacenado a lo largo de su vida fueron *Platanus*, *Pópulus* y *Acer* entre las frondosas, *Piceas* entre las coníferas y *Chamaerops* entre las Palmáceas. Los géneros con menor cantidad de carbono almacenado a lo largo de su vida fueron *Ligustrum* y *Tilus* entre frondosas y *Taxus* y *Thujas* entre las coníferas. Respecto al carbono secuestrado anualmente destacan el género *Ailanthus* con 63 kg de CO₂/año con diferencias significativas respecto a *Chamaerops* 48 kg CO₂/año y *Secuoiadendron* con 47 kg CO₂/año y así concluyeron que “Potenciar los sumideros de gases de efecto invernadero a través del arbolado urbano significa ir hacia ciudades sostenibles acordes con las demandas actuales de las sociedades desarrolladas”.

CAPÍTULO III.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN

El estudio se realizó en las áreas determinadas como Espacios Verdes Recreacionales Ecológicos (Parques, Calles, Avenidas y Complejos) existentes en la ciudad de Puyo según el área de planificación del GAD Municipal del cantón Pastaza, donde permite actividades de plantación y reforestación con fines ecológicos, socioculturales y turísticos. La parroquia Puyo forma parte del cantón y provincia de Pastaza. Se encuentra a 940 msnm, a una latitud de 0° 59' -1" S y a una longitud de 77° 49' 0" W. Limita al Norte con la parroquia Fátima, al Sur con la parroquia Tarqui, al Este con la parroquia Veracruz y 10 de Agosto y al Oeste con la parroquia Shell. La temperatura oscila entre los 17° C y 24° C (Figura 1). Entre los ríos más importantes se encuentran: Puyo, que sirve en la cuenca baja como medio de recreación turística y sustento de comunidades indígenas kichwas y colonas; Pindo Grande; Pindo Chico, Pambay, Sandalias y el estero La Talanga que cruza por la ciudad de Puyo con rumbo Noreste al Sur (PDOT GADMP, 2011).

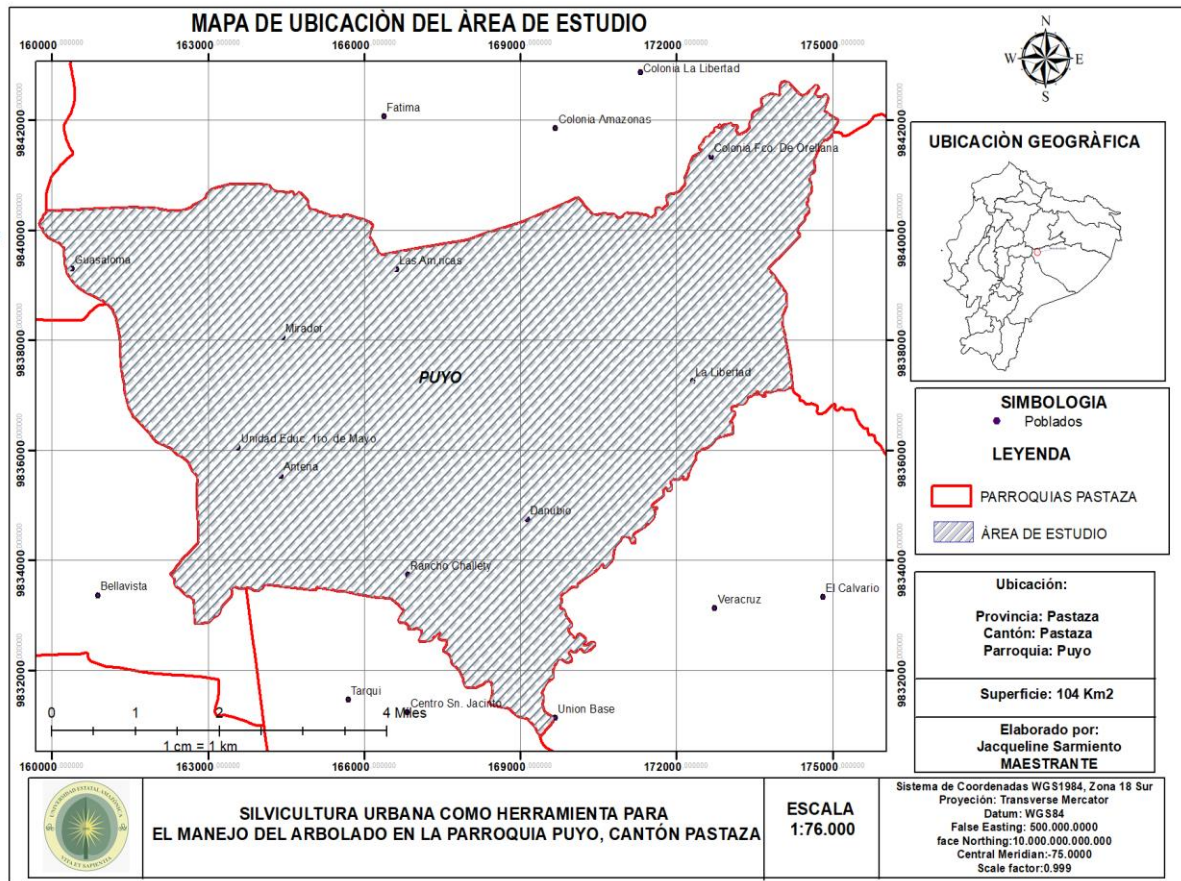


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

En el presente estudio se usó la investigación descriptiva, según la metodología establecida por Rodríguez (2015), misma que se centra en analizar e investigar aspectos concretos de la realidad que aún no han sido analizados en profundidad. Básicamente se trata de una exploración o primer acercamiento que permite que investigaciones posteriores puedan dirigirse a un análisis de la temática tratada, ya que, mediante un inventario se describirán las especies, familias botánicas, estado fitosanitario, valor de importancia ecológica y biomasa aérea. Las variables que se describieron fueron:

- Altura total (HT)
- DAP (m) (todas las especies mayores a 0,10 m)
- Diámetro de copa (DC)
- Estado fitosanitario
- Número de familias botánicas
- Número de especies e individuos

Dentro de las variables de estructura ecológica se describió:

- Abundancia
- Dominancia
- Frecuencia
- Índice de valor de importancia ecológica (IVI)
- Biomasa aérea

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Se empleó el método de observación científica y la medición.

En cuanto a la observación se usó en dos momentos de la investigación: en su etapa inicial, para diagnosticar el estado actual del arbolado urbano en las avenidas, calles, plazas y parques en la parroquia Puyo y al finalizar la investigación, la observación sirvió para desarrollar el modelo de silvicultura urbana esperado o requerido en nuevas áreas de la parroquia.

El método de medición se usó para obtener datos dasométricos de los árboles presentes en el área de estudio, se empleó materiales como la cinta diamétrica (para obtener datos de DAP) y el hipsómetro (para obtener datos de alturas).

El reconocimiento de las especies fue realizado con el apoyo de un experto botánico de flora amazónica y se constató con el libro de Árboles de Ecuador (Palacios, 2017). Además, se envió material fotográfico al Ing. Walter Palacios en el caso de dudas con alguna especie.

3.4. TRATAMIENTO DE DATOS

3.4.1. Diagnóstico del estado actual del arbolado urbano

Para el diagnóstico del estado actual del arbolado urbano en la ciudad del Puyo se procedió a realizar un censo total en los espacios verdes recreacionales ecológicos (avenidas, parques, calles y plazas), determinados en el catastro urbano y que cuenten a la fecha de levantamiento de información con cobertura arbolada.

Se estableció un registro para cada árbol evaluado. Se registró la fecha de evaluación del árbol en formato de día/mes/año, seguido de la ubicación en términos de coordenadas geográficas utilizando el navegador GPS Garmin nüvi 2567LM. Se determinó los siguientes aspectos fundamentales para cada individuo: Parámetros dasométricos-ecológicos, condiciones físicas del árbol, afectaciones a bienes públicos.

3.4.2.1. Determinación de parámetros dasométricos.

Como parte del censo se identificaron las familias botánicas, géneros y especies tanto en campo como la consulta a expertos en dendrología. Se evaluó las características cuantitativas individuales de cada árbol, con los siguientes parámetros dasométricos:

- 1) **Altura total (HT):** Se utilizó un hipsómetro marca Nikon que es un activo fijo de la UEA. La medición obtenida fue en metros (m).
- 2) **Diámetro altura de pecho (DAP):** Para determinar el DAP se utilizó una cinta diamétrica marca Jackson MS, activo fijo de la UEA. La medición obtenida fue en centímetros (cm).
- 3) **Diámetro de copa (Dc):** Usando la metodología propuesta por Cailliez (1980), la medición del diámetro de copa se realizó en forma de cruz de extremo a extremo de las ramas que sobresalen, diámetro mayor y menor de la proyección de copa en sentido paralelo; y en escritorio se determinó el diámetro promedio, aplicando la siguiente ecuación (ecuación 1).

$$Dc = \frac{D_{mayor} + D_{menor}}{2}$$

(ecuación 1)

Donde:

\overline{Dc} = Diámetro promedio de copa

D mayor = Diámetro mayor

D menor = Diámetro menor

b) Evaluación de condiciones físicas de árboles: Para el estudio de las condiciones físicas se consideró la metodología propuesta por López y Flores (1997), mediante una clasificación visual de cada árbol, asignándole un valor según los parámetros establecidos en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Evaluación del fuste por daños antrópicos

PARÁMETRO	CONSIDERACIÓN	VALOR
Fuste sano	Individuos sin ningún tipo de afectación sobre su tronco considerando las características propias de especies.	1
Fuste afectado	Individuos con afectación sobre su tronco tales como: resquebrajamiento, hendiduras, agujeros y estrangulación considerando las características propias de especies.	2

Fuste muerto	Individuos con principios de mortalidad como: caída de ramas, hojas secas, color pardo del follaje o apeo, considerando las características propias de especies.	3
---------------------	--	----------

Tabla 2. Evaluación del fuste por afectaciones patógenas

PARÁMETRO	CONSIDERACIÓN	VALOR
Sin plagas	Individuos sin ningún tipo de patógeno externo que afecte su desarrollo	1
Una o más tipos de plagas	Individuos con patógenos externos que afecte su desarrollo.	2

c) Evaluación de afectación a bienes públicos provocada por el arbolado urbano: En base a la misma metodología propuesta por López y Flores (1997), se colocó valores determinados mediante la visualización de la afectación a andares, postes y alumbrado público, según la tabla 3.

Tabla 3. Evaluación de afectaciones a bienes públicos ocasionados por el árbol

PARÁMETRO	CONSIDERACIÓN	VALOR
Afectación nula	Individuos sin ningún tipo de afectación sobre la infraestructura	1
Afectación baja	Individuos que presentan grietas en aceras con longitudes menores a 50 cm	2
Afectación media	Individuos con grietas entre 2 cm y 5 cm de ancho y longitud mayor a 50 cm que presentan hundimientos o levantamientos de andares	3
Afectación alta	Individuos que presentan rompimiento de concreto, agrietamiento y fisuras en estructuras.	4
Afectación aérea	Individuos que presentan interrupción de visión e iluminación o problemas con el servicio eléctrico.	5

Culminado el censo forestal, se procedió a crear una base de datos en Excel y una tabla de atributos con el uso de SIG como herramienta que permitió generar una base cartográfica del diagnóstico del arbolado urbano con los individuos evaluados, georreferenciados existentes en los Espacios Verdes Recreacionales Ecológicos de la ciudad del Puyo.

Con los datos una vez procesados, se generó una tabla con especies nativas y exóticas

presentes en cada sector (Avenidas, Calles, Parques y Complejos) del área de estudio. En cuanto a los parámetros dasométricos, se realizó distribución de clases de altura y clases diamétricas para facilitar el análisis de datos, obteniendo la distribución de individuos según su HT y DAP de toda el área de estudio. Se procesó estadísticamente los datos obtenidos mediante ANOVA y prueba de comparación de medias de Tukey al 95% de confiabilidad, mediante el uso del programa estadístico SPSS ver. 22.0 para las variables dasométricas HT, DAP y DC. Con respecto a los datos obtenidos de la evaluación del fuste, presencia de plagas y posibles daños del arbolado a la infraestructura antrópica, se diferenció por sectores las diferentes afectaciones con el fin de determinar el sector con mayor afectación.

3.4.2. Determinación de los parámetros estructurales del arbolado urbano y el índice verde urbano (IVU) de la parroquia

Una vez levantado el censo forestal en toda el área de estudio, se procedió a codificar cada sitio con las siglas S (sitio) y asignarle un número (del 1 al 27). Con ello se realizó un conglomerado jerárquico con las medidas de Bry Curtis, empelando una distancia de corte del 25% de similitud de abundancia de las especies para conformación de grupos.

3.4.2.1. Determinación de Índice de Valor de importancia (IVI)

Se calculó el índice de valor de importancia ecológica (IVI) de las especies, a través de la metodología de (Melo, 2003; Bascope, 2005), permitiendo realizar la comparación del peso ecológico de las especies de cada sitio.

El IVI se determinó mediante la ecuación 2:

$$\boxed{IVI = AR + DR + FR} \quad (\text{ecuación 2})$$

a) Abundancia absoluta (Aa)

Expreso el número total de individuos perteneciente a una determinada especie existente en el área de estudio.

b) Abundancia relativa (AR)

Se determinó la abundancia relativa de cada especie expresada en porcentaje, ecuación 3:

$$\boxed{AR = \frac{Aa}{AT} \times 100} \quad (\text{ecuación 3})$$

Dónde:

- Aa= Abundancia absoluta
- AT = Abundancia total

c) Dominancia absoluta (Da)

Es la suma total de las áreas basales de los individuos por especie.

d) Área basal (AB)

Se determinó el área basal utilizando la siguiente ecuación 4:

$$AB = 0.7854 \times DAP^2$$

Donde:

(ecuación 4)

- DAP =diámetro a la altura del pecho (m).

e) Dominancia Relativa (DR)

Es el valor expresado en porcentaje de la dominancia absoluta se calculó con la siguiente ecuación 5:

$$DR = \frac{Doa}{DoT} \times 100$$

Donde:

(ecuación 5)

- Doa = Dominancia absoluta de la especie
- DoT =Dominancia total.

f) Frecuencia absoluta (Fa)

Está dada por el número de unidades de registro de cada especie en las que se encuentra una especie.

g) Frecuencia relativa (FR)

Se determinó la frecuencia relativa a partir de la siguiente ecuación 6:

$$Fr = \frac{Fa}{FaT} \times 100$$

Donde:

(ecuación 6)

- Fa= Frecuencia absoluta
- FaT= Frecuencia absoluta total

Se obtuvo índices de dominancia, diversidad y riqueza de las especies usando el programa Biodiversity Profesional 2.0 y se procesó estadísticamente los datos obtenidos mediante ANOVA y prueba de comparación de medias de Tukey al 95% de confiabilidad, mediante el uso del programa estadístico SPSS ver. 22.0.

3.4.2.2. Determinación de la biomasa aérea

Para estimar la biomasa aérea se utilizó dos ecuaciones alométricas, para latifoliadas se usó la ecuación propuesta por (Chave *et al.*, 2005) aplicando la ecuación 7:

$$AGB = \rho \times \exp(-1.499 + 2.148 \ln(DBH) + 0.207 (\ln(DBH))^2 - 0.0281 (\ln(DBH))^3)$$

(ecuación 7)

Donde:

- ρ = densidad específica de la madera en g/cm^3
- DBH = todos los árboles ≥ 10 cm de diámetro a la altura del pecho
- AGB = biomasa en kg de masa seca.

Se utilizó datos de densidad específica de madera de las especies, de estudios desarrollados en el área local. En casos donde la densidad específica no estuvo disponible se utilizó la media global (ρ) para América del Sur tropical ($0,632 \text{ g/cm}^3$) (Chave *et al.*, 2014).

Y el cálculo para biomasa aérea en palmas, se usó la ecuación propuesta por Goodman (2013) (aplicada para el género *Mauritia*), aplicando la fórmula 8:

$$Y = a + bX_1$$

Donde:

(ecuación 8)

- $a = 2.4647$
- $b = 1.3777$
- $X_1 = \ln(Hm)$

3.4.2.3. Estimación indirecta del contenido de carbono en la biomasa aérea

Para la estimación indirecta del contenido de carbono en la biomasa aérea, se multiplicó la biomasa total (BT) obtenida por especie por el factor 0,5 en ausencia de información específica, en base a la metodología establecida por Brown (1982).

3.4.2.4. Cálculo del Índice Verde Urbano (IVU)

Para dar cumplimiento a este objetivo, se usó la metodología expuesta por Rueda (2011); donde se calcula la Cuantificación de la Cobertura Vegetal (CVT) y el Índice Verde Urbano (IVU).

- 1) **Cuantificación de cobertura vegetal (CVT):** Para el cálculo de este parámetro, se aplicó la siguiente fórmula (ecuación 9).

$$CVT = APC_1 + APC_2 + APC_3 + APC_n$$

(ecuación 9)

Donde:

- CVT=Cobertura vegetal total
- APC= Área proyección de copa

Para el cálculo del área de proyección de copa, se usó la formula expuesta en la ecuación 10.

$$APC = \frac{\pi}{4} X(Dc)^2$$

(ecuación 10)

Donde:

- APC = Área proyección de copa
- Dc = Diámetro promedio de copa (diámetro de copa registro del censo realizado).
- $\pi = 3.1416$

- 2) **Índice verde urbano (IVU):** Se determinó en función del espacio verde público y la población total de la parroquia según la proyección del censo INEC 2010; usando la siguiente fórmula (ecuación 11).

$$IVU = \frac{CVT(m)^2}{\# hab}$$

(ecuación 11)

Donde:

- IVU = Índice verde urbano
- CVT = Cobertura vegetal total
- # hab= Número de habitantes

Una vez obtenido el IVU, se determinó si el arbolado urbano en la ciudad del Puyo es: insuficiente, mínimo, deseable u óptimo, usando los parámetros de clasificación de la OMS (2010), los cuales establece:

a) **Índice verde urbano insuficiente:** si la cobertura vegetal se encuentra entre (0 - 8,90) m²/hab.

b) **Índice verde urbano mínimo:** si la cobertura vegetal se encuentra entre (8,91 – 10,00) m²/hab.

c) **Índice verde urbano deseable:** si la cobertura vegetal se encuentra entre (10,01 – 15,00) m²/hab.

d) **Índice verde urbano óptimo:** si la cobertura vegetal se encuentra (>15) m²/hab.

3.4.3 Diseño de un modelo técnico de silvicultura urbana, en base a resultados obtenidos y criterios técnicos, ecológicos y socioculturales

La propuesta de modelo técnico de silvicultura urbana pretende constituirse en una herramienta para la planificación, desarrollo, manejo y la renovación de la arborización de la parroquia Puyo, donde se detallan las especies, número y lugar donde plantar y como mantenerlas. Para ello, se empleó la metodología establecida por Tovar (1999), quien generó un Manual de Silvicultura Urbana para la ciudad de Bogotá, Colombia; quien estableció la interacción de tres grandes elementos:

- 1) La función de la arborización en el medio urbano.
- 2) El conocimiento de cada especie arbórea, sus exigencias y restricciones, así como los factores condicionantes o limitantes para la localización.
- 3) Función de la arborización-especie y factor condicionante

Para determinar las especies más viables que se incluirán en el modelo técnico se realizó un cuadro con valores obtenidos de los siguientes parámetros:

a) **Parámetros urbanísticos:** Se tomó en cuenta los aportes escritos en la literatura con respecto a datos ecológicos, ambientales y sociales otorgados por cada especie a ser tomada en cuenta para el modelo, creando una tabla con los parámetros y dando un valor a cada especie según su aporte (valores desde 1 a 4, donde 4 es muy significativo, 3 significativo, 2 regular, 1 no significativo).

Parámetros a evaluar:

- 1) Aporte estético, cultural y simbólico.
- 2) Aporte al bienestar físico y psicológico, a la recreación, educación y al descanso.
- 3) Atenuación o minimización de partículas: vientos, vectores, olores y ruido.
- 4) Protección de cuencas y cuerpos de agua y mejoramiento de suelos (de ser el caso).
- 5) Provisión de hábitats.

6) Nivel de captación de CO₂.

b) Selección de especies de acuerdo a grado de aclimatación y compatibilidad

respecto al área a ser ubicadas: Se estableció una tabla con valores para cada especie según el cumplimiento del parámetro establecido con valores de 0 a 3 donde: 3 es excelente, 2: muy buena, 1 buena y 0 desconocido.

Elementos o parámetros a evaluar:

- 1) Grado de aclimatación de las especies a condiciones ambientales del entorno urbano, con el fin de garantizar su supervivencia en zonas específicas de la ciudad.
 - 2) Compatibilidad de las características y requerimientos del arbolado con diferente entorno de manera tal que el árbol sea parte integral de la infraestructura urbana.
- c) Especie vs. área:** Se verificó factores que garantizarán la correcta ubicación de los árboles y el mantenimiento a través del tiempo, siendo estos:

- 1) Porte de la especie.
- 2) Altura máxima que alcanza, importante en áreas con inferencia de redes como energía y teléfono.
- 3) Rusticidad, referente a la climatización de las especies a condiciones adversas.
- 4) Tipo de raíz, lo que induce directamente en la estabilidad de las estructuras aledañas.
- 5) Tipo de crecimiento.
- 6) Procedencia (nativa o exótica).

Una vez obtenido estos parámetros, se definió las áreas o espacios donde se iniciaría con la propuesta de reforestación, se calculó el número de individuos necesarios para alcanzar los valores mínimos de IVU establecidos por la OMS y las áreas donde se plantarían.

Se trabajó en un marco lógico de la propuesta contemplando actividades y costos que incurrirían en las actividades a desarrollar.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DEL ARBOLADO URBANO

4.1.1. Censo forestal

Se registró cuatro Sitios o Espacios Verdes Recreacionales Ecológicos, distribuidos en: Avenidas, Calles, Parques y Complejos (figura 2).

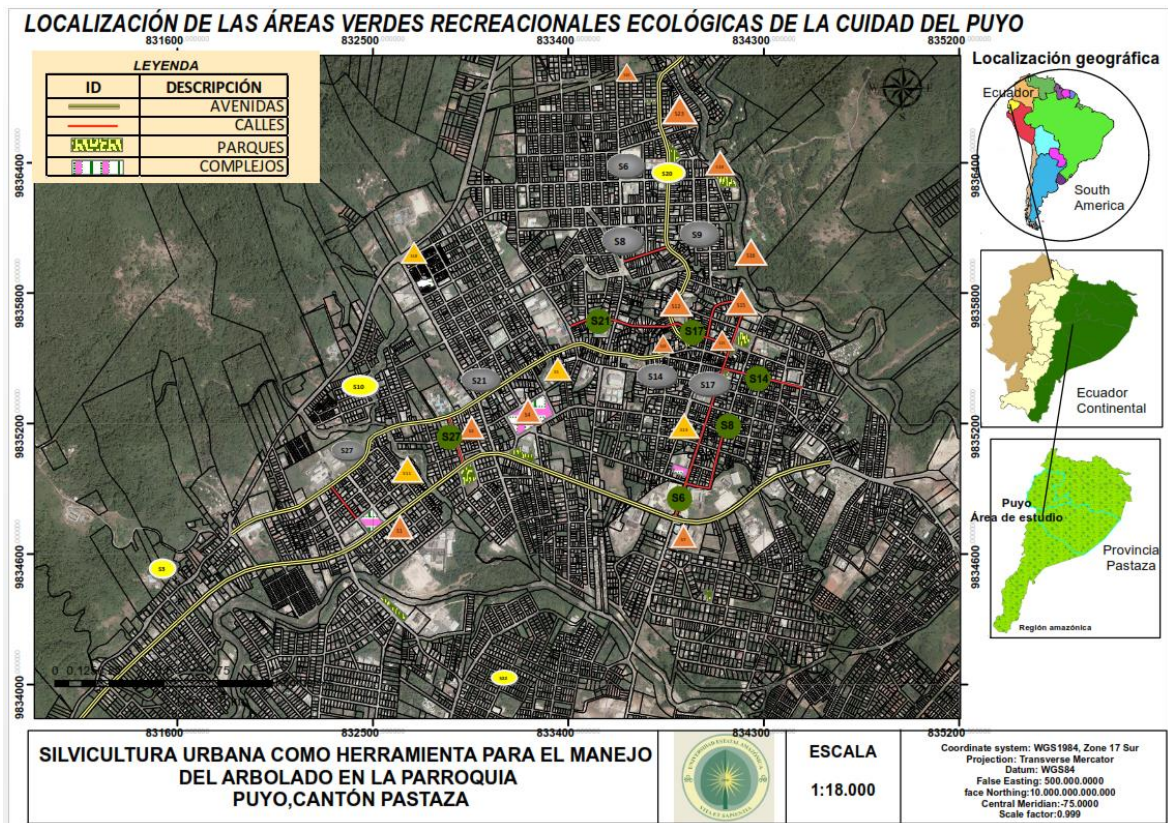


Figura 2. Mapa de distribución de los espacios verdes recreacionales ecológicos de la ciudad del Puyo (Avenidas ● (S3,S10, S20, S22), Calles ● (S6, S8, S9,S14, S17, S21, S27), ▲ Parques (S1, S2, S4,S7,S12,S15,S16,S19,S23,S24,S25,S26) y Complejos ▲ (S5,S11,S13,S18).

En el inventario realizado en los cuatro sitios antes descritos (avenidas, calles, parques y complejos) se determinó la existencia de 898 individuos, correspondientes a 53 especies, 49 géneros y 27 familias botánicas.

Las familias con mayor número de individuos fueron: *Arecaceae* con 585 individuos, seguida por la familia *Moraceae* con 141 individuos y *Myrtaceae* con 33 individuos, cabe mencionar que nueve familias están presentes en el área de estudio con un solo individuo, tal es el caso de las familias *Magnolaceae*, *Pinaceae*, *Poaceae*, *Rosaceae*, *Cannabaceae*, *Bixaceae* y *Lecythidaceae* (figura 3).

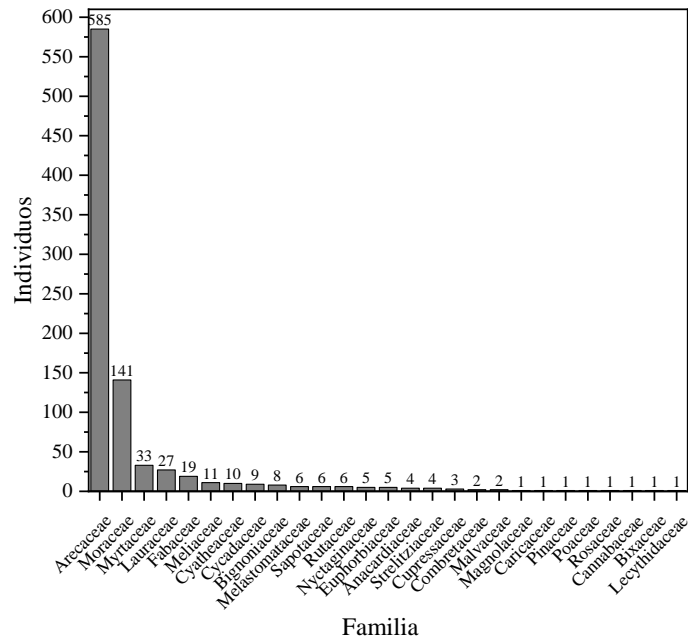


Figura 3. Presencia de individuos por familias presentes en el área de estudio.

Con respecto a la distribución de género por familia presente en el área de estudio, se obtuvo que la familia *Arecaceae* muestra mayor número de géneros (11), seguida por la familia *Fabaceae* con 5 géneros, en contraste a las familias *Rutaceae*, *Sapotaceae* y *Strelitziaceae* con un género respectivamente (figura 4).

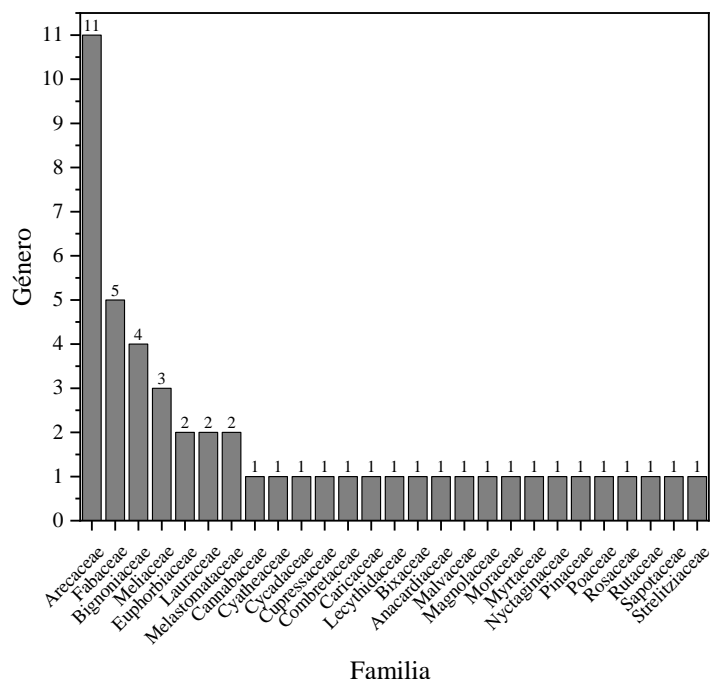


Figura 4. Géneros por familias botánicas presentes en el área de estudio.

Chulde (2019) en el estudio del plan de silvicultura urbana y peruiana en el cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura, registró 19 familias botánicas con 32 especies distribuidas en 671 individuos. Las familias más frecuentes fueron: Arecaceae, Bignoniaceae, Fabaceae, Myrtaceae, Moraceae, Oleaceae y Salicaceae.

Borgiani (2008) en su estudio levantamiento de flora urbana del barrio Jardín Brasil determinó 24 familias, 44 especies distribuidos en 510 individuos, siendo las familias más frecuentes: Arecaceae, Bignoniaceae, Fabaceae, Myrtaceae y Moraceae.

En los tres estudios, se observa las familias: Arecaceae, Bignoniaceae, Fabaceae, Myrtaceae y Moraceae con mayor número de individuos y diversidad de géneros. Entendiendo así, que estas familias presentan características estéticas atractivas para una silvicultura urbana.

4.1.2. Especies nativas y exóticas presentes en el área de estudio

En los cuatro sitios estudiados, se encontró que la mayoría de especies presentes son exóticas con más del 50% de presencia en todos los casos. En la tabla cuatro se observa el porcentaje de presencia de especies nativas y exóticas por sectores con número de individuos y el porcentaje que estos representan.

Tabla 4. Presencia de especies nativas y exóticas por sector

Sector	Procedencia especie	Número de individuos	Porcentaje (%)
Avenidas	Nativas	9	2,39
	Exóticas	368	97,61
	Sub total	377	100,00
Calles	Nativas	4	3,10
	Exóticas	127	96,90
	Sub total	131	100,00
Parques	Nativas	76	24,44
	Exóticas	201	72,56
	Sub total	277	100,00
Complejos	Nativas	47	41,60
	Exóticas	66	58,40
	Sub total	113	100,00
Total		898	100,00

En un estudio realizado por Meza (2011), en las arborizaciones urbanas públicas de los distritos de Huancayo, el Tambo y Chilca (Perú), encontró que en todos los sitios el porcentaje de especies exóticas presentes superaba en un 78% a las nativas, caso similar a lo que se observó en este estudio.

4.1.3. Parámetros dasométricos

En el presente estudio, se determinó árboles con altura (h) entre los 0,18 m hasta 14,00 m. Siendo las alturas de 1,10 m a 2,00 m las más abundantes con 398 individuos, mientras que los DAP fluctuaron entre 0,10 m como mínimo y 0,68 m máximo; y el diámetro de copa (DC) entre los 0,15 m y 4,41 m.

En los cuatro sitios censados, los individuos presentan HT, DAP y DC diferentes; en el sitio Complejos se encontraron árboles con HT medias de 7,60 m, DAP medios de 0,35 m y DC de 1,80 m; en contraste con el sitio Avenidas, donde se encontró HT medias de 3,25 m, DAP medios de 0,20 m y DC de 1,18 m.

En la figura número 5, se muestra la presencia de individuos por rangos de alturas; donde se observa que el mayor número de individuos (389) están presentes en el rango de 1,10 m a 2,00 m en contraste con el rango entre 7,10 m a 8,00 m donde solo se encuentran 3 individuos.

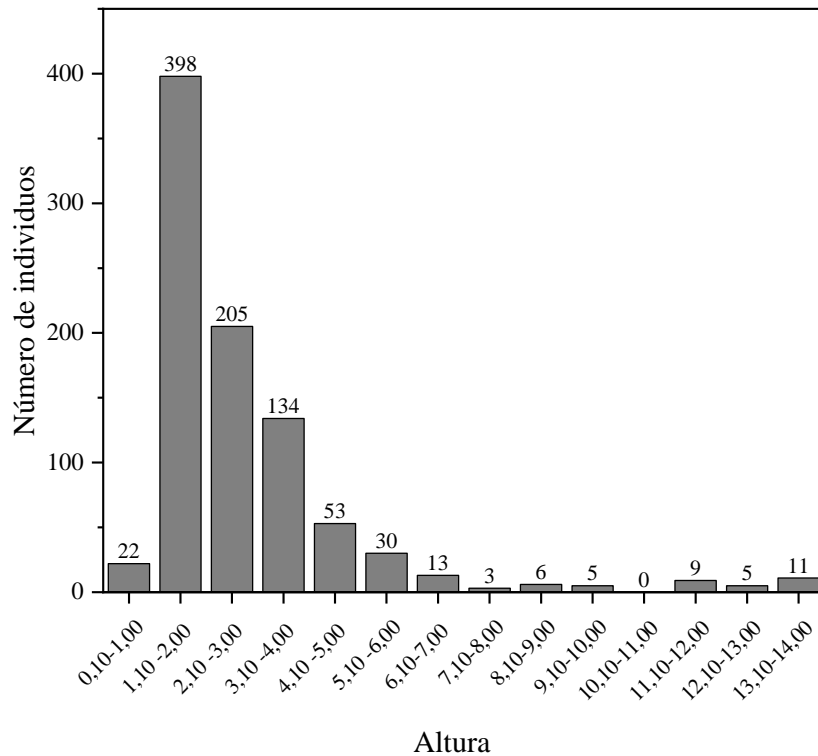


Figura 5. Número de individuos por rangos de altura presentes en el área de estudio.

En cuanto al diámetro a la altura del pecho (DAP), se obtuvo un número alto de individuos (752) que se encuentran en la clase diamétrica 0,10 m a 0,19 m y siete individuos estuvieron presentes en la clase diamétrica de 0,60 m a 0,69 m (figura 6).

En el estudio de caso de Meza (2011), determinó que los DAPs de las especies inventariadas, estaban en un intervalo de clase diamétrica de 0,10 m a 0,20 m; Ferreira (2016) en su investigación de medición e inventario de árboles urbanos en la ciudad de Antioquia (Colombia), determinó que la clase diamétrica (0,10 m - 0,20 m) con mayor número de individuos, representando el 52% del área total inventariada. Eso deriva que en los tres estudios, la mayoría de individuos son jóvenes o recién plantados/replantados u otra posibilidad es que el suelo presente en estas áreas no presenta condiciones favorables para propiciar un buen crecimiento de los árboles.

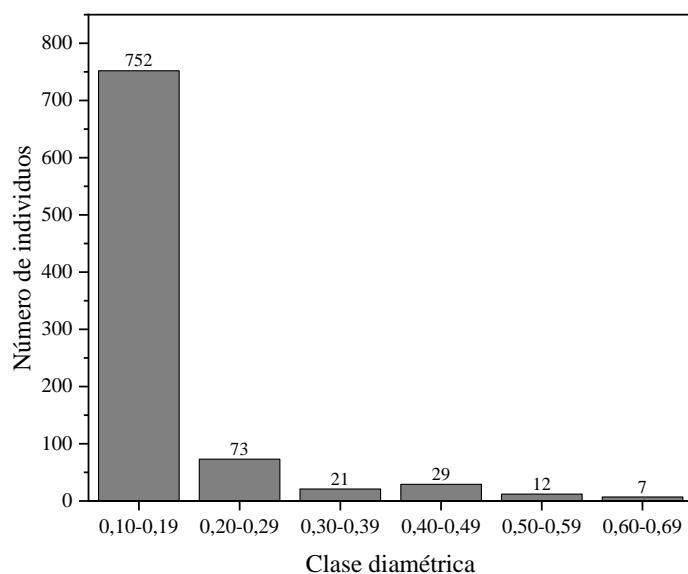


Figura 6. Número de individuos por clase diamétrica presentes en el área de estudio. Para la variable diámetro de copa (DC), se obtuvo valores desde 0,15 m hasta los 4,41 m, individuos recién podados hasta individuos con copas frondosas.

En la figura 7, se puede observar que 761 individuos están presentes en la clase de DC entre 0,15 m y 0,50 m en los sitios de Calles y Avenidas; mientras DC mayores (1,01m a 2,00 m) (2,01 m a 3,00 m) (3,01 m a 4,00 m) ($\geq 4,01$ m) se encuentran en los sitios de Parques y Complejos, con lo se infiere que el manejo silvicultural que se realiza en las avenidas y calles son diferentes a las que se hacen en parques y complejos.

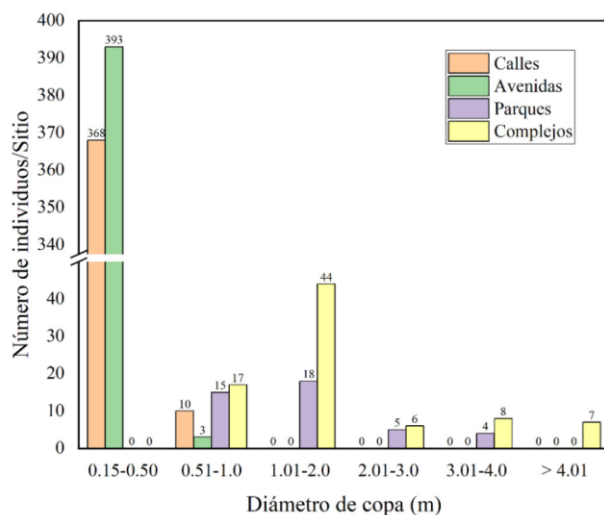


Figura 7. Número de individuos por diámetro de copa (DC) presentes en el área de estudio.

4.1.3.1. Estadísticos descriptivos de las variables dasométricas por sitios de estudios

Los parámetros estadísticos descriptivos determinados por valores mínimo, máximo,

varianza, desviación estándar y el intervalo de confianza en el límite inferior y superior para las variables dasométricas HT, DAP y DC mostraron variación en los sitios: Avenidas, Parques, Calles y Complejos del arbolado urbano (tabla 5).

Tabla 5. Estadísticos descriptivos de las variables dasométricas por sitios de estudios

Sitios	Variable	Mínimo	Máximo	Varianza	Desviación estándar	I.C	
						Límite inferior	Límite superior
Avenidas	h (m)	1,49	5,0	0,49	0,70	2,0	2,15
	DAP(cm)	10,0	30,0	0,01	0,02	0,10	0,11
	DC(m)	0,15	2,25	0,06	0,25	0,76	0,81
Calles	h(m)	0,50	5,20	1,09	1,01	2,40	2,75
	DAP(cm)	10,0	25,0	0,002	0,05	0,12	0,14
	DC(m)	0,16	1,50	0,07	0,27	0,71	0,80
Parques	h(m)	0,18	13,0	4,58	2,14	3,32	3,82
	DAP(cm)	10,0	68,0	0,015	0,12	0,16	0,19
	DC(m)	0,19	4,16	0,56	0,56	0,75	1,14
Complejos	h(m)	1,20	14,0	15,87	3,98	4,95	6,43
	DAP(cm)	10,0	55,0	0,02	0,14	0,20	0,26
	DC(m)	0,22	4.45	0,77	0,88	1,34	1,66

ANOVA (Valores medios y error estándar de las variables dasométricas por sitios)

Los resultados del ANOVA y pruebas de comparación de medias de Tukey para las variables dasométricas relacionadas con HT, DAP y DC reportaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los sitios de estudio.

Las variables HT, DAP y DC presentaron valores medios superiores en el sitio los complejos e inferiores en las Avenidas y Calles. Esto indicó que las especies que se emplean para Parques y Complejos son de mayor tamaño, mientras que las especies de Avenidas y Calles son de menor porte (tabla 6).

Tabla 6. Valores de media y error estándar para las variables TH, DAP y DC en los sitios de estudio

Sitios	Media \pm error estándar		
	HT (m)	DAP (cm)	Diámetro de copa (m)
Avenidas	2,08 \pm 0,04c	10,94 \pm 0,001c	0,75 \pm 0,01c
Calles	2,58 \pm 0,09c	13,03 \pm 0,004c	0,78 \pm 0,02c
Parques	3,57 \pm 0,13b	17,62 \pm 0,007b	1,22 \pm 0,04b
Complejos	5,69 \pm 0,38a	23,54 \pm 0,01a	1,50 \pm 0,08a

Leyenda: Letras desiguales en la columna muestran diferencias significativas para la prueba de Tukey con una $p \leq 0,05$

4.1.4. Evaluación de las condiciones físicas de los individuos presentes en el área de estudio

4.1.4.1. Evaluación de fuste

En toda el área de estudio, se determinó que la mayoría de individuos presentan buenas condiciones en su fuste. En el sitio Avenidas se obtuvo que el 93,39 % de individuos (353) presentaron un fuste sano, el 4,76% de individuos (18) presentó afectación y el 1,85% de individuos (7) estaban muertos en pie; en el sitio Calles, se obtuvo que el 93,85% de los individuos (122) estaban en buenas condiciones, el 4,65% de los individuos (6) se encontraron con afectación en el fuste y solo el 1,54% de los individuos (2) estaban muertos en pie; en el sitio Complejos, la tendencia es la misma con 94,69% de los individuos (107) que presentaron buenas condiciones en su fuste, el 4,42% de los individuos (5) tenía algún tipo de afectación y apenas el 0,88% de los individuos (1) estaba muerto en pie; no así en el sitio Parques donde la cifra de árboles infectados fue mayor que en los otros sitios con un porcentaje de afectación del 6,50% que equivale a 18 individuos, además, de tener 2,89% de los individuos (8) muertos en pie. En la figura 8 se puede observar el estado de los individuos en los cuatro sitios de estudio.

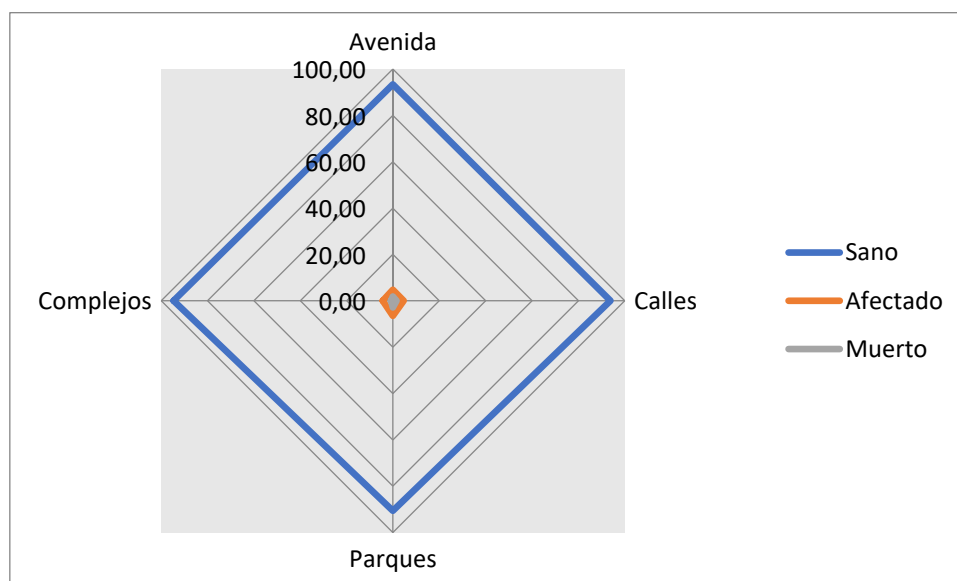


Figura 8. Estado de afectación del fuste de los individuos presentes en el área de estudio.

En el estudio realizado por Chulde (2019) en el cantón Antonio Ante (Ecuador), encontró que un 87,77% de individuos presentaban un fuste sano, el 8,20% tenía afectación y el 4,03% se encontraban muertos; en contraste con este estudio donde la tasa de mortalidad más alta corresponde al 2,89% en el sitio Parques.

La especie que presenta mayor mortalidad con cuatro individuos es *Ficus benjamina* presente en Avenidas, Calles y Parques, seguida por *Ocotea quixos* con tres árboles

muertos en diferentes espacios (Avenidas, Calles y Parques) y la especie con mayor número de afectaciones en el fuste por diferentes causas fue *Phoenix roebelenii*, con 19 individuos, distribuidos en toda el área de estudio, en contraste al estudio realizado por Borgiani (2016) en Barranquilla (Colombia) donde la mayoría de afectaciones se presentaba en la especie *Spathodea campanulata* e individuos del género Inga, por los huecos que dejan los insectos hospederos después de eclosionar como larvas.

4.1.4.2. Evaluación por patógenos

En los cuatro sitios estudiados, la presencia de plagas en los individuos, no fue representativa (figura 9), sin embargo; se puede apreciar que la especie *Phoenix roebelenii* presente mayoritariamente en el sitio Avenidas, tiene el mayor número de individuos (10) afectados por una plaga. Mientras que el sitio Calles, la especie *Ficus benjamina* presenta el mayor número (tres) de ataques por plagas, seguida por *Veitchia merrillii* con dos individuos; en el sitio Parques, dos especies presentaron un mayor número de ataque por plagas: *Phoenix roebelenii* y *Ficus benjamina* con cinco y cuatro individuos respectivamente. Con respecto al sitio Complejos solo existe una especie atacada y es *Ficus benjamina*; concluyendo que la especie *Ficus benjamina* presenta mayor número de ataques por plaga en toda el área de estudio, seguida por *Phoenix roebelenii*.

Chulde (2019), encontró en su estudio que la especie más atacada fue *Tecoma stans* y le atribuyo su ataque al insecto abejorro quien es atraído la sabia de esta especie y Borgiani (2016) encontró la mayor incidencia de ataque de plagas en el género Inga y le atribuyó el ataque a que la especie se encontraba en fructificación y sus frutos atraían a varios insectos y aves.

Como se puede apreciar en los estudios de caso nombrados, ninguno tiene semejanza con lo encontrado en esta investigación ya que las dos especies afectadas no presentan sabia ni tampoco frutos, por ello es necesario un estudio para determinar la causa de estos ataques a estas especies en particular.

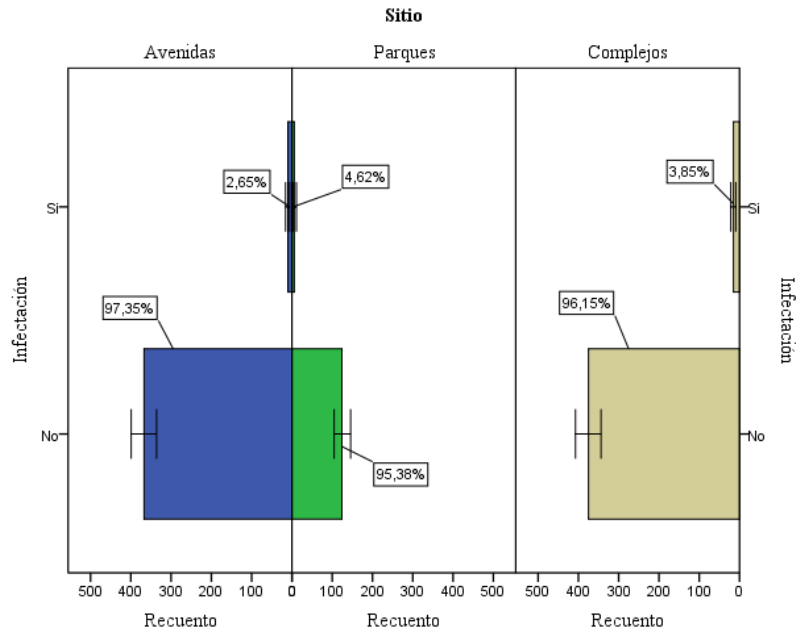


Figura 9. Presencia de plagas en los individuos del área de estudio.

4.1.4.3. Evaluación de daños causados por los árboles a la infraestructura urbana

En el área de estudio se encontró diferentes problemas derivados de una falta de planificación al momento de plantar una especie en determinado sitio, en consecuencia, la infraestructura antrópica cercana a esos individuos se ve afectada y por ende la percepción de la población hacia la presencia de los árboles en la ciudad, es negativa.

En el sitio Parques se obtuvo una afectación en todas las escalas de medición: baja con 1,44%, media con 0,36%, alta con 1,80% y afectación aérea con 2,16%, convirtiéndole en el lugar con mayor daño causado a la infraestructura de todos los sitios y en sector Complejos aunque no se presentó una afectación aérea, se aprecia que existe un número considerable de individuos que afectan a la infraestructura tanto en la escala baja, media y alta con valores de 7,08%, 1,77% y 1,77%, respectivamente (figura 10).

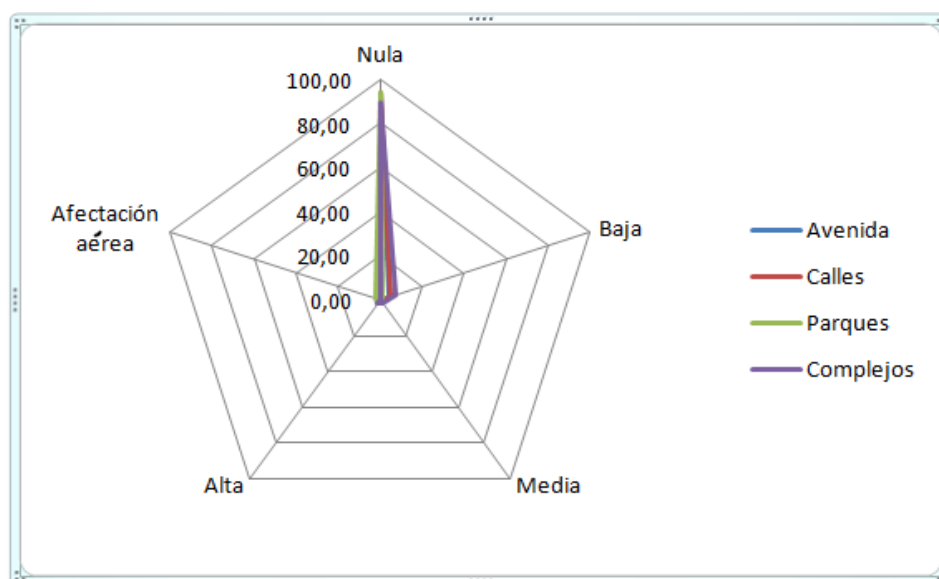


Figura 10. Daños ocasionados a la infraestructura antrópica por el arbolado urbano.

Este resultado contrasta con lo encontrado por Chulde (2019), donde registró mayor afectación en avenidas, calles y andares, con afectaciones del 15% en el grado bajo, del 2% en el grado medio, 10% en el grado alto y 3% en afectación aérea.

Las especies que presentan daños a la infraestructura son *Ficus benjamina*, *Mauritia flexuosa*, *Bismarckia nobilis* y *Ocotea quixos*.

Almeida (2010) en un estudio de caso llevado a cabo en la ciudad de Quito (Ecuador) cuantifica el 60% de especies con problemas en levantamiento de aceras y andares, con la especie *Ficus benjamina* y le atribuye el problema a la morfología de la especie y el área limitada.

Silva (2006), después de realizar un estudio en Chiclayo (Perú), registra un 30% de individuos con daños a la infraestructura, y así mismo les atribuye la causa a espacios limitados en avenidas y la morfología propia de una especie.

Este resultado, fue tomado en cuenta para la selección de especies en la propuesta técnica de repoblación.

4.1.5. Base gráfica y alfanumérica con uso de la herramienta SIG del estado actual del arbolado urbano de Puyo.

Una vez obtenidos los resultados del diagnóstico del área de estudio y con la georreferenciación de los individuos que los conforman, se procedió a la creación de una base gráfica y alfanumérica.

4.2. PARÁMETROS ESTRUCTURALES DEL ARBOLADO URBANO E ÍNDICE VERDE URBANO PARA LA PARROQUIA PUYO

4.2.1. Conglomerado jerárquico con las medidas de abundancia de especies

El conglomerado jerárquico con las medidas de Bray Curtis, empleando una distancia de corte de 25% de similitud de la abundancia de especies en los sitios de estudio reportó la formación de cuatro grupos (figura 11). El primer grupo estuvo conformado por los sitios S1, S18, S8, S9, S11, S14, S4, S13, S17, S20, S24, S26, S25, S3, S10, S22, S2, S27, S16, S12, S15, S21, S23. Este grupo corresponde a la totalidad de sitios del inventario realizado en las categorías de avenidas y calles y a la mayoría de sitios de complejos y parques caracterizados por una elevada abundancia proporcional con semejanzas entre ellos. El segundo grupo estuvo compuesto por S5, siendo un sitio que corresponde a la categoría de complejos con un total de 84 individuos. El tercer grupo estuvo conformado por S6 y el cuarto grupo por S19 y S7, estos dos últimos grupos corresponden a sitios de pequeños parques caracterizados por una baja abundancia y por la exclusividad de algunas especies del arbolado urbano. Estos resultados indicaron variación en los patrones de abundancia y composición florística, lo cual se relaciona con el estado físico de las categorías analizadas (Parques, Calles, Avenidas y Complejos).

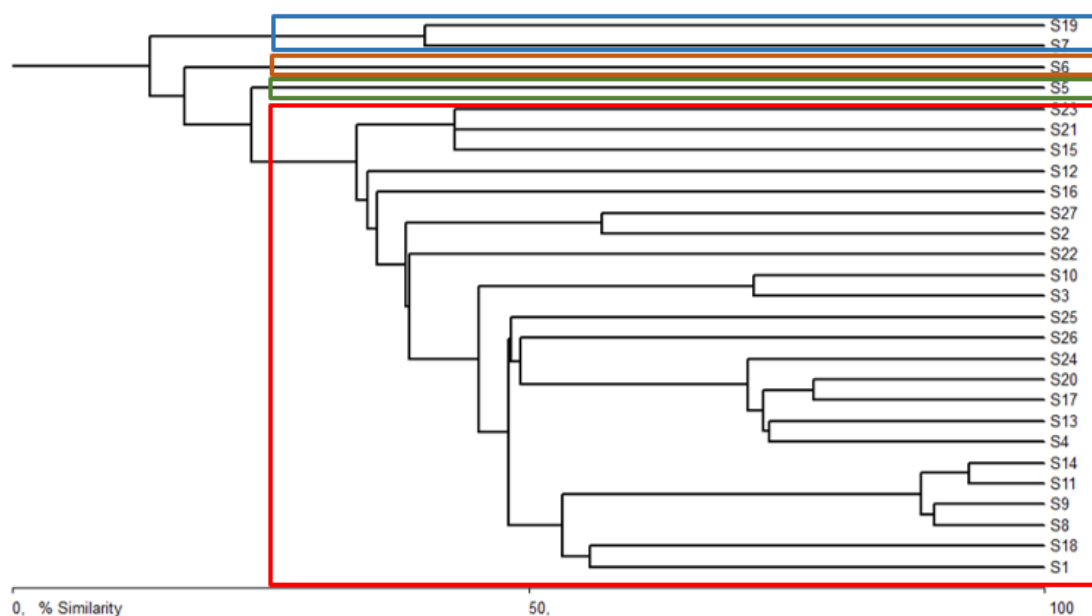


Figura 11. Conglomerado jerárquico con las medidas de Bray Curtis al 25% de similitud de la abundancia en la composición de especies en los sitios de estudio.

Useni (2019) en un estudio llevado a cabo en la ciudad de Lubumbashi (República Democrática del Congo), usando una distancia de corte de 25% de similitud de la abundancia de las especies presentes en áreas urbanas como periurbanas, reportó la formación de seis conglomerados. Un primer grupo conformado por espacios verdes urbanos leñosos donde existe presencia de árboles longevos, un segundo grupo conformado por Parques donde abunda la especie *Acacia auriculiformis*, un árbol representativo del Congo; y los cuatro restantes conformados por áreas pequeñas peruvianas, que presentan similitud al tener la presencia en un número similar de la especie *Bauhinia thonngii* que es una especie indígena popularizada como ornamental debido a sus atractivas flores blancas.

4.2.2. Índice de valor de importancia de las especies (IVI)

Las diez especies principales ocuparon el 78,37% de IVI (figura 12) de toda el área de estudio. Las especies arbóreas más importantes basadas en el IVI fueron: *Phoenix roebelenii* con 40,28%, *Ficus benjamina* con 15,17%, *Veitchia merrillii* con 7,88%, *Mauritia flexuosa* con 3,45%, *Ocotea quixos* con 3,05%, *Roystonea regia* con 2,52%, *Aphandra natalia* con 2,21%, *Dypsis lutescens* con 1,63%, *Cyathea arborea* con 1,08% y *Cycas revoluta* con 1,06%; mientras que el resto de las especies (49) solo ocuparon el 21,63 % del puntaje IVI.

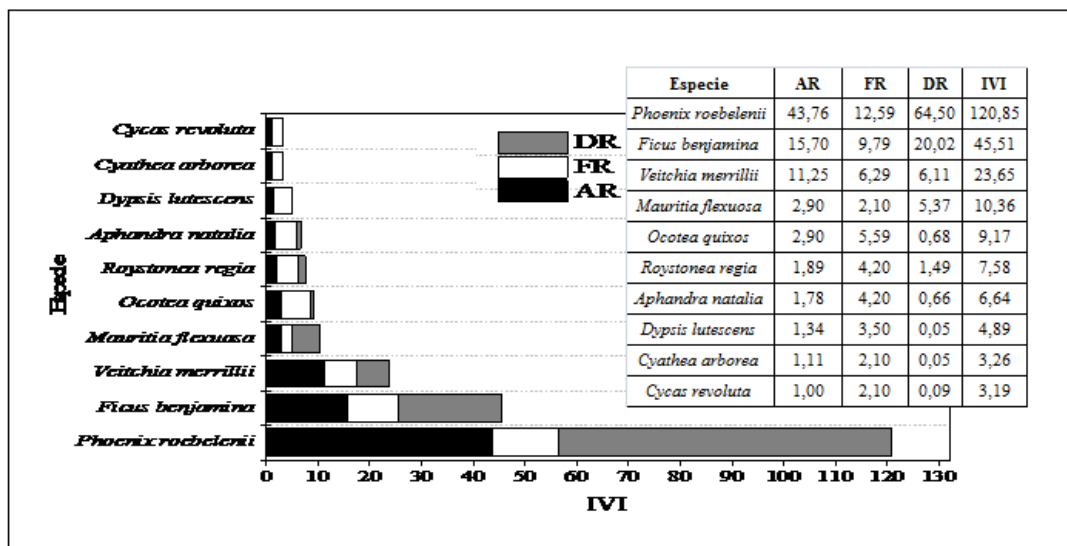


Figura 12. Índice de valor de importancia (IVI) de las diez primeras especies del área de estudio.

Muthulingam (2012), en un estudio de diversidad y riqueza de plantas leñosas en espacios verdes urbanos en la ciudad de Chennai (China), determinó las diez especies más

importantes según el IVI, entre ellas se encuentra *Ficus benjamina*, coincidiendo con el presente estudio donde esta especie ocupa el segundo lugar.

4.2.3. Índices de dominancia, diversidad y riqueza de especies

El índice de dominancia de Berger Parker reflejó diferencias significativas ($p \leq 0,05$) para el sitio Calles en relación al criterio de dominancia. Un incremento en el valor de este índice se interpreta como un aumento en la equidad (grado de igualdad en la distribución de la abundancia de las especies) y una disminución de la dominancia, mientras la diversidad medida como el inverso de la dominancia de Berger Parker (1/D) y la riqueza mediante Margalef fueron similares entre los cuatro sitios de estudio (tabla 7).

Tabla 7. Medias y error estándar de los índices de dominancia, diversidad y riqueza de especies por sitios de estudio.

Sitios	Media \pm error estándar		
	Dominancia (D)	Diversidad (1/D)	Riqueza (M)
	Berger Parker	Berger Parker	Margalef
Avenidas	0,76 \pm 0,09ab	1,39 \pm 0,17a	38,15 \pm 5,57a
Calles	0,85 \pm 0,08a	1,25 \pm 0,15a	47,30 \pm 5,51a
Parques	0,52 \pm 0,06b	2,47 \pm 0,42a	63,72 \pm 8,30a
Complejos	0,56 \pm 0,19ab	2,33 \pm 0,87a	43,30 \pm 7,03a

Leyenda: Letras desiguales en la columna muestran diferencias significativas para la prueba de Duncan con una $p \leq 0,05$.

4.2.4. Biomasa aérea y captura de carbono en el área de estudio

Se cuantificó una biomasa acumulada de 113,26 Mg para los 977,12 m² de área de estudio, siendo la especie *Ficus benjamina* con 48,45 Mg quien acumula más biomasa aérea que otras especies presentes en el área de estudio, seguida por *Phoenix roebelenii* con 10,49 Mg y *Veitchia merrillii* con 5,20 Mg.

En un estudio realizado por Santoyo (2018) sobre el contenido de carbono en el bosque urbano de la ciudad de México (México), obtuvo una biomasa acumulada de 100,47 Mg en 900 m², donde la especie más predominante fue *Fraxinus uhdei*, seguida por *Cupressus lusitánica*.

La biomasa por sectores varió en cada sitio de estudio (tabla 8), obteniendo en el sitio Parques mayor TB con 33,82 Mg, seguida por el sitio Calles con 30,22 Mg, Avenidas con 26,44 Mg y por último Complejos con 22,76 Mg.

Tabla 8. Biomasa acumulada por sectores en el área de estudio

SITIO	BIOMASA TOTAL
	TB(Mg)
Avenidas	26,4422
Calles	30,2239
Parques	33,8288
Complejos	22,7653
TOTAL	113,2601

4.2.5. Distribución de especies arbóreas y su contribución a la biomasa acumulada

El modelo ecológico determinado mediante el análisis de correspondencia canónica sin tendencia (DCA) describió la distribución de las especies arbóreas y su contribución a la biomasa aérea acumulada en los cuatro sitios de estudio (tabla 9), el cual resultó con una alta correlación entre los sitios y la biomasa acumulada por las especies. El segundo eje fue capaz de explicar el 90,15% de la varianza total con una longitud del gradiente de 0,380, por lo que el método lineal no fue apropiado (Lepš, 2014).

Tabla 9. Análisis de correspondencia canónica sin tendencia (DCA)

Método DCA	Valores		
Varianza total	97,266		
Tabla de resumen			
Estadística	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Valores propios	0,4958	0,4057	0,0985
Varianza explicada (acumulativa)	49,58	90,15	100,00
Longitud del gradiente	0,798	0,380	0,466

Se comprobó mediante la distribución espacial que los 27 sectores representados en los cuatro sitios del área de estudio, presentaron tendencias a distanciarse en cuanto a la acumulación de biomasa, siendo el sector Parques el de mayor distancia. En cambio, las especies que conforman el sitio Avenidas se encuentran agrupadas con una distancia muy cercana entre ellas y mostraron cierta similitud con sitio Calles (figura 13).

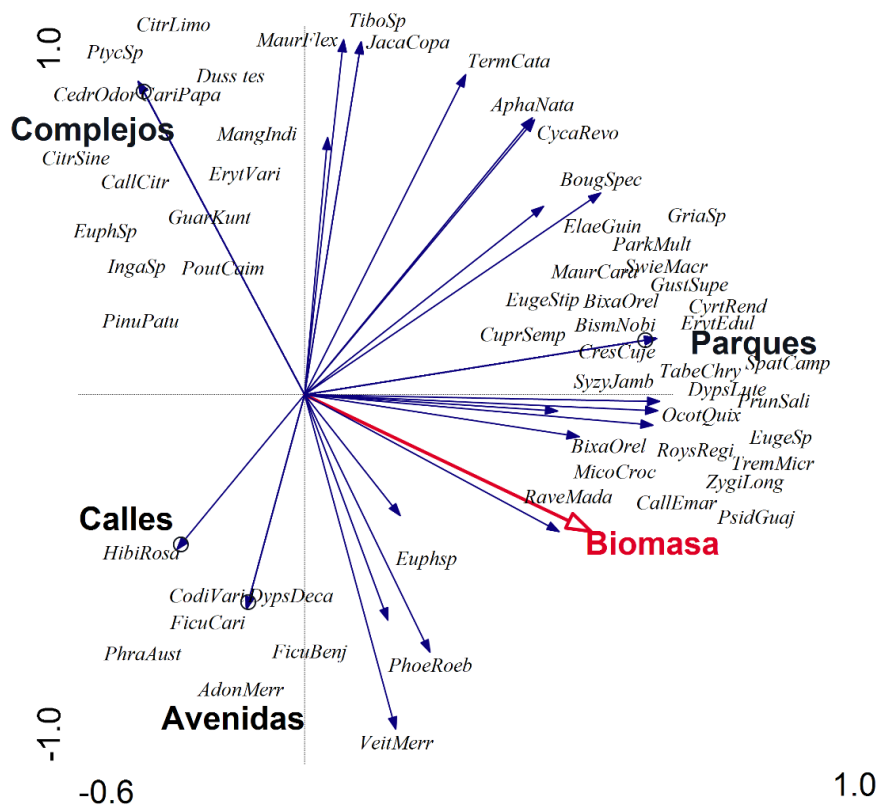


Figura 13. Ordenación espacial de los sitios y acumulación de biomasa por especie

Leyenda Parques: (*Apha nata*) *Aphandra natalia*, (*Bism nobi*) *Bismarckia nobilis*, (*Bixa orellana*) *Bixa Orellana*, (*Boug spec*) *Bougainvilllea spectabilis*, (*Call emar*) *Calliandra emarginata*, (*Cres cuje*) *Crescentia cujete*, (*Cupr semp*) *Cupressus sempervirens*, (*Cyat arbo*) *Cycas revoluta*, (*Cyrt rend*) *Cyrtostachys renda*, (*Dyps lute*) *Dyopsis lutescens*, (*Elae guin*) *Elaeis guineensis*, (*Eryt edul*) *Erythrina variegata*, (*Euge sp*) *Eugenia sp*, (*Euge stip*) *Eugenia stipitata*, (*Ficu benj*) *Ficus benjamina*, (*Gria sp*) *Grias sp*, (*Gust supe*) *Gustavia superba*, (*Jaca copa*) *Jacaranda copaia*, (*Mang indi*) *Mangifera indica*, (*Maur flex*) *Mauritia flexuosa*, (*Maur cara*) *Mauritia carana*, (*Mico croc*) *Miconia crocea*, (*Ocot quix*) *Ocotea quixos*, (*Park mult*) *Parkia multijuga*, (*Phoe roeb*) *Phoenix roebelenii*, (*Prun Sali*) *Prunus salicifolia*, (*Psid guaj*) *Psidium guajava*, (*Rave nada*) *Ravenala madagascariensis*, (*Roys regi*) *Roystonea regia*, (*Spat camp*) *Spathodea campanulata*, (*Syzy jamb*) *Syzygium jambos*, (*Swie macr*) *Swietenia macrophylla*, (*Term cata*) *Terminalia catappa*, (*Tabe chry*) *Tabebuia chrysantha*, (*Tibo sp*) *Tibouchina sp*, (*Trem micr*) *Trema micrantha*, (*Veit merr*) *Veitchia merrillii*, (*Zygi long*) *Zygia longifolia*.

Leyenda Complejos: (*Apha nata*) *Aphandra natalia*, (*Boug spec*) *Bougainvilllea spectabilis*, (*Call citr*) *Callistemon citrinus*, (*Cari papa*) *Carica papaya*, (*Cedr odor*) *Cedrela odorata*, (*Citr limo*) *Citrus limonia*, (*Citr sine*) *Citrus sinensis*, (*Cyat arbo*) *Cycas revoluta*, (*Dyps lute*) *Dyopsis lutescens*, (*Elae guin*) *Elaeis guineensis*, (*Eryt edul*) *Erythrina variegata*, (*Euge sp*) *Eugenia sp*, (*Euge stip*) *Eugenia stipitata*, (*Ficu benj*) *Ficus benjamina*, (*Guar kunt*) *Guarea kunthiana*, (*Mang indi*) *Mangifera indica*, (*Maur flex*) *Mauritia flexuosa*, (*Ocot quix*) *Ocotea quixos*, (*Pout caim*) *Pouteria caimito*, (*Phoe roeb*) *Phoenix roebelenii*, (*Pinu patu*) *Pinus patula*, (*Ptyc sp*) *Ptychosperma sp*, (*Term cata*) *Terminalia catappa*, (*Tibo sp*) *Tibouchina sp*, (*Veit merr*) *Veitchia merrillii*.

Leyenda Avenidas: (*Adon merr*) *Adonidia merrillii*, (*Call emar*) *Calliandra emarginata*, (*Codi vari*) *Codiaeum variegatum*, (*Dyps deca*) *Dyopsis decanis*, (*Ficu benj*) *Ficus benjamina*, (*Ficu cari*) *Ficus carica*, (*Mang indi*) *Mangifera indica*, (*Ocot quix*) *Ocotea quixos*, (*Phoe roeb*) *Phoenix roebelenii*, (*Phra aust*) *Phragmites australis*, (*Roys regi*) *Roystonea regia*, (*Syzy jamb*) *Syzygium jambos*, (*Veit merr*) *Veitchia merrillii*.

Leyenda Calles: (*Euph sp*) *Euphorbia sp*, (*Ficu benj*) *Ficus benjamina*, (*Hibi rosa*) *Hibiscus rosa-sinensis*, (*Mico croc*) *Miconia crocea*, (*Ocot quix*) *Ocotea quixos*, (*Phoe roeb*) *Phoenix roebelenii*, (*Veit merr*) *Veitchia merrillii*.

En la figura 14 se puede observar la distribución del número de especies por sitio, donde el sitio Parques presenta la mayor abundancia de especie (círculo de mayor tamaño) y el sitio Avenidas con el menor número de especies (circula menor).

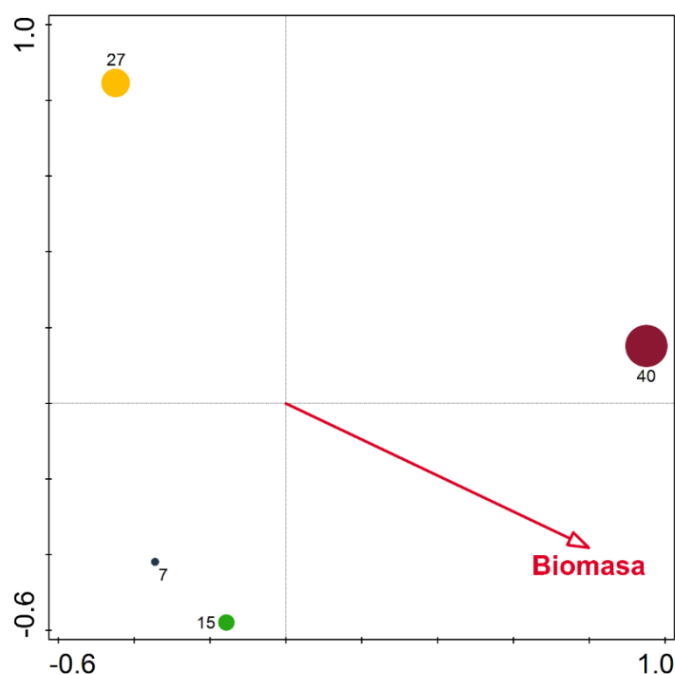


Figura 14. Distribución del número de especies por sitios (un aumento del tamaño de los círculos indica mayor cantidad de especies)

4.2.6. CONTENIDO DE CARBONO ACUMULADO POR SITIO

La acumulación de carbono en el área de estudio fue de 56,6301 Mg; obteniendo en el sitio Parques la mayor acumulación con 16,9144 Mg y la menor acumulación de carbono en el sitio Complejos con 11,3827 Mg (tabla 10).

Tabla 10. Contenido de carbono acumulado por sitio de estudio

SITIO	CONTENIDO DE CARBONO
	CTB (Mg)
Avenidas	13,2211
Calles	15,1119
Parques	16,9144
Complejos	11,3827
TOTAL	56,6301

4.2.7. Determinación del índice verde urbano del cantón

Se terminó una cobertura arbórea de 977,12 m² equivalente a 0,0195 m² por habitante; lo cual implica una frecuencia en áreas verdes de 0,002 m²/m². Según los parámetros establecidos por la OMS, el IVU es insuficiente, por lo tanto, se necesita llevar a cabo un programa de reforestación urbana aplicando un modelo técnico silvicultural. Cabe mencionar que el cálculo se realizó en base al dato de número de habitantes para la

parroquia Puyo presentado dentro del PDOT 2020-2025.

Mena (2011) en un estudio en la ciudad de Parrales (Chile), cuantificó una cobertura forestal de 127,20 m² equivalente a 4,82 m²/hab.

Cabellos (1998) menciona que ciudades como Valparaiso, Antofagasta y Vallenar (Argentina) presentan un déficit muy alto de áreas verdes, puesto que dispone solo de 0,60 m², 1,20 m² y 1,5 m² por habitante, y Chulde (2019), en su estudio determinó una cobertura arbórea de 51.284,41 m² equivalente a 0,84 m² por habitante; lo cual implicó una frecuencia de áreas verdes de 0,001m²/m², valor muy inferior a los establecidos por la OMS.

4.3. PROPUESTA DE ARBOLADO URBANO EN LA CIUDAD DE PUYO

4.3.1. Presentación

La presente propuesta de arbolado urbano en la ciudad de Puyo, abarca los Espacios Verdes Recreacionales Ecológicos previo al diagnóstico y estudio de parámetros ecológicos estructurales y el cálculo del índice verde urbano para la ciudad (figura 15).

Según Reyes (2009) señala que el arbolado a nivel de barrios segregados por problemas socioeconómicos es un aporte significativo a la construcción social y a la calidad de vida; es una herramienta de dignificación espacial y de democratización del jardín. Determinando la necesidad y la urgencia de mejorar los espacios, a través de la incorporación de especies forestales, palmas y especies arbustivas, que tenga el fin principalmente de mejorar el ornato, belleza escénica y paisajística de la ciudad, contribuyendo a mejorar el autoestima de los ciudadanos, su salud mental y emocional, así como de generar beneficios ambientales como reducción del impacto de la radiación solar, reducción de escorrentías y reducción de la contaminación atmosférica principalmente.



Figura 15. Representación cartográfica de la ciudad de Puyo y propuesta de arbolado urbano. Es importante señalar que, de acuerdo al censo total realizado en estos espacios públicos, existen especies forestales, palmas y especies arbustivas que erróneamente fueron seleccionadas para ocupar parte de los espacios, destinados a la jardinería en calles y avenidas de la ciudad, existiendo además poca actividad silvicultural en torno al manejo del arbolado actual de estos espacios públicos.

De acuerdo a la localización de la ciudad de Puyo, tomando en cuenta datos pluviométricos, altitudinales, temperatura y clima, se identificó y se propuso de manera técnica una lista de especies que podrían ser utilizadas en el arbolado urbano de la ciudad del Puyo, proponiendo además que se emplee principalmente el uso de especies nativas para este proyecto, ya que actualmente en su mayoría los espacios públicos municipales son ocupados por especies exóticas.

4.3.2. Parte I: La importancia del arbolado vs situación real ciudad de Puyo

Los individuos forestales empleados en el Arbolado urbano, tienen la capacidad de transformar el paisaje de la ciudad, al aportar beneficios ambientales, estéticos, socio-culturales y económicos (Grau, 2012). No obstante, esto, la incorporación del arbolado, se ha enfocado generalmente como algo accesorio o meramente de ornato y no como parte de la infraestructura de la ciudad (Reyes, 2009); que como tal requiere racionalidad en su

diseño y proyección, y tecnología adecuada en su plantación y mantenimiento.

De los 898 individuos registrados en los espacios verdes recreacionales ecológicos públicos de la ciudad del Puyo; 762 individuos son de procedencia exóticas y 136 individuos de procedencia nativas.

Si bien la incorporación de palmas, árboles y especies arbustivas exóticas aportan en el arbolado urbano de la ciudad una belleza escénica, es importante considerar el uso de especies nativas de similares características fenotípicas, que aporten una identidad cultural a la ciudad, como el caso de las palmas de la Amazonía Ecuatoriana, que llegan a un número aproximado de 73 especies, según el libro de “Palmas ecuatorianas, biología y uso sostenible” publicado por el MAE en el año 2012.

El criterio técnico en la selección de especies y una correcta planificación y gestión del recurso arbóreo dentro de la ciudad del Puyo, debe ser planteada como una política a largo plazo, dentro del marco legal correspondiente, amparadas bajo una ordenanza que fomente el arbolado urbano en espacios públicos municipales, donde se defina criterios de diseño y selección de especies que tengan en cuenta las condiciones del sitio, tanto ambientales como urbanas, y desarrollar tecnologías adecuadas, para potenciar los beneficios y minimizar los conflictos de espacio y ordenamiento dentro la ciudad.

El actualizar periódicamente el censo forestal, en donde se registran las especies arbóreas, arbustivas o palmas, su ubicación y estado, es una herramienta fundamental para la elaboración de propuestas futuras a medida que la ciudad se expanda y su población aumente.

4.3.2.1 Los árboles en la ciudad

Los árboles son elementos prodigiosos de diseño, tanto por la posibilidad de reiteración como de variación, que otorga siempre un carácter de unidad por ser un elemento orgánico contrastante con la fase inorgánica de la arquitectura construida. En espacios efectivos de plantación relativamente reducidos produce un volumen vegetal de alto impacto en la calidad visual como en la confortabilidad micro ambiental del espacio público (Benassi, 2004).

Esta cualidad puede ser utilizada para dar identidad a un sector de la ciudad, y el incluir a especies nativas en el arbolado urbano, puede convertir un espacio desolado y lleno de infraestructura antrópica por un ambiente más acogedor y confortable que de características especiales a ciertos barrios, calles, avenidas, complejos deportivos y todos los espacios públicos de la ciudad con algún tipo de arbolado particular.

1) Beneficios ambientales

• Regulación de temperatura

La vegetación en general, y los árboles en particular, regulan la temperatura del aire en los ambientes urbanos mediante el control de la radiación solar. Las hojas de los árboles interceptan, reflejan, absorben y transmiten la radiación solar (Steenberg et al., 2015).

Su efectividad depende, principalmente, de la densidad del follaje de la especie, la forma y tamaño de las hojas, y el patrón de distribución de las ramas. Los árboles de hojas perennes son los más adecuados para regular la temperatura en zonas urbanas, ya que durante todo el año conservan su follaje, de igual forma el uso de palmas con hojas largas y frondosas contribuyen a la regulación de temperatura bajo sus ramas (figura 16).



Figura 16. Parque central de Puyo, en la fotografía se observa la especie de *Roystonea regia* (palma botella) protegiendo con sus grandes hojas el efecto de la radiación solar, sobre las personas.

El sombreado reduce el calentamiento de edificios, pavimentos y vehículos, lo que resulta en la mejora en el confort de las personas y también tiene un impacto significativo en el ahorro de energía en la refrigeración de casas, edificios y vehículos; efecto se refleja, a su vez, en el mediano y largo plazo, incrementando la vida útil y reduciendo los costos de reparación y mantenimiento del pavimento. Como se puede ver en la figura 17, actualmente existen calles desprovistas de arbolado urbano en la ciudad del Puyo.



Figura 17. Ciudad del Puyo, calle General Villamil, sin presencia de Arbolado existiendo exposición directa de la radiación solar sobre, asfalto, veredas, vehículos y personas.

- **Captación de partículas y absorción de gases contaminantes**

Los árboles tienen la capacidad de captar grandes cantidades de micropartículas (polvo, polen, humo, ceniza) y de absorber gases contaminantes como el ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono de la atmósfera. A su vez, a través de la fotosíntesis las hojas absorben CO₂ y simultáneamente liberan oxígeno.

Por varios arreglos en avenidas y calles de la ciudad, existen avenidas donde se han retirado el arbolado urbano o existen árboles muertos en pie (figura 18).



Figura 18. Avenida Alberto Zambrano de la ciudad de Puyo, con poca presencia de arbolado urbano

- **Reducción del ruido**

El arbolado urbano cumple en este sentido un rol moderado, pero no por eso despreciable, dado que para un buen abatimiento de la contaminación sonora es necesario la disposición de barreras densas de árboles y arbustos cerca de la fuente del sonido (Benassi, 2004).

No obstante, en las obras nuevas o en proceso de construcción en la ciudad del Puyo, no se observa la presencia de árboles (figura 19 a y b).



Figura 19 a y b: Estadio municipal Victor Hugo Georgis y la construcción de la concha acústica en el malecón Boayacu, de la ciudad de Puyo, lugares destinados a la celebración de conciertos y eventos musicales, con poca o nada presencia de arbolado urbano.

- **Hábitat para la fauna silvestre urbana**

El arbolado dentro de la ciudad es una fuente de recursos y refugio para la fauna silvestre urbana. La presencia de fauna, y especialmente las aves mejoran la calidad del espacio urbano, le agregan color, movimiento y sonido al paisaje (Gauthier, 2016).

En pocos espacios de la ciudad del Puyo se aprecia una trama de corredores biológicos, que conectan diferentes áreas verdes de la ciudad y facilitan el movimiento de la fauna local en el entorno urbano (figura 20).



Figura 20. Arbolado urbano en el parque acuático Morete Puyo, de la ciudad de Puyo, con presencia de palmas de Morete, cuyos frutos son comestibles para aves y roedores.

2) **Beneficios sociales**

Las modificaciones en el ambiente y el paisaje urbano que producen los árboles mejoran las condiciones de habitabilidad de la ciudad, al hacer las calles más confortables y amenas para ser transitadas. Los árboles actúan como filtros naturales que disminuyen parte de la contaminación del aire y a su vez pueden actuar como una pantalla que reduce la incidencia de los rayos ultravioleta, responsables de muchos trastornos de la salud como cataratas, irritaciones o cáncer de piel (Canales, 2002).

Existen dos áreas o espacios de la ciudad que generan este bienestar (figura 21).



Figura 21. Arbolado urbano en el malecón del barrio Obrero de la ciudad de Puyo, este adecuado espacio genera en los ciudadanos sentimientos de tranquilidad, confort y relajación.

4.3.3. Segunda parte: Propuesta

4.3.3.1. Estrategias y metas.

Para lograr la visión de un bosque urbano saludable y flexible, se debe crear mejores entornos urbanos para la sociedad. Se constituyen en un marco de gobernabilidad liderado por el GAD Municipal del cantón Pastaza, el cual permite consolidar los planes y las decisiones que influyen en el desarrollo.

a) Estrategia 1: Incrementar el arbolado urbano a través de una repoblación forestal con especies nativas

Meta: Al 2030 la Cobertura Verde Urbana de la parroquia Puyo, pasará de un IVU 0,0195 m²/hab a un indicador de 8,91m²/hab (índice verde urbano mínimo determinado por la OMS en el año 2010). La reforestación se realizará con 24 especies nativas (árboles, arbustos y palmas), 35.500 individuos en 21 sitios o áreas que forman parte de los Espacios Verdes Recreacionales Ecológicos de la ciudad del Puyo.

b) Estrategia 2: Orientar a un adecuado manejo del arbolado urbano

Meta: Al 2030 el arbolado urbano no presentará problemas con la infraestructura antrópica de la ciudad y sus árboles estarán manejados de una manera correcta.

4.3.3.2. Objetivos

- **General**

Renovar el patrimonio forestal urbano a través del incremento de especies nativas y actividades de manejo del arbolado urbano en la parroquia Puyo, cantón y provincia de Pastaza. Mejorar

- **Específicos**

- 1) Proponer la plantación de especies nativas en los Espacios Verdes Recreacionales Ecológicos de la ciudad del Puyo.
- 2) Orientar la ejecución de actividades de manejo del arbolado urbano.

4.3.3.3. Indicadores, medios de verificación y supuestos

En la tabla 11, se puede observar la matriz de marco lógico con el desarrollo de los objetivos, indicadores, medios de verificación y supuestos.

Tabla 11. Matriz marco lógico

	Indicadores	Medios de verificación	de	Supuestos
Objetivo general				
Renovar el patrimonio forestal urbano a través del incremento de especies nativas y actividades de manejo del arbolado urbano en la parroquia Puyo, cantón y provincia de Pastaza.	Al menos el 98% de la cobertura urbano arbórea, es nativa y su manejo es el adecuado	Informes		
Objetivos específicos				
1. Proponer la plantación de especies nativas en los espacios verdes recreacionales ecológicos de la ciudad del Puyo.	Al menos el 98% de las nuevas especies plantadas, son nativas	Informes de avance		El GAD Municipal produce plantas nativas de calidad y en cantidad, en el vivero que mantienen bajo su responsabilidad.
2. Orientar la ejecución de actividades de manejo del arbolado urbano	El 90 % de los trabajadores de los espacios verdes recreacionales ecológicos de la ciudad del Puyo, tienen conocimiento silvícola en el manejo del arbolado urbano	Informes, lista de participantes de las capacitaciones y fotografías		El GAD Municipal crea un fondo para capacitación en manejo silvícola y cuenta con las herramientas adecuadas para las labores silvícolas
Resultados				
1.1 Plantaciones de especies nativas en calles, avenidas, parques y complejos, que adornan el paisaje y armonizan el ambiente	Al menos el 98% de los sitios (parques, avenidas, calles y complejos) cuentan con árboles nativos estratégicamente plantados	Informes, fotografías		Aumento de la cobertura verde arbórea
2.1 Capacitación en actividades de manejo silvicultural al personal del GAD municipal.	Se ha realizado al menos 5 capacitaciones en un año	Informes, lista de participantes de las capacitaciones y fotografías		Presupuesto asignado, gastado según la planificación

4.3.3.4. Alcance

Se identificó 21 sitios o áreas para la implementación de la propuesta de arbolado urbano, bajo dos escenarios:

1) Se identificó cuatro sitios donde se propone cambiar la cobertura actual por la plantación de 12 especies nativas (tres por sitio), distribuida estratégicamente según las condiciones de las áreas y las características de las especies.

- **Sector 1**

Comprende la Avenida Alberto Zambrano desde el ingreso a la ciudad del Puyo (redondel del balsero) hasta inicio de Ruta Panamericana.

- **Sector 2**

La calle 4 de Julio, desde la intersección con la calle Bolívar hasta la intersección con el paso lateral.

- **Sector 3**

Parque municipal, ubicado entre las calles Francisco de Orellana y 9 de Octubre.

- **Sector 4**
Complejo Morete Puyo, ubicado entre las calles Teniente Hugo Ortiz y Cacique Palate.
- 2) Se identificaron 17 áreas donde actualmente se encuentran desprovistos de arbolado urbano y donde se propone realizar la reforestación con las 24 especies nativas diferentes, distribuida estratégicamente según las condiciones de las áreas y las características de las especies:
- **Sector 5**
Paso lateral (Ingreso a la ciudad del Puyo hasta Universidad Estatal Amazónica).
 - **Sector 6**
Avenida Ceslao Marín
 - **Sector 7**
Avenida Tarqui
 - **Sector 8**
Avenida Gonzales Suarez
 - **Sector 9**
Avenida Francisco de Orellana
 - **Sector 10**
Calle 9 de Octubre
 - **Sector 11**
Calle Loja
 - **Sector 12**
Calle 4 de Enero
 - **Sector 13**
Calle s/n (recién abierta por ampliación del Paseo Turístico)
 - **Sector 14**
Calle Esmeraldas
 - **Sector 15**
Calle Pambay
 - **Sector 16**
Calle Atahualpa
 - **Sector 17**
Calle Cerro Sumaco

- **Sector 18**
Ingreso al estadio Víctor Hugo Georgis
- **Sector 19**
Calle Fray Sadoc Valladares
- **Sector 20**
Calle Medardo Silva
- **Sector 21**
Calle Cotopaxi

A continuación, en la figura 21, se observa los sitios de la propuesta de arbolado urbano para la ciudad del Puyo.

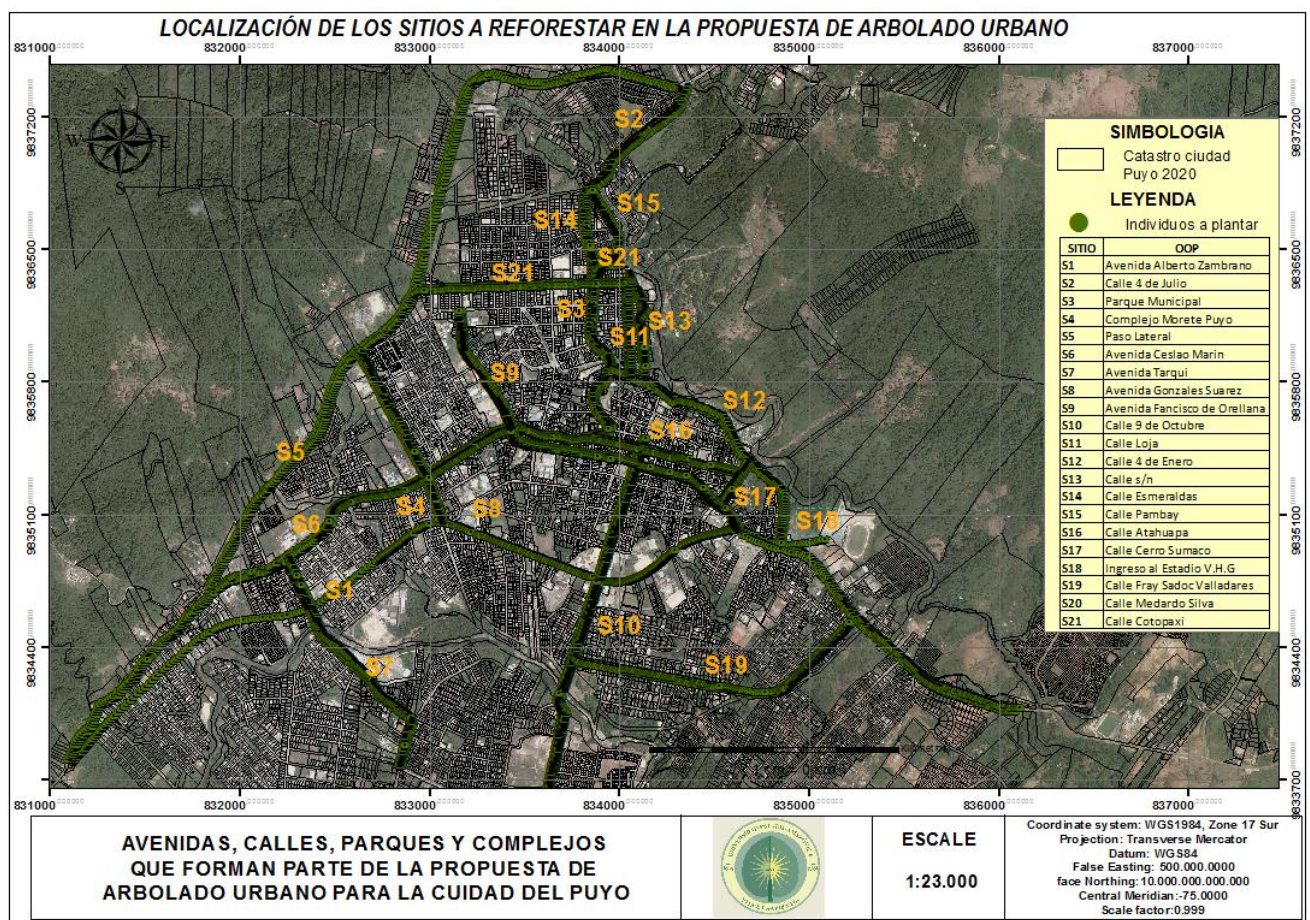


Figura 21. Sitios seleccionados para la propuesta de arbolado urbano para la ciudad del Puyo

4.3.3.5. Actividades

a) Selección de especies para la propuesta de arbolado urbano en la ciudad de Puyo

Se determinó 24 especies nativas para la propuesta de reforestación de arbolado urbano, entre ellas árboles, arbustos y palmas.

En la tabla 12 se observa las especies arbóreas a considerar en la propuesta de reforestación producto de la obtención de los mayores puntajes de selección de especies.

Tabla 12. Lista de especies arbóreas a considerar para la repoblación en el arbolado urbano

Número	Nombre común	Familia	Especie
1	Canela	Lauraceae	<i>Ocotea quixos</i>
2	Guayacán	Bignoniaceae	<i>Tabebuia chrysantha</i>
3	Porotón	Fabaceae	<i>Erythrina poeppigiana</i>
4	Jacaranda	Bignoniaceae	<i>Jacaranda copaia</i>
5	Pachaco	Fabaceae	<i>Schizolobium parahyba</i>
6	Pitón	Lecythidaceae	<i>Grias neuberthii</i>
7	Fernán Sánchez	Polygonaceae	<i>Triplaris cumingiana</i>
8	Tamburo	Vochysiaceae	<i>Vochysia ferruginea</i>

En la figura 22 se observa las especies de árboles descritas en la tabla 11, en su etapa de floración y fructificación.



Figura 22. Especies arbóreas (1- *Ocotea quixos*, 2- *Tabebuia chrysantha*, 3- *Erythrina poeppigiana*, 4- *Jacaranda copaia*, 5- *Schizolobium parahyba*, 6- *Grias neuberthii*, 7- *Triplaris cumingiana* y 8- *Vochysia ferruginea*).

En la tabla 13 se observa las especies arbustivas a considerar en la propuesta de reforestación producto de la obtención de los mayores puntajes de selección de especies.

Tabla 13. Lista de especies arbustivas a considerar para la repoblación en el arbolado urbano

Número	Nombre común	Familia	Especie
9	Pilche	Bignoniaceae	<i>Crescentia cujete</i>
10	Madroño	Clusiaceae	<i>Garcinia madruno</i>
11	Caballero de la noche	Solanaceae	<i>Cestrum nocturnum</i>
12	Heliconia	Heliconiaceae	<i>Heliconia subulata</i>
13	Platanillo	Heliconiaceae	<i>Heliconia collinsiana</i>
14	Flor de mayo	Melastomataceae	<i>Tibouchina sp.</i>
15	Tabacón	Ochnaceae	<i>Cespedesia spathulata</i>
16	Paja toquilla	Cyclanthaceae	<i>Carludovica palmata</i>

En la figura 23 se observa las especies arbustivas descritas en la tabla 12 en su etapa de floración y fructificación.



Figura 23. Especies arbustivas (9- *Crescentia cujete*, 10- *Garcinia madruno*, 11- *Cestrum nocturnum*, 12- *Heliconia subulata*, 13 *Heliconia collinsiana*, 14- *Tibouchina sp*, 15- *Cespedesia spathulata* y 16- *Carludovica palmata*).

En la tabla 14 se observa las especies de palmas y helechos a considerar en la propuesta de reforestación producto de la obtención de los mayores puntajes de selección de especies.

Tabla 14. Lista de palmas y helechos a considerar para la repoblación en el arbolado urbano

Número	Nombre común	Familia	Especie
17	Ungurahua	Arecaceae	<i>Oenocarpus bataua</i>
18	Pambil	Arecaceae	<i>Iriartea deltoidea</i>
19	Helecho gigante	Cyatheaceae	<i>Cyathea arborea</i>
20	Palma de fibra	Arecaceae	<i>Aphandra natalia</i>
21	Morete	Arecaceae	<i>Mauritia flexuosa</i>
22	Palma wayuri	Arecaceae	<i>Pholidostachys synanthera</i>
23	Tagua	Arecaceae	<i>Phytelephas macrocarpa</i>
24	Bísola	Arecaceae	<i>Wettinia quinaria</i>

En la figura 24 se observa las especies de palmas y helechos descritas en la tabla 14 en su etapa de floración y fructificación.



Figura 24. Especies de palmas (17- *Oenocarpus bataua*, 18- *Iriartea deltoidea*, 19- *Cyathea arborea*, 20- *Aphandra natalia*, 21- *Mauritia flexuosa*, 22- *Pholidostachys synanthera*, 23- *Phytelephas macrocarpa* y 24- *Wettinia quinaria*).

a) Implementación de especies y técnicas de plantación

La técnica de plantación se sustenta en función a la metodología propuesta por Tovar (1999) tercera parte: Especie vs área, donde se toma en cuenta, las especies escogidas y los sitios donde se plantarán (tabla 15).

Tabla 15. Distribución de las especies en los 21 sitios determinados para la propuesta de arbolado urbano

Especie	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21
<i>Ocotea quixos</i>			X							X											
<i>Tabebuia chrysantha</i>	X		X																		
<i>Erythrina poeppigiana</i>	X		X																		
<i>Jacaranda copaia</i>	X		X									X					X				X
<i>Schizolobium parahyba</i>	X		X																		
<i>Grias neuberthii</i>			X							X		X					X				X
<i>Triplaris cumingiana</i>			X							X											
<i>Vochysia ferruginea</i>			X							X		X					X				X
<i>Crescentia cujete</i>						X	X		X	X				X	X						
<i>Garcinia madruno</i>						X	X		X					X	X						
<i>Cestrum nocturnum</i>		X					X		X		X			X	X						
<i>Heliconia subulata</i>		X					X		X		X					X					X
<i>Heliconia collinsiana</i>							X		X							X					X
<i>Tibouchina sp.</i>		X					X		X		X				X				X	X	
<i>Cespedesia spathulata</i>						X	X		X											X	
<i>Carludovica palmata</i>							X		X											X	
<i>Oenocarpus bataua</i>				X	X			X					X								
<i>Iriartea deltoidea</i>					X			X					X								
<i>Cyathea arborea</i>					X			X					X						X		
<i>Aphandra natalia</i>				X	X			X					X								
<i>Mauritia flexuosa</i>				X	X			X					X						X		
<i>Pholidostachys synanthera</i>					X			X					X								
<i>Phytelephas macrocarpa</i>					X			X					X								
<i>Wettinia quinaria</i>					X			X					X						X		

En la tabla 16 se presenta los espaciamientos a considerar en virtud de la especie (arbórea, arbustiva o palma).

Tabla 16. Distancias a considerar en la plantación según la especie

Especie	Área de desarrollo (m ²)	Lineal (m)	Triangular (m)
Arbóreas	4	6	
			6*6*6
Arbustivas	2	4	
			4*4*4
Palmas y helechos	5	8	9*9*9

4.3.3.6. Actividades de manejo

1) Fertilización

Es necesario un análisis de suelo y posteriormente determinar el fertilizante a aplicar, el más utilizado es humus orgánico el cual gran parte de los municipios elaboran al procesar desechos orgánicos de la ciudad para obtención de este. Esta actividad se lo realiza una vez al año en función del análisis de suelo para cada sistema y el tipo de vegetación arbórea y ornamental.

El proceso de aplicación se realiza en función del área, técnicos de campo recomiendan dos libras de humus orgánico en una carretilla de tierra del sitio mezclada. Para una eficiente reacción del fertilizante se recomienda aplicar en tempranas horas de la mañana, seguida de un riego ligero, esto ayuda al humus fijar al suelo y entra en proceso de mineralización etapa en la cual los nutrientes son asimilados por las plantas.

2) Riego

El riego influye a perdurar la humedad del suelo y mantener la capacidad de campo sin llegar a la saturación de poros. Las causas para realizar el riego se determinan por cuestiones de clima. De modo que, se debe realizar en época seca durante varios periodos que pueden ser una vez al mes, actividad que influye directamente al costo de mantenimiento.

3) Poda

Un árbol sano, creciendo en forma aislada y sin competencias no debe ser podado, pues ésta práctica es una agresión al árbol que causa heridas en la corteza y en sus tejidos internos, y genera vías de penetración de patógenos. También muchos de los árboles plantados hace años requieren una poda de reestructuración, principalmente debido a la elección inadecuada de la especie y a la presión del entorno.

- **Criterios y tipos de poda**

La poda del arbolado urbano debe tener como objetivo, adecuar y mantener la estructura del árbol en dicho entorno, procurando el equilibrio entre la salud del árbol, las necesidades y la seguridad de las personas.

Es necesario tener en cuenta y respetar la forma particular de la especie, la poda de árboles debe ser realizada por personal con formación en técnicas de ejecución de la poda, y dirigida por especialistas en silvicultura urbana; valorar las medidas adecuadas a las características del sitio, relacionadas con las funciones que se espera que cumpla las especies en ese lugar; establecer los objetivos a alcanzar; valorar factores como,

arquitectura y fisiología de las especies, época del año y estado actual del árbol y respetar las características y defensas de árboles.

- a) **Poda de formación:** El objetivo es formar el árbol desde las primeras etapas de crecimiento y favorecer su correcto desarrollo, para que la copa del árbol no interfiera en la circulación peatonal y automotriz, la iluminación y la visibilidad, procurando no modificar la forma natural de la especie ni la naturaleza de su copa. Se lo realiza antes de los cuatro años.
- b) **Poda de mantenimiento:** El objetivo es la sanidad del arbolado, obtener buenas condiciones, eliminar las ramas mal dirigidas, enfermas o secas y los rebrotes de raíz o chupones que nacen en el tronco, y establecer la altura de la copa adecuadamente. Se la realiza a partir de los cuatro años de plantación.
- c) **Poda de reestructuración:** El objetivo es estético, se busca reducción de biomasa de la copa cuando las ramas están en mal estado, existen necesidades de ventilación, los árboles están desequilibrados, mal formados o han sufrido daños. Se lo realiza al árbol adulto valorando su fisiología natural.
- d) **Poda de palmas:** El objetivo es mantenimiento específico limitado a la eliminación de hojas secas, retoños, inflorescencias y frutos, respetando al máximo la forma esférica natural de la corona. Se la realiza a partir de los dos años desde la plantación.

- **Técnicas de poda**

Se aplica en función del estado y forma del árbol, seca o viva, diámetro de rama, que se sujetan a las siguientes técnicas. Colocación de la herramienta de corte por fuera de la arruga de corteza, el corte se realizará siguiendo la virtual bisectriz entre la arruga y la perpendicular al eje de la rama a eliminar (figura 25).

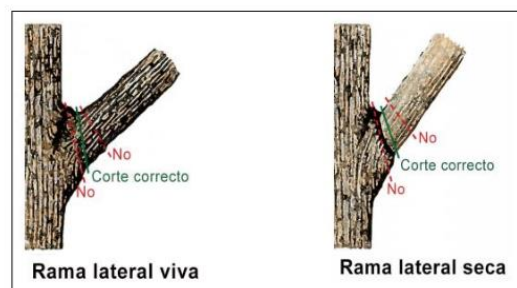


Figura 25. Técnicas de poda

4.3.3.7. Cronograma de actividades para los sitios propuestos a reforestar

Independientemente del tamaño o el alcance del programa, el cronograma de actividades es parte de la gestión técnica, se incluye como actividad la producción de plantas en vivero debido a la disminución de costos de esta actividad. En la tabla 17 se describe las actividades básicas a realizarse durante nueve meses consecutivos para lograr la implantación de un adecuado arbolado urbano.

Tabla 17. Cronograma de actividades para los sitios propuestos a reforestar

Actividades	Meses								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Producción de especies en vivero	X	X	X						
Adecuación de terreno (limpieza, adecuación, trazado y hoyado)				X					
Plantación				X					
Fertilización			X		X				X
Podas									X
Riego*					X	X	X	X	X

*Puyo es una ciudad con alta pluviosidad (≥ 2500 mm/año) y no tiene definido meses seco y lluviosos, lo que deriva a que se pueda presentar semanas de intenso calor sin lluvias, por ello se debe considerar esta actividad.

En la figura 27 se aprecia la implementación del arbolado urbano por años, partiendo desde el año cero (2020) hasta llegar al año diez (2030) que es la meta establecida para alcanzar un IVU de $8,91\text{m}^2/\text{hab}$.

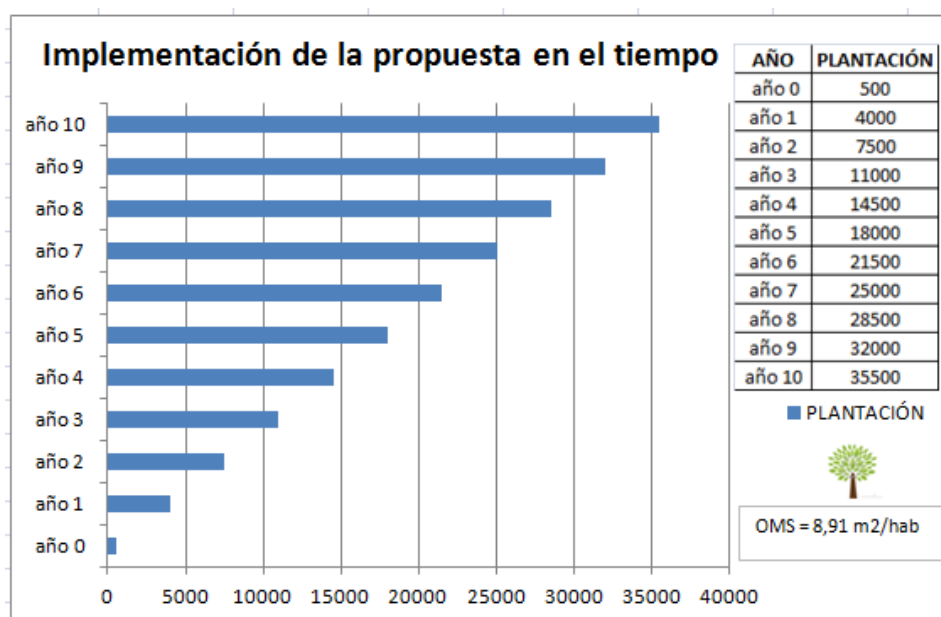


Figura 27. Implementación de la propuesta de arbolado urbano a través del tiempo.

4.3.3.8. Costos de producción, implementación y mantenimiento para los sitios propuestos a reforestar.

Los costos que generan las actividades de producción de plantas, plantación y mantenimiento de los sitios propuestos para la reforestación, están divididos en costos de producción, actividades de mano de obra e insumos y la adquisición de fertilizantes y alquiler de vehículo; todo esto debido al siguiente análisis:

- 1) El costo de cada planta difiere por la naturaleza de cada especie.
- 2) El costo del jornal se ha calculado en base al valor actual (2020) del jornal/día, que podría variar dependiente del año de implementación del proyecto.
- 3) Se considera la adquisición de humus orgánico en cierta cantidad, pero es necesario contar con una prueba de suelo para dosificar en cantidad y dosis.
- 4) Se considera un alquiler de vehículo para actividades de riego, valor que está condicionado en base a necesidades extrínsecas.

En la tabla 18 se describe los costos de producción de cada especie a considera en la propuesta de arbolado urbano producidas en vivero.

Tabla 18. Costos de producción por especies, a considerada en la propuesta de reforestación

Número	Nombre común	Valor dólares \$ unidad	Número	Nombre común	Valor dólares \$ unidad	Número	Nombre común	Valor dólares \$ unidad
1	Canela	3,00	9	Pilche	2,50	17	Ungurahua	3,00
2	Guayacán	1,00	10	Madroño	1,00	18	Pambil	2,50
3	Porotón	0,45	11	Caballero de la noche	2,50	19	Helecho gigante	2,50
4	Jacaranda	0,45	12	Heliconia	1,50	20	Palma de fibra	2,50
5	Pachaco	0,45	13	Platanillo	1,50	21	Morete	3,00
6	Pitón	0,75	14	Flor de mayo	2,00	22	Palma wayuri	2,00
7	Fernán Sánchez	0,45	15	Tabacón	1,50	23	Tagua	2,50
8	Tamburo	0,75	16	Paja toquilla	0,75	24	Bisola	2,00

En cuanto a los costos de mano de obra y las herramientas básicas a usar, se presenta en la tabla 19, calculado a valores de jornal 2020 y herramientas con una vida útil de un año.

Tabla 19. Costo de mano de obra y herramientas a utilizar

Actividad	Cantidad días	Mano de Obra jornal/día/	Valor unitario \$	Sub total \$	Herramienta	Cantidad	Valor Unitario \$	Sub total \$	Total \$
Preparación del sitio (Limpieza-Balizado)	6	2	15,00	180,00	Cinta métrica	1	12,00	45,00	225,00
					Pala	2	4,00		
					Guantes	2	13,00		
					Machete				
Hoyado	9	2	15,00	270,00				270,00	
Fertilización Y Plantación	9	2	15,00	270,00	Carretilla	1	30,00	34,75	304,75
					Gavetas plásticas	2	4,75		
Mantenimiento (Poda)	2	2	15,00	30,00	Tijeras de podar	2	28,00	56,00	86,00
Riego	2	2	15,00	30,00	Manguera 20 metros	1	28,00	408,00	438,00
					Tanque de 500 litros	1	380,00		
Replante	2	1	15,00	30,00				30,00	

Se propone la aplicación de fertilizantes orgánicos (humus) para la etapa de plantación debido a las características de los suelos amazónicos (en el estudio no se contempló un análisis de suelo) (tabla 20).

Tabla 20. Costos por adquisición de fertilizante y alquiler de vehículo

Detalle	Cantidad	Valor Unitario \$	Sub total \$
Humus orgánico	40 sacos	3	120,00
Alquiler Vehículo	2 días	40	80,00

CONCLUSIONES

1. El inventario del arbolado urbano realizado en Avenidas, Calles, Complejos y Parques de la ciudad de Puyo indicó una composición florística variada, determinada por 898 individuos, 53 especies, 49 géneros y 27 familias botánicas con predominio de especies exóticas de las familias *Arecaceae* y *Moraceae*.
2. El diagnóstico del estado del arbolado urbano permitió identificar que las especies que se emplean para Parques y Complejos son de mayor tamaño (DAP, Ht y DC), las condiciones de fuste son buenas en todos los sectores, las plagas no son representativas y la afectación a bienes públicos fue mayor en los Parques. Esto infiere una inadecuada planificación de la silvicultura urbana en la ciudad del Puyo.
3. Los parámetros estructurales del arbolado urbano indicaron una alta variación en los patrones de abundancia, distinguiendo cuatro grupos de acuerdo al conglomerado jerárquico (Grupo I: totalidad de sitios del inventario en Avenidas, Calles y mayoría de Complejos y Parques, Grupo II: S5 de Complejos, Grupo III: S6 de Calles y Grupo IV: S19 y S7 pequeños Parques).
4. Las tres especies arbóreas de mayor importancia ecológica en la ciudad del Puyo y, a su vez, con más contribución de biomasa y captura de carbono fueron: *Phoenix roebelenii*, *Ficus benjamina* y *Veitchia merrillii*. La biomasa aérea total acumulada fue de 113.26 Mg, encontrando tendencias a distanciarse en cuanto a la acumulación de biomasa por sitio, siendo mayor en Parques.
5. El índice verde urbano reportó un valor de 0,0195 m² por habitante en una cobertura arbórea de 977,12 m², lo cual indicó un insuficiente espacio verde que amerita un incremento de la silvicultura urbana en la ciudad del Puyo.
6. Se desarrolló un modelo técnico de silvicultura urbana en base a criterios técnicos, ecológicos y socioculturales que facilitarán la adecuada selección de especies y la implementación de estrategias de manejo como herramienta de planificación que contribuya al arbolado urbano en áreas de la ciudad de Puyo.

RECOMENDACIONES

1. Continuar con el monitoreo de los parámetros dasométricos y la toma de muestras para análisis de suelos en los sitios correspondientes a Avenidas, Parques, Calles y Complejos de la ciudad del Puyo.
2. Socializar mediante talleres la propuesta de modelo técnico de silvicultura urbana en la ciudad del Puyo con el GADMPz como gestores de las áreas verdes públicas.
3. Gestionar con el GADMPz y los posibles aliados estratégicos el presupuesto para la implementación de la propuesta de modelo de silvicultura urbana.
4. Establecer 35.500 árboles en 21 sitios que forman parte de los Espacios Verdes Recreacionales Ecológicos de la ciudad del Puyo en un tiempo de diez años, para alcanzar el Índice Verde Urbano de acuerdo a la OMS.

BIBLIOGRAFÍA

Abdoulmoumine, N., Adhikari, S., Kulkarni, A., & Chattanathan, S. (2015). A review on biomass gasification syngas cleanup. *Applied Energy*, 155, 294-307.

Acuerdo Ministerial 018. Ministerio del Ambiente. 2016. Directrices para la conservación, uso y manejo de los árboles en zonas urbanas, como implemento integral del Patrimonio Natural del país, 6 (3).

Alanís, E., Jiménez, J., Mora-Olivo, A., Canizalez, P., & Rocha, L. (2014). Estructura y composición del arbolado urbano de un campus universitario del noreste de México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(7), 93-101.

Amato-Lourenço, L. F., Moreira, T. C. L., Arantes, B. L. D., Silva Filho, D. F. D., & Mauad, T. (2016). Metrópoles, cobertura vegetal, áreas verdes e saúde. *Estudos Avançados*, 30(86), 113-130.

Arboit, M. E., & Maglione, D. (2019). Impacto edilicio y del arbolado sobre el índice de vegetación en el área metropolitana de Mendoza, Argentina. *Proyección. Estudios Geográficos y de Ordenamiento Territorial*, 13(26), 5-40.

Assadourian, E., & Mastny, L. (2017). Educación ecosocial: cómo educar frente a la crisis ecológica. *Informe Anual del WorldWatch Institute, Educación ecosocial*, 25-49.

Bascopé, S. F., & Jorgensen, P. (2005). Caracterización de un bosque montano húmedo: Yungas, La Paz. *Ecología en Bolivia*, 40(3), 365-379.

Bianco, R. (2015). *Estimativa da incorporaçã de carbono em biomassa arbórea em três trechos da arborização urbana de Londrina-PR* (Bachelor's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).

Bravo, X. B. L., Becerra, A. T., & Arias, M. Á. G. (2014). Futuro de la política de desarrollo rural en Europa. Aspectos principales de la normativa para el periodo de programación 2014-2020. *Observatorio medioambiental*, 17 (91).

Brown S, A E Lugo (1982) The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. *Biotropica* 14:161-187.

Bustos, M. L., Ferrelli, F., & Piccolo, M. C. (2016). El rol del arbolado urbano sobre la temperatura invernal de la villa balnearia de Pehuen Co (Argentina). *Revista Universitaria de Geografía*, 25(1), 57-72.

Canetti, R., Chen, Y., Reyzin, L., & Rothblum, R. D. (2018). Fiat-Shamir and correlation intractability from strong KDM-secure encryption. Annual International Conference on

the Theory and Applications of Cryptographic Techniques.

Castro-Arroyave, D. M., & Duque-Paz, L. F. (2020). Documentary research on social innovation in health in Latin America. *Infectious Diseases of Poverty*, 9, 1-8.

Código Orgánico del Ambiente (COA). Ley 0. Registro Oficial Suplemento 983 del 12 de abril del 2017.

Dobbs, C., Eleuterio, A. A., Amaya, J. D., Montoya, J., & Kendal, D. (2018). The benefits of urban and peri-urban forestry. *Unasylva*, 69(250), 22-29.

Douterlungne, D., Herrera-Gorocica, A. M., Ferguson, B. G., Siddique, I., & Soto-Pinto, L. (2013). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono de cuatro especies leñosas neotropicales con potencial para la restauración. *Agrociencia*, 47(4), 385-397.

Escobedo, F., & Chacalo, A. (2008). Estimación preliminar de la descontaminación atmosférica por el arbolado urbano de la ciudad de México. *Interciencia*, 33(1), 29-33.

Escobedo, F. J., Kroeger, T., & Wagner, J. E. (2011). Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental pollution*, 159(8-9), 2078-2087.

Flores-Xolocotzi, R. (2017). Una reflexión teórica sobre estándares de áreas verdes empleados en la planeación urbana. *Economía, sociedad y territorio*, 17(54), 491-522.

Frühauf, A., Niedermeier, M., Elliott, L. R., Ledochowski, L., Marksteiner, J., & Kopp, M. (2016). Acute effects of outdoor physical activity on affect and psychological well-being in depressed patients—A preliminary study. *Mental Health and Physical Activity*, 10, 4-9.

Gauthier, K (2016). Revista nicaraguense de biodiversidad. Nicaragua. 32(91), 95-150.

Guillén, R., & Miranda, L. (2014). *Servicios ambientales y su relación con la complejidad del entorno en áreas verdes de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México* (Doctoral dissertation, Instituto de Ciencias Básicas y aplicadas-Licenciatura en Ciencias de la Tierra-UNICACH).

Hábitat, O. N. U., & de desarrollo de América Latina, B. (2014). Construcción de ciudades más equitativas. *Bogotá: ONU Hábitat-CAF*.

Hernández, F. D., López, J. A. A., Medina, J. E., Luna, J. M. E. A., & Valencia, V. T. (2016). Diagnóstico del arbolado de la reserva ecológica “Cerro de Amalucan” en la Ciudad de Puebla, México. *Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES*, 4(2), 1.

Inec, I. (2010). Instituto Nacional de estadísticas y Censos. *Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home>*.

Jiménez-Águila, M. S. M. M., Manzanares-Ayala, K., & Mesa-Izquierdo, M. (2015). Diagnóstico del Arbolado urbano en la circunscripción 71, municipio de plaza de la revolución, la Habana, Cuba urbana *Revista Forestal Baracoa*, 34, 234-236.

Kang, W., Minor, E. S., Park, C. R., & Lee, D. (2015). Effects of habitat structure, human disturbance, and habitat connectivity on urban forest bird communities. *Urban ecosystems*, 18(3), 857-870.

Leal Elizondo, E. (2019). *Inventario y diagnóstico de las áreas verdes urbanas en la ciudad de Linares Nuevo León, México* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León), 125-145.

López-López, S. F., Martínez-Trinidad, T., Benavides-Meza, H. M., García-Nieto, M., & Ángeles-Pérez, G. (2018). Reservorios de biomasa y carbono en el arbolado de la primera sección del Bosque de Chapultepec, Ciudad de México. *Madera y bosques*, 24(3).

López-Moreno, I. R., & Díaz-Betancourt, M. E. (1995). El estudio de la biodiversidad en ecosistemas urbanos. *Arbor*, 151(596), 63.

Maldonado-Bernabé, G., Chacalo-Hilu, A., Nava-Bolaños, I., Meza-Paredes, R. M., & Zaragoza-Hernández, A. Y. (2019). Cambios en la superficie de áreas verdes urbanas en dos alcaldías de la Ciudad de México entre 1990-2015. *Polibotánica*, (48), 205-230.

Manosso, F. C., & Gândara, J. M. (2016). La materialización de la experiencia en el espacio urbano-turístico a través de las fotografías online: Un Análisis en la Red Social Instagram. *Estudios y perspectivas en turismo*, 25(3), 279-303.

Martínez-López, J., & Acosta-Ramos, A. (2014). Estimación del diámetro, altura y volumen a partir del diámetro del tocón para *Quercus laurina*, en Ixtlán, Oaxaca, México. *Madera y bosques*, 20(1), 59-70.

Martínez-Soto, J., Montero, M., & de la Roca Chiapas, J. M. (2016). Efectos psicoambientales de las áreas verdes en la salud mental. *Interamerican journal of psychology*, 50(2), 204-2014.

Meza, F. (2011). *Inventario de especies forestales en las arborizaciones urbanas públicas de Huancayo metropolitano* (Doctoral dissertation, Tesis Ing. Huancayo, Perú, Universidad Nacional del Centro del Perú).

Mijangos, A. I. (2015). *Estimación del contenido y captura de carbono en la biomasa arbórea del Bosque de San Juan de Aragón, Distrito Federal* (Doctoral dissertation, Tesis

de licenciatura. México: Universidad Nacional Autónoma México. México).

Molina-Prieto, L. F., & Acosta-Hernández, C. F. (2018). Orígenes y evolución de las arborizaciones urbanas en América Latina con énfasis en Bogotá y Medellín. Formas urbanas colonial, republicana y protomoderna. *Gestión y Ambiente*, 21(2), 276-290.

Moura-Fé, M. M., Albuquerque, A. G. B. M., Freitas, E. M. N., & Barbosa, W. R. (2015). A Proteção do Ecossistema Manguezal pela Legislação Ambiental Brasileira. *Geographia*, 17(33), 126-153.

Nowak, A., Michalcewicz, W., & Jakubiszyn, B. (1993). Liczebność bakterii, grzybów, promieniowców oraz biomasa mikroorganizmów w glebie. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Szczecinie*, 57, 101-111.

Nowak, D. J., Dwyer, J. F., & Childs, G. (1997). Los beneficios y costos del enverdecimiento urbano. *Áreas verdes urbanas en Latinoamérica y el Caribe*, 17-38.

Ordóñez, C., & Duinker, P. N. (2015). Climate change vulnerability assessment of the urban forest in three Canadian cities. *Climatic change*, 131(4), 531-543.

Ortiz, N. L. (2020). Diversidad e indicadores de vegetación del arbolado urbano en la ciudad de Resistencia, Chaco, Argentina. *Agronomía & Ambiente*, 39(2).

Palacios Walter (2017). Árboles del Ecuador. Tomo 1. Universidad Técnica del Norte UTN 2016. 528.

Paulino, L. A. (2018). Padrões recentes de crescimento e desenvolvimento da China (2008-2017). *Perspectivas: Revista de Ciências Sociais*, 52.

Pérez Miranda, R., Santillán Fernández, A., Narváez Álvarez, F. D., Galeote Leyva, B., & Vásquez Bautista, N. (2018). Riesgo del arbolado urbano: estudio de caso en el Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza, Puebla. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(45), 208-228.

Pitola, L., Castagnani, L., Coronel, A., & Feldman, S. (2013). Capacidad sumidero de carbono del arbolado urbano de Rosario: Primera aproximación. *Energías Renovables y Medio Ambiente (ERMA)*, 29.

Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Pastaza 2015-2020 (2015). 1(215-237).

Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida. Ecuador. https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf.

Pompa-García, M., & Sigala-Rodríguez, J. Á. (2017). Variación de captura de carbono de especies forestales en México: una revisión. *Madera y bosques*, 23(2), 225-235.

Portella, A. A. (2014). Analysing the trajectory from the industrial metropolis to the garden cities: the utopian ideals transformed into dormitory cities. *Arquitectura revista*, 10(2), 46.

Randrup, T. B., Konijnendijk, C., Dobbertin, M. K., & Prüller, R. (2005). The concept of urban forestry in Europe. In *Urban forests and trees* (pp. 9-21). Springer.

Reyes Paecke, S., & De la Barrera Melgarejo, F. (2019). Monitoreo de los avances en desarrollo urbano: análisis de los catastros de áreas verdes urbanas en el Área Metropolitana de Santiago, Chile. *Revista INVI*, 34(96), 129-150.

Rodríguez, E. M. R. (2015). Comprensión teórica y proceso metodológico de la investigación cualitativa. In *Crescendo*, 6(2), 169-183.

Rueda, S. (2011). Las super manzanas: reinventando el espacio público, reinventando la ciudad. In *Ciudades (im) propias: la tensión entre lo global y lo local* (). Centro de Investigación Arte y Entorno. 1 (123-134).

Sánchez, S. Y. G. (2014). Evaluación del programa de reforestación “Guatemala verde”: El caso de Jalapa. *Revista Naturaleza, Sociedad y Ambiente*, 1(1), 51-72.

Shackleton, S., Ziervogel, G., Sallu, S., Gill, T., & Tschakert, P. (2015). Why is socially-just climate change adaptation in sub-Saharan Africa so challenging? A review of barriers identified from empirical cases. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 6(3), 321-344.

Shinzato, P. (2009). O impacto da vegetação nos microclimas urbanos (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Silva Vidal, N. (2012). *El arbolado urbano en la ciudad de Bogotá-aporte al estado del arte y valoración cualitativa* (Bachelor's thesis, Bogotá-Uniandes).

Steenberg, J. W., Millward, A. A., Duinker, P. N., Nowak, D. J., & Robinson, P. J. (2015). Neighbourhood-scale urban forest ecosystem classification. *Journal of environmental management*, 163, 134-145.

Strohbach, M. W., & Haase, D. (2012). Above-ground carbon storage by urban trees in Leipzig, Germany: Analysis of patterns in a European city. *Landscape and Urban Planning*, 104(1), 95-104.

Chulde, J. A. (2019). Plan de silvicultura urbana y periurbana en el cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura 1, 25-46.

Tovar Germán Corzo (1999). Arbolado urbano de Bogotá. Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C., Secretaría Distrital de Ambiente, SDA - Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. ISBN No. 978-958-9387-60-3.

Usani D., Kisangani A., Chronicle of Return. *African Arts*, 46(1), 30-35.

Villacres Pérez, C. M., & Malucin León, E. E. (2010). Manual de Auditoría de Gestión al proceso de aprobación de planos y permisos de construcción en el departamento de planificación del gobierno municipal del cantón Pastaza .

Weissert, L. F., Salmond, J. A., & Schwendenmann, L. (2014). A review of the current progress in quantifying the potential of urban forests to mitigate urban CO2 emissions. *Urban Climate*, 8, 100-125.

Zhao, X., Zhao, P., Xu, J., Meng, W., Pu, W., Dong, F., He, D., & Shi, Q. (2013). Analysis of a winter regional haze event and its formation mechanism in the North China Plain. *Atmospheric Chemistry & Physics Discussions*, 13(11), 5685-5696.