



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
Y AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**EVALUACIÓN DE CARBONO FIJO EN ZONAS ÁRBOREAS MEDIANTE
LA ESTIMACIÓN DE BIOMASA EN IBARRA -IMBABURA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERA
EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

AUTORA: Calpa Vallejos Kathy Marisol

DIRECTOR:

Juan Carlos García Montoya PhD.

Ibarra – Ecuador

2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-
2020
**CARRERA RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**



**CERTIFICACIÓN ENTREGA TRABAJO TITULACIÓN TRIBUNAL
TUTOR**

Ibarra, 26 de febrero del 2024

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital del Trabajo de Integración Curricular (TIC) **” EVALUACIÓN DE CARBONO FIJO EN ZONAS ARBÓREAS MEDIANTE LA ESTIMACIÓN DE BIOMASA EN IBARRA-IMBABURA”** de auditoría de la señorita **KATHY MARISOL CALPA VALLEJOS**, estudiante de la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que la autora ha procedido a incorporar en su TIC las observaciones y sugerencias realizadas por este tribunal.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

Juan Carlos García PhD.
DIRECTOR TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR



Firmado electrónicamente por:
**JUAN CARLOS GARCIA
MONTAYA**



Firmado electrónicamente por:
**GABRIEL ALEXIS
JACOME AGUIRRE**

MSc. Gabriel Jácome
MIEMBRO DEL TRIBUNAL TUTOR



Firmado electrónicamente por:
**EDUARDO JAIME
CHAGNA AVILA**

MSc. Eduardo Chagna
MIEMBRO DEL TRIBUNAL TUTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401875364		
APELLIDOS Y NOMBRES:	CALPA VALLEJOS KATHY MARISOL		
DIRECCIÓN:	Tulcán-Carchi		
EMAIL:	k.calpa4@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0981823701

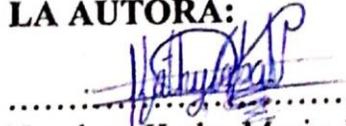
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EVALUACIÓN DE CARBONO FIJO EN ZONAS ARBÓREAS MEDIANTE LA ESTIMACIÓN DE BIOMASA EN IBARRA - IMBABURA
AUTOR (ES):	Calpa Vallejos Kathy Marisol
FECHA: DD/MM/AAAA	27/02/2024
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
ASESOR /DIRECTOR:	Juan Carlos García PhD.

2. CONSTANCIAS

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 27 días del mes de febrero de 2024

LA AUTORA:



Nombre: Kathy Marisol Calpa Vallejos
0401875364

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme bendecido con unos maravillosos padres que han sido el pilar fundamental en mi vida académica, brindándome todo su amor, soporte, consejos y comprensión en cada momento de dificultad que he enfrentado. Su compañía es un regalo que ha sido importante para formar a esta mujer profesional y contribuir de manera positiva a la sociedad.

A mi director de tesis Juan Carlos García PhD, por su paciencia, apoyo, entrega y colaboración a lo largo de esta investigación, por la confianza brindada y por impulsarme a generar grandes cosas que son posibles con esfuerzo. De la misma manera a mis asesores Ing. Eduardo Chagna MSc y al Ing. Gabriel Jácome MSc, quienes con su conocimiento y capacidad me colaboraron a mejorar el presente trabajo. Al Ing. Juan Guaman por su aporte con el conocimiento de herramientas tecnológicas.

A mis cinco hermanos por contribuir en mi un granito de arena con sus experiencias vividas en el transcurso de sus vidas como estudiantes y ahora algunos de ellos de manera profesional.

Finalmente, pero no menos importante el apoyo de todos aquellos amigos que en el transcurso de la preparación universitaria me acompañaron en todo este proceso de manera desinteresada, motivándome a seguir adelante con coraje y provecho.

¡Gracias eternas ¡

Kathy

DEDICATORIA

Esta investigación se la dedico con mucho amor a mi DIOS y a mi intercesora la Virgen María por ser mis guías y darme sabiduría en la toma de decisiones tanto en mi vida personal como profesional, por estar siempre con esa luz que alumbra mi vida. Y darme cuenta de que la fe mueve muchas montañas.

A mis queridos padres José Guillermo y Socorro del Rosario que con su amor, paciencia, responsabilidad y consejos me han enseñado a ser una buena persona y que la obediencia trae siempre buenos frutos. Además, quiero recalcar que su acompañamiento nos ha llevado a todos sus seis hijos a salir adelante de manera personal y profesional.

A mi querido abuelo Luis Aníbal por inculcar en mí la alegría ya que es una de las mejores prendas que se puede transmitir en esta sociedad y que siempre cada logro requiere de un buen trabajo, a través de las manos de Dios y la Santísima Virgen. Además, su retorno en mi vida fue una inspiración tan noble y maravillosa que no tengo palabras para explicarlas, pero las llevo en mi corazón.

A mi querida madrina Prof. Amada Palacios por ser una abuelita en mi vida y al compartir su sabiduría a hecho que piense de otra manera las cosas que suceden en este mundo y que siempre hay que agradecer a Dios por lo que nos brinda.

A mis hermanos Cristian, Belén, María, Melany y Camila por ser ese apoyo en lo emocional, espiritual y profesional. Además, me impulsan a ser una persona imparable. También quiero agregar a mi sobrina Violeta porque su cariño y amor permitió que recobrar fuerzas para seguir con mi educación.

A mis preciados amigos Ander, Pame e Ivonne quienes con su apoyo incondicional me dieron un suspiro para lograr a culminar esta etapa que en ciertos momentos se percibe oscura y sin salida.

A los queridos abuelos de mi querido amigo Ander, quienes me brindaron un cobijo con tanta delicadeza y humildad, valores que ya se van perdiendo en la humanidad.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	i
2024	i
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Revisión de antecedentes o estado del arte	1
1.2. Problema de investigación y justificación	3
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo general.....	5
1.3.2. Objetivos específicos.....	5
1.4. Preguntas directrices de la investigación	5
1.5. Hipótesis.....	5
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
2. Áreas verdes urbanas.....	6
2.1. Tipos de áreas verdes urbanas	6
2.1.1. Grandes parques.....	6
2.1.2. Pequeños parques.....	7
2.1.3. Espacios ajardinados menores	7
2.1.4. Espacios ajardinados especiales.....	7
2.2. Beneficios de las áreas verdes urbanas	7
2.2.1. Beneficios ambientales.....	8
2.2.2. Beneficios sociales.....	8
2.2.3. Beneficios económicos.....	9
2.3. Arbolado Urbano	9
2.4. Biomasa.....	10
2.5. Gases de Efecto Invernadero	10
2.6. Crecimiento Poblacional en la Zona Urbana	11
2.7. Métodos de Captura de Carbono	11
2.7.1. Método por técnica de teledetección	12
2.7.2. Método por termogravimetría	12

2.7.3.	Método destructivo	13
2.7.4.	Método por ecuaciones alométricas	13
2.8.	Marco Legal	13
2.8.1.	Constitución de la Republica del Ecuador	13
2.8.2.	Convenios Internacionales Sobre Emisiones de CO ₂	14
2.8.3.	Código Orgánico Ambiental	15
CAPÍTULO III		16
MARCO METODOLÓGICO		16
3.1.	Descripción del Área de Estudio	16
3.2.	Métodos de Estudio	18
3.2.1.	Evaluación del carbono fijo en especies dominantes por termogravimetría 18	
3.2.2.	Evaluación de emisiones de CO ₂ en puntos críticos de Ibarra.....	26
3.2.3.	Identificación de zonas óptimas para sumideros de carbono en el casco urbano 28	
CAPÍTULO IV		31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		31
4.1.	Carbono Fijo en Especies Dominantes.....	31
4.2.	Emisiones de CO ₂ en Puntos Críticos de Ibarra	38
4.3.	Localización de Posibles Sumideros de Carbono	43
CAPÍTULO V		63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		63
5.1.	Conclusiones.....	63
5.2.	Recomendaciones	64
ANEXOS		75
Anexo 1. Curvas de tasa de conversión en función de la temperatura de la muestra de las tres especies dominantes		75
Anexo 2. Procesamiento de datos: estadística descriptiva, normalidad de datos, prueba de Shapiro Wilks y Tukey		75
Anexo 3. Carbono fijo de especies existentes en la ciudad de Ibarra.....		77
Anexo 4. Caracterización de especies vegetales según el tipo de biomasa.....		78
Anexo 5. Registro de datos de emisiones de CO ₂		78

Anexo 6. Procesamiento de datos: estadística descriptiva, normalidad de datos, prueba de Shapiro Wilks y Tukey para datos de las emisiones de CO ₂	79
Anexo 7. Datos para la proyección lineal de la ciudad de Ibarra 2023-2040	80
Anexo 8. Mapa de ubicación de las áreas verdes existentes y sumideros natural ...	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Fórmulas para la obtención IVI.....	18
Tabla 2	Ecuaciones para la obtención del volumen del cilindro y fuste	21
Tabla 3	Descripción de los lugares donde se instaló el sistema sensorio.....	26
Tabla 4	Distancia del radio de influencia.....	28
Tabla 5	Categoría de vegetación en % y extensión en m2.....	29
Tabla 6	Materiales y equipos de la investigación	30
Tabla 7	Registro de información para cada especie	32
Tabla 8	Registro de información para cada especie	36
Tabla 9	IVU en parroquias urbanas de la ciudad de Ibarra año 2023.....	46
Tabla 10	IVU de la ciudad de Ibarra para el año 2040.....	48
Tabla 11	Categorización de las áreas verdes urbanas.....	49
Tabla 12	Factores de diseño ambiental.....	50
Tabla 13	Especies arbóreas para el control del cambio climático	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 ubicación del área de estudio	17
Figura 2 Recolección de muestras por em método no destructivo	20
Figura 3 Diseño de árbol latifoliado y sus relaciones morfométricas	22
Figura 4 Uso de la estufa, pesa y triturador de biomasa	23
Figura 5 curva TG y DTG para determinar el análisis próximo	25
Figura 6 Índice de Valor de Importancia (IVI) de especies arbóreas	31
Figura 7 Curva DTGA de la especie Schinus molle.....	33
Figura 8 Curva DTGA de la especie Spathodea campanulata	34
Figura 9 Curva DTGA de la especie Callistemon citrinus.....	35
Figura 10 Comparación de carbono fijo en kg de las tres especies	37
Figura 11 Concentración media de CO ₂ en el norte de la ciudad de Ibarra.	39
Figura 12 Concentración media de CO ₂ en el centro de la ciudad de Ibarra .	40
Figura 13 Concentración media de CO ₂ en el sur de la ciudad de Ibarra	41
Figura 14 Comparación de medias de los tres puntos críticos.....	42
Figura 15 Mapa de áreas verdes y nivel de emisiones CO ₂	44
Figura 16 Distribución de áreas verdes según su grado de influencia	47
Figura 17 Localización de espacios verdes y conectividad	51
Figura 18 Fragmentación de las áreas verdes al interior de un parque	52
Figura 19 Los corredores hidrográficos como rasgos naturales del paisaje .	53
Figura 20 La canalización de corrientes hídricas asociadas al sistema vial..	54
Figura 21 Compactación del suelo en zonas verdes por pisoteo reiterativo .	55
Figura 22 Diseño y composición de espacios verdes urbanos.....	56
Figura 23 Conceptualización y configuración de paisajes verdes	57
Figura 24 Bloque 1 del diseño del parque Ciudad Blanca	60
Figura 25 Bloque 2 del diseño del parque Ciudad Blanca	61
Figura 26 Bloque 3 del diseño paisajístico del parque Ciudad Blanca	62

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EVALUACIÓN DE CARBONO FIJO EN ZONAS ARBÓREAS MEDIANTE LA ESTIMACIÓN DE BIOMASA EN IBARRA-IMBABURA

Calpa Vallejos Kathy Marisol

RESUMEN

Las áreas verdes urbanas con presencia de árboles pueden almacenar carbono. Sin embargo, por el aumento de la infraestructura y actividades cotidianas por parte de la población urbana ha provocado que aumente las emisiones de CO₂. El presente estudio se encargó de estimar el carbono fijo de tres especies dominantes pertenecientes a las parroquias Sagrario y San Francisco de la ciudad de Ibarra mediante el método de termogravimetría. En estas parroquias se registró que las especies dominantes contienen de carbono 6.76 kg *Schinus molle*, 3.76 kg *Callistemon citrinus* y 3.94 kg *Spathodea campanulata*. Se determinó mediante un sensor que las emisiones de CO₂ son altas en la ciudad entre concentraciones de 700 a 950 ppm y, en comparación a otras ciudades, sobre todo en lugares donde no hay diversidad de vegetación. Por otra parte, según el índice de verde urbano 2.320 m²/hab indica que Ibarra no cumple con lo estimado por la OMS de los 9m²/hab Finalmente, para contribuir con la calidad ambiental de la zona es necesario generar nuevos sumideros de carbono que permitan interactuar con los puntos altos de contaminación de aire.

Palabras clave: Biomasa, Carbono fijo, Dióxido de carbono, Áreas verdes urbanas, termogravimetría.

ABSTRACT

Urban green areas with trees can store carbon. However, the increase in infrastructure and daily activities by the urban population has led to an increase in CO₂ emissions. The present study was carried out to estimate the fixed carbon of three dominant species belonging to the Sagrario and San Francisco parishes in the city of Ibarra using the thermogravimetry method. In these parishes it was recorded that the dominant species contain 6.76 kg of carbon *Schinus molle*, 3.76 kg *Callistemon citrinus* and 3.94 kg *Spathodea campanulata*. It was determined by a sensor that CO₂ emissions are high in the city between concentrations of 700 to 950 ppm and, compared to other cities, especially in places where there is no diversity of vegetation. Furthermore, according to the urban green index, 2,320 m²/inhabitant indicates that Ibarra does not meet the WHO estimate of 9m²/inhabitant. Finally, to contribute to the environmental quality of the area it is necessary to generate new carbon sinks to interact with the high points of air pollution.

Key words: Thermogravimetry. Biomass, Fixed carbon, Carbon dioxide, Urban green area

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Revisión de antecedentes o estado del arte

La constante migración de las zonas rurales a las ciudades genera un crecimiento y sobrepoblación en la zona urbana, por eso dicha zona se encuentra con el 54% de la población mundial, consume cerca del 70% de los recursos del mundo y genera 74% de las emisiones globales de dióxido de carbono (CO₂), uno de los principales gases de efecto invernadero en la atmósfera que incide en el calentamiento global (Bibri y Krogstie 2017; Mi et al., 2019). Por tal motivo las ciudades enfrentan fenómenos climáticos extremos como sequias, olas de calor y lluvias fuertes, precisamente porque existe una falta de mantenimiento de los procesos ecológicos como la conectividad del arbolado urbano y periurbano, para de esta intentar conservar los procesos ecológicos en torno a resiliencia del cambio climático y el sostenimiento de los servicios ecosistémicos vitales (Kendal et al., 2014; Dobbs et al., 2017).

La importancia de los bosques urbanos y periurbanos se basa en que ofrecen servicios culturales, de regulación y aprovisionamiento (Dobbs et al., 2011). El servicio cultural incluye el patrimonio cultural, la recreación, la estética, el intercambio de conocimientos y sentidos de pertenencia; los servicios de regulación acceden a la regulación del clima, el almacenamiento del carbono, la eliminación de la contaminación del aire y regulación de las inundaciones; servicio de aprovisionamiento genera productos alimenticios, leña para combustible, agua potable y medicinas (Dobbs et al., 2011; Shackleton et al., 2015). También contribuye a la biodiversidad e incrementa la resiliencia de las ciudades ante las crisis y adversidades ambientales (Alvey, 2006).

En América latina y el Caribe cuenta con el 82% de su población viviendo en zonas urbanas detrás de Norte América, con un 83% generando con ello más actividades antropogénicas (UN, 2015; Siclari, 2017), por lo tanto, los planes de crecimiento y desarrollo en áreas urbanas en América del sur empezaron a considerar al cambio climático con relación a las emisiones provenientes de vehículos privados que van en aumento, debido al servicio ineficaz del transporte público que carece de una infraestructura amigable y segura, que permita trasladarse de un lugar a otro de forma masiva (CEPAL, 2013). Por tal motivo se deben hacer cambios estructurales en las ciudades para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, mediante la formulación, investigación y el desarrollo de estrategias que permitan reducir las emisiones de carbono, dado que el transporte y la industria son las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero que causan el cambio climático (CESPAP, 2012; Saynes, 2017).

En el caso del transporte en vehículos a todo terreno, emiten alrededor de 1.3 toneladas de CO₂ para recorrer un trayecto de menos de 3 000 km (Greenpeace, 2009). También estiman que los vehículos de combustión interna seguirán dominando el mercado hasta el 2030, incluido los vehículos eléctricos e híbridos, sin embargo, para reducir las emisiones se requerirá de tecnología mejorada que disminuya en un 50% el consumo de combustible en vehículos convencionales entre 2005 y 2030 (IEA, 2012). Otro factor importante que puede incidir en el control de las emisiones son los bosques urbanos, para ello se debe partir desde las metas propuestas de los objetivos del desarrollo sostenible (ODS) en La Agenda 2030, en la cual menciona que: “lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles“, conocido como ODS 11 (ONU, 2018).

Según Restrepo et al (2016) los espacios verdes generan beneficios, un ejemplo de ello son los bosques urbanos y periurbanos, debido a que los árboles urbanos ahorran 6 712 mega gramos de emisiones de dióxido de carbono al año (MgCO₂/año),

equivalente a las emisiones anuales de un promedio de 1 428 automóviles con motores a base de petróleo (Reynolds et al., 2017), mientras que los árboles grandes representan solo el 133 de la población total de árboles, pero captan más del 25 % del carbono que se emite actualmente en Medellín.

En Ecuador, el transporte consume el 42 % de energía total, para 2014 según el Ministerio de Sectores Estratégicos, señala que se genera por gases emitidos por los motores de combustión, ocasionando un malestar, lo que impulsa que los países tomen medidas adecuadas para reducir la contaminación (Vargas et al., 2014). Una opción es el recurso bosque, por su capacidad de fijar carbono en sus estructuras, en la parte leñosa y su fuste, almacena alrededor del 84 % de biomasa, de la que el 46 % es carbono (Avendaño et al., 2009; Sullivan et al., 2017). Las áreas periurbanas son otra opción que permite la generación de alimentos, bioenergía y la reducción de los gases de efecto invernadero (Civeira, 2015).

1.2. Problema de investigación y justificación

Según INEC (2010) el índice verde urbano en Ecuador, no cuenta con una adecuada distribución de los espacios verdes de acuerdo con su población, es así que los 221 municipios que se distribuyen en el territorio ecuatoriano, el 95% no considera a la recomendación de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (BID, 2012) que establece como parámetro internacional, mantener 9 m² como mínimo de espacio verde por habitante y el problema radica en el desconocimiento de criterios técnicos para la implementación de un manejo de las áreas verdes y en donde se obvian aspectos importantes como la distribución ecológica, fisiología, morfología de especies nativas y exóticas, los cuales llegan a representar costos altos para su mantenimiento y control.

En cuanto a la ciudad de Ibarra, las zonas arbóreas no se han manejado correctamente, dado que, las anteriores administraciones desconocían las partes céntricas de la ciudad y su enfoque no estaba en el equilibrio verde, es decir, no

reconocieron la norma del arbolado urbano, pero actualmente se inició con trabajos en el centro de la ciudad a través del responsable del Patrimonio Natural, que pretende llegar a un equilibrio con el cemento gris de la ciudad, con el verde de la naturaleza (GAD Ibarra, 2019). Por consiguiente, ha tenido pocas investigaciones en la región, en cuanto la relación entre la urbanización y la ecología, por ello, ha provocado el agotamiento y la degradación de los ecosistemas naturales, además de la pérdida drástica de servicios y beneficios ecosistémicos vitales (FAO, 2016).

Por eso es importante evaluar las emisiones del CO₂ que absorbe el arbolado urbano, como indicador sostenible en la mitigación del cambio climático y su relación a las normativas internacionales aplicadas para la salud de las personas y el de aminorar los impactos al ecosistema por las actividades urbanas que se generan, como el alto consumo de energía para la producción de bienes y servicios, la intensificación del transporte, la generación de desechos, la formación de islas de calor, ruido, contaminación del aire y mantos freáticos que ponen en riesgo el hábitat urbano (Pérez y López, 2015).

Además, actualmente se sabe que algunas ciudades de nuestro país, como Manta, Esmeraldas y Guayaquil se enfrentan al aumento de temperatura de la ciudad en relación al medio rural inmediato, conocido como la isla de calor, la cual se manifiesta porque los factores que influyen en ello son el diseño de las calles, la altura de las edificaciones, los materiales poco reflectivos, carreteras llenas de vehículos, la disminución del factor de vista al cielo, la escasa vegetación, entre otras (Cabrera et al, 2020). Sin embargo, esto se puede controlar a través de zonas arbóreas, dado que estas generan sombra y evapotranspiración, lo que permite reducir las temperaturas diurnas estivales hasta en 6°C, estas dependen de la latitud de la ciudad (Skoulika et al., 2014).

Al conocer los múltiples beneficios que brinda la vegetación, como la de contribuir al mejoramiento de las áreas urbanas, entre ellas, el de controlar las emisiones de CO₂. Se desarrolló un estudio en la ciudad de Ibarra perteneciente a la

provincia de Imbabura, donde se evaluó la fijación del carbón, estimando la biomasa de zonas arbóreas. Por tanto, esta investigación contribuye a la conservación, protección y gestión de las áreas verdes, siendo a su vez un vínculo con el objetivo 11 del Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025, mismo que garantiza la protección ambiental (Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la fijación de carbono mediante la estimación de biomasa en las zonas arbóreas de la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura

1.3.2. Objetivos específicos

- Estimar el carbono fijo de especies dominantes por análisis de termogravimetría.
- Evaluar las emisiones de CO₂ en puntos críticos de la ciudad de Ibarra
- Identificar zonas óptimas para sumideros de carbono en la zona urbana de la ciudad de Ibarra

1.4. Preguntas directrices de la investigación

¿Cuál es el carbono fijo de las especies arbóreas dominantes de la ciudad de Ibarra?

¿Qué emisiones de CO₂ se concentran en la ciudad de Ibarra?

¿Las áreas arbóreas de la ciudad de Ibarra son suficientes para absorber las emisiones de CO₂?

1.5. Hipótesis

- Ho: Las emisiones de CO₂ generadas en la zona urbana son controladas por el carbono fijo presente en la ciudad de Ibarra.
- Ha: Las emisiones de CO₂ generadas en la zona urbana no son controladas por el carbono fijo presente en la ciudad de Ibarra

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2. Áreas verdes urbanas

Las áreas verdes urbanas o zonas arbóreas, son un elemento fundamental en la mejora de la calidad del aire por su generación de oxígeno, regulación de la temperatura ambiental, captura de contaminantes, disminución de los niveles de ruido, la captación del agua pluvial y evitan la erosión del suelo, por otra parte, asimilan un porcentaje importante de CO₂ (Rodríguez, 2002; PAOT, 2010); además son reconocidas como entornos que proporcionan goce visual, alivian problemas de salud y con esto aportan a la calidad de vida de la población (Vujcic, 2019). Las áreas verdes se dividen en: áreas verdes de mayor superficie (bosques), parques y jardines, de varias formas compuestas de árboles, arbustos, herbáceas ornamentales y pastos (Robles, 2015).

2.1. Tipos de áreas verdes urbanas

Según Lerma et al. (2015) dentro de este grupo, existe un conjunto muy heterogéneo de espacios verdes que facilitan la integración social, disminuyen el impacto producido por niveles excesivamente altos de densidad y edificación, además, la protección del medio ambiente por eso se clasifica en grandes parques a los denominados jardines de bolsillo de los cuales se encuentran los siguientes:

2.1.1. *Grandes parques*

“Espacios libres, de superficie considerable, constituidos fundamentalmente por áreas ornamentales entre las que se intercalan avenidas, paseos, plazoletas, áreas de reposo, miradores, lagos, monumentos conmemorativos y construcciones diversas. Su función medioambiental ser correctores verdaderos del microclima y de la contaminación, además, por su extensión y situación” (p.15). También por su espacio

brinda una libre recreación, contemplación y relajación para la población (Cusme y Farfán, 2022)

2.1.2. Pequeños parques

“Son de menor tamaño que los anteriores, pero se encuentran más integrados a la trama urbana, por tanto, cualquier decisión la toma los vecinos de la zona. Además, pueden contar con grupos de árboles, zonas encespedadas, áreas de paseo y juegos” (p.16). En la actualidad a estos espacios se los conoce como parterre y cuentan con al menos un jardín o espacio verde (Cusme y Farfán,2022)

2.1.3. Espacios ajardinados menores

“Son de menor extensión y están dispersos por la ciudad sin formar grandes espacios, pero su elemento fundamental es el árbol en avenidas, bulevares, calles, plazas, plazoletas, callejones, malecones, riberas y taludes” (p.17). Además, estos espacios se mantienen rodeados de edificios dentro o inmediato a una población para su utilidad, adorno y desahogo (Cusme y Farfán, 2022).

2.1.4. Espacios ajardinados especiales

“Son parte de recintos cerrados, muchos de ellos privados y mantienen un significado especial de valor histórico, cultural o simbólico, entre estos, los polideportivos, estadios, parques temáticos, centros escolares, hospitales, cementerios” (p.20). Por otra parte, estos espacios no están ubicados en un parque, mantienen una estructura autónoma y en estos se incluye las instalaciones de industrias abandonada (Cusme y Farfán, 2022).

2.2. Beneficios de las áreas verdes urbanas

Las áreas verdes contienen beneficios para la ciudad en muchos sentidos, tanto ambientales como sociales, al ser un componente que soluciona problemas relacionados con las aglomeraciones urbanas y por su contribución de manera directa o indirecta (Laforteza et al, 2000; Lam et al., 2005; Sanesi y Chiarello, 2006; Sanesi

et al, 2006; Frutos y Sonia, 2009; Schioppa et al., 2009). Por ello las han clasificado en tres tipos de la siguiente manera:

2.2.1. Beneficios ambientales

Las áreas verdes, son un elemento biológico y físico, útiles en términos de calidad y cantidad. Dado que su coloración verdosa de las plantas es agradable, permite la filtración de la radiación solar y acumula la humedad relativa en el suelo, asimismo, contribuye a la creación de una atmosfera habitable y mantiene la temperatura de calor adecuada (Chinnabut, 2021). Por otro lado, el aporte que contribuye la vegetación en las ciudades con los árboles es la sombra que generan, así se amortiguan los rigores estivales y disminuyen la intensidad de las islas de calor (González, 2002).

En cuanto a la calidad del aire, las zonas verdes urbanas absorben polvo, humo y gases tóxicos, especialmente aquellos originados de escapes de los vehículos. Por tanto, reducen algunos contaminantes, temperaturas extremas y reacciones fotoquímicas tan características de las megaciudades como son el material particulado (PM), ozono(O₃), óxidos nitrosos (NO_x) y dióxido de carbono (CO₂), entre otros, los cuales traen efectos en la salud y el bienestar de la humanidad (McPherson et al., 1994; Molina y Molina, 2004). De igual importancia, la sombra que generan los árboles en la ciudad contribuye a la mejora climática porque podrían reducir la temperatura promedio del aire en los edificios hasta cinco grados centígrados (Abkari et al., 1992) y al incrementar el arbolado en un 10% reduce el uso de energía para calefacción y refrigeración entre un 10% y un 15% (McPherson et al., 1994).

2.2.2. Beneficios sociales

Las áreas verdes permiten interactuar directamente al ser humano con la naturaleza y consigo aportan beneficios sobre la salud, al descubrir que los pacientes que convalecían en hospitales se recuperaran más rápido cuando estaban en habitaciones con vista hacia árboles y escenarios al aire libre, además, se ha descubierto que los espacios verdes permiten que las personas vivan más tiempo y la sombra de los árboles reducen la exposición a los rayos ultravioleta (Ulrich,1990; Heislet et al., 1995; Chinnabut, 2021). Por otra parte, son fuente de beneficios recreativos porque puede

realizar una amplia variedad de actividades que van desde actividades deportivas, paseos u observación de la naturaleza, lo cual las hace una alternativa más de ocio. Otro beneficio, la parte educativa en los jóvenes mediante visitas pueden aprender los valores naturales con un mínimo coste y a su vez generar valores conservacionistas que requieran los parques. Por último, el beneficio que se adhiere a estos es el estético porque hace de las ciudades más atractivas y placenteras tanto para residentes o inversores (Chinnabut, 2021).

2.2.3. Beneficios económicos

Según Chinnabut (2021) los espacios verdes aumentan el valor de los terrenos cuando su paisaje cuenta con plantaciones de árboles, por otra parte, la presencia de árboles permite reducir lo siguiente: el presupuesto para la construcción del sistema de drenaje, el costo de eliminar el dióxido de carbono en el aire, el costo del consumo de electricidad de los acondicionadores de aire y ayuda a frenar el problema de las inundaciones.

2.3. Arbolado Urbano

El arbolado urbano es fundamental para la sostenibilidad ambiental de los centros poblados, reconocido como un bien público por ser componente integral de espacios cívicos, por lo que debe preservarse y respetarse. El arbolado en esta zona urbana proporciona belleza y estética, aportando con imagen a parques, plazas, plazoletas, zonas verdes, vías, etc. Por otro lado, al formar parte de un ecosistema, son elementos muy dominantes que ofrecen un gran porcentaje para la recreación. También gracias a la acción de la población y gobiernos locales ellos han perdurado por la implementación de políticas en cuanto a su uso y manejo (Villareal, 2013; Hernández, 2014).

Los árboles urbanos tienen una serie de beneficios ambientales, como la absorción de la contaminación, mitigación de las aguas pluviales y provisión de hábitat (Bartens et al., 2009; Burghardt et al., 2009; Nowak, 2018). Además, facilita la recuperación de la salud de las personas como reducir la fatiga mental (Houlden et al.,

2018). Por otra parte, las interacciones de los árboles con el suelo y el entorno construido determinan la influencia neta de los bosques urbanos para lograr desempeñar el papel importante en las concentraciones de contaminantes atmosféricos y a su vez facilita las intervenciones para aumentar el transporte activo (Tsai et al., 2019; Han et al., 2020; Young et al., 2020).

2.4. Biomasa

La biomasa es un elemento ambiental clave que permite estimar los montos de carbono, representa la cantidad potencial de este biogeoquímico que puede liberarse a la atmósfera, o conservarse y fijarse en una superficie donde los bosques se manejan para comprometerse a mitigar gases de efecto invernadero (Brown, 1997; Schlegel, 2001). También, mantiene un elevado interés como fuente de energía renovable en el contexto de cambio climático y mitigación de impactos para promover soluciones ante la crisis energética (Saldarriaga et al., 2013). En el interior de la biomasa existe una porción de carbono fijo que es un residuo que queda después de que la materia volátil se destila, este presenta una forma y una consistencia indicativas de las aptitudes del carbón a través del uso de hornos precalentados entre 400 y 700 °C se lo puede obtener, mientras que si la temperatura del horno aumenta hasta 1300°C por un periodo de tiempo se origina el coque (Santuario, 2002; García, 2010; Dipak, 2015).

2.5. Gases de Efecto Invernadero

El problema que generan los gases de efecto invernadero en la actualidad ha ocasionado que muchas ciudades evidenciamos el cambio climático, ya que estos gases en la atmosfera se absorben o emiten radiación de onda larga que envuelve a la tierra de forma natural, sin embargo, sin ellos la temperatura del planeta sería 33°C inferior (IPCC, 2007) y entre los más principales es el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), los clorofluorocarbonos (CFCs) y el óxido nitroso (N₂O). Siendo el CO₂, al que se le atribuye con el 60% del efecto invernadero desde la época preindustrial 1750; al metano entre el 15% y el 20%; y el 20% restantes estaría provocado por otros gases, entre ellos los clorofluorocarbonos y el óxido nitroso (Benavides, 2007).

Las condiciones climáticas que se siguen generando en el tiempo merecen seguir construyendo proyectos que reduzcan la alteración de los gases de efecto invernadero, considerando que aquellos suceden por procesos naturales internos o externos, y por el aumento de las actividades antropogénicas (Díaz, 2012). Por otra parte, esto se relaciona a la historia que ha tenido el planeta en décadas y el incremento de la población, trayendo con ello pérdidas y daños en el ambiente o en la humanidad sus relaciones económicas y sociales (Pardo, 2007; Duarte, 2014)

2.6. Crecimiento Poblacional en la Zona Urbana

Un problema que causa la creciente población urbana es generar alto contenido CO₂, por las grandes cantidades que se usan para combustibles fósiles (petróleo, gasolina, gas, entre otros) para transportarlos, pero vuelve a la atmósfera respirando y descomposición de su materia orgánica muerta en los suelos (McPherson, 1998; Wagner, 2011). Por otro lado, el CO₂ es vital para el desarrollo de las plantas por ser parte del proceso de la fotosíntesis para producir clorofila y nutrientes, pero existe una disputa de considerarlo como un contaminante o no en la atmósfera, y su ciclo lento hace que permanezca en las capas de la atmósfera (Medina, 2010). La tasa de CO₂ en los árboles depende de su temporada de crecimiento, distribución y su captura se da en el desarrollo hasta alcanzar su madurez; cuando este muere emite la misma cantidad de carbono que capturó.

2.7. Métodos de Captura de Carbono

El carbono que retienen los árboles es un comportamiento que podría estar variando conforme crece la población por eso es importante considerar su información para saber qué actividades de manejo, mantenimiento y conservación requiere especialmente en la zona urbana (Talarcheck, 1987; Benavides y Villalón, 1992). En la metodología de la captura de carbono se evalúa a través de un inventario florístico, un muestreo aleatorio simple, transeptos variables, determinando también variables

como su diámetro (m), altura (m), área basal (m²), volumen (m³), la diversidad alfa, con la estructura horizontal: abundancia relativa, frecuencia y dominancia relativas (Rodríguez et al., 2018):

2.7.1. Método por técnica de teledetección

Según Cardona et al., (2019) la estimación de la captura de carbono se la puede realizar en un relicto de bosque urbano mediante técnicas de teledetección, con la obtención de imágenes multiespectrales, índices de vegetación diferencial normalizado (NDVI), mejorado (EVI) y ajustado al suelo, (SAVI), y la clasificación basada en objetos que permitan medir las variables arbóreas y estimar las variables biofísicas del índice de área foliar (LAI) y fracción de radiación activa fotosintéticamente absorbida (Fapar) con el instrumento Tracing Radiation and Architecture of Canopies (Trac) para correlacionarlas con los índices de vegetación.

2.7.2. Método por termogravimetría

Es un método analizador que registra tanto el peso remanente de la muestra de biomasa como su velocidad de pérdida de peso en función del tiempo y temperatura (González y Barraza, 2009), por otro lado, puede determinar parámetros fisicoquímicos como el contenido de humedad, material volátil, carbono fijo y cenizas, igualmente, sus observa tres polímeros naturales constituyentes (hemicelulosa, celulosa y lignina) los cuales se pueden descomponer en un rango de temperatura 225-325, 305-375 y 250-500 °C (Saldarriaga et al., 2013).

En este método las muestras deben ser de un tamaño pequeño y ser secadas en un horno, luego de ser secadas se trituran hasta convertirlas en polvo mediante una trituradora y finalmente ser llevadas aun analizador de TGA como por ejemplo el modelo Pyris 1 (Ghafar, 2018).

2.7.3. Método destructivo

Este método genera un valor preciso de biomasa, permite formular relaciones funcionales entre la biomasa y las variables del rodal de fácil medición como el diámetro a la altura del pecho, altura comercial, entre otras, el inconveniente de dicho método es su costo en tiempo para seleccionar y pesar cada uno de sus componentes (Gayoso, 2001; Álvarez, 2008).

2.7.4. Método por ecuaciones alométricas

La aplicación de este método por ecuaciones permite obtener estimaciones del contenido en el árbol por lo que generan valores numéricos rápidos, económicos y no destructivos que consiste en desarrollar ecuaciones al relacionar diferentes dimensiones de un organismo, pero su análisis consiste en regresión lineal o no lineal (Rodríguez et al., 2012; Cuenca et al., 2014).

2.8. Marco Legal

2.8.1. Constitución de la Republica del Ecuador

La Constitución de la Republica del Ecuador (2008) la principal normativa nacional en su Art.14, menciona que “reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir” (p.13), además, el capítulo segundo correspondiente a la biodiversidad y recursos naturales en el Art.414, señala que “el estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo” (p.124).

2.8.2. Convenios Internacionales Sobre Emisiones de CO₂

A nivel mundial, muchos países han firmado convenios internacionales para establecer normas enfocadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), ya que permiten lograr la estabilidad de la concentración de estos gases en la atmósfera a un nivel en donde las interferencias antropogénicas peligrosas no provoquen un desequilibrio significativo en las actividades de desarrollo económico especialmente en la producción de alimentos (UNFCCC, 2004). Entre ellas se encuentra las siguientes:

Las Naciones Unidas (ONU), en 1988 aprobó la resolución 43/53 en la que solicitaba la protección del clima para las generaciones actuales y futuras de la humanidad, aquel mismo año la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), establecieron el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Por tanto, el IPCC en 1990, publicó su primer informe, en el que se confirmaba que la amenaza del cambio climático era real, pero hasta su cuarto informe resaltan las necesidades de cambios integrales en los sistemas de energía, tierras, urbano e infraestructura (incluidos el transporte y las construcciones), e industria para limitar el calentamiento global a 1.5°C de temperatura, así como para destacar las conexiones fundamentales que existen entre la naturaleza y la humanidad (UNFCCC, 2004; WWF, 2019).

ONU en 1990, también creó el comité Intergubernamental de Negociación de una Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), que partió en la cumbre de la Tierra, en el Río de Janeiro, Brasil, en junio de 1992 y entro a vigor en 1994 con la ratificación de 195 países (PNUMA, 1999). En esta convención plantean de esta manera el siguiente objetivo que según su Art 2 es “lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera con el fin de impedir interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Además, indica que ese nivel debe lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible” y para cumplir aquel objetivo se debe considerar principios los

cuales se enfocan en el control de los efectos, acciones de mitigación, mejora de las condiciones económicas y mecanismos que contribuyan al desarrollo sostenible (Molina y Cazorla, 2013; Ponce, 2017).

Actualmente, según CIES (2021) en la conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (COP 26), celebrada en Glasgow (Escocia) desde el 1 al 12 de noviembre del 2021. Trataron retos y compromisos que las economías tendrían que asumir, teniendo en cuenta preocupaciones, avances y resultados, que permitió dar los siguientes puntos: establecer a la ciencia como no negociable; incluir a los océanos en el proceso de acción climática global; establecer la transversalización de acción climática como agenda de desarrollo para transformación de sectores productivos; aprueban los mecanismos financieros para la acción climática, que incluyen el Fondo Verde del Clima; y el .Art. 6 sobre mercado de carbono.

2.8.3. Código Orgánico Ambiental

Según el código orgánico del ambiente (2017), señala en cuanto al manejo responsable del arbolado urbano, en el Art. 152, que se debe “promover el interés público, el establecimiento, conservación, manejo e incremento de árboles en las zonas urbanas, priorizando los árboles nativos en las zonas territoriales respectivas y que 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, favorecer la estética de las ciudades, promover oportunidades educativas ambientales, mejorar la calidad de vida, salud física y mental de los habitantes, entre otros” (p.47).

CAPÍTULO III

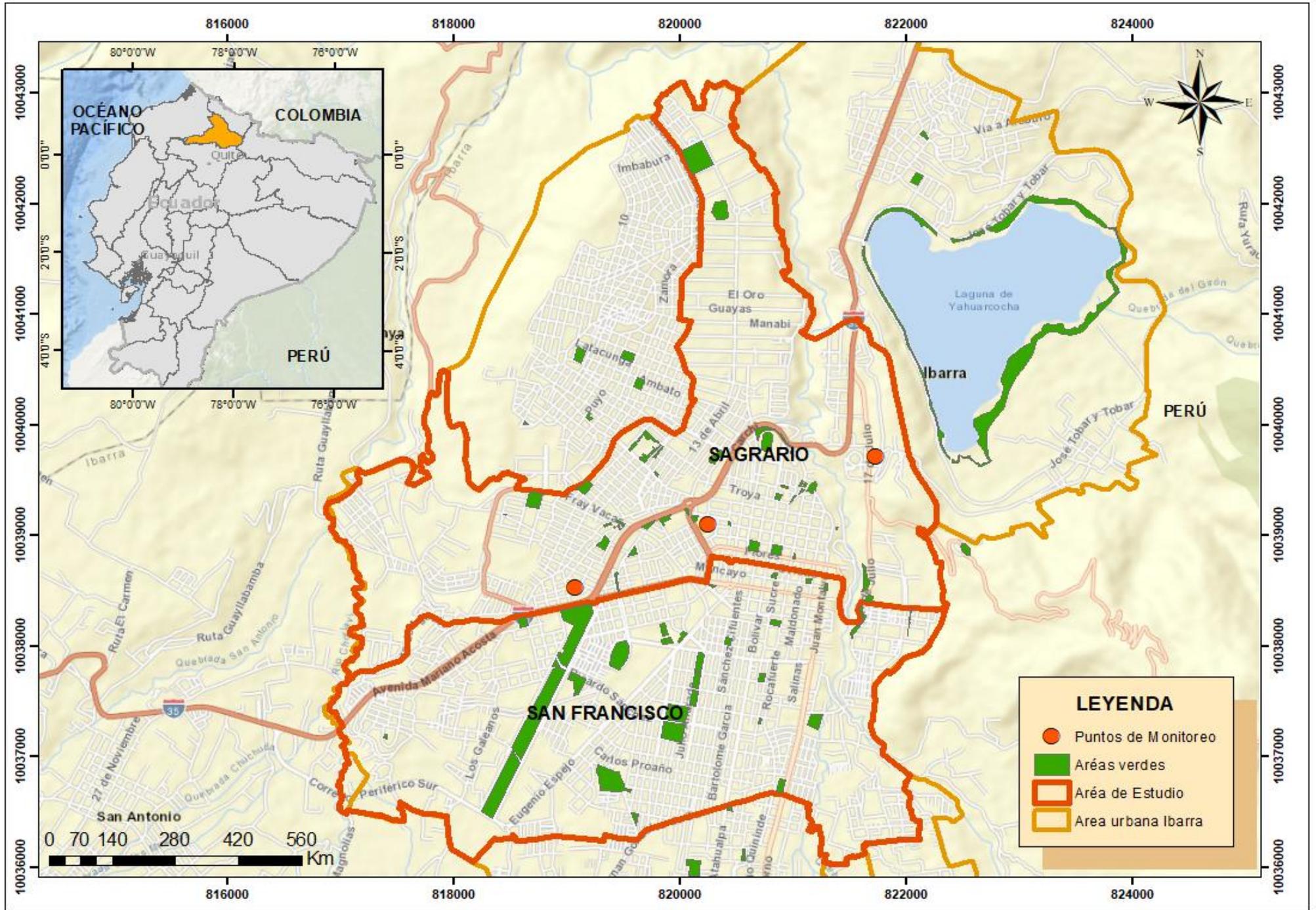
MARCO METODOLÓGICO

3.1. Descripción del Área de Estudio

La investigación se realizó entre las parroquias Sagrario y San Francisco, que mantienen actividades antrópicas de Ibarra, cabecera cantonal y capital de la Provincia de Imbabura. Ubicada entre las coordenadas 00° 20' 00" y 78° 06' 00" a una altitud 2 228 m. s. n. m con un clima seco templado a una temperatura promedio de 18°C y una superficie de 41.68 km² (PDOT-Ibarra,2020). En cuanto a sus áreas verdes y de recreación ocupa 1.36 km², por otro lado, sus vías las asfaltadas ocupan 7.9%, las adoquinadas 45.5% y las empedradas 21% (PDOT-Ibarra,2015). Con respecto a las parroquias Sagrario y San Francisco poseen entre los dos 67 barrios. Actualmente, la zona urbana abarca 157 941 habitantes, siendo el 52.3% mujeres y 47.7% hombres (INEC,2023). Los sitios de muestreo dentro de las dos parroquias urbanas fueron sus áreas verdes y puntos de monitoreo donde existe influencia alta de actividades antropogénicas (Figura 1).

Figura 1

ubicación del área de estudio



3.2. Métodos de Estudio

3.2.1. Evaluación del carbono fijo en especies dominantes por termogravimetría

3.2.1.1. Selección de especies dominantes

Se consideró salidas a las áreas verdes que se encuentren cercanas a sectores con mayor actividad antropogénica, luego mediante el método de observación directa (Jackson y Ingles, 2004) se identificó las especies presentes en cada área para registrar su cantidad y DAP, previamente a las salidas se revisó la información de especies arbóreas que suministró el GAD Municipal de Ibarra. A continuación, con la información ya obtenida de las especies se empleó el Índice de Valor Importancia (IVI), que fue aplicada por Curtis (1959) y Mishra (1968), ya que permite con los datos registrados analizar cuantitativamente en cuanto a frecuencia, densidad, abundancia, dominancia y los valores relativos de estos parámetros, fueron calculados con las siguientes fórmulas (Tabla 1).

Tabla 1

Fórmulas para la obtención IVI

Ecuación (Ec)	Descripción	Ecuación
$De = \frac{Ni}{C}$	○ Ni=Número total de individuos de una especie presentes en todos los cuadrantes	Ec (1) Densidad
	○ C= Número total de cuadrantes estudiados	

$Dr = \frac{D}{\Sigma D * 100}$	<ul style="list-style-type: none"> ○ D=Densidad de una especie ○ ΣD=Suma de densidad de todas las especies *100 	Ec (2) Densidad Relativa
$Ab = \frac{Ni}{C}$	<ul style="list-style-type: none"> ○ Ni=Número total de individuos de una especie presentes en todos los cuadrantes ○ C= Número total de cuadrantes estudiados 	Ec (3) Abundancia
$Abr = \frac{Ab}{\Sigma Ab * 100}$	<ul style="list-style-type: none"> ○ Ab=Abundancia de una especie ○ ΣAb =Suma de abundancia de todas las especies 	Ec (4) Abundancia Relativa
$Dm = \Sigma AB$	<ul style="list-style-type: none"> ○ ΣAB = Suma del área basal ocupada por los tallos de todos los individuos de una especie en todos los cuadrados estudiados ○ $AB = \pi * D^2 / 4$ 	Ec (5) Dominancia
$Dmr = \frac{Dm}{\Sigma Dm * 100}$	<ul style="list-style-type: none"> ○ Dm=Dominancia de una especie ○ ΣDm = Suma de dominancia de todas las especies. 	Ec (6) Dominancia relativa
$F = \frac{Nr}{Nrt} * 100$	<ul style="list-style-type: none"> ○ Nr= Número de cuadrados de ocurrencia de especies ○ Nrt= Número total de cuadrados estudiados 	Ec (7) Frecuencia

$Fr = \frac{F}{\Sigma Fr}$ <p>*100</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ F= Frecuencia de una especie ○ ΣFr =Suma de frecuencia de todas las especies 	<p>Ec (8)</p> <p>Frecuencia Relativa</p>
$IVI = Fr + Dr + Dmr$	<ul style="list-style-type: none"> ○ IVI=Índice de valor de importancia 	<p>Ec (9)</p> <p>IVI</p>

3.2.1.2.Recolección de especies dominantes

Al obtener la respectiva selección de las especies dominantes con IVI, se procedió a la recolección de tres muestras de cada especie seleccionada en tres diferentes áreas verdes, además de estas especies se consideró las medidas de su DAP (cm) mediante el uso de cinta métrica y la altura del árbol con el App medidor de distancia. Finalmente, para terminar con la respectiva recolección se utilizó el método no destructivo Gutiérrez y Ricker (2013) que consistió en extraer un cilindro pequeño o conocido como tarugo Instituto Forestal (1993), el cual se lo extrajo a la altura del pecho (1.30 m) con el uso del taladro extractor de biomasa (Figura 2) y se las empaquetó para ser trasladadas al laboratorio.

Figura 2

Recolección de muestras por em método no destructivo



Previamente al empaquetado de las muestras, se midió el tamaño de su altura y radio para obtener su volumen. También se consideró el volumen para todo el fuste con las siguientes ecuaciones (Tabla 2).

Tabla 2

Ecuaciones para la obtención del volumen del cilindro y fuste

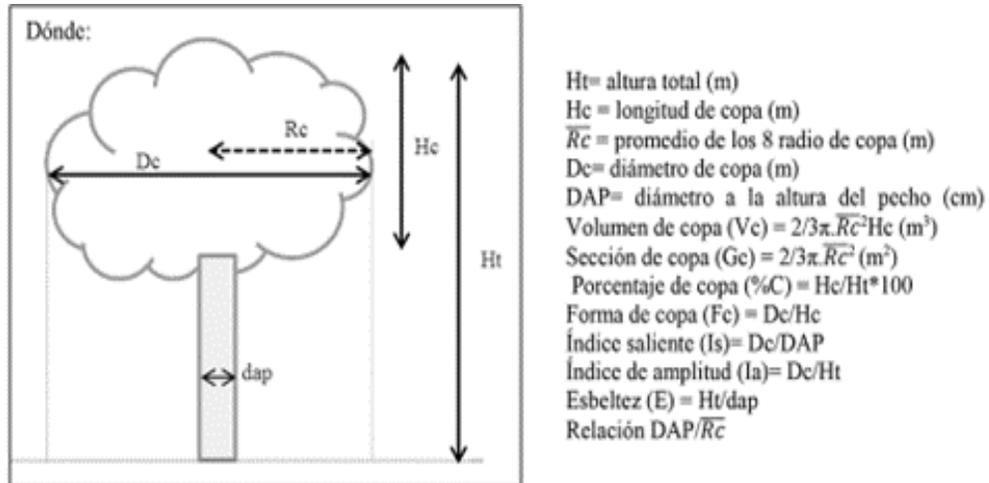
Volumen de cilindro	Área Basal	Volumen del fuste
El volumen de cilindro o tarugo con la ecuación Ec (10) *	El cálculo del área basal con la ecuación Ec (11) **: $AB = \pi \cdot D^2$	El volumen del tronco con la ecuación Ec (12)***: $V = AB \times H \times ff$
Donde: Vc: Volumen de cilindro r^2 : radio (cm) h: diámetro (cm) π : constante 3.1416	Donde: AB: área basal (m ²) D: diámetro (m) Π : constante 3.1416	Donde: V: Volumen (m ³) AB: Área Basal (m ²) H: altura (m) ff: factor de forma (0.7)

Fuente: Neuhauser, 2004*, Chave et al, 2005**, MAE, 2014***

Por otra parte, en este proceso se requirió del levantamiento de datos de la copa del árbol realizando la medición de ocho radios de copa (Rc) por cada árbol, mediante el método de ángulos fijos (45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°, 360°) (Giménez et al., 2001), con cinta métrica y brújula, los radios se tomarán desde el centro del árbol al borde exterior del mismo, medidos en proyección vertical. Por lo tanto, el diámetro de copa (Dc) se fija en dos veces el promedio de los ocho radios medidos (Sanquetta et al., 2014); la longitud de copa (Hc), entendida como la altura desde la primera rama viva hasta el ápice y se la midió con el medidor de distancia (App), entonces para el volumen de copa (Vc) se aplicó las siguientes formulas, especificadas en (Figura 3), que fue propuesto por Álvarez et al. (2013) en *Prosopis*.

Figura 3

Diseño de árbol latifoliado y sus relaciones morfométricas



Nota. Adaptado de Burger (1939)

3.2.1.3. Proceso de secado y trituración de las muestras

Una vez trasladadas las muestras al laboratorio LABINAM, se procedió a etiquetarlas con su respectiva información, para luego ingresarlas en bandejas pequeñas de aluminio a la estufa a una temperatura de 105°C, para remover su contenido de humedad. De igual forma, se registró su peso en intervalos de dos horas hasta que las muestras se estabilicen y posteriormente utilizar el triturado de biomasa (Figura 4), para transformar las muestra en polvo, el cual fue almacenado en bolsas de cierre hermético.

Figura 4

Uso de la estufa, pesa y triturador de biomasa



Nota. A) Peso y secado, B) triturador de biomasa, C) muestra triturada

3.2.1.4. Análisis del Carbono Fijo

En este análisis se toma en cuenta la relación de la descomposición de las biomásas obtenidas de las especies, tal como muestra la (Figura 5) mediante el método termogravimétrico que fue manejado en el laboratorio de la Universidad Central del Ecuador, mediante su equipo analizador de reacciones de descomposición de materiales lignocelulósicos (lignina, celulosa y hemicelulosa). En la que según Klug (2012) el análisis de pirólisis rápida consiste en tiempos cortos con altas temperaturas (800°C a 1000°C), suministrando calor de alta velocidad de transferencia y adicionalmente, un corto tiempo de vapor caliente en la zona de reacción, de esta manera permite obtener una pequeña parte de material sólido alrededor del 10% y convierte un 60% en gas rico en hidrógeno y monóxido de carbono se genera a través del siguiente procedimiento:

1) Se pesan 0.5 g de muestra de biomasa y se llevan a una balanza termogravimétrica

2) Se encera la balanza y se acondiciona el medio con flujo de nitrógeno (100 ml/min) a 50°C durante 30 minutos. Se obtiene pérdida de masa por el desprendimiento de humedad.

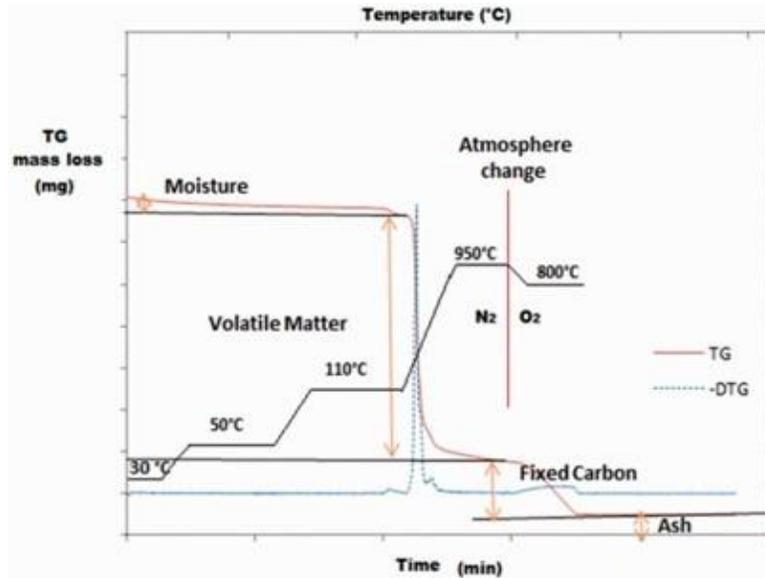
3) Se procede a una rampa de calentamiento con intervalos de 20°C/min, iniciando desde 5°C hasta 900°C para obtener las curvas de pirólisis. El resultado es la pérdida de masa por pirólisis.

4) Una vez alcanzado el equilibrio se deja correr un flujo de aire para garantizar la combustión del producto de pirólisis obtenido previamente. Se obtiene la masa final de las cenizas (p.27).

Para finalizar con este análisis se aplicó la metodología basada en la deconvolución de las curvas DTGA, que permite separar claramente los picos correspondientes a la degradación de los polímeros naturales contenidos en la biomasa que se las puede determinar con la relación del tamaño de las áreas bajo estos picos (Saffe, 2019). Estas curvas DTGA se realizaron en el software Origin 2023 y el ejemplo de la curva DTGA (Figura 5), donde se identificó el carbono fijo en el tercer pico bajo en la atmosfera oxidativa (aire), una vez obtenido el resultado de las muestras, se procedió adquirir su media de cada especie y con el dato adquirido se calculó el carbono fijo, tanto para el tarugo como para todo el árbol.

Figura 5

curva TG y DTG para determinar el análisis próximo



Fuente: (Karatepe y Küçükbayrak, 1993; Ottaway, 1982; Saldarriaga et al., 2013, 2015) citado en (Saffe, 2019).

3.2.1.5. Análisis Estadístico para el Carbono Fijo en especies arbóreas

A través de los datos obtenidos del carbono fijo total en kilogramos de cada especie se realizó un análisis mediante la prueba de normalidad de Shapiro Wilks en el software SPSS, esta prueba permitió determinar que los datos contienen una distribución normal por lo que se consideró la prueba ANOVA la cual determinó que las especies mantienen diferencias significativas. Sin embargo, para verificar esta respuesta se aplicó la prueba de Tukey, con el fin de reconocer que especie es diferente a las demás y las que mantenga cierto parentesco en sus datos, utilizar el promedio de sus medias para ser extrapolado a todas las especies presentes en la ciudad de Ibarra.

3.2.2. Evaluación de emisiones de CO₂ en puntos críticos de Ibarra

3.2.2.1. Selección de puntos críticos

Para determinar los puntos críticos se efectuaron cuatro salidas a la ciudad de Ibarra en donde existe flujo de vehículos y flujo de personas (Tabla 3), además se eligió los tres lugares debido a lo realizado en el estudio de la ciudad de Maringá en Brasil (Soares et al., 2022). Por tanto, los lugares seleccionados se encuentran ubicados entre la Av. 17 de Julio, frente a la Universidad Técnica del Norte, en el centro de la ciudad en la Av. Obispo Mosquera y la Av. Simón Bolívar cerca al mercado Amazonas y en la vía ingreso a sur de la ciudad de Ibarra en la Av. E35 cerca al supermercado Supermaxi.

Tabla 3

Descripción de los lugares donde se instaló el sistema sensorio

Puntos críticos	Descripción
Norte-UTN	Ubicación con alto flujo de vehículos y presencia de estudiantes en horarios determinados.
Centro-mercado Amazonas	Ubicación con fuerte congestión vehicular por actividades comerciales constantes.
Sur-Supermaxi	Ubicación con fuerte flujo vehicular por actividad comercial y de transporte interprovincial constante.

3.2.2.2.Instalación del sensor de CO₂

Luego de haber seleccionado los puntos críticos de la ciudad, se procedió a la instalación del sensor de CO₂ de módulo (MG-811) en edificios cercanos a estos puntos durante 15 días por 24 horas. En estos sitios se consideró que la conexión eléctrica este cerca al aire ambiente (exterior) porque requiere estar permanentemente conectado para recoger datos. Estos datos se almacenaron directamente a un MÓDULO SD/MICRO SD en un archivo de Excel de manera ordenada. Por otro lado, el sensor puede medir concentraciones en el rango entre 350 y 10 000 ppm y necesita ser colocado en lugares en donde se evite el contacto directo del humo emitido por los autos (Soares, 2022).

3.2.2.3.Análisis de datos registrados del Sensor de CO₂

En cuanto a los datos del sensor de CO₂, se requirieron técnicas de preprocesamiento con el fin de garantizar su análisis de manera precisa, eficiente o significativa. Por tanto, fue necesaria una depuración de datos a través de métodos para buscar, eliminar y remplazar datos incorrectos. Generando así el suavizado y la eliminación de la tendencia, ya que son procesos que se usan para eliminar el ruido, todo este proceso se hizo con el software MATLAB R2023 para cada punto monitoreado. Por otra parte, se realizó el análisis de la normalidad para la confiabilidad de los datos registrados por el sensor de CO₂, mediante la prueba Shafiro wilks, determinando que los datos siguen una distribución normal. Además, se elaboró un gráfico de cajas y bigotes para representar las diferencias en sus medias, previamente al aplicar la prueba ANOVA y prueba Tukey en el software SPSS. Después de ello se procesaron los datos al software SPSS para graficar la curva de los niveles de emisión por cada hora (Soares et al.,2023).

3.2.3. Identificación de zonas óptimas para sumideros de carbono en el casco urbano

3.2.3.1. Identificación de áreas verdes urbanas en el casco urbano

Se realizaron mapas cartográficos con la ayuda del software ArcGis 10.8, los mismos que fueron validados por las salidas previas al centro poblado de la ciudad de Ibarra, permitiendo reconocer la ubicación, extensión de las áreas verdes y la presencia de áreas sin arbolado. Se adicionó en los mapas los puntos de muestreo del CO₂ proyectados en coordenadas WGS_1984_UTM_Zone_17S para visualizar la dirección del contaminante usando la imagen satelital LANSAT 2017 con el área de estudio. Posteriormente, se empleó el método de interpolación espacial “kriging” que ha sido utilizado en la obtención de estimaciones de niveles de polución para comparar resultados, elegir una solución razonable y más consistente en el ámbito local (Cañada et al., 2014). En la utilización de este proceso se ingresó el tamaño de celda (30) y con la herramienta Extract by Mask se extrajo la máscara del raster.

3.2.3.2. Distribución de áreas verdes urbanos en la ciudad de Ibarra

Se evaluó la distribución que poseen las áreas verdes de la ciudad de Ibarra utilizando la herramienta buffer del software ArcGis 10.8 considerando las distancias de tres radios de influencia (Tabla 4) que se adoptó según datos obtenidos del tamaño de extensión de las áreas verdes existentes y la información de autores con respecto a proyectos urbanos.

Tabla 4

Distancia del radio de influencia

Tamaño de superficie	Radio de influencia
0.5 ha – 1 ha	200m
1 ha – 10 ha	250m
10 ha – 30 ha	500m

Nota. Basada en Palomo, S (2015) citado en (Cuba et al.,2019)

3.2.3.3.Cálculo del índice verde urbano

Consistió primero en obtener los datos del área total de áreas verdes existentes y de la población urbana (GAD-Ibarra,2023). En cuanto a la población se aplicó la regresión lineal en el software Excel para conocer cuántos habitantes existen por parroquia para los años 2023 y 2040. Con todo lo anterior mencionado se aplicó la fórmula del Índice de verde urbano [IVU=Área verde (m²) /número de habitantes] según dispuesto por la OMS (Cusme y Farfán, 2022).

3.2.3.4.Categorización de los parques urbanos de acuerdo con su extensión y cobertura vegetal

La ciudad de Ibarra contiene diferentes tipos de áreas verdes que varían según su tamaño y la cantidad de árboles, por tanto, esta metodología generó otra información base en cuanto al porcentaje que contiene el área verde con respecto a su cobertura vegetal y extensión mediante los siguientes rangos (Tabla 5) establecidos por Ramírez (2019) y Criollo (2018). En este apartado se le incluyó el porcentaje del pavimento.

Tabla 5

Categoría de vegetación en % y extensión en m²

Rango	Vegetación	Extensión	Rango
<15%	Casi ausente	Parque Barrial	2 000 a 6 000 m ²
15 a 25 %	Media Dispersa	Parque Sectorial	6 000 a 10 000 m ²
25 a 50 %	Dispersa	Parque Zonal	10 000 a 50 000 m ²
50 a 75 %	Interrumpida	Parque Metropolitano	> 50 000 m ²
> a 75%	Continua		

3.3. Materiales y Equipos

A continuación, en la (Tabla 6), se detallan los equipos y materiales que se utilizaron en la investigación.

Tabla 6

Materiales y equipos de la investigación

Materiales	Equipos	Software
Libreta de campo	Computadora portátil	ArcGIS 10.8
Cinta diamétrica	Memoria Flash	Excel
	Navegador GPS	ORIGIN 2023
Archivos shapefiles (IGM)	Sensor (CO ₂)	MATLAB R2023
	App medidor de distancia	SPSS
Material bibliográfico	Taladro de biomasa	
	Cámara fotográfica	

CAPÍTULO IV

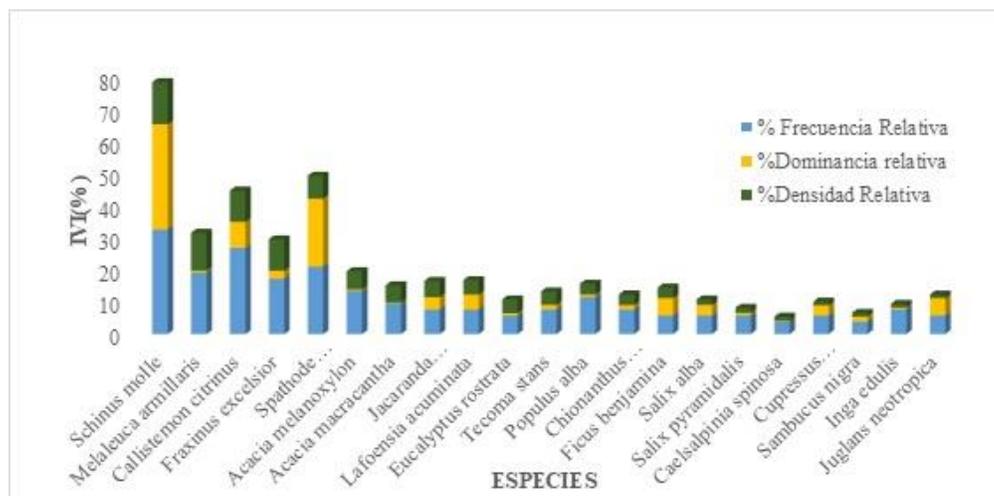
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Carbono Fijo en Especies Dominantes

Según la metodología propuesta para las especies arbóreas dominantes, se encontró que las parroquias Sagrario y San Francisco tienen unos 2 107 individuos con 21 especies representativas de la localidad, mientras, en un estudio referente a la ciudad de Ibarra contiene unos 8 730 individuos representados a 12 familias con 22 especies (Andrade et al., 2021). Según lo aplicado en el Índice de Valor Importancia (IVI) en la (Figura 6) identifica que las especies que mantienen más dominancia son: *Schinus molle* con el 32.97%, *Spathodea campamulata* con 21.23% y *Callistemon citrinus* con 8.14%, en cuanto a las 18 especies restantes presentan una dominancia de 5% o menor.

Figura 6

Índice de Valor de Importancia (IVI) de especies arbóreas



En cuanto a las especies dominantes se establecieron códigos específicos para diferenciar cada una de las muestras según el lugar y número (Tabla 7), de acuerdo con este registro se procedió a obtener los resultados de la DTGA

Tabla 7

Registro de información para cada especie

Especie	Lugar	#Muestra
<i>Schinus molle</i>	Norte Ibarra (NI)	MI
	Centro Ibarra (CI)	MII
	Sur Ibarra (SI)	MIII
<i>Spathodea campanulata</i>	Norte Ibarra (NI)	MI
	Centro Ibarra (CI)	MII
	Sur Ibarra (SI)	MIII
<i>Callistemon Citrinus</i>	Norte Ibarra (NI)	MI
	Centro Ibarra (CI)	MII
	Sur Ibarra (SI)	MIII

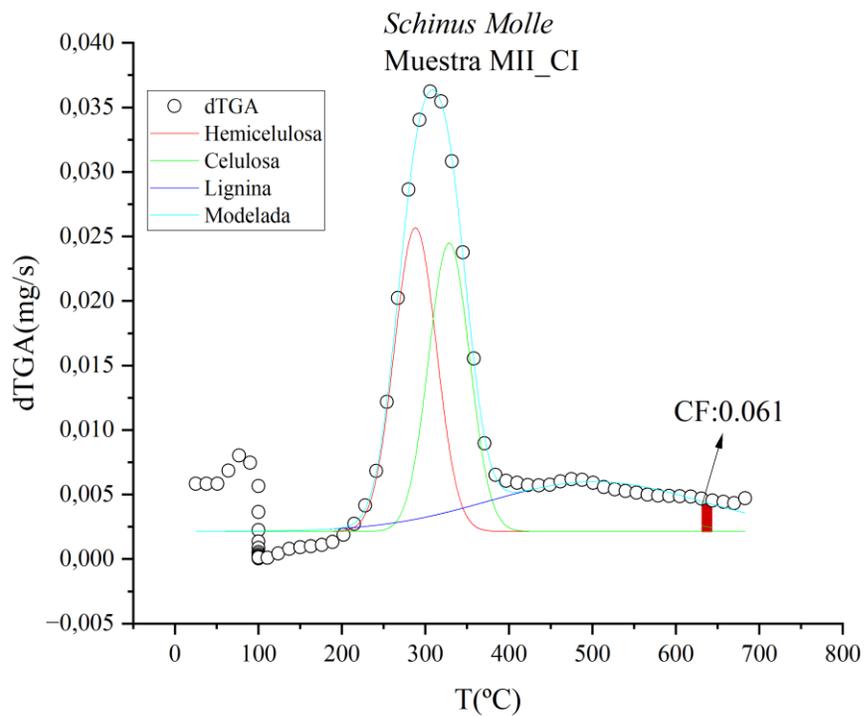
En cuanto a las muestras de cada especie se obtuvieron las curvas de la derivada termogravimétrica (DTGA) que relaciona la pérdida de peso en función de la temperatura. Los datos registrados de cada muestra generaron curvas con símbolos circulares, que indican la descomposición de la biomasa; y muestra el componente lignocelulosa (hemicelulosa, celulosa y lignina). De este modo, cada muestra indicara la curva DTGA o conocida como la curva de la tasa de conversión en función de la temperatura a continuación:

En la (Figura 7), muestra los resultados de la DTGA de la especie *Schinus molle*. Se observó que la variación del peso vs la temperatura, en las tres muestras de la misma especie (Anexo 1) inician con pérdida de material volátil a temperatura inferior de 200°C, donde tiene lugar la evaporación de la humedad. En cuanto al comportamiento de estos componentes se pudo apreciar que la hemicelulosa y la celulosa se fueron degradando entre los 300-400 °C, siendo la primera la hemicelulosa con 50°C de diferencia del otro. Para obtener carbono fijo (CF), se aprecia que está en el área bajo

la curva del componente lignina, ya que se libera por completo tras el material volátil y su valor fue entre 6,1%.

Figura 7

Curva DTGA de la especie *Schinus molle*.

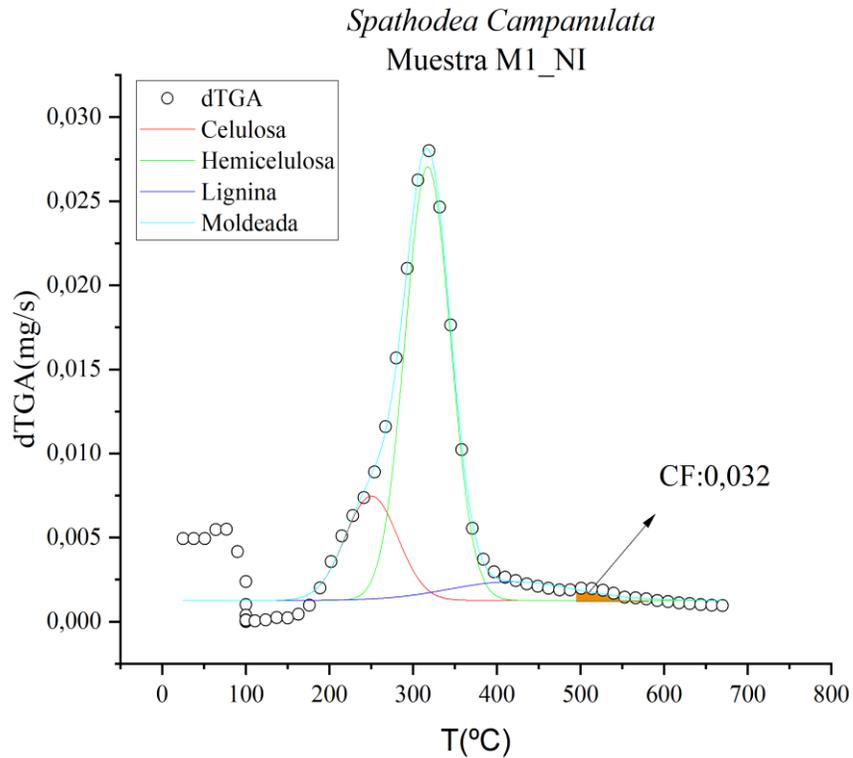


En cuanto a la especie *Spathodea campanulata* (Figura 8), se obtuvo que la biomasa al pasar por su pérdida de peso en relación con el incremento de la temperatura, su material volátil se perdió desde la temperatura bajo los 200°C. Con respecto a sus componentes lignocelulosa, la hemicelulosa tuvo su degradación térmica desde los 250 a 350 °C, mientras que su celulosa fue de 370 a 400 °C y esto se presencié para las otras dos muestras de la misma especie (Anexo 1). Para la obtención de su carbono fijo (CF), se pudo observar que el área bajo la curva del componente lignina

es más pequeña en comparación con la especie *Schinus molle*, indicando con esto que su descomposición fue más rápida y sus valores bajos de 3,2%.

Figura 8

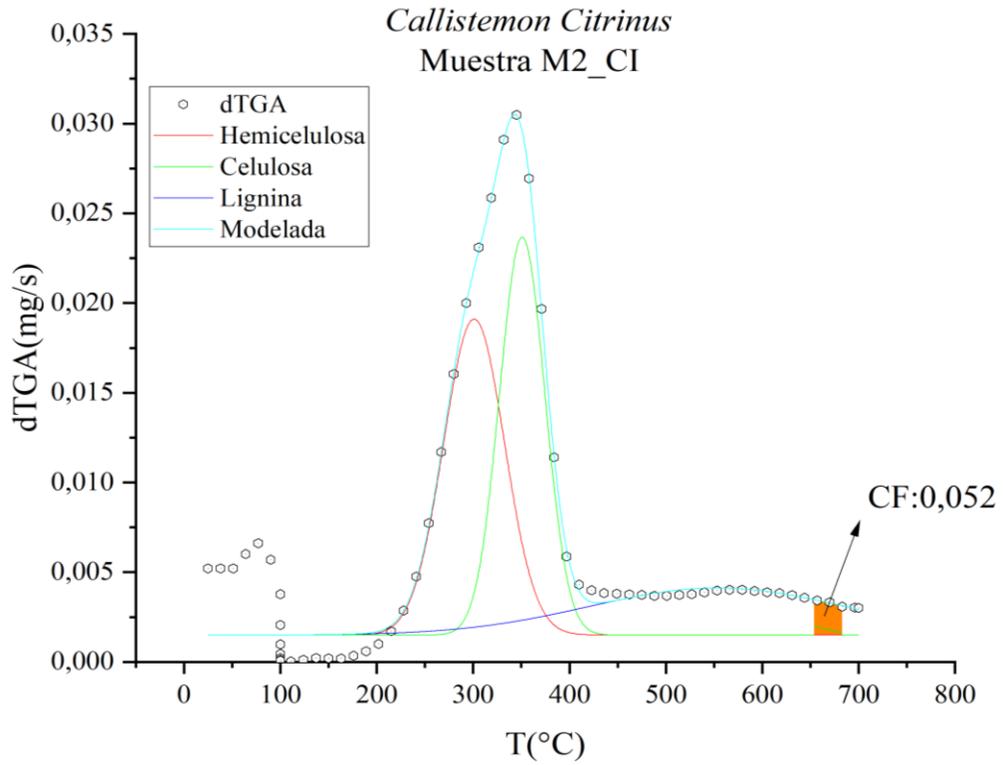
Curva DTGA de la especie *Spathodea campanulata*



Para la tercera especie dominante (Figura 9), en cuanto a su análisis termogravimétrico, se obtuvo que su pérdida de material volátil sucedió a una temperatura inferior de 200 °C. Con respecto a sus componentes lignocelulosa se observó que la hemicelulosa se degradó entre el rango de temperatura de 250 a 400 °C y su celulosa a los 350 a 450 °C. En cuanto a su carbono fijo (CF), en el componente lignina mantuvo un comportamiento distinto de las dos anteriores especies, sin embargo, al cumplir con la metodología propuesta para este proceso el área bajo la curva arrojó valores de 5,2% en cada muestra (Anexo 1).

Figura 9

Curva DTGA de la especie *Callistemon citrinus*



En cuanto a los resultados de carbono fijo registrados de las tres muestras de cada especie (Tabla 8), se aprecia que cada una cuenta con un valor único, siendo la especie *Schinus molle* con mayor porcentaje de carbono fijo en comparación con las otras dos especies.

Tabla 8

Registro de información para cada especie

Muestras	<i>Schinus molle</i> (%)	<i>Spathodea campanulata</i> (%)	<i>Callistemon citrinus</i> (%)
MI_NI	6.6	3.2	5.0
MII_CI	6.1	3.8	5.2
MIII_SI	6.3	3.1	5.4
Media	6.3	3.4	5.2

De entre los porcentajes al obtener su media por cada especie se proyectó los kilogramos a toda la especie arbórea. Obteniendo de esta manera los siguientes resultados (Tabla 9), por cada muestra de las tres especies en kilogramos.

Tabla 9

Registro de información para cada especie

Muestras	<i>Schinus molle</i> (kg)	<i>Callistemon citrinus</i> (kg)	<i>Spathodea campanulata</i> (kg)
1_NI	5.2	3.61	3.40
2_CI	7.4	4.72	3.94
3_SI	7.3	3.06	4.49
Media	6.6	3.79	3.94

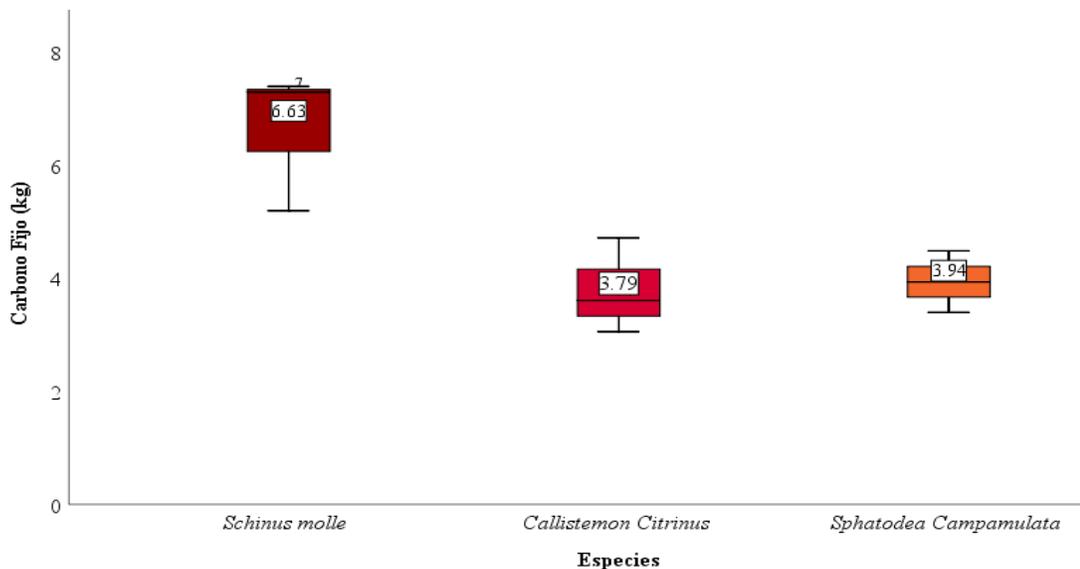
También para verificar los datos en kg se consideró la prueba de normalidad, donde los datos siguen una distribución normal (Anexo 2), esto mediante la prueba de Shapiro-Wilk (Valor $p=0.12 > 0.05$), mientras que en la prueba ANOVA se obtuvo que (Valor $p=0.016 < 0.05$) por lo cual indica que existen diferencias, mientras, en la prueba de Tukey (Anexo 2) nos indica que mantiene las especies *Spathodea*

campanulata y *Callistemon citrinus* una similitud y la que mantiene una alta diferencia es la especie *Schinus molle*. Con esto se acepta la hipótesis alterna que al menos una especie es diferente a las demás.

Además, en el diagrama de cajas (Figura 10) se visualizó que los datos de carbono fijo de las especies *Callistemon citrinus* y *Spathodea campamulata* mantienen una relación entre 3.8 kg, con este resultado se proyectó a las demás especies existentes en la ciudad de Ibarra (Anexo 3) dándonos como resultado de carbono en cada especie lo siguiente: *Schinus molle* 6 677.6 kg , *Calllistemon citrinus*, 2 800.6 kg, *Spathodea campanulata* 2 090.4 kg y como resultado de todos los individuos presentes de cada especie es 29 204.4 T.

Figura 10

Comparación de carbono fijo en kg de las tres especies



En un estudio de caracterización rápida de combustibles de biomasa mediante el análisis termogravimétrico se propusieron aplicarlo en 12 tipos de biomasa, entre ellos, los residuos de la industria maderera para obtener con precisión y en poco tiempo los principales parámetros requeridos para el funcionamiento industria (Anexo 4), en donde muestra los porcentajes de carbono fijo de las especies *Pinus insignis* (12.79%), *Acacia dealbata* (9.64%) y *Eucalyptus plantatio* (6.95%), por tanto, estos valores son mayores a los obtenidos en esta investigación (Saldarriaga et al.,2014). Por otra parte, la especie *Schinus molle* se acerca al porcentaje de la especie *Eucalyptus plantatio*. Esto permite saber que existen especies con fotosíntesis similar, pero la diferencia con otras depende principalmente de la zona donde se distribuyan.

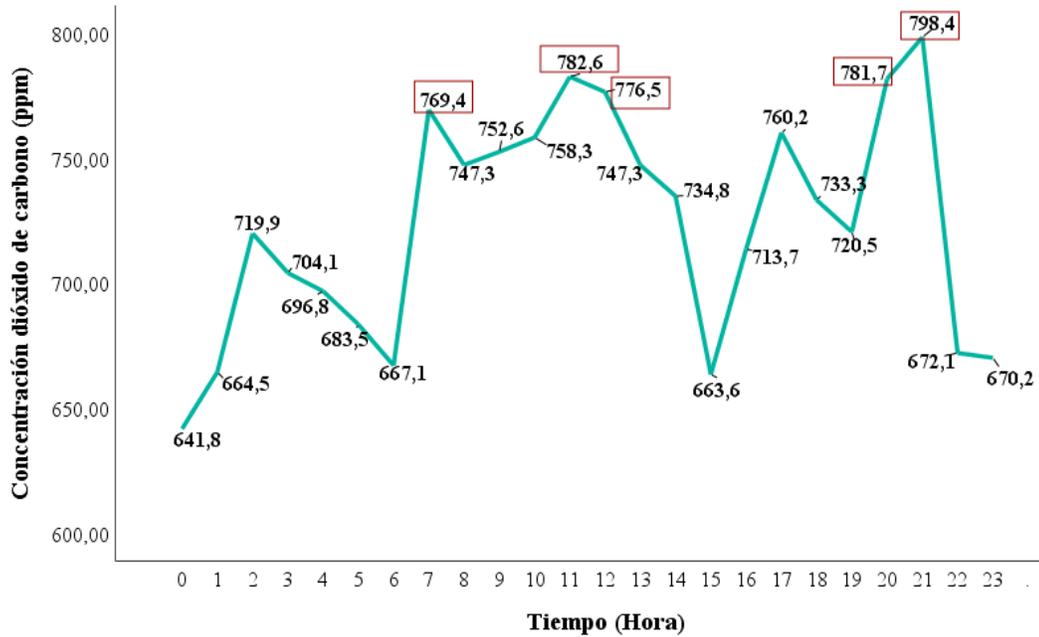
4.2. Emisiones de CO₂ en Puntos Críticos de Ibarra

En la evaluación de las emisiones se generó las curvas de concentración de CO₂, con los datos que fueron monitoreados durante 15 días (Anexo 5). En este estudio se detectó que el monitoreo de dióxido de carbono mantiene niveles superiores a 600 ppm, lo que según Soares et al (2023), menciona que es inadecuado para la vida diaria de un ser humano y se observa que estos datos se mantienen constantes por eso se indicaran a continuación, según cada punto crítico monitoreo (Figuras 11, 12 y 13) en la ciudad de Ibarra.

Este valor elevado de 798.4 ppm (Figura 10), durante las 21:00 pm mantienen un valor pico, debido a que la mayoría de los estudiantes universitarios que tienen la carga horaria en la noche, se movilizan hacia sus hogares con vehículos de transporte, lo que genera mucha congestión, además camiones y buses se concentran en la gasolinera aledaña. El resto de las horas se presencia que en el horario de las 07:00, 11:00 y 12:00 del mediodía también su nivel de emisión es alto.

Figura 11

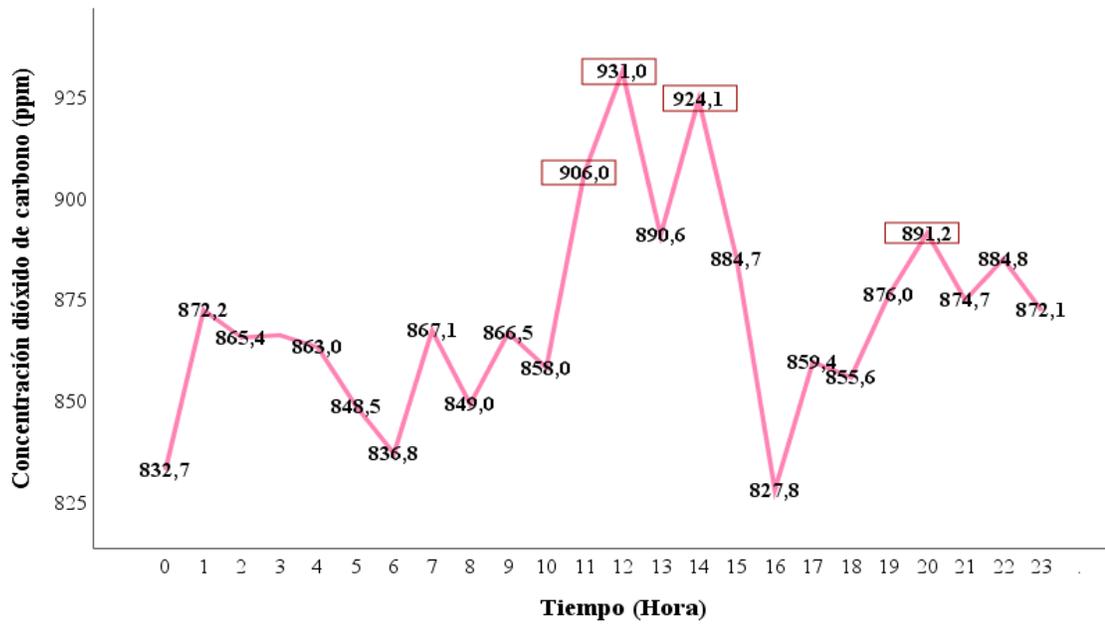
Concentración media de CO₂ en el norte de la ciudad de Ibarra



A partir de la revisión de los datos de CO₂ en el mercado Amazonas (Figura 11), se pudo observar que en el horario de las 11:00 am se genera una concentración de emisiones muy alta, debido a las actividades de flujo vehicular, flujo de personas y las actividades de comercio. Por otra parte, las concentraciones de CO₂ se mantienen en rangos de los 800 a 900 ppm. Sin

Figura 12

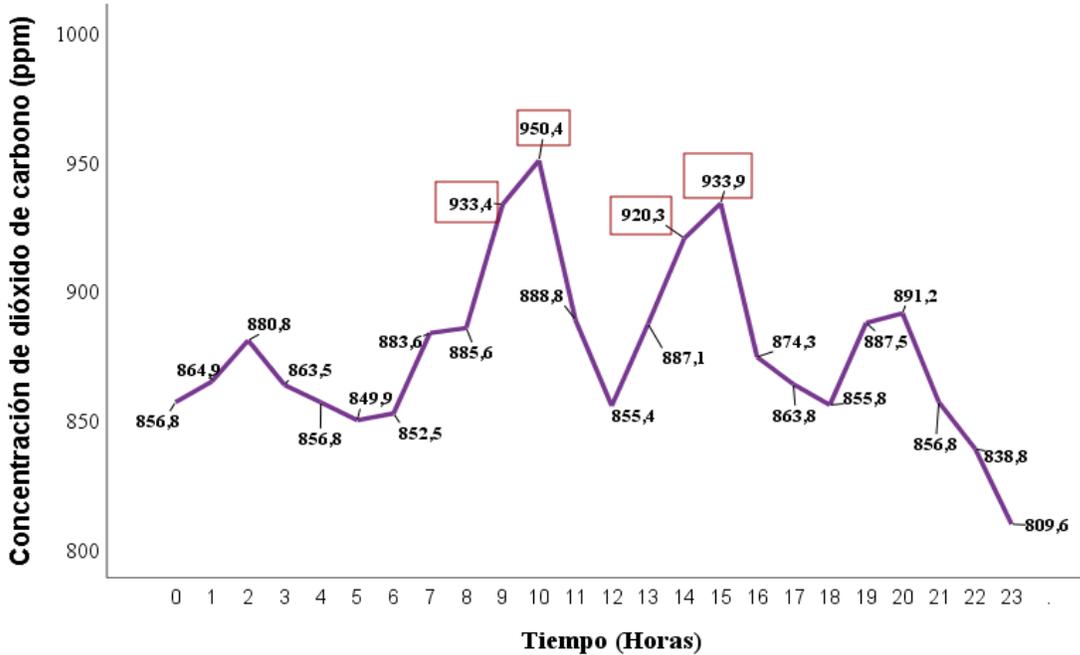
Concentración media de CO₂ en el centro de la ciudad de Ibarra



En cuanto a la concentración media de CO₂ en el sur de la ciudad (Figura 12), con referencia al punto crítico Supermaxi, la emisión con el pico más alto es a las 10:00 am con 950.4 ppm, y su valor bajo están en el horario de las 23:00 pm con 809.6 ppm. Además, se observa que las emisiones se mantienen entre valores de 800 a 900 ppm, datos similares a los del mercado Amazonas.

Figura 13

Concentración media de CO₂ en el sur de la ciudad de Ibarra



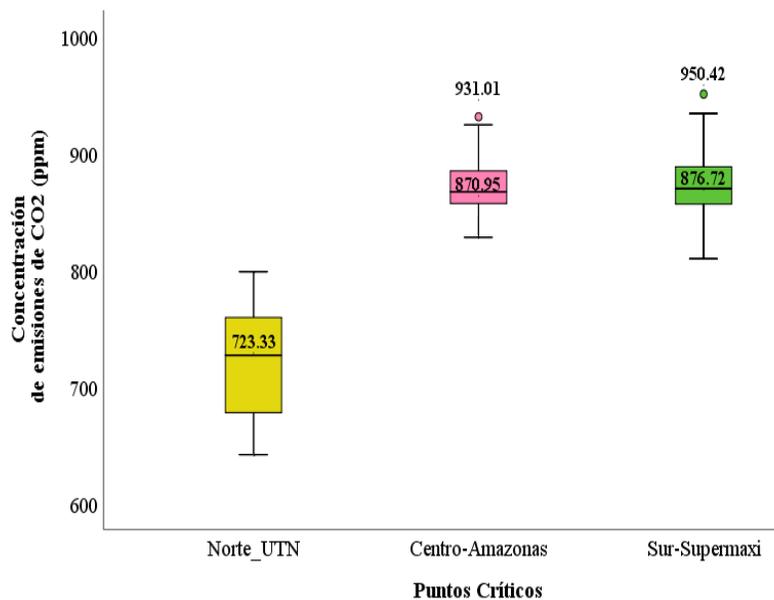
Posterior se realizó una comparación entre las medias de los tres puntos estratégicos mediante un diagrama de cajas y bigotes (Figura 13), el tiempo de monitoreo de la concentración de las emisiones de CO₂ se obtuvo que sus medias son diferentes en los tres casos, siendo la más apartada las emisiones de CO₂ de la Universidad Técnica del Norte, mientras que para los casos de Mercado Amazonas y Supermercado Supermaxi mantienen una similitud entre valores de 800 a 900 ppm. Esto sucede porque el primer punto crítico es solo por actividades académicas, mientras que los otros dos puntos críticos son comerciales, implicando más flujo vehicular y flujo de personas.

Previamente, antes de la realización de las gráficas de las emisiones de CO₂, se consideró la prueba de normalidad, donde los datos según la prueba de Shapiro-Wilk para los tres puntos críticos fue ($p=0.31$, $p=0.36$ y $p=0.13 > 0.05$), mientras que en la prueba ANOVA se obtuvo que (Valor $p=1 > 0.05$) por lo cual indica que existen diferencias, mientras, en la prueba de Tukey (Anexo 6) nos indica que mantienen relación el punto crítico centro Amazonas y el punto crítico sur Supermaxi de la ciudad

de Ibarra, Por lo tanto, la que mantiene una alta diferencia es el punto crítico norte UTN. Con esto se acepta la hipótesis alterna que al menos un punto crítico de emisiones de CO₂ es diferente a los demás, demostrado en las medias de la gráfica de cajas y bigotes (Figura 14).

Figura 14

Comparación de medias de los tres puntos críticos



Después de haber analizado los datos de la concentración media de las emisiones de CO₂ se puede apreciar que son valores significativamente altos en comparación al estudio hecho en Maringa, Brasil en donde sus valores se encuentran entre los 500 a 700 ppm, mientras, la presente investigación está entre los 700 a 900 ppm, esto surge porque la ciudad de Brasil cuenta con grandes extensiones de zonas verdes entre ellos parques y bosques. De forma similar, las dos investigaciones en sus horas pico ocurren en el horario de las 8:00, 13:00 y 19:00 (Soares et al, 2023). Sin embargo, en el caso de la ciudad de Nagpur, India menciona que la concentración alta de las emisiones ocurre durante la noche porque el nivel del proceso de la fotosíntesis es bajo (Chaudhari, 2007).

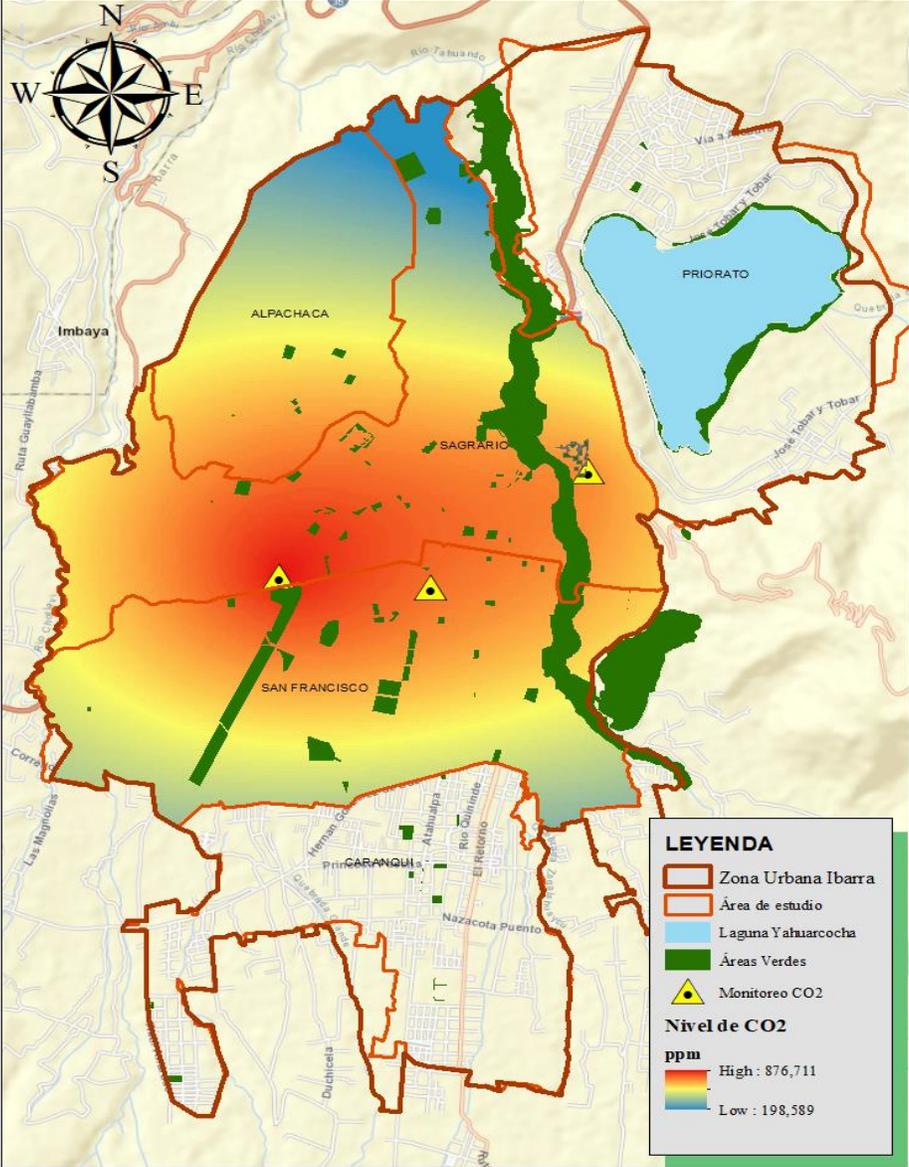
Al realizar la comparación de emisiones de CO₂ entre las tres ciudades como: Maringa con 788 ppm, Nagpur con 556 ppm y Ibarra con 931,01 ppm son valores muy diferentes, pero mantienen cierta relación en su punto de monitoreo en sectores comerciales y según cada estudio se debe a que existe escasa vegetación. Por otra parte, según la ciudad de Nagpur al mantener una concentración baja de emisión, el dato sigue siendo muy alto en su investigación porque este sector es el responsable de elevar el nivel promedio. Sin embargo, su ciudad mantiene niveles bajos por poseer diversidad de vegetación en sus parques, plantaciones, zonas forestales y campos agrícolas (Chaudhari, 2007; Soares et al, 2023).

4.3. Localización de Posibles Sumideros de Carbono

Se identificaron alrededor de 77 áreas verdes entre parques, plazoletas, estadios, canchas deportivas y cementerios (Figura 14). Sin embargo, la mayoría de estas áreas verdes presentan un tamaño de extensión menor a 1 hectárea lo cual impide que las emisiones de CO₂ sean captadas, especialmente en sectores en donde existe alto flujo vehicular y flujo de personas.

Figura 15

Mapa de áreas verdes y nivel de emisiones CO₂



En cuanto la distribución de las áreas verdes (Figura 16) que posee la ciudad de Ibarra se visualizó que los radios de influencia no abarcan a toda la población y este punto importante se debe a su tamaño, ya que según Gómez (2020) menciona que los espacios verdes cumplen mejor su función ecológica cuando presentan un tamaño grande y estén mejor conectados con otra, también al contener un área mayor, la accesibilidad mejora como zona de influencia. En caso del índice Verde Urbano (IVU) en la población de Ibarra, no cumple con lo sugerido por la OMS (Tabla 9), lo cual indica que no depende de la cantidad de áreas que exista, pero sí de su calidad que se les otorgue porque su importancia mantiene una correlación entre la accesibilidad y el aumento de la actividad física (Wolch et al., 2014). Por otra parte, la planificación de las áreas verdes debe considerar el equilibrio del desarrollo del tejido urbano, y no solo un enfoque de “relleno”, más bien conviene estar conectadas las funciones recreativas, estéticas y ecológicas (Sorensen et al., 1998).

Según el IVU (Tabla 9), la parroquia Dolorosa de Priorato registra el mayor valor con 4.085 m²/hab por presentar aún número reducido de habitantes, mientras, las demás parroquias mantienen un número alto de habitantes.

Tabla 9

IVU en parroquias urbanas de la ciudad de Ibarra año 2023

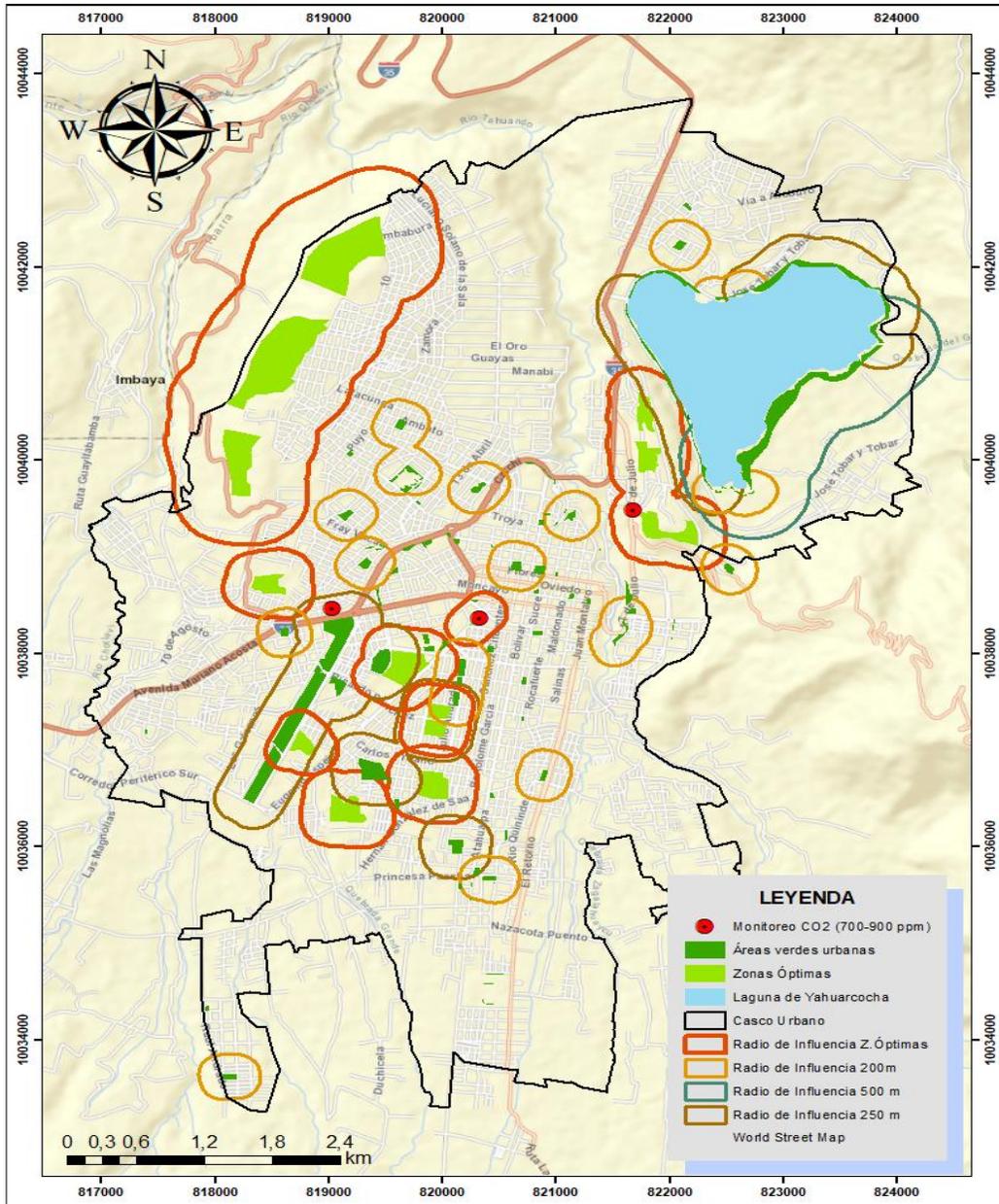
Parroquias de Ibarra	Total, de áreas verdes(m ²)	Población Urbana	IVU (m ² /hab.)	Áreas verdes OMS(m ² /hab)
Guayaquil de Alpachaca	32 030.50	17 642.64	1.816	158 784.764
San Francisco	137 357.50	60 125.80	2.285	541 132.202
La Dolorosa de Priorato	36 780.20	9 003.47	4.085	81 031.231
Caranqui	59 899.40	19 611.24	3.054	176 501.160
Sagrario	202 173.71	51 486.87	3.927	463 382.830
Tota	468 241.31	157 870.02	2.965	1 420 830.180

Nota. Según la OMS se recomienda que exista 9 m²/hab.

La distribución de áreas verdes de la ciudad de Ibarra que se presenta en la Figura 15, mantienen una influencia que no satisface en gran medida a la población y al ambiente. Sin embargo, hay áreas que contribuirían a la zona urbana de Ibarra considerando una planificación adecuada para ser zonas óptimas.

Figura 16

Distribución de áreas verdes según su grado de influencia



También se proyectó el índice de verde urbano para el año 2040 (Tabla 10) y muestra que cada vez que la población siga en aumento, el índice será significativamente bajo.

Tabla 10

IVU de la ciudad de Ibarra para el año 2040

Parroquias de Ibarra	Total, de áreas verdes(m²)	Población Urbana	IVU (m²/hab.)	Áreas verdes OMS(m²/hab)
Guayaquil de Alpachaca	32 030.50	22 557.40	1.420	203 016.60
San Francisco	137 357.50	76 881.00	1.787	691 929.00
La Dolorosa de Priorato	36 780.20	11 512.50	3.195	103 612.50
Caranqui	59 899.40	25 076.40	2.389	225 687.60
Sagrario	202 173.71	65 834.70	3.071	592 512.30
Total	468 241.31	201 862.00	2.320	1 816 758.00

Nota. Según la OMS se recomienda que exista 9 m²/hab.

El valor total del índice verde urbano para toda la población urbana de Ibarra en 2023 fue de 2.965 m²/ hab, mientras, 2040 de 2.320 m²/hab, comparando estos dos valores con los 2.73 m²/hab de la ciudad de Machala del año 2020 son aproximadamente iguales (Pulla y Rodríguez, 2021). Además, en el año 2010 en un estudio realizado a la parroquia urbana Puerto Bolívar perteneciente a la ciudad de Guayaquil contaba con 1.13 m²/hab, lo que pone en evidencia que este problema del manejo de las áreas ha surgido años atrás por falta de una correcta planificación (Vargas et al., 2014). Esto manifiesta que Ecuador mantiene una deficiencia en áreas verdes,

por tanto, aún el país requiere que sus ciudades se gestionen de mejor manera en la zona urbana para alcanzar según lo propuesto por la OMS de 9m²/hab y por la sociedad brasileña de forestación urbana con 15m²/hab (SBAU,1996).

En cuanto al resultado de la categorización (Tabla 11) se seleccionó a 20 parques que mantienen cierta influencia en la parte de contaminación de CO₂. De acuerdo con esta categorización, los parques contienen un porcentaje mayor al 50% en cobertura vegetal, excepto el parque Simón Bolívar. Sin embargo, la cobertura vegetal existente contiene un número reducido de árboles, especialmente en las categorías barrial y sectorial. Con lo que respecta al porcentaje de pavimento el parque Simón Bolívar contiene un 78.52%, mientras, los parques San Martín de Porres, German Grijalva, Vicente Ponce, Héroes del 41, del Tren y Ciudad Blanca mantienen un pavimento que va desde el 41 al 44%, es decir que la mitad de estas áreas mantiene una cobertura vegetal interrumpida por el pavimento.

Tabla 11

Categorización de las áreas verdes urbanas

Parque	Área(m ²)	Categoría	% Cobertura Vegetal	Categoría	Nro. de árboles	% Pavimento
Triángulo	3 406,30		79.23	Continuada	64	20.77
San Martín de Porres	3 898,00		56.22	Interrumpida	35	43.78
German Grijalva	3 235,00	Barrial	58.15	Interrumpida	24	41.85
La Niñez	3 880,80		84.56	Continua	30	15.44
Carchi	4 693,19		77.15	Continua	28	22.85
Periodismo	4 653,29		69.05	Interrumpida	32	30.95
Boyacá	4 175,79		68.3	Interrumpida	43	31.7
Vicente Ponce	4 280,00		56.7	Interrumpida	38	43.3
Simón Bolívar	6 412,99		21.48	Rara	25	78.52
La Mujer	6 746,94	Sectorial	80.59	Continua	42	19.41
La Merced	8 088,00		66.42	Interrumpida	38	33.58
Pedro Moncayo	9 017,50		88.74	Continua	37	11.26
El Sol	9 086,00		71.58	Interrumpida	3	28.42
Héroes del 41	9 957,00		55.29	Interrumpida	7	44.71
Del Tren	18 045,79	Zonal	57.87	Interrumpida	55	42.13

La Familia Yacucalle	27 137,50		76.19	Continua	255	23.81
República de Chile	36 180,00		78.51	Continua	29	21.49
Pilanqui	31 172,00		71.48	Interrumpida	218	28.52
Ciudad Blanca	232 868,50	Metropolitano	55.78	Interrumpida	2.107	44.22

En cuanto al índice de verde urbano (IVU) determinado por la metodología aplicada y según datos técnicos, no difieren de los estudios realizados en nuestro país, lo que corrobora que los instrumentos y metodologías son válidos y pueden replicarse para estudios posteriores. El impacto social esperado de determinar estos tres objetivos respecto a las áreas verdes de Ibarra se orienta a revelar las realidades de los ecuatorianos, en concientizar que las zonas arbóreas urbanas están vinculadas al equilibrio entre el ambiente y el ser humano. Por tanto, al manejar de forma integral la futura planificación de áreas verdes, se destaca las necesidades urbanas reales con disposición y distribución de la geomorfología del sector estudiado.

Por tanto, la propuesta que otorga este estudio es dar un correcto aprovechamiento de las áreas verdes, realizando un correcto uso del recurso árbol de acuerdo con los siguientes detalles (Tabla 12):

Tabla 12

Factores de diseño ambiental

Selección de especies	Aspectos físicos	Requerimiento de diseño
Arbóreas	Clima	Regulación humedad y temperatura
Arbustivas	Luz	Escala espacial
Herbáceas	Superficie disponible	Valor Funcional
	Suelo	Control de viento
	Forma de la planta	Contaminación
	Calidad de la planta	Soleamiento: Sombra del árbol
		Erosión: Suelos adecuados

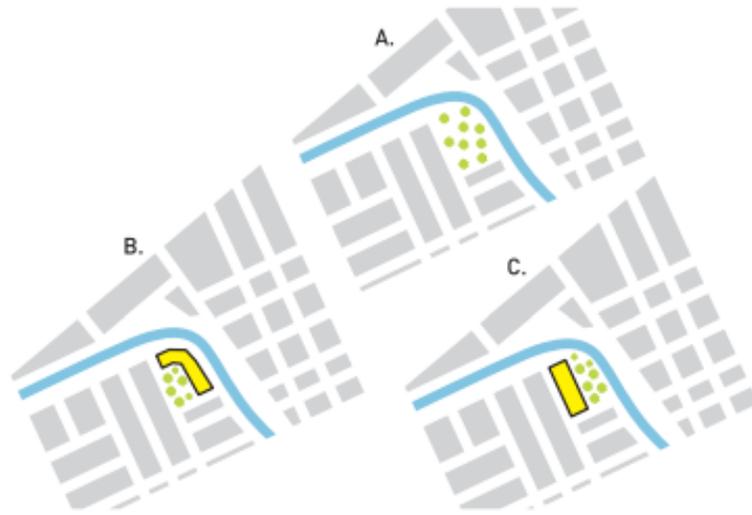
Nota. Recuperado de (Arias, 2010)

Además, según Moreno y Hoyos (2015) en cuanto a criterios ecológicos o ambientales que se requieren en el proceso de planificación y manejo del arbolado urbano son los siguientes:

- “Optimizar la localización de nuevos espacios públicos verdes (Figura 17) reduciendo el déficit cualitativo y cuantitativo” (p.36).

Figura 17

Localización de espacios verdes y conectividad

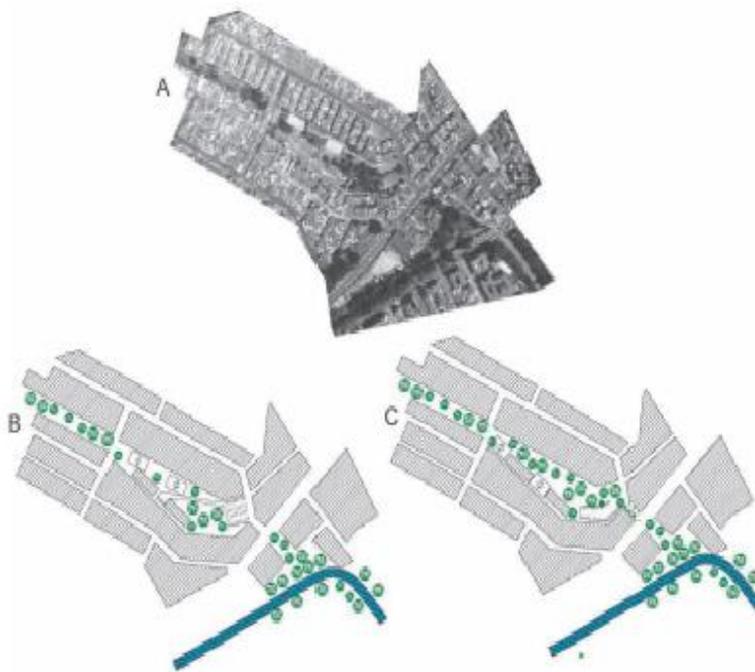


Nota. Se visualizo dos situaciones respecto al contexto urbano. A) Lote previo sin urbanizar. B) Localización sin criterios de conectividad a otros espacios o sistemas verdes. C) Una opción de conectividad al sistema hidrográfico

- “Reducir la fragmentación y residualidad en características del verde urbano (Figura 18) mediante el mejoramiento de las condiciones espaciales de tamaño y forma para los espacios actuales y futuros” (p.38). Fragmentación de las áreas verdes al interior de un parque,

Figura 18

Fragmentación de las áreas verdes al interior de un parque



Nota. Se visualiza la distribución de los usos del suelo sin criterios de conectividad. A) y B) Situación actual. C) Distribución espacial hipotética de los mismos usos con menor fragmentación al interior

- “Establecer corredores ecológicos continuos entre espacios verdes (Figura 19) como estructuras de conectividad y funcionalidad ambiental del paisaje urbano” (p.41).

Figura 19

Los corredores hidrográficos como rasgos naturales del paisaje

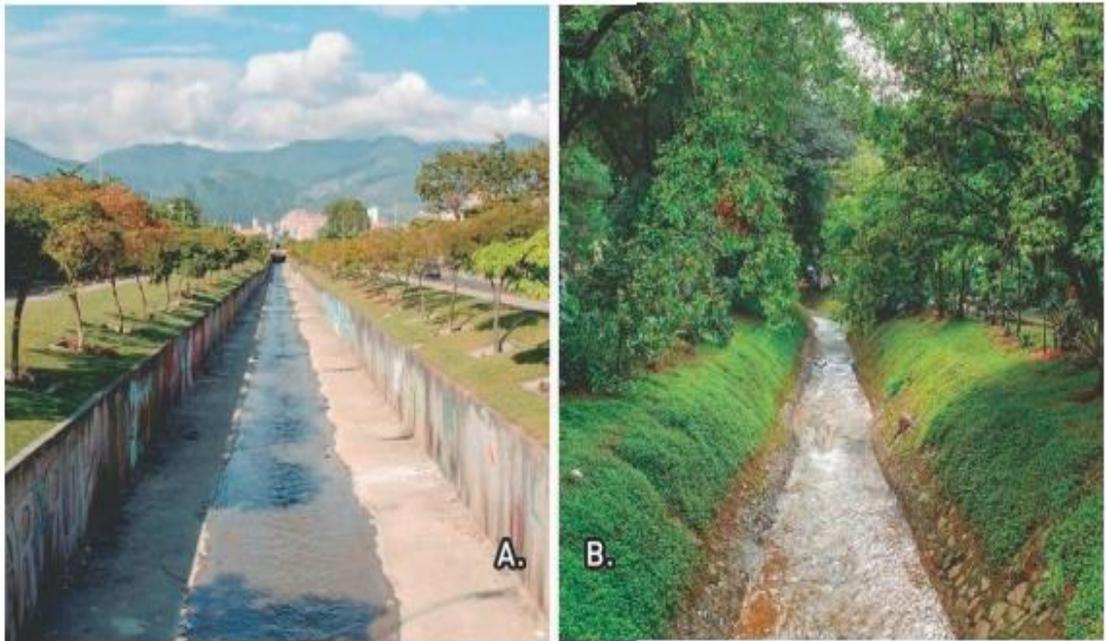


Nota. También los corredores son estructuradores urbanos. Su composición mantiene un criterio prioritario para la generación de nuevo suelo verde en las ciudades. A) Corredores fragmentados en comuna nororiental de Medellín. B) Recuperación hipotética.

- “Reconocer las características geomorfológicas e hidrográficas del paisaje (Figura 20) como rasgos naturales a proteger en el diseño o manejo de los espacios y corredores verdes” (p.44)

Figura 20

La canalización de corrientes hídricas asociadas al sistema vial.



Nota. A) Artificialización, deterioro paisajístico y ruptura de las relaciones fauna-agua en la ciudad, ocasionada por los canales en U. B) Opciones de mayor funcionalidad ecológica (canales en V y en piedra).

- “Identificar y analizar los condicionantes abióticos (clima, suelo) como punto de partida para la selección de especies vegetales, en función de sus requerimientos ecológicos” (p.46). Un ejemplo de ello la compactación de suelo que siempre esta presente en las ciudades actuales (Figura 21)

Figura 21

Compactación del suelo en zonas verdes por pisoteo reiterativo



Nota. Posibles problemas de drenaje

- “Seleccionar, disponer y manejar los elementos vegetales en los espacios verdes en la perspectiva de mejorar su funcionalidad ecológica y urbana” (p.49). Por los asentamientos humanos existen áreas verdes que fueron creadas de una manera artificial, sin armonía natural (Figura 22)

Figura 22

Diseño y composición de espacios verdes urbanos



Nota. A) Jardines de mayor artificialidad, corta duración y exigencia en manejo. B) Jardines con criterios de naturalidad y sustentabilidad.

- “En este sentido, la Figura 23 muestra diferentes opciones o paisajes verdes al interior de un parque metropolitano (Parque Metropolitano Simón Bolívar, Bogotá), los cuales conllevan distintos niveles de densidad del componente arbóreo y diferentes ofertas ambientales y recreativas a los usuarios” (p.55).

Figura 23

Conceptualización y configuración de paisajes verdes



Nota. El manejo de la densidad depende de los elementos vegetales: ambientes de praderas, sabanas, arboledas, bosques. Espacios con distintas funciones ecológicas y sociales. Parque Simón Bolívar, Bogotá.

Tras investigar estos criterios y factores ambientales, se sugiere repotenciar los parques de la ciudad, uno de ellos el parque Ciudad Blanca, ya que su diseño aún requiere reducir la compactación del suelo y por el tamaño que abarca esta zona verde puede configurar el paisaje, distribuyendo correctamente los elementos vegetales. Por otra parte, con la información que se generó en esta investigación, se requiere la distribución de especies forestales que forjen beneficios ambientales especialmente nativas o endémicas que controlen el cambio climático (Tabla 13), para así contribuir con otro sumidero de carbono que controle las emisiones de CO₂. A continuación, se muestra un ejemplo del parque ciudad Blanca, en cuanto un prototipo de su diseño del paisaje con el aumento de cobertura vegetativa, la cual por su gran tamaño se lo distribuyó mediante bloques (Figura 23,24 y 25).

Tabla 13

Especies arbóreas para el control del cambio climático

Especies arbóreas

Características de la especie

- Origen: Ecuador y Perú (Nativa)
- Tolerancia ante las emanaciones de CO₂.
- Resistencia a la contaminación ambiental.
- Forma parte de avenidas, parques y jardines.
- Crea un ambiente más saludable para los habitantes



Nombre común: Arupo
Nombre científico: *Chionanthus pubescens*

- Origen: Sudamérica
- Reforesta cuencas.
- Proteger las riberas de ríos.
- Controlar la erosión de laderas.
- Recomendable para restauración
- Resistente a la sequía.
- Arborizar las ciudades, tanto por su belleza como por su resistencia a la escasez de agua



Nombre común: Molle
Nombre científico: *Schinus molle*

- Origen: Sudamérica
- Mejorar el ornato de parques.
 - Raíces no son invasoras
 - Resistente a la contaminación urbana.
 - El CO₂ que puede absorber es Diariamente de miles de vehículos.
 - Verdaderos sumideros de CO₂.



Nombre común: Jacaranda
Nombre científico: *Jacaranda mimosifolia*

- Origen: Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela
- Restauración del ciclo
- Especie clave para el cambio climático
- Mitigación del cambio climático
- Almacenar carbono
- Recupera suelos
- Disponibilidad del recurso hídrico
- Sus raíces profundas permite acceder a nutrientes



Nombre común: Nogal
Nombre científico: *Juglans neotropica*

- Origen: Nativa de América del Sur
- Se adapta a diferentes tipos de suelo y pH
 - Rápido crecimiento
 - Reduce la velocidad del viento
 - Fija carbono cerca de 6,15 Mg/ha anualmente
 - Protege cuencas hidrográficas
 - Controla la erosión.



Nombre común: Aliso
Nombre científico: *Alnus acuminata Kunth*

- Origen: Nativa de América del Sur
- Mejora el paisaje
 - Captura carbono
 - Protege cuencas hidrográficas,
 - Protege cursos o fuentes de agua
- Adaptable en ecosistemas de desertificación
Reforestación en suelos degradados
- Conserva suelos



Nombre común: Guarango
Nombre científico: *Caesalpinia spinosa*

Fuente:(Lojan, 2003; EROSKI,2007; Ramachandran Nair et al., 2009; Perú Ecológico, 2016;

FONAG,2016; Oliva & Rimachi, 2018; Aulesia et al., 2018)

Nota. Información extraída de diferentes fuentes

Figura 24

Bloque 1 del diseño del parque Ciudad Blanca



Figura 25

Bloque 2 del diseño del parque Ciudad Blanca



Figura 26

Bloque 3 del diseño paisajístico del parque Ciudad Blanca



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La estimación de carbono fijo contenido en la biomasa es diferente para cada especie arbórea, ya que los resultados indican que *Schinus molle* presenta 6.3%, *Callistemon citrinus* 5.2% y *Spathodea Campanulata* 3.4%. Con esto podemos ver que el proceso natural que realizan en el ambiente es muy importante conocerlo, para decidir que especies contribuyen a mejorar la calidad ambiental en la zona urbana y que son hábitat de algunas especies de aves. En la deconvolución de las curvas de DTGA, se visualizó el comportamiento que tienen los principales componentes como son la hemicelulosa, celulosa y lignina, indicaron que las fibras de las especies son resistentes unas de otras.

En el monitoreo de calidad del aire mediante el uso del sensor de CO₂ de módulo (MG-811), se evidenció que el sector donde se encuentra el mercado Amazonas y Supermaxi mantiene valores entre 800 a 900 ppm, a diferencia de los datos registrados en la Universidad Técnica del Norte entre los 600 a 700 ppm, debido a que dos de estos lugares existe mayor actividad antropogénica y en el otro caso le favorece la cercanía que tiene con la vegetación del Río Tahuando. Por lo tanto, la ciudad de Ibarra requiere un mejor control de las emisiones al exterior, especialmente en sectores donde hay mayor influencia vehicular y constantes actividades comerciales.

Además, con los resultados obtenidos en la investigación, aceptamos la hipótesis alternativa en la que las emisiones de CO₂ generadas en la zona urbana no son controladas por el carbono fijo presente en la ciudad de Ibarra, además, esta cantidad de 29 204.4 T de carbono que captan las especies es muy baja en comparación a las emisiones que se registraron en los 15 días de monitoreo. Por otra parte, según el IVU de 2.965 m²/ hab se verifica que esto ocurre por el tamaño reducido de su extensión de sus áreas verdes debido a que en su mayoría son menores de 1 ha y a su vez no abarcan

una alta densidad vegetativa. Por tanto, generar zonas optimas de sumideros de carbono aportarían para la salud ambiental de la ciudad mediante el mejoramiento de sus áreas verdes y una planificación adecuada que relacione entre la población y la ecología.

5.2. Recomendaciones

En cuanto al análisis de termogravimetría se debería aplicarla a más especies arbóreas, ya que esto permitirá tener más registros de valores exactos en cuanto al carbono fijo que cada una de ellas almacena en sus estructuras. Por otra parte, en cuanto a la copa de los árboles sería factible experimentar la extracción también de sus muestras y saber si mantiene el mismo carbono que el fuste.

Encontrar un lugar adecuado para la instalación del sensor ya que puede verse afectado por las temporadas lluviosas y presencia de viento o ruido, esto puede afectar a la medición de los datos y el análisis podría ser alterado. Por otra parte, se recomienda usar un sensor inalámbrico para que los datos lleguen directamente al computador y poder revisar desde nuestra oficina. De igual forma, un mayor número de sensores permitiría el aprovechamiento del tiempo de monitoreo.

En cuanto a las áreas verdes urbanas se les debería generar una conectividad, implementado corredores ecológicos y a su vez mejorar el diseño paisajístico que proporcione de mejor manera las funciones ambientales que requiere la ciudad. Además, al ser una ciudad que tiene presencia de avifauna permitiría que estas no recurran al aglomeramiento en un solo sitio.

REFERENCIAS

- Andrade, L., Carrasco, G., Cisneros, J., Gamboa, D. (2021). Plan General de Infraestructura Verde (PGIV) de la ciudad de Ibarra 2021.
- Alvey, A.A. (2006). Promoting and preserving biodiversity in the urban forest. *Urban Forestry and Urban Greening*. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.09.003>
- Álvarez, G. (2008). Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia. Tesis de Posgrado de Magister Scientiae en Manejo y Conservación de Bosques.
- Arias, S. (2010). La calidad del paisaje en los parques urbanos. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/12845/07_Arias_Silvia.pdf
- Aulesia, E., Jimenez, L., Quizhpe, J y Capa, M.(2018). *Alnus acuminata* kunth: una alternativa de reforestación y fijación de dióxido de carbono
<https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/495/390>
- Avendaño Hernández, D. M., Acosta Mireles, M., Carrillo Anzures, F., Erchevers Barra, J. D. (2009). Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802009000300011&lng=es&tlng=es
- Abkari, H.S., Davis, S., Dorsano, S. Huang, J. y Winnett, S. (1992). Enfriando nuestras comunidades: una guía sobre plantación de árboles y superficies de colores claros. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. <https://escholarship.org/content/qt98z8p10x/qt98z8p10x.pdf>
- Bartens, J., Day, SD, Harris, JR, Wynn, TM y Dove, JE (2009). Transpiración y desarrollo radicular de árboles urbanos en reservorios de aguas pluviales de suelo estructural. *Reinar. Gestionar*.
- Benavides Meza, H. M., & Villalón Rojas, R. (1992). Algunos Aspectos Del Arbolado De Alineación De La Delegación Vemustiano Carranza, D.F. Mexico.
- Benavides, Mayumi Okuda, & Gómez-Restrepo, Carlos. (2005). Métodos en investigación cualitativa: triangulación. *Revista Colombiana de Psiquiatría*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-74502005000100008&lng=en&tlng=es.
- Benavides, H. O. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
- Bibri, Simón Elias, y John Krogstie. (2017). “Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review”.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.016>.

- BID (Banco Interamericano de Desarrollo, 2012). Las ciudades latinoamericanas poseen suficiente espacio verde público. ¿Qué es suficiente espacio verde público? <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/laciudades-latinoamericanas-poseen-suficiente-espacio-verde-publico-que-es-suficiente-existe-un-minimo/>
- Bonneval, H. (1972): *Photogrammétrie Générale*. París: Ed. Eyrolles.
- BOZKIA. (2024). Innovación para darle valor al bosque. <https://www.facebook.com/SoyBozkia/posts/895409529066487>
- Cabrera, C. A., Ponce, C. J., Cevallos, C. C., Morán, J. J., Cabrera, R. P. (2020). Áreas verdes y arbolado en la zona urbana del cantón Jipijapa.
- Burghardt, KT, Tallamy, DW y Gregory Shriver, W. (2009). Impacto de las plantas nativas en la biodiversidad de aves y mariposas en paisajes suburbanos. *Conservar. Biol.* doi: 10.1111/j.1523-1739.2008. 01076.
- Cabudivo Coquinche, K. (2017). Secuestro De Co₂ Y Producción De Oxígeno En Árboles Urbanos De La Av. Abelardo Quiñones - Distrito San Juan Bautista. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Iquitos - Perú.
- Cancino, J. O. (2006). *Dendrometría básica*. Universidad de Concepción. Facultad de ciencias forestales. Departamento manejo de Bosques y Medio Ambiente. Chile
- Cañada, M., Moreno, A., González, H. (2014). Modelado de la calidad del aire urbano. Un experimento metodológico con técnicas de interpolación espacial.
- Cardona, C., Garzón, J., Jiménez G. (2019). Estimación de la captura de carbono en un relicto de bosque urbano mediante técnicas de teledetección. <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v19n37/2248-4094-rium-19-37-13.pdf>
- CEPAL. (2013). Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36622/1/S2013813_es.pdf
- CESPAP. (2012). Low Carbon Green Growth Roadmap for Asia and Pacific. <https://sdghelpdesk.unescap.org/e-library/low-carbon-green-growth-roadmap-asia-and-pacific-turning-resource-constraints-and-climate>
- CIES. (2021). COP26: decisiones para acelerar la recuperación climática. https://www.cies.org.pe/sites/default/files/files/articulos/economiaysociedad/es_100_ep-cop26_y_cambio_climatico_en_nuevo_escenario_global.pdf
- Chaudhari PR, Gajghate DG, Dhadse S, Suple S, Satapathy DR, Wate SR. (2007). Monitoring of environmental parameters for CO₂ sequestration: a case study of Nagpur City, India. *Environ Monit Assess.* Dec;135(1-3):281-90. doi: 10.1007/s10661-007-9649-7.

- Chinnabut, Sopaphan. (2021). Análisis de la clasificación de espacios verdes urbanos mediante análisis de patrones de paisaje basado en sistemas SIG y teledetección en Pattaya, Tailandia. <http://ir.buu.ac.th/dspace/bitstream/1513/374/1/62910175.pdf>
- Civeira, H. G. (2015). Agroforestería periurbana una opción para la producción sustentable en los alrededores de Buenos Aires. <http://revistas.ut.edu.co/index.php/scientiaagro/article/view/740/576>
- Constitución de la República del Ecuador (2008). Quito-Ecuador. Obtenido de Registro Oficial No.449 del 20 de octubre 2008. <https://n9.cl/kfgdw>
- Código Orgánico Ambiental. (2017). Ley 0 de Registro Oficial Suplemento 983 de 12-abr.-2017. https://www.ambiente.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Criollo, S. (2018). Evaluación de la cobertura vegetal de los parques del programa de adopción de parques y zonas verdes de la ciudad de Cali como estrategia para la mitigación de islas de calor. (tesis de pregrado). Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali, Colombia
- Cuenca, M., Jadán, O., Cueva, K., Aguirre, C. (2014). Carbono y ecuaciones alométricas para grupos de especies y bosque de tierras bajas, Amazonía Ecuatoriana
- Cusme, M., Farfán, E. (2022). Evaluación del Índice Verde Urbano de la Parroquia Calceta para la Elaboración de un Plan de Manejo de Áreas Verdes
- Díaz Cordero, Gerarda (2012). El cambio climático. Ciencia y Sociedad. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87024179004>
- Dobbs, C., Martínez, M. y Kendal, D. (2017). Ecosystem services. En Ferrini, C. Konijnendijk van den Bosch y A. Fini, eds. Routledge handbook of urban forestry. Londres, Routledge. <https://n9.cl/o6vpf>
- Dobbs, C., Escobedo, F. y Zipperer, W. (2011). A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. Landscape and Urban Plann.
- Duarte Cueva, Franklin (2014). Efectos del cambio climático en la economía, el comercio internacional y la estrategia empresarial. Contabilidad y Negocios. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=281636188006>
- Dwyer, J.F., McPherson, E.G., Schoeder, H. W, and Rowntree, R. A. (1992). Assessing the benefits and costs of the urban forest. J. Arboric
- EROSKI. (2007). La Universidad de Sevilla desvela la cantidad de CO₂ que absorben los árboles.
- FAO. (2016). Guidelines on urban and, peri-urban forestry. Roma: Food and

- Agriculture Organization of the United Nations.
- FONAG. (2016). Cadenas agro-productivas para la conservación de la cuenca media
https://www.fonag.org.ec/doc_pdf/6.pdf
- Frutos, Pablo de y Esteban Sonia. Estimación de los beneficios generados por los parques y jardines urbanos a través del método de valoración contingente.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=50412489001>
- GAD-MI. (2019). Proyecto de arbolado urbano se realiza con normalidad.
<https://www.ibarra.gob.ec/site/blog/2019/08/05/proyecto-de-arbolado-urbano-se-realiza-con-normalidad/>
- GAD-MI. (2015). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Ibarra 2015-2023. <https://n9.cl/6ty8g>
- Garcia, C. S. G., Paiva, P. D. de O., Bruck, J., & Sousa, R. de B.. (2021). Distribution of urban green spaces: Comparative analysis between cities in different countries. *Ornamental Horticulture*, 27(1), 8–19. <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v27i1.2151>
- Gayoso, J. (2001). Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Trabajo presentado en Taller Secuestro de Carbono. Mérida, Venezuela.
- Ghafar, H y Zailani, R. (2018). Thermogravimetric analysis of mangrove Wood.
- Greenpeace. (2009). Transporte: El motor del cambio climático. Madrid: Artegraf.
<https://n9.cl/r8rr4>
- Gómez, F., Tamarit, N., & Jabayoles, J. (2001.). Green zones, bioclimatics studies and human comfort in the future development of urban planning. *Landscape and urban planning*
- González, C. (2002). Beneficios del arbolado urbano.
<https://digital.csic.es/bitstream/10261/24578/1/Beneficios%20del%20arbolado%20urbano.pdf>
- González, A y Barraza, J. (2009). Características termogravimétricas de carbonizados obtenidos a altas velocidades de calentamiento
- Guerrero, M., Orellana, D., Andrade, J., y Naranjo, G. (2020). Relation between Proximity to Public Open Spaces and Socio-economic Level in Three Cities in the Ecuador Andes. Universidad de Cuenca.
- Gutierrez, G., y Ricker, M. (2014). Manual tomar virutas de madera con el barreno de pressler en el inventario nacional forestal y de suelos.
https://www.researchgate.net/publication/261876928_Manual_para_tomar_virutas_de_madera_con_el_barreno_de_Pressler_en_el_Inventario_Nacional_Foresta

L_y_de_Suelo

- Heisler, G. M, Grant, R.H, Grimmond S, and Souch C. (1995). Urban forest cooling our communities? In: Kollin C and Barratt M eds, Proc 7th National Urban Forest Conference, pp. 31- 34. American Forest, Washington, DC.
- Hernández, P. (2014). Captura de carbono del arbolado urbano de la unidad deportiva sierra hermosa, tecámac, edo. de méxico. universidad autónoma chapingo, división de ciencias forestales. Chapingo, México.
- IEA. (2012). Technology Roadmap – Fuel Economy of Road Vehicles. Paris: International Energy Agency. <https://n9.cl/pmafs>
- INEC. (2010). Normativa Internacional del Índice Verde Urbano. http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Sitios/sitio_verde/boletin.pdf
- INEC. (2023). Censo Ecuador. <https://censoecuador.ecudatanalytics.com/>
- Instituto Forestal (1993). Ciencia e investigación forestal (Volumen7 N°1). FILIAL CORFO. Chile. <https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/10840/18538.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- IPCC. (2007). Cambio climático. Informe de síntesis. Contribución de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático.
- Jackson, W.J y Ingles, A.w (2004). Técnicas Participativas para Actividades Forestales Comunitarias: Manual de Campo. UICN, Gland, Suiza y Cambridge, RU y Fondo Mundial para la Naturaleza. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/FR-IS-004-Es.pdf>
- Kabish, N., Qureshi, S., y Haase, D. (2015). Human-environment interactions in urban green spaces- A systematic review of contemporary issues and prospects for future research. Environmental Impact Assessment Review.
- Kendal, D., Dobbs, C. y Lohr, V. (2014). Global patterns of diversity in the urban forest: ¿is there evidence to support the 10/20/30 rule? Urban Forestry and Urban Greening.
- Klug, Michael. (2012). Pirólisis, un proceso para derretir la biomasa. Revista De Química. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/5547>
- Konopacki, S., y Akbari, H. (2002). Energy savings of heat-island reduction strategies in Chicago and Houston (including updates for Baton Rouge, Sacramento, and Salt Lake City).
- Loján. (2003). El Verdor de los Andes 2da edición Quito Ecuador. Ed Luz de

América.213pp

- Lupi, A., Flores, M., Falconier, M. y Tato, C. (2019). Antecedentes y Cultivo del género paulownia “kiri” en argentina. https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/desarrollo-foresto-industrial/silvicultura/_archivos2/Cultivo-del-genero-Paulownia-KIRI-en-Argentina.pdf
- Medina Valtierra, Jorge (2010). La dieta del dióxido de carbono (CO₂). Conciencia Tecnológica. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94415753009>
- McPherson, E., Nowak, D. y Rowntree, R. (1994). Chicago´s urban forestry ecosystem. Results of the Chicago Urban Forest climate Project. <https://www.csu.edu/cerc/documents/ChicagosUrbanForestEcosystem-ResultsoftheChicagoUrbanForestClimateProject.pdf>
- McPherson, E. Gregory. (1998). Atmospheric Carbon Dioxide Reduction by Sacramento´s Urban Forest. *Journal of Arboriculture*
- Mi, Zhifu, Dabo Guan, Zhu Liu, Jingru Liu, Vincent Vigiúé, Neil Fromer, y Yutao Wang. (2019). “Cities: The core of climate change mitigation”. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.034>.
- Molina, A.B.M., y Cazorla, M.C. (2013). Acciones Legislativas necesarias para la aplicación del protocolo de Kyoto en el Ecuador, Universidad del Azuay
- Molina, M.J., Molina, L.T. (2004). Megaciudades y contaminación atmosférica. https://tecnologiasostenibilitat.cus.upc.edu/continguts/exemples-dinsostenibilitat-social.-el-cas-de-rwanda/bibliografia/Megaciudades%20y%20contaminacion%20atmosferica.pdf/at_download/file
- Moreno, F. y Hoyos, C. (Eds.). (2015). Guía para el manejo del arbolado urbano en el Valle de Aburrá. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Nacional de Colombia.
- Neuhauser, C. (2004). Matemáticas para ciencias. España: Pearson Educación. https://www.google.com.ec/books/edition/Matem%C3%A1ticas_para_ciencias/APIw178ltvgC?hl=es-419&gbpv=1
- Nowak, DJ, Hirabayashi, S., Doyle, M., McGovern, M. y Pasher, J. (2018). Eliminación de la contaminación del aire por los bosques urbanos en Canadá y su efecto sobre la calidad del aire y la salud humana. *Urbano para. Verde Urbano*. doi: 10.1016/j.ufug.2017.10.019
- Ocampo, L. M. E., Arenas, C. M., Zuluaga, E. P., y Escobar, L. F.G. (2018). La transformación del paisaje de Santa Fe de Antioquia: reconfiguración del centro histórico y su entorno natural. <https://doi.org/10.19053/01233769.7087>

- Oliva, M., & Rimachi, S. (2018). Enraizamiento de estaquillas de aliso *Alnus acuminata* H.B.K. a partir de árboles plus en el distrito de Molinopamba Amazonas. *Revista de Investigación en Agroproducción Sustentable*, 14-20.
- ONU. (2018). Desafíos y estrategias para el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe. <https://onu.org.gt/objetivos-de-desarrollo/>
- Pacheco, C. (2020). Estimación del almacenamiento y retención de Dióxido de carbono en el arbolado urbano público de la zona de Achumani de la ciudad de La Paz a través de una aplicación móvil. http://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v19n19/v19n19_a08.pdf
- PAOT. (2010). Presente y futuro de las áreas verdes y del arbolado de la ciudad de México. http://centro.paot.org.mx/documentos/paot/libro_areas_verdes.pdf
- PDOT-Ibarra. (2015). Actualización plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Ibarra 2015-2023. https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1060000260001_PD%20Y%20OT%20IBARRA%20UNIFICADO%20004_13-03-2015_17-34-44.pdf
- PDOT-I (2020). Actualización plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Ibarra 2015-2023. <https://www.ibarra.gob.ec/site/docs/lotaip2021/anexos/s/PDOT%202020-2040%20CANTON%20SAN%20MIGUEL%20DE%20IBARRA.pdf>
- Pardo, M. (2007). El impacto social del Cambio Climático. <https://n9.cl/g6828>
- Pérez, P., y López, D. (2015). Atención del profesorado universitario a estudiantes con necesidades educativas específicas: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83441028001>
- PNUMA. (1999). Reducción de emisiones de carbono: una guía para empresarios de energía renovable. http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNADJ942.pdf
- Ponce, E. (2017). Valoración económica del secuestro y almacenamiento de carbono en la Cuenca del Río Coca mediante el uso del software InVEST para los escenarios propuestos por el proyecto TEEB-Ecuador. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17588>
- Pulla Morocho, E. A., & Rodríguez Ortega, B.H. (2021). Análisis del Índice Verde Urbano y crecimiento de la ciudad de Machala en los periodos 2000-2018. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(2), 47-52. [file:///C:/Users/Intel/Downloads/468-Texto%20del%20art%20C3%ADculo-899-1-10-20210922%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Intel/Downloads/468-Texto%20del%20art%20C3%ADculo-899-1-10-20210922%20(1).pdf)
- Ramachandran Nair, P., Mohan Kumar, B. y Nair, V. 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172(1): 10–23.
- Ramírez, K. (2019). Los parques urbanos y el turismo recreativo en la transformación

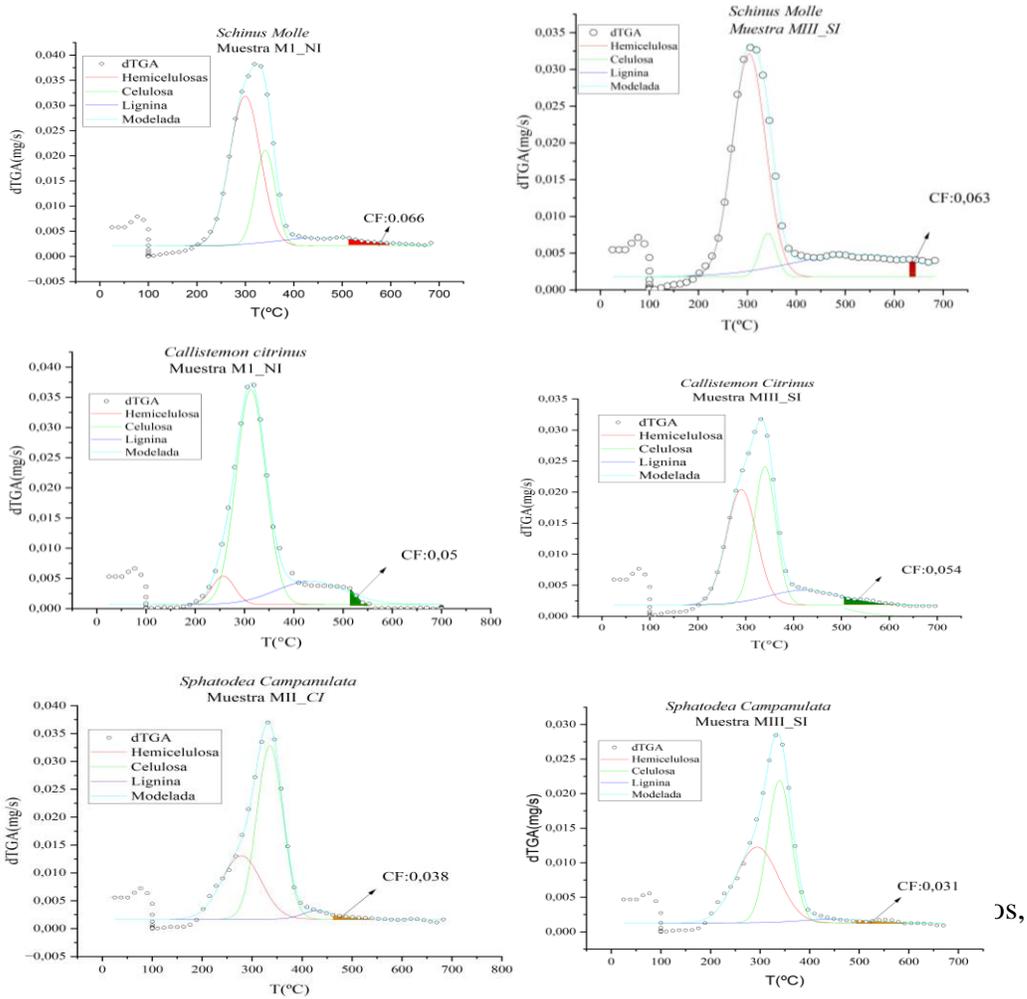
- de la ciudad: Caso Santo Domingo en Ecuador. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Santo Domingo. Ecuador.
- Restrepo, Z., González, S., Zea, J. y Álvarez, E. (2016). Árboles grandes y antiguos: una mirada a los habitantes más viejos de Medellín.
- Reyes Packe, S., y Figueroa Aldunce, I. (2010). Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile. *Eure (Santiago)*, 36 (109), 89-110. <https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612010000300004>
- Reynolds, C.C., Escobedo, F.J., Clerici, J. y Zea-Camaño, J. (2017). Does “greening” of neotropical cities considerably mitigate carbon dioxide emissions? The case of Medellin, Colombia.
- Robles, R. (2015). Propuesta de mejoramiento de áreas verdes urbanas de la ciudad de Zamora. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10028/1/TESIS%20FINANCIAL%20ROSA%20ROBLES.pdf>
- Rodríguez Matos, Yuris, Ajete Hernández, Arlety, Orta Pozo, Surima, Rondón González, Daniel Nidier, & Rivera Díaz, José Reynaldo. (2018). Comportamiento del carbono retenido en el arbolado urbano en el sur de la ciudad de Guantánamo. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 6(3), 284-299. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692018000300284&lng=es&tlng=es.
- Rodríguez, G., De Los Santos-Posadas, H., González, V., Aldrete, A. , Gómez, A., & Fierros, A. (2012). Modelos de biomasa aérea y foliar en una plantación de pino de rápido. *Agroforestería Neotropical*, N° 9.
- Rodríguez Salgado M. Carolina. Manejo de áreas verdes en Concepción: mejor calidad de vida urbana. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=19850609>
- Rosenfeld, A. H., Akbari, H., Romm, J., Pomerantz, M. (1998). Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction. *Energy and Buildings*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778897000637>
- Saldarriaga, J. F.; Pablos, A.; Amutio, M.; Aguado, R.; Olazar, M. (2013). Determinación de la humedad, análisis inmediato y lignocelulósico de biomasa vegetal mediante análisis termogravimétrico.
- Saynes Santillán, V. (2015). Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. Mexico D.F.
- SBAU - Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (1996). “Carta a Londrina e Ibiporá”. *Boletim Informativo*, v.3, n.5, p.3.
- Secretaria Nacional de Planificación. (2021). Plan creación de oportunidades 2021-2025. <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/09/Plan-de>

- Siclari, P. (2017). Desafíos urbanos latinoamericanos y caribeños de cara a los objetivos de desarrollo sustentable a la nueva agenda urbana.
- Shackleton, S., Chinyimba, A., Hebinck, P., Shackleton, C. y Kaoma, H. (2015). Multiple benefits and values of trees in urban landscapes in two towns in northern South Africa. *Landscape and Urban Planning*
- Skoulika, F., Santamouris, M., Kolokotsa, D. y Boemi, N. (2014). On the thermal characteristics and the mitigation potential of a médium size urban park in Athens, Greece, <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.002>
- Soares, P. H, Monteiro, J.P, Freitas. H., Ogiboski. L., Vieira. F, y Andrade. C. (2022). "Monitoreo y análisis de la concentración de dióxido de carbono en exteriores mediante sensores autónomos" *Atmósfera* 13, no. 2: 358. <https://doi.org/10.3390/atmos13020358>
- Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K., y Williams, J. (1998). Manejo de las áreas verdes urbanas. Washington D.C: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Stadtmüller, T. (1995). Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales. <https://n9.cl/tey4g>
- Sullivan, M. J., Talbot, J., Lewis, S. L., Phillips, O. L., Begne, S. k. (2017). Diversity and carbon storage across the tropical forest biome. <https://doi.org/10.1038/srep39102>
- Tabango, B. (2020). *Determinación del carbono aéreo almacenado en dos sistemas agroforestales en la granja de Yuyucocha.*
- Talarcheck, G. (1987). Indicator of urban forest condition in New Orleans. *Journal of Arboriculture*, Pg. 13(9):217-224.
- Tsai, W.-L., Yngve, L., Zhou, Y., Beyer, KMM, Bersch, A., Malecki, KM, et al. (2019). Vegetación vecinal a nivel de calle vinculada al transporte activo: un estudio de caso en Milwaukee y Green Bay. Wisconsin, Estados Unidos. *Landsc. Planificación Urbana*. doi: 10.1016/j.landurbplan.2019.103619
- UN. (2015). *World Urbanization Prospects*. New York. <https://n9.cl/1afy2>
- UNFCCC. (2004). *Cuidar el clima: guía de la convención sobre el cambio climático y el protocolo de Kyoto*. <https://n9.cl/0hdhn>
- Vaca Recalde, M. (2018). Integración en tiempo real de un navegador basado en Open Street map.
- Vargas, C.,Guamán, J., Ríos, A.,Otorongo, M. (2014). Simulación de una estrategia en implementación de vehículos eléctricos en el transporte terrestre del Ecuador en el horizonte 2014 – 2035. <https://n9.cl/zedgv>

- Vargas,L., Veloz, J., Larreta, E, y Bonifaz, C. (2014). Superficie y accesibilidad a las áreas verdes en la Parroquia Puerto Bolívar de la ciudad de Machala, Provincia El Oro, Ecuador.
- Wagner, H. C. (2011). Diario de Querétaro. Ambientales: <http://www.oem.com.mx/diariodequeretaro/notas/n2168228.htm>
- Villareal. (2013). Arbolado Urbano Patrimonio de Nuestras ciudades. Obtenido de Core: <https://core.ac.uk/download/pdf/48392461.pdf>
- Wolch, J., Byrne, J., y Newell, J. (2014). Espacio verde urbano, salud pública y justicia ambiental: El desafío de hacer que las ciudades sean lo suficientemente verdes". Paisaje y planificación urbana, 234-244.
- Vujcic Maja, Tomicevic-Dubljevic Jelena, Zivojinovic Ivana, Toskovic Oliver. (2019). Connection between urban green areas and visitors's physical and mental well-being. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.01.028>.
- WWF. (2019). Clima, naturaleza y un futuro con 1,5 °C. Una síntesis de los informes de IPCC e IPBES. <https://n9.cl/d8nsc>
- Young, DR, Cradock, AL, Eyler, AA, Fenton, M., Pedroso, M., Sallis, JF, et al. (2020). Crear entornos construidos que amplíen el transporte y la vida activa en los Estados Unidos: una declaración de política de la American Heart Association,
- Zuccarini, L. & Geraldi, A. M. (2019). El paisaje como recurso turístico. Valoración escénica de paisajes lacustres de la Pampa Argentina. Investigaciones turísticas, (18), 220-241. <http://dx.doi.org/10.14198/INTURI2019.18.10>

ANEXOS

Anexo 1. Curvas de tasa de conversión en función de la temperatura de la muestra de las tres especies dominantes



DS,

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Carbono Fijo	,868	9	,116

Carbono Fijo

HSD Tukey^a

VAR00002	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
<i>Callistemon</i>	3	3,7967	
<i>Citrus</i>			
<i>Spathodea</i>	3	3,9433	
<i>campanulata</i>			
<i>Schinus</i>	3		6,6333
<i>molle</i>			
<i>Sig.</i>		,979	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Anexo 3. Carbono fijo de especies existentes en la ciudad de Ibarra

Especies	Carbono fijo(kg)	Número individuos	Toneladas C
<i>Schinus molle</i>	6.8	982	6677.6
<i>Melaleucaena Armillaris</i>	3.8	884	3359.2
<i>Callistemon citrinus</i>	3.8	737	2800.6
<i>Fraxinus excelsior</i>	3.8	736	2796.8
<i>Spathodea campamulata</i>	3.9	536	2090.4
<i>Acacia melanoxyton</i>	3.8	423	1607.4
<i>Acacia macracantha</i>	3.8	401	1523.8
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	3.8	383	1455.4
<i>Lafoensia acuminata</i>	3.8	335	1273
<i>Tecoma stans</i>	3.8	314	1193.2
<i>Chimamthus pubescens</i>	3.8	249	946.2
<i>Ficus benamina</i>	3.8	248	942.4
<i>Salix Alba</i>	3.8	127	482.6
<i>Salix pyramidalis</i>	3.8	116	440.8
<i>Caelsalpinia spinosa</i>	3.8	94	357.2
<i>Cupressus macrocarpa</i>	3.8	88	334.4
<i>Sambucus nigra</i>	3.8	87	330.6
<i>Inga Edulis</i>	3.8	82	311.6
<i>Junglas neotropica</i>	3.8	74	281.2
		Carbono fijo Total	29204.4

Anexo 4. Caracterización de especies vegetales según el tipo de biomasa

Table 1

Characterization of the vegetable biomasses studied.

Property	Pellet	Pinus <i>insignis</i>	Acacia <i>dealbata</i>	Eucalyptus <i>plantatio</i>	Rice husk	Nut shell	Olive stone	Cytisus <i>multiflorus</i>	Pterospartum <i>tridentatum</i>	Pteridium <i>aquilinum</i>	Miscanthus <i>sinensis</i>	Rumex <i>tianschanicus</i>
Moisture (wt.% w.b.)	7.86	8.69	8.75	9.09	8.40	10.95	8.83	7.21	7.71	12.44	11.32	9.34
Volatile matter (wt.% d.b.)	87.04	85.85	87.87	91.24	65.33	78.67	72.21	94.36	87.60	68.27	83.32	91.04
Fixed carbon (wt.% d.b.)	12.25	12.79	9.64	6.95	10.04	21.08	27.21	4.17	10.68	22.09	12.27	3.81
Ashes (wt.% d.b.)	0.71	1.35	2.50	1.81	24.63	0.25	0.58	1.46	1.71	9.63	4.41	5.14
C (wt.% d.b.)	43.10	42.80	46.46	46.01	31.60	43.40	42.60	46.83	48.63	39.80	38.00	36.50
H (wt.% d.b.)	6.25	6.42	4.86	4.35	5.20	6.40	6.46	4.87	5.15	6.06	6.21	5.88
N (wt.% d.b.)	0.61	0.13	1.14	0.45	0.70	0.15	0.08	0.87	1.09	1.40	0.56	1.01
O (wt.% d.b.)	49.31	49.28	44.99	47.37	37.79	49.79	50.26	45.91	43.37	42.73	50.55	51.28
S (wt.% d.b.)	0.02	0.02	0.06	0.01	0.09	0.01	0.01	0.06	0.05	0.38	0.27	0.19
HHV (MJ kg ⁻¹)	18.74	18.84	17.10	18.87	13.76	20.12	20.36	17.30	18.50	17.50	18.26	16.91

w.b.: wet basis.

d.b.: dry basis.

Anexo 5. Registro de datos de emisiones de CO₂

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data structure:

Row	Date/Time	ID	Value
2	14/4/2023 0:02	476.645513	
3	14/4/2023 0:04	476.645513	
4	14/4/2023 0:06	476.645513	
5	14/4/2023 0:08	1173	
6	14/4/2023 0:10	476.645513	
7	14/4/2023 0:12	907.967752	
8	14/4/2023 0:15	851.963826	
9	14/4/2023 0:17	476.645513	
10	14/4/2023 0:19	1540.11813	
11	14/4/2023 0:22	476.645513	
12	14/4/2023 0:24	476.645513	
13	14/4/2023 0:26	476.645513	
14	14/4/2023 0:28	476.645513	
15	14/4/2023 0:30	766.363898	
16	14/4/2023 0:33	466.710045	
17	14/4/2023 0:35	804.774556	
18	14/4/2023 0:37	1471.29786	
19	14/4/2023 0:39	1126.54324	
20	14/4/2023 0:41	476.645513	
21	14/4/2023 0:44	476.645513	

The spreadsheet also shows a formula bar with the formula: `=SUMA(A31:AP31)`

Anexo 6. Procesamiento de datos: estadística descriptiva, normalidad de datos, prueba de Shapiro Wilks y Tukey para datos de las emisiones de CO₂

Pruebas de normalidad

	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CO2	,121	24	,200 ^a	,953	24	,311

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

Pruebas de normalidad

	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Amazonas	,131	24	,200 ^a	,956	24	,368

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Pruebas de normalidad

	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Supermaxi	,161	24	,108	,934	24	,123

a. Corrección de significación de Lilliefors

Gráfico Q-Q normal de Supermaxi

ANOVA

CO2

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	42966,809	23	1868,122	,220	1,000
Dentro de grupos	406671,527	48	8472,323		
Total	449638,336	71			

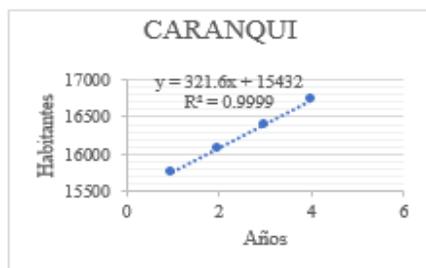
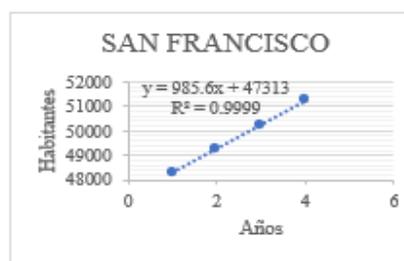
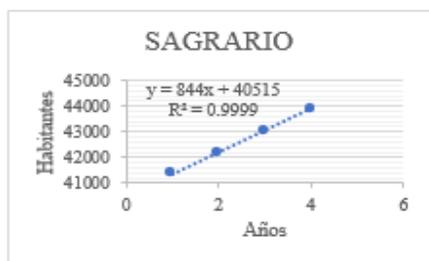
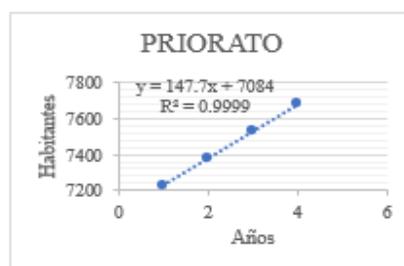
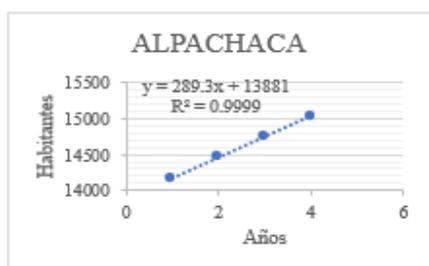
CO2

HSD Tukey^a

Muestreo	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
UTN	24	723,3313	
Amazonas	24		870,9508
Supermaxi	24		876,7254
Sig.		1,000	,840

Anexo 7. Datos para la proyección lineal de la ciudad de Ibarra 2023-2040

Proyección habitantes por parroquia urbana				
Parroquias urbanas	2011	2012	2013	2014
Alpachaca	14.173,92	14.457,40	14.746,55	15.041,48
Priorato	7.233,84	7.378,52	7526,09	7.676,61
Sagrario	41.367,12	42.194,46	43038,35	43.899,12
San francisco	48.308,22	49.274,38	50259,87	51.265,07
Caranqui	15.756,96	16.072,10	16393,54	16.721,41
Total	126.840,06	129.376,86	131.964,40	134.603,69



Anexo 8. Mapa de ubicación de las áreas verdes existentes y sumideros natural

