UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR EN OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL

TEMA:
EFICIENCIA FOTOSINTÉTICA DE SEIS ESPECIES FORESTALES EXÓTICAS Y NATIVAS DEL ARBOLADO URBANO EN LA CIUDAD DE PUYO – ECUADOR.

AUTOR:
DIEGO ARMANDO URETA LEONES

DIRETOR DE PROYECTO:
YASIEL ARTEAGA CRESPO PhD.

Puyo – Ecuador
Julio 2021

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.

Quien suscribe, Diego Armando Ureta Leones portador de la cédula de identidad N° 171878186-5, hago constar que soy el autor del Trabajo de Integración Curricular titulado: "EFICIENCIA FOTOSINTÉTICA DE SEIS ESPECIES FORESTALES EXÓTICAS Y NATIVAS DEL ARBOLADO URBANO EN LA CIUDAD DE PUYO – ECUADOR", el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, Dr. Yasiel Arteaga Crespo. En el sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 21 días del mes de julio del 2021.

Firmado electrónicamente por:
DIEGO ARMANDO
URETA LEONES

Diego Armando Ureta Leones
C.I: 1718781865

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del Trabajo de Integración Curricular aprueba el proyecto de Investigación titulado: “EFICIENCIA FOTOSINTÉTICA DE SEIS ESPECIES FORESTALES EXÓTICAS Y NATIVAS DEL ARBOLADO URBANO EN LA CIUDAD DE PUYO – ECUADOR”.



CARLOS ALFREDO BRAVO MEDINA

Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina, PhD.
PPRESIDENTE DEL TRIBUNAL



YUDEL GARCIA

Dr. Yudel García Quintana, PhD
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



MARIA ADELA VALDES SAENZ

Dra. Valdés Sáenz María Adela, PhD
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Certificado No. 218-SAU-UEA-2021

Puyo, 27 de julio de 2021

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Proyecto de Investigación correspondiente al estudiante: Diego Armando Ureta Leones, con C.I. 1718781865, con el Tema: **"EFICIENCIA FOTOSINTÉTICA DE SEIS ESPECIES FORESTALES EXÓTICAS Y NATIVAS DEL ARBOLADO URBANO EN LA CIUDAD DE PUYO – ECUADOR."**, de la carrera, Ingeniaría Forestal. Director de la investigación, Dr. Yasiel Arteaga Crespo, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 3%, Informe generado con fecha 21 de julio de 2021 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
ITALO
MARCELO

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco M.Sc.
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Diego Armando Ureta Leones, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular.



Diego Armando Ureta Leones
C.I: 1718781865

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme salud y vida durante mi formación académica.

A María Concepción Leones que, con su sacrificio, esfuerzo y confianza, estuvo todo el tiempo para apoyarme e inclusive en situaciones donde la parte emocional y económica parecían una barrera muy complicada de atravesar en mi etapa de formación universitaria.

A Yasiel Arteaga Crespo y Yudel García Quintana, por la confianza que han puesto en mí y por haberme considerado para formar parte de sus investigaciones. Gracias a esos espacios de participación que ellos me brindaron, mi formación académica ha sido satisfactoria y con muchos logros durante mi paso por la Universidad.

También agradezco a la Universidad Estatal Amazónica por haber sido la institución que me permitió alcanzar este importante logro.

DEDICATORIA

A María Concepción Leones, que siempre estuvo apoyándome, aunque en un principio no le gustaba para nada la idea de que yo estuviera lejos de casa, pero ahora es la mujer más feliz, al saber que su hijo terminó la Universidad.

Diego

RESUMEN

Actualmente existe una fuerte preocupación por el aumento de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) en áreas urbanas, lo que ha elevado el interés en realizar investigaciones que ayuden a la mitigación de estas emisiones. Por lo tanto, el objetivo de la investigación fue evaluar la eficiencia fotosintética de seis especies forestales exóticas y nativas del arbolado urbano en la ciudad de Puyo – Ecuador. Las mediciones de asimilación fotosintética de las especies se realizaron a través de un Fluorómetro integrado iFL. Las curvas de respuesta fotosintética al incremento de CO_2 se realizaron a concentraciones de 0 hasta 2000 µmol $m^{-2}s^{-1}$ y las curvas de respuestas fotosintética al incremento de luz se realizaron a intensidades de 10 hasta 1800 µmol $m^{-2}s^{-1}$ PPFD. Las especies que presentaron mayor respuesta fotosintética al aumento de las concentraciones de CO_2 fueron *Z. longifolia* con una asimilación máxima (Amax) de 29.02 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ y *S. campanulata* con una Amax 27.45 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ evidenciándose diferencias significativas ($P \leq 0.05$) frente a las demás especies. En respuesta a las intensidades de luz *Z. longifolia* alcanzó una Amax de 15.20 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ y *S. campanulata* con una Amax 14.31 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ presentando diferencias significativas ($P \leq 0.05$). A través del análisis de componentes principales se evidenció que todas las variables estudiadas se correlacionaron positivamente y comparten características o semejanzas en la respuesta fotosintética que presentaron *Z. longifolia y S. campanulata,* dicho resultado corrobora el potencial fotosintético que presentan estas especies y la capacidad para tolerar las adversas condiciones ambientales que presentan las ciudades, pudiendo ser recomendadas para futuros programas de silvicultura urbana dentro de la Amazonía ecuatoriana.

Palabras claves: intercambio de gases, conductancia estomática, parque, fotosíntesis, árboles.

ABSTRACT

There is currently a strong concern about the increase in carbon dioxide (CO_2) emissions in urban areas, which has raised interest in conducting research to help mitigate these emissions. Therefore, the objective of the research was to evaluate the photosynthetic efficiency of six exotic and native forest species of urban trees in the city of Puyo - Ecuador. The measurements of photosynthetic assimilation of the species were carried out through an integrated iFL Fluorometer. The photosynthetic response curves to the increase of CO_2 were performed at concentrations from 0 to 2000 µmol $m^{-2}s^{-1}$ and the photosynthetic response curves to the increase of light were performed at intensities of 10 to 1800 µmol $m^{-2}s^{-1}$ PPFD. The species that presented the highest photosynthetic response to increased CO_2 concentrations were *Z. longifolia* with a maximum assimilation (Amax) of 29.02 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ and *S. campanulata* with an Amax of 27.45 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ being evidenced significant differences ($P \leq 0.05$) compared to the other species. In response to the light intensities *Z. longifolia* reached an Amax of 15.20 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ and *S. campanulata* with an Amax 14.31 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ showing significant differences ($P \leq 0.05$). Through the analysis of main components, it was evidenced that all the variables studied were positively correlated and share characteristics or similarities in the photosynthetic response presented by *Z. longifolia* and *S. campanulata*, said result corroborates the photosynthetic potential presented by these species and the ability to tolerate the adverse environmental conditions that cities present, being able to be recommended for future urban forestry programs within the Ecuadorian Amazon.

Keywords: gas exchange, stomatal conductance, park, photosynthesis, trees.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1. 1
1. Introducción 1
1.2. Planteamiento del problema. 2
1.3. Problema científico 2
1.4. Objetivos 3
1.4.1. Objetivo general: 3
1.4.2. Objetivos específicos: 3
1.5. Justificación 4
CAPÍTULO 2. 6
2. Fundamentación teórica 6
2.1. Arbolados urbanos 6
2.2. La fotosíntesis 6
2.3. Punto de compensación y punto de saturación de la luz 7
2.4. Conductancia de difusión del mesófilo. 8
2.5. Conductancia estomática. 8
2.6. Aclimatación fotosintética al CO_2. 9
2.7. Aspectos generales de la fluorescencia de la clorofila 9
2.8. Coeficientes de fluorescencia fotoquímica qP 10
2.9. Coeficiente de fluorescencia no fotoquímica qN 11
2.10. Disipación no fotoquímica NPQ 11
2.11. Curvas de respuesta fotosintética al incremento de CO_2 12
2.12. Curvas de respuesta fotosintética al incremento de luz 12
2.13. Importancia y aplicaciones de las mediciones de fotosíntesis en ecosistemas urbanos 12
CAPÍTULO 3. 14
3. Metodología de la investigación 14
3.1. Localización 14
3.2. Tipo o diseño de la investigación. 14
3.3. Métodos de investigación. 15
3.4. Medición de parámetros fotosintéticos. 15
3.5. Curvas de respuesta fotosintética al incremento de las concentraciones de CO_2. 16
3.6. Curvas de respuesta fotosintética al incremento de la intensidad de luz. 16
3.7. Mediciones del curso diaria de fotosintético en condiciones ambientales 17

3.8. Procesamiento y análisis de datos 17
CAPÍTULO 4 18
4. Análisis de resultados 18
4.1. Caracterización de la vulnerabilidad ambiental de los árboles seleccionados en el arbolado urbano de la ciudad de Puyo. 18
4.2. Respuesta fotosintética al incremento de las concentraciones de CO_2 18
4.3. Respuesta fotosintética al incremento de la intensidad de luz 23
4.4. Curvas de respuesta de los parámetros fotoquímicos al incremento de la intensidad de luz 27
4.5. Respuesta fotosintética en condiciones ambientales 32
CONCLUSIONES 38
RECOMENDACIONES 39
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 40
ANEXOS 56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general del proceso de fotosíntesis de las plantas..... 7
Figura 2. Emisión relativa de fluorescencia de clorofila variable. 10
Figura 3. Ubicación del área de estudio..... 14
Figura 4. Curvas de respuesta fotosintética al incremento de CO_2 de las seis especies evaluadas en el arbolado urbano de la ciudad de Puyo..... 21
Figura 5. Curvas de respuesta fotosintética al incremento de las intensidades de PPFD de las seis especies evaluadas en el arbolado urbano de la ciudad de Puyo. 25
Figura 6. Curvas de velocidad de transporte de electrones (ETR)en respuesta al incremento de las intensidades de PPFD de las seis especies evaluadas en el arbolado urbano de la ciudad de Puyo. 28
Figura 7. Curvas del rendimiento cuántico relativo (ΦPSII) en respuesta al incremento de las intensidades de PPFD de las seis especies evaluadas en el arbolado urbano de la ciudad de Puyo. 30
Figura 8. Curvas de respuesta de parámetros fotoquímicos al incremento de las intensidades de PPFD de las seis especies evaluadas en el arbolado urbano de la ciudad de Puyo. 31
Figura 9. Curso diurno de la tasa de fotosíntesis neta (A) y de la conductancia estomática (gs) de las seis especies representativas del arbolado urbano de la ciudad de Puyo. 33
Figura 10. Curso diurno de la tasa de fotosíntesis neta (A) y de la conductancia estomática (gs) de las seis especies representativas del arbolado urbano de la ciudad de Puyo. 34
Figura 11. Curso diurno de la tasa de transpiración (E) y temperatura de la hoja (Tleaf) de las seis especies representativas del arbolado urbano de la ciudad de Puyo..... 35
Figura 12. Correlación de la tasa de transpiración (E) y temperatura de la hoja (Tleaf) de las seis especies representativas del arbolado urbano de la ciudad de Puyo..... 36
Figura 13. Análisis de componentes principales de los parámetros fotosintéticos analizados en las seis especies del arbolado urbano de la ciudad de Puyo..... 37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de la matriz de vulnerabilidad ambiental de las especies en estudio 18
Tabla 2. Media y Error estándar de los parámetros fotosintéticos analizados en las curvas de respuesta de CO_2..... 23
Tabla 3. Media y error estándar de los parámetros fotosintéticos analizados en las curvas de respuesta la luz..... 27

CAPÍTULO 1.

1. Introducción

Actualmente existe una fuerte preocupación por el aumento de las emisiones de dióxido de carbono atmosférico (CO_2) en áreas urbanas, lo que ha llevado a la comunidad científica a realizar investigaciones sobre el potencial que tienen los árboles urbanos a la mitigación de estas emisiones (Liu & Li, 2012; Nowak et al., 2013; Weissert et al., 2017). La mayor concentración de árboles en las zonas urbanas se encuentran en los parques, lo cual representan una gran proporción de áreas verdes dentro de las ciudades (Kimm & Ryu, 2015), que podrían compensar parcialmente las emisiones de CO_2 generadas en zonas urbanas, que son responsables de más del 60% de las emisiones globales de CO_2 (Wiebe & Yamano, 2016).

Los árboles mejoran la calidad de vida de las personas en áreas urbanas (Akbari, 2002), actúan como absorbente biológico, lo cual está relacionado con las propiedades estructurales del área foliar que presenta cada especie y del ambiente en el que se encuentra (Kimm & Ryu, 2015; Pal et al., 2002). Los árboles también actúan como sumideros de CO_2 al fijar carbono a través de la fotosíntesis y almacena el exceso de carbón como biomasa (Nowak & Crane, 2002).

La fotosíntesis es descuidada en investigaciones que tienen relación con el cambio climático global (Niinemets et al., 2011), minimizando la importancia de la capacidad que tienen las plantas en la mitigación del aumento en las concentraciones de CO_2 a través de la fotosíntesis, lo cual ayuda a comprender el ciclo del carbono global (Körner et al., 2007).

La falta de investigaciones en las funciones fisiológicas de los árboles en el área urbana de la ciudad de Puyo, hacen que se lleven a cabo un manejo inadecuado de la silvicultura urbana, debido a que se establecen árboles en parques, veredas y otras áreas, sin tener un criterio científico de la contribución que estos pueden cumplir con el ambiente. Por lo tanto, se consideraron las especies más representativas del arbolado de la ciudad siendo *Ocotea quixos* (Lam) Kosterm. (Lauraceae), *Crescentia cujete* L. (Bignoniaceae), *Myroxylon balsamum* (L.) Harms. (Fabaceae), *Zygia longifolia* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Britton & Rose (Fabaceae), *Syzygium samarangense* (Blume) Merr. & L.M. Perry (Myrtaceae) *y Spathodea campanulata* P. Beauv. (Bignoniaceae).

1.2. Planteamiento del problema.

Los ecosistemas urbanos se encuentran frecuentemente bajo muchas presiones y amenazas desde el punto de vista ecológico, cuentan con un limitado espacio de áreas verdes, condiciones climáticas adversas y alta contaminación atmosférica (Konijnendijk et al., 2006). Los planificadores y gerentes de espacios verdes a menudo tienen dificultades para mantener el tema del arbolado urbano en la agenda política (Konijnendijk et al., 2005). La silvicultura urbana se centra en el espacio verde compuesto por rodales de árboles, así como árboles individuales (Barona et al., 2020).

El Parque 12 de mayo es un área de recreación referente de la ciudad de Puyo, al ser un parque ubicado en el centro de la ciudad es muy recurrente por la población, debido a sus atractivos como juegos infantiles, pileta y exuberante vegetación que se encuentra en el área, además históricamente el parque está desde la fundación de la ciudad. Con el pasar de los años la ciudad ha tenido un gran aumento en la población y con ello, el aumento de vehículos que transitan por sus avenidas generando grandes cantidades de emisiones de CO_2, lo cual disminuye la calidad de vida y afecta salud de las personas.

Por lo que se ha evidenciado la falencia de investigaciones que estudien las funciones fisiológicas de los árboles, esto provoca que se lleve a cabo un manejo inadecuado del arbolado en la ciudad.

1.3.Problema científico

¿Cuál es el comportamiento fotosintético de seis especies forestales exóticas y nativas del arbolado urbano en la Ciudad de Puyo?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general:

Evaluar la eficiencia fotosintética de seis especies forestales exóticas y nativas del arbolado urbano en la Ciudad de Puyo - Ecuador, como contribución al manejo silvícola de estas especies en áreas urbanas.

1.4.2. Objetivos específicos:

- Analizar el comportamiento fotosintético en respuesta al CO_2, de seis especies forestales exóticas y nativas del arbolado urbano en la Ciudad de Puyo – Ecuador.
- Analizar el comportamiento fotosintético en respuesta a la luz actínica, de seis especies forestales exóticas y nativas del arbolado urbano en la Ciudad de Puyo – Ecuador.
- Analizar el comportamiento fotosintético en condiciones ambientales, de seis especies forestales exóticas y nativas del arbolado urbano en la Ciudad de Puyo – Ecuador.

1.5. Justificación

La importancia de la vegetación presente en la ciudades como parques, áreas verdes, jardines al borde de la carretera, espacios verdes privados, remanente de vegetación nativa, entre otros, ha sido atribuida por la multitud de servicios ecosistémicos o funciones que desempeñan (Gratani & Varone, 2013). Estos espacios se los conoce colectivamente como áreas verdes urbanas y se ha descrito que proporcionan apoyo a la conservación de la biodiversidad dentro de las ciudades (Dearborn & Kark, 2010; Farinha-Marques et al., 2011) además, regulan el clima reduciendo la temperatura, mejoran la calidad del aire, reducen la contaminación auditiva (Ren et al., 2011; Wilmers, 1990), mejoran el bienestar físico y mental de las personas (Rook, 2013; Ward Thompson & Aspinall, 2011).

Estos múltiples beneficios contribuye el desarrollo de las ciudades a alcanzar la sostenibilidad y la habitabilidad (Wu, 2014). Pero el enfoque de mantener una cantidad adecuada de espacios verdes ha llevado a esfuerzos considerables para incorporar métodos de selección de especies que contribuyan en mayor porcentaje a la mitigación de emisiones de CO_2 (Cameron & Blanuša, 2016).

En la ciudad de Puyo la selección y establecimiento de árboles en espacios urbano se realizan sin ningún criterio científico en cuanto al comportamiento fotosintético o contribución que puedan tener las especies con el medio ambiente. Por lo tanto, para el presente estudio se han considerado cuatro especies nativas (*O. quixos, C. cujete, M. balsamum* y *Z. longifolia*) y dos especies exóticas (*S. samarangense y S. campanulata*) siendo las más representativas en el arbolado urbano de la ciudad.

O. quixos es una especie que presenta una gran variedad de usos entre los que se ha reportado uso medicinal (Sacchetti et al., 2006), conservantes de alimentos (Crespo et al., 2019; Gavahian et al., 2020; Olmedo & Grosso, 2019) y conservantes cosméticos (Carvalho et al., 2016; Herman, 2019). Para la especie *C. cujete* se ha reportado que su fruto posee un alto valor nutricional y también que es utilizado en la fabricación de instrumentos musicales (Ejelonu et al., 2011), sus hojas y corteza han reportado uso medicinal (Parvin et al., 2015).

M. balsamum es una especie de alta importancia forestal debido a las propiedades de la madera y alta durabilidad, es utilizada en pisos y construcciones pesadas como carrocerías (Coletti et al., 2010), también se ha reportado actividad antifúngica y larvicida (Sales et al., 2016; Simas et al., 2004) y en países como Colombia y Costa Rica la especie se

encuentra amenazada (Barrance et al., 2003; Payares Díaz, 2014). En cuanto la especie *Z. longifolia* es una especie ribereña comúnmente utilizada para protección de cuencas hídricas, además se ha reportado un buen desempeño en términos de supervivencia y crecimiento en yacimientos petrolíferos (Villacís et al., 2016).

S. samarangense es un árbol con hojas perennes con origen asiático, produce una carnosa fruta rosada la cual ha reportado un alto valor nutricional (Moneruzzaman et al., 2011), actividades antihiperglucémicas (Resurreccion-Magno et al., 2005; Shahreen et al., 2012) y actividad antioxidante (Simirgiotis et al., 2008). En cuanto *S. campanulata* es una especie nativa de África tropical y ha sido introducida como planta ornamental en los trópicos y subtrópicos del mundo, sus flores han reportado actividad insecticida (Trigo & dos Santos, 2000), se le atribuye la pérdida de especies de abejas nativas en territorios donde ha sido introducida (De Queiroz et al., 2014), la corteza también ha reportado propiedades medicinales en las que se ha utilizado para tratamiento de herpes, micosis, edemas, dolores de estómago y diarrea(Pianaro et al., 2007).

La presente investigación contribuirá con información que ayudará a comprender las funciones fisiológicas y la contribución que tienen estas especies con el ambiente y su aporte en la mitigación de contaminación por CO_2 presente en las ciudades, lo cual ayudará a un adecuado manejo silvícola de estas especies en áreas urbanas.

CAPÍTULO 2.

2. Fundamentación teórica

2.1. Arbolados urbanos

El uso de árboles en las ciudades se ha mencionado históricamente en lugares como Gran Bretaña en los años 1600-1900 con respecto a las prácticas de los árboles en "paseos y avenidas" (Escobedo et al., 2019). Erik Jorgensen de la Universidad de Toronto, en Canadá, fue acreditado con la formalización de la silvicultura urbana como disciplina a nivel universitario, con referencia a la pedagogía, la investigación y las aplicaciones (Miller, 1996). A partir de entonces, la literatura indexada internacional en inglés sobre la silvicultura urbana ha sido generada principalmente por Estados Unidos, Canadá y Europa (Roy et al., 2012).

El papel de la infraestructura verde en la prestación de servicios ecosistémicos urbanos cada vez toma mayor importancia (Cameron & Blanuša, 2016; Livesley et al., 2016; Oberndorfer et al., 2007) y comienza a influir en las políticas (Blanusa et al., 2019). Estos servicios incluyen consideraciones ambientales como la mitigación de la temperatura (Alexandri & Jones, 2008; Blanusa et al., 2013; Cameron et al., 2014; Shashua-Bar et al., 2009), calidad del aire y mitigación de la contaminación (Abhijith et al., 2017; Rowe, 2011; Tallis et al., 2011), captura y retención de lluvia (Berland et al., 2017; Czemiel Berndtsson, 2010), reducción del ruido (Van Renterghem et al., 2014), secuestro de carbono (Gratani & Varone, 2013) y provisión de biodiversidad (Davies et al., 2009; Dover, 2015; O'Sullivan et al., 2017). Además, los arbolados urbanos contribuyen a la salud y el bienestar de las personas (Cameron et al., 2012; Grahn & Stigsdotter, 2010; Shanahan et al., 2015).

2.2. La fotosíntesis

Es el proceso por el cual las plantas verdes, cianobacterias y bacterias fotosintéticas producen materia orgánica a partir de CO_2 e hidrogeno. En las plantas verdes, este proceso ocurre en los cloroplastos. (Pérez & Carril, 2009; Portis, 1982). Todo el proceso de fotosíntesis utiliza dióxido de carbono de la atmósfera, agua de la capa freática del suelo, como reactivos y produce carbohidratos (principalmente glucosa), oxígeno molecular y vapor de agua como productos finales (Figura 1).

Para la reacción, la energía se absorbe en forma de radiación electromagnética. Todo el proceso es una serie complicada de reacciones y los científicos lo dividen en dos fases: la

fase clara, que es la fase impulsada por la luz, y la fase oscura, la fase independiente de la luz (Mandal & Dutta, 2020). Durante la fase de luz, la energía electromagnética, principalmente la energía solar, es atrapada por la clorofila y utilizada en la fotopartición de la molécula de agua para generar posteriormente el poder reductor de las células en forma de NADPH (fosfato de dinucleótido de nicotinamida y adenina reducido), ATP (trifosfato de adenosina) moneda de energía bioquímica y liberación de oxígeno molecular. El NADPH y el ATP se utilizan en la reacción de los estromas para reducir el CO_2. La fase de luz es donde funciona la clorofila (Ávila-Lovera & Tezara, 2018; Mandal & Dutta, 2020)

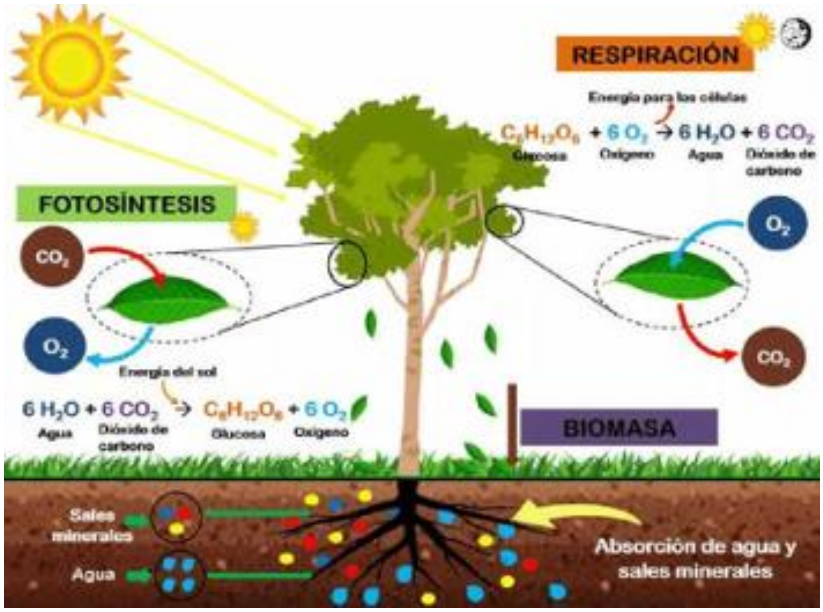

Figura 1. Esquema general del proceso de fotosíntesis de las plantas.

2.3. Punto de compensación y punto de saturación de la luz

Las respuestas de las plantas a la intensidad lumínica tienen, en principio, dos límites de referencia: el punto de compensación (PCL) y el punto de saturación de luz (PSL). El primero es el nivel de intensidad lumínica en el cual la fotosíntesis medida como consumo de CO_2 y la respiración, medida como liberación de CO_2, son iguales. Este parámetro varía con las diferentes especies y con las condiciones en las cuales se desarrollan las plantas. El punto de saturación se da cuando la toma de CO_2 es constante, lo cual indica la fotosíntesis máxima de la planta (Melgarejo et al., 2019).

La respuesta fotosintética es muy importante debido a que la fotosíntesis es el punto de encuentro entre el mundo físico y el biológico. De ahí la enorme importancia de la respuesta adaptativa de las plantas a la intensidad lumínica. La tasa fotosintética varía con

la concentración de CO_2, la intensidad de la radiación solar, la temperatura, la habilidad de la planta para regular la pérdida de agua y la disponibilidad de nutrimentos (Eichelmann et al., 2004).

2.4. Conductancia de difusión del mesófilo.

Es una medida de la capacidad de CO_2 dentro de la difusión las hojas desde las cavidades subestomáticas hasta los sitios de carboxilación en cloroplastos. En términos físicos, equivale al CO_2 difusividad dividida por la distancia de la vía de difusión interna, que consta de fases gaseosa, líquida y lipídica que se consideran juntos como componentes de la conductancia de difusión del mesófilo (gm). Matemáticamente se expresa mediante (Ecuación 1) (Berghuijs et al., 2016).

Ecuación 1.

$$Gm = \frac{A}{Ci - Cc}$$

Donde:

Gm: Conductancia mesofílica

A: Tasa fotosintética

Ci: Concentración de CO_2 intracelular

Cc: concentración de CO_2 en los cloroplastos

2.5. Conductancia estomática.

Es análoga a la conductancia de difusión del mesófilo. Refleja la capacidad de difusión de CO_2 a través de las estomas, que desde la atmósfera que rodea las hojas ingresa hacia las cavidades subestomáticas. Matemáticamente se expresa (Ecuación 2). Conductancia estomática depende del tamaño y número de estomas por unidad de hoja superficie, así como en la apertura de los poros estomáticos individuales (Engineer et al., 2016).

Ecuación 2

$$Gs = \frac{A}{Ca - Ci}$$

Donde:

Gs: Conductancia estomatal

A: Tasa fotosintética

Ci: Concentración de CO_2 intracelular

Ca: concentración de CO_2 ambiental

2.6. Aclimatación fotosintética al CO_2.

Es el cambio de la tasa fotosintética después de una exposición prolongada de plantas a atmósferas altas o bajas de CO2. Consiste en cambios duraderos que requieren expresión genética. dando lugar a modificaciones morfológicas y/o bioquímicas (Niinemets et al., 2011).

2.7. Aspectos generales de la fluorescencia de la clorofila

La clorofila puede absorber tanto de los extremos del espectro electromagnético visible, es decir, de la región azul como de la región roja. Dispersa la longitud de onda de la región verde que, en consecuencia, hace que tenga un aspecto verde. Curiosamente, todas las moléculas de clorofila pueden absorber energía electromagnética de alguna longitud de onda, pero solo unas pocas moléculas pueden convertir la energía en energía química (Bassi & Dainese, 1992; Chen et al., 2016). Aquellas que no son capaces de realizar fotoquímica se denominan moléculas accesorias. Así, los diferentes tipos de moléculas de clorofila y las moléculas de pigmento accesorias se organizan en matrices especiales llamadas fotosistemas (Fromme et al., 2001). En un fotosistema, las moléculas responsables de la absorción de la energía luminosa se denominan moléculas de antena o captadoras de luz (Jensen et al., 2000; Kouřil et al., 2005). Estos no sólo absorben la energía de la luz sino que también la transmiten a los centros de reacción (Ben-Shem et al., 2003). Sobre la base de los centros de reacción, se han identificado dos tipos de fotosistemas en las plantas. Estos se denominan fotosistema I (PS I) y fotosistema II (PS II) (Fromme et al., 2001). Los centros de reacción de PS II y PS I se designan como P680 y P700 respectivamente en función de su longitud de onda de excitación. Los dos centros realizan dos reacciones diferentes y actúan en tándem para oxidar el agua y transferir el electrón para finalmente reducir el NADP + (NADP oxidado) a NADPH, que es el

producto final de la reacción luminosa de la fotosíntesis (Chen et al., 2016; Mandal & Dutta, 2020).

La (Figura 2) muestra la intensidad relativa de la fuente de luz actínica LED de luz blanca en varias longitudes de onda frente al espectro de absorción de la zeaxantina unida a un centro de reacción de PSII con PsbS proteínas y otros pigmentos vegetales. La migración de cloroplasto, un mecanismo responsable de hasta el 30% de NPQ a niveles altos de luz actínica, se modula solo por espectros de azul o blanco intenso, no rojo espectros. Los espectros de diodos azul y rojos anteriores representan el máximo relativo aproximado intensidades de otro sistema en el mercado (Murchie & Lawson, 2013).

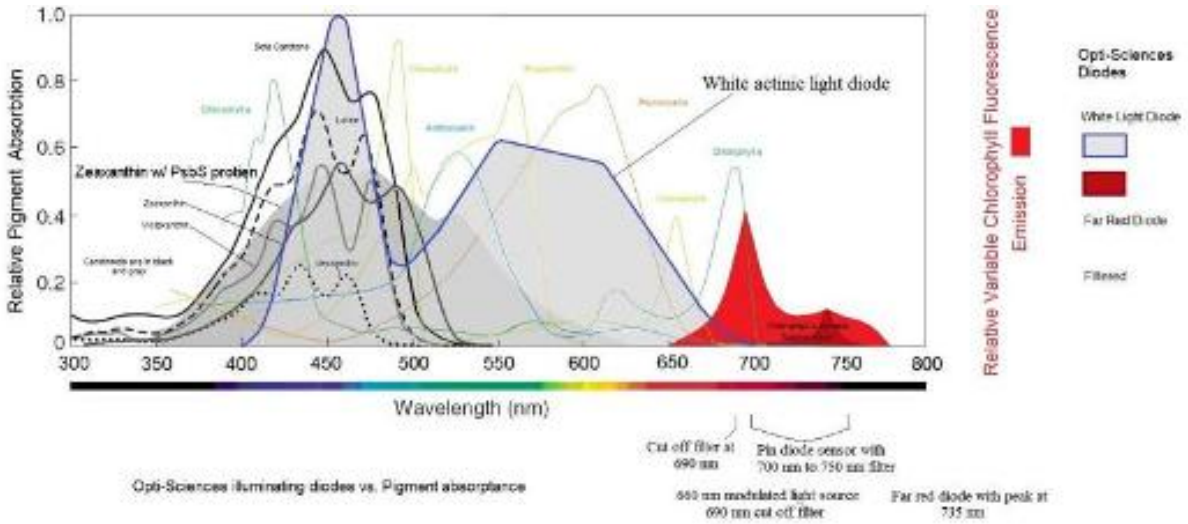

Figura 2. Emisión relativa de fluorescencia de clorofila variable.

2.8. Coeficientes de fluorescencia fotoquímica qP

Es el parámetro que representa la extinción fotoquímica, también es una medida de la fracción de los centros de reacción del PSII aún abiertos (Ruban & Murchie, 2012). qP se define como los coeficientes de fluorescencia fotoquímica temple (Walker et al., 2018). La definición original de este término implicaba que la extinción de la fluorescencia que afecta principalmente la 'fluorescencia variable' (Fv) y no la fluorescencia mínima (Fo), en los casos en que qN es mayor de 0,4, esto puede no ser una buena suposición y cuando qN es superior a 0.4, Fo' debe reemplazar a Fo en la ecuación qP (Maxwell & Johnson, 2000). Al usar la fuente Far-Red para la iluminación posterior, los receptores PSII pueden volver a oxidarse a través del efecto de iluminación en PSI, se puede medir un nuevo valor de Fo' y utilizarlo para corregir los coeficientes de extinción. Esto supone que los

aceptores PSI están correctamente activados, lo que puede no ser el caso en una muestra adaptada a la oscuridad. Por lo tanto, la determinación de Fo' debe realizarse después de la inducción de la fotosíntesis ha alcanzado un estado estable. Los números van de cero a uno, su ecuación matemática es qP=(Fm'-Fs)/(Fm'-Fo) (Ralph & Gademann, 2005).

2.9. Coeficiente de fluorescencia no fotoquímica qN

Es similar a NPQ pero requiere Fo' en el cálculo. qN se define como el coeficiente de extinción de la fluorescencia no fotoquímica (Walker et al., 2018). La definición original de este término implicaba que la extinción fluorescencia afecta principalmente a la 'fluorescencia variable' (Fv) y no a la fluorescencia mínima (Fo). En los casos en los que qN es mayor que 0.4, esto puede no ser una buena suposición. Cuando qN es superior a 0.4, Fo' debería reemplazar Fo en las ecuaciones qP, qN es menos sensible que NPQ a valores más altos (Maxwell & Johnson, 2000). Al usar la fuente Far-Red después de apagar la iluminación actínica, los aceptores PSII se vuelven a oxidar y el PSI se reduce. Se mide un valor de Fo' y se utiliza para corregir el enfriamiento coeficientes. Los números van de cero a uno y su ecuación es qN = 1- ((Fm'-Fo) /(Fm-Fo)) (Ralph & Gademann, 2005).

2.10. Disipación no fotoquímica NPQ

Es un temple no fotoquímico y una medida de disipación de calor, proporciona una estimación del enfriamiento sin conocimiento de Fo', la ventaja de NPQ sobre qN depende de la aplicación específica. NPQ es más pesada afectado por el enfriamiento no fotoquímico que refleja la disipación de calor de la energía de excitación en el sistema de antena (Wagner et al., 2006). Por lo tanto, se puede considerar como un indicador de "exceso de energía de excitación". Alternativamente, NPQ es relativamente insensible a la parte de extinción no fotoquímica asociada con los valores de qN inferior a 0,6 (Endo et al., 2014). Gran parte del rango de NPQ se ve afectado por ΔpH de la luz del tilacoide, que es un aspecto importante de la regulación fotosintética, también se ve afectado por las transiciones de estado y fotoinhibición. Los números van de cero a infinito con muestras típicas que miden entre 0.5 y 3.5 rango y su ecuación matemática es NPQ = (Fm-Fm')/Fm' (Maxwell & Johnson, 2000; Ralph & Gademann, 2005).

2.11. Curvas de respuesta fotosintética al incremento de CO_2

Es el cambio de la tasa fotosintética al aumento o disminución en la concentración de CO_2 en corto o largo plazo. Debido a la naturaleza saturante de la curva de respuesta al CO_2 frente a la fotosíntesis, la asimilación fotosintética progresivamente disminuye al aumentar la concentración de CO_2 cuando las plantas alcanzan su máxima capacidad. Sin embargo, en cualquier concentración de CO_2 ambiental, la respuesta fotosintética al CO_2 depende de las conductancias de difusión de estomas y mesófilos que determinan en qué parte de la curva de respuesta al CO_2 operan las hojas (Ávila-Lovera & Tezara, 2018; Niinemets et al., 2011).

2.12. Curvas de respuesta fotosintética al incremento de luz

La luz juega un papel importante para el desarrollo de las de las plantas, siendo indispensable para la fotosíntesis (Yang et al., 2014). Las plantas perciben la luz a través de diferentes fotorreceptores (fitocromos y criptocromos) (Ballaré & Pierik, 2017). Los componentes esenciales de la luz se basan en la calidad (Color o la longitud de onda de la luz) y la intensidad de la luz que afectan en gran medida la estructura y función del aparato fotosintético de las plantas (He et al., 2018), así como el potencial de crecimiento y rendimiento (Fan et al., 2018).

2.13. Importancia y aplicaciones de las mediciones de fotosíntesis en ecosistemas urbanos

Los cambios en la fisiología de los árboles se pueden evaluar mediante la medición de la fluorescencia de la clorofila foliar y los parámetros de intercambio de gases (Flexas et al., 1999; Mashilo et al., 2017). La medición de fluorescencia de la clorofila es útil para comprender los mecanismos de fotoprotección y fotoquímicos asociados con la eliminación del exceso de energía de excitación, cambios en la eficiencia fotosintética (A), conductancia estomática (gs), tasa de transpiración (E), rendimiento cuántico máximo de PS II, fotoquímica (Fv ’/ Fm’), la eficacia cuántica eficaz del fotosistema II (ϕPS II), extinción fotoquímica (qP) y extinción no fotoquímica (qN), tasa de transporte

de electrones (ETR) siendo indicadores fisiológicos clave de eficiencia fotosintética y tolerancia al estrés abiótico, es decir, luz, calor y sequía (Mashilo et al., 2017).

Son muchos los estudios que se han llevado a cabo en ecosistemas urbanos con el fin de comprender y mitigar en cambio climático al que las zonas urbanas se encuentran más susceptibles. Takagi & Gyokusen, (2004) en su estudio contaminación lumínica y atmosférica afecta la fotosíntesis de los árboles en entornos urbanos, evidenció que la tasa fotosintética de los árboles del núcleo urbano fue la más alta mientras que la del área suburbana fue la más baja además se realizó un análisis de correlación el cual mostró que la tasa fotosintética se correlacionó negativamente con las condiciones de luz solar y se correlacionó positivamente con las concentraciones de contaminantes del aire.

Killi et al., (2018) en su estudio respuestas fotosintéticas de las especies de *Quercus* (roble), a la temperatura y a las concentraciones de CO_2 previsto para al 2050 en áreas urbanas del centro de Italia, comprobó que *Quercus cerris* inicialmente aumentó la fotosíntesis neta en condiciones elevadas para el 2050, en comparación con las condiciones ambientales actuales. La fotosíntesis neta de *Quercus ilex* no fue influenciado por las condiciones elevadas durante los 70 días de duración del estudio. Por lo tanto, los resultados de este estudio sugieren que *Q. ilex* exhibe una mayor plasticidad y adaptación a las condiciones elevadas y, por lo tanto, puede tener un desempeño más favorable en las futuras condiciones climáticas de 2050.

Se han reportado otros estudios en la cual evalúan la respuesta fotosintética de especies forestales en arbolados urbanos en diferentes localidades con el fin de comprender el comportamiento que presentan a las especies en disímiles condiciones ambientales que enfrentan las ciudades (Baraldi et al., 2019; Bellucco et al., 2017; García-Sánchez et al., 2019; Ugolini et al., 2012).

CAPÍTULO 3.

3. Metodología de la investigación

3.1. Localización

El estudio se realizó en el parque 12 de mayo de la ciudad de Puyo, que se encuentra ubicada en la región amazónica de Ecuador (Latitud: 1°29'07.7"S, Longitud: 77°59'48.8"W) (Figura 3). Puyo se encuentra a 930 msnm y según datos de la estación meteorológica de la carrera Ingeniería Forestal ubicada en el campus principal de la Universidad Estatal Amazónica, la precipitación anual es de 4019 mm, temperatura media de 21 °C y una húmeda relativa de 92%.



Figura 3. Ubicación del área de estudio.

3.2. Tipo o diseño de la investigación.

La investigación fue de tipo experimental, debido a que existe un aumento en la intensidad lumínica de 10 a 1800 PPFD (µmol m^{-2} s^{-1}) y se induce CO_2 hasta 2000 µmol $m^{-2}s^{-1}$ para cambiar la atmósfera dentro de la cámara y lograr analizar la respuesta fotosintética, además es de tipo descriptiva comparativa ya que se describió parámetros fotosintéticos

de las especies *O. quixos, C. cujete, M. balsamum, Z. longifolia S. samarangense,* y *S. campanulata* situadas en el parque 12 de mayo de la ciudad de Puyo.

3.3. Métodos de investigación.

En la presente investigación se utilizó el método de medición, debido a que se midieron los parámetros fotosintéticos y área foliar de las especies *O. quixos, C. cujete, M. balsamum, Z. longifolia, S. samarangense,* y *S. campanulata*. Se utilizó el método de observación para la identificación de especies y se confirmó a través de la plataforma web de trópicos (www.tropicos.org). Se determinó el estado de desarrollo y fitosanitario de los árboles muestreados siguiendo los lineamientos Carbonnel et al., (2017). Paralelamente se trabajó con el método analítico, el cual será aplicado una vez que se obtengan los resultados de los parámetros medidos, logrando observar el comportamiento que presenta cada una de las especies en respuesta a las variables estudiadas.

3.4. Medición de parámetros fotosintéticos.

Las mediciones de asimilación fotosintética de las especies se llevaron a cabo con un Fluorómetro integrado iFL (Fabricado por las empresas Opti-Sciences Inc. y ADC BioScientific Ltd, Inglaterra). iFL proporciona una fuente de luz blanca actínica intensa con un espectro azul intenso, permitiendo la migración de cloroplastos de manera similar como lo hace en la naturaleza, su emisión de luz máxima es de 2000 µMol. Cuenta con un sistema integrado para medir la absorción de la hoja. La reflectancia y la transmitancia de la hoja la mide con un sensor RGB. Posee un sensor de temperatura IR, cubriendo aproximadamente 80% del área de la cámara registrando las siguientes variables:

- E: Tasa de transpiración mmol H_2O m^{-2} s^{-1}.
- Gs: Conductancia estomatal mol H_2O m^{-2} s^{-1}.
- A: Tasa fotosintética µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}.
- Ci: concentración de CO_2 intracelular µmol CO_2 mol^{-1}.
- phiPSII: Rendimiento cuántico de PSII.
- ETR: (velocidad de transporte de electrones) µmol m^{-2} s^{-1}.
- qP: Coeficiente de extinción de fluorescencia fotoquímica

- qN: Coeficiente de extinción de fluorescencia no fotoquímica
- NPQ: Medida de disipación de calor no fotoquimico

3.5. Curvas de respuesta fotosintética al incremento de las concentraciones de CO_2.

Los datos de fotosíntesis se midieron en hojas sanas, sin malformaciones o daños por insectos en los árboles muestreados. Se analizó 5 réplicas por cada especie en horas de la mañana entre las 8h00 a 11h00 (Ávila-Lovera & Tezara, 2018), con un pulso de luz de 1200 PPFD (µmol $m^{-2}s^{-1}$) para las especies *C. cujete, S. samarangense, S. campanulata y Z. longifolia* por ser especies heliófilas y 800 PPFD (µmol $m^{-2}s^{-1}$) para *O. quixos* y *M. balsamum* por ser especies esciófitas. Se programará una secuencia con incremento en las concentraciones de CO_2 de la cámara del equipo en 12 pasos (10, 75, 150, 200, 350, 500, 700, 900, 1200, 1500, 1800 y 2000 µmol $m^{-2}s^{-1}$) en intervalos de 4 minutos por cada medición, con una duración total del experimento por cada replica de 48 minutos. La temperatura (Tch) a 25°C y la humedad relativa (H2O Ref) en condiciones ambientales.

3.6. Curvas de respuesta fotosintética al incremento de la intensidad de luz.

Los datos de fotosíntesis en repuesta a la luz se midieron en hojas sanas, sin malformaciones o daños por insectos en los árboles muestreados. Se analizó 5 réplicas por cada especie en horas de la mañana entre las 8h00 a 11h00 (Ávila-Lovera & Tezara, 2018). La temperatura (Tch) dentro de la cámara se programó a 25°C, la humedad relativa (H2O Ref) y la concentración de CO_2 en condiciones ambientales. Para las especies *O. quixos* y *M. balsamum* el incremento en la intensidad de luz fue de 10 a 800 PPFD (µmol $m^{-2}s^{-1}$) por ser especies esciófitas y para *C. cujete, S. samarangense, S. campanulata y Z. longifolia* el incremento en la Luz es de 25 a 1800 PPFD (µmol $m^{-2}s^{-1}$) por ser especies heliófilas. La secuencia en el incremento de luz, se programó en 12 pasos con la duración de cuatro minutos por cada toma de datos con una duración total del experimento de 48 minutos por cada replica.

3.7. Mediciones del curso diaria de fotosintético en condiciones ambientales

Las medidas del curso diario de fotosíntesis neta se llevaron en condiciones de luz, temperatura, humedad y CO_2 ambiental. Se realizaron 5 réplicas en hojas sanas y expuestas a la luz. Los registros iniciaron a partir de las 6:00 hasta las 18:00 horas, con intervalos de dos horas para cada registro durante 5 días. Esto permitió investigar las relaciones entre radiación fotosintéticamente activa y fotosíntesis bajo condiciones naturales (Weissert et al., 2017).

3.8. Procesamiento y análisis de datos

Se analizó los parámetros fotosintéticos de las seis especies a partir de estadísticos descriptivos (media, mínimo, máximo, desviación estándar y varianza) para describir el comportamiento y la eficiencia fotosintética de las especies muestreadas del parque 12 de mayo en la ciudad de Puyo. Además, un análisis de varianza (ANOVA) con 95% de confiabilidad con apoyo del Software Origin 2020b.

CAPÍTULO 4

4. Análisis de resultados

4.1. Caracterización de la vulnerabilidad ambiental de los árboles seleccionados en el arbolado urbano de la ciudad de Puyo.

La (Tabla 1) presenta la valorización de la vulnerabilidad ambiental del arbolado urbano del área de estudio. *O. quixos, S. samarangenses, C. cujete, Z. longifolia y S. campanulata* se encontraron en una fase de desarrollo adulto y estado fitosanitario sano, mientras que *M. balsamum* presentó una fase de desarrollo joven y estado fitosanitario sano. Las seis especies mostraron un tipo de afectación abiótica con manejo leve y vulnerabilidad ambiental media. A través de esta matriz se ha demostrado que las especies en el presente estudio muestran afectaciones bióticas y abióticas similares (Carbonnel et al., 2017).

Tabla 1. Resultados de la matriz de vulnerabilidad ambiental de las especies en estudio

Especies	Fase de desarrollo		Estado fitosanitario		Tipo de afectación abiótica		Vulnerabilidad ambiental	
	Estado	Pon.	Estado	Pon.	Estado	Pon.	Estado	Pon.
O. quixos	Adulto	1	Bueno	1	Manejo leve	2	Media	4
S. samarangenses	Adulto	1	Bueno	1	Manejo leve	2	Media	4
C. cujetes	Adulto	1	Bueno	1	Manejo leve	2	Media	4
Z. longifolia	Adulto	1	Bueno	1	Manejo leve	2	Media	4
S. campanulata	Adulto	1	Bueno	1	Manejo leve	2	Media	4
M. balsamum	Juvenil	2	Bueno	1	Manejo leve	2	Media	5

4.2. Respuesta fotosintética al incremento de las concentraciones de CO_2

La (Figura 4) describe el comportamiento fotosintético de las seis especies evaluadas en el área urbano de la ciudad de Puyo, en respuesta al aumento en las concentraciones de CO_2. Se aplicó un pulso de luz de 1200 PPFD µmol $m^{-2}s^{-1}$ para las especies *C. cujete, S. samarangense, S. campanulata y Z. longifolia* por ser especies heliófilas y 800 PPFD (µmol $m^{-2}s^{-1}$) para *O. quixos* y *M. balsamum* por ser especies esciófitas.

En concentraciones de CO_2 inferiores a los 75 µmol mol^{-1} las seis especies no mostraron respuesta fotosintética. A parir de los 150 µmol mol^{-1} mostraron tasas fotosintéticas que van desde los 1.45 a 2.72 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$. En cuanto a concentraciones de CO_2 de 500 µmol mol^{-1} las especies que mostraron mejor respuesta fotosintética fueron *Z. longifolia* con una A de 17.018 ± 1.334 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, un Ci de 341 ± 13.72 µmol mol^{-1} y un Cc 647.4 ± 15.64 µmol mol^{-1} (Figura 4d), seguido de *C. cujete* con una A de 16.144 ± 0.751 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, un Ci de 341 ± 13.72 µmol mol^{-1} y un Cc 647.4 ± 15.64 µmol mol^{-1}

(Figura 4c). *S. campanulata* a la misma concentración mostró una A de 14.278 ± 0.746 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, un Ci de 370 ± 4.79 µmol mol^{-1} y un Cc 186.6 ± 8.75 µmol mol^{-1} (Figura 4f), mientras que *S. samarangense* registró una A 12.786 ± 1.279 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, un Ci de 356.6 ± 12.71 µmol mol^{-1} y un Cc 594.4 ± 30.41 µmol mol^{-1} (Figura 4b). Por último *M. balsamum* presentó una A 10.99 ± 0.730 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, un Ci de 326.8 ± 20.11 µmol mol^{-1} y un Cc 388 ± 10.47 µmol mol^{-1} (Figura 4f) y *O. quixos* con una A 12.786 ± 1.279 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, un Ci de 356.6 ± 12.71 µmol mol^{-1} y un Cc 594.4 ± 30.41 µmol mol^{-1} (Figura 4a).

En cuanto a la fotosíntesis máxima (A_{max}), tres especies alcanzaron su máxima capacidad fotosintética a concentraciones de CO_2 de 2000 µmol mol^{-1}, siendo *Z. longifolia* la que presentó mejor respuesta fotosintética con una A_{max} de 29.028 ± 2.806 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, un Ci de 1404.4 ± 115.94 µmol mol^{-1} y una Cc 1558.6 ± 13.66 µmol mol^{-1}, seguido de la especie *S. Campanulata* con una A_{max} de 27.450 ± 1.556 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, un Ci de 1650 ± 32.22 µmol mol^{-1} y una Cc 483.4 ± 15.73 µmol mol^{-1}. *C. cujete* registró una A_{max} de 23.476 ± 2.298 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, un Ci de 1451 ± 62.29 µmol mol^{-1} y una Cc 731.8 ± 57.88 µmol mol^{-1}, *S. samarangense* mostró una A_{max} de 19.54 ± 2.265 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, un Ci de 871 ± 28.08 µmol mol^{-1} y una Cc 1089.2 ± 26.24 µmol mol^{-1}. *M. balsamum* presentó A_{max} de 16.636 ± 1.049 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, un Ci de 1606 ± 32.45 µmol mol^{-1} y una Cc 1158.2 ± 15.29 µmol mol^{-1} y por último *O. quixos mostró* una A_{max} de 13.948 ± 1.108 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, un Ci de 1456 ± 51.06 µmol mol^{-1} y una Cc 503.6 ± 68.70 µmol mol^{-1} (Tabla 2).

La respuesta de la tasa fotosintética a la concentración de CO_2 representa una curva de saturación, en el cual la fotosíntesis va de menor a mayor conforme aumenta la concentración de CO_2 (Niinemets et al., 2011). Las características estomáticas y bioquímicas que componen el aparato fotosintético varían entre diferentes especies de plantas (Wright et al., 2004) por lo tanto, la respuesta fotosintética está condicionada a la especie y a las condiciones del hábitat donde se encuentre.

Se ha reportado un estudio que evaluó la respuesta fotosintética al incremento de CO_2 con 1500 PPDF µmol $m^{-2}s^{-1}$ en tres especies del género *Brassica* siendo *Brassica rapa* la especie con mejor respuesta fotosintética con una Amax 37.7 ± 0.44 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, seguido de *Brassica napus* con una Amax 36.6 ± 1.67 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ y por último *Brassica oleracea* con una Amax 32.5 ± 0.69 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ (Taylor et al., 2020). Otro estudio reportó la respuesta fotosintética al incremento de las concentraciones de CO_2 con

1500 PPDF µmol $m^{-2}s^{-1}$ de la especie *Ziziphus spina-christi* en el cual evalúan el comportamiento que presenta la especie en dos ecosistemas.

Los individuos que crecen en un clima del mediterráneo registraron una Amax de 32.28 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ siendo mayor a los individuos que crecen en un clima semi árido con una Amax de 19.43 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ (Zait & Schwartz, 2018). En ambientes urbanos se ha reportado la respuesta fotosintética al incremento de CO_2 en la especie *Populus deltoides* en tres áreas con diferente carga de contaminación por metales pesados (baja, media y alta), el cual mostró un comportamiento particular, registrando los mayores valores de Amax en áreas contaminadas por metales pesados con una carga de contaminación media, registrando una Amax 27.1 ± 3.0 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, en el área con una carga de contaminación alta, presentó una Amax 20.0 ± 2.4 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-}1$ y por último, los valores más bajo de Amax se registraron en el área con una carga de contaminación baja registrando una Amax 14.3 ± 1.6 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ (Renninger et al., 2013).

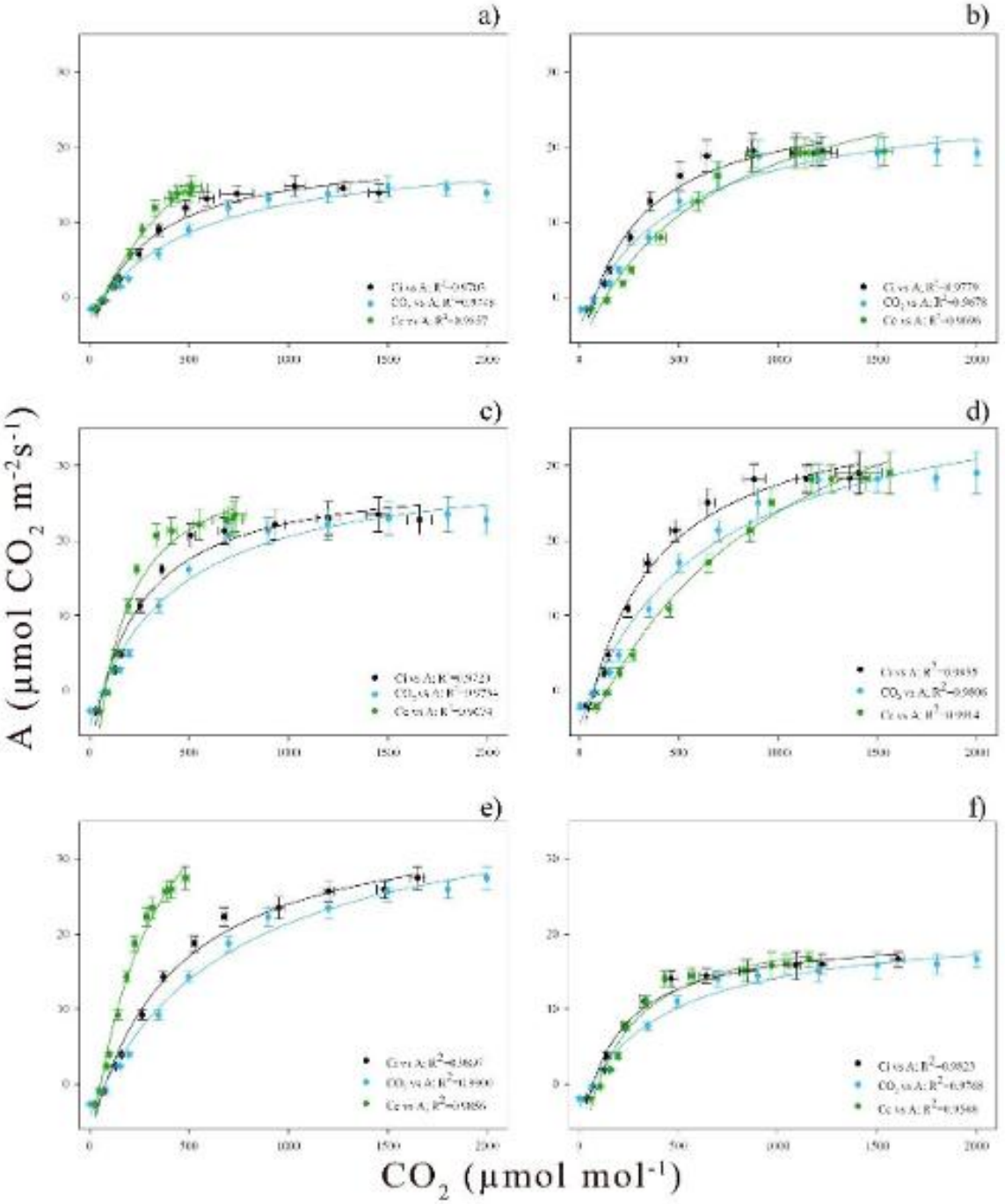

Figura 4. Curvas de respuesta fotosintética al incremento de CO_2 de las seis especies evaluadas en el arbolado urbano de la ciudad de Puyo.

Leyenda: a) *O. quixos*; b) *S. samarangense*; c) *C. cujete*; d) *Z. longifolia*; e) *S. campanulata*; f) *M. balsamum;* A: Asimilación; CO_2: Concentración de CO_2 en la cámara; Ci: Concentración de CO_2 intracelular; Cc: Concentración de CO_2 en los Cloroplastos; R^2: Coeficiente de determinación.

En la (Tabla 2) también se puede evidenciar que las tres especies con mayor tasa de transpiración fueron *S.campanulata* con 1.59 ± 1,555 mmol H_2O $m^{-2}s^{-1}$, *Z. longifolia* con 1.47 ± 2,806 mmol H_2O $m^{-2}s^{-1}$ y *C. cujete con* 23.47 ± 2,297 mmol H_2O $m^{-2}s^{-1}$, quienes mostraron diferencias significativas ($P<0.05$) con respecto a *S. Samarangense, M. balsamum* y *O. quixos.* Las especies con mayor tasa de transpiración coinciden con las especies de mayor respuesta fotosintética. Se ha reportado que *Parkinsonia praecox* ha registrado una tasa de transpiración de 5.75 ± 0.84 mmol H_2O $m^{-2}s^{-1}$ en un bosque tropical de Venezuela (Ávila-Lovera & Tezara, 2018), para *Eucalyptus grandis* se ha reportado una tasa de transpiración 9.91 mmol H_2O $m^{-2}s^{-1}$ (Mejía de Tafur et al., 2014), también se ha reportado un estudio de caracterización ecofisiológica y micromorfológica de cubierta vegetal en ambientes urbanos, en el cual han registrados tasas de transpiración que van desde 1.31 a 6. 07 mmol H_2O $m^{-2}s^{-1}$ en 15 especies (Baraldi et al., 2019).

En cuanto a la conductancia estomática las especies también mostraron diferencias significativas ($P<0.05$) entre ellas. Las tres especies que registraron valores de gs más altos fueron *C. cujete* con un gs de 0.28 ± 0.014 mmol H_2O $m^{-2}s^{-1}$, seguido de *S. campanulata* con un gs 0.27 ± 0.012 mmol H_2O $m^{-2}s^{-1}$ y *Z. longifolia* con un gs de de 0.21 ± 0.010 mmol H_2O $m^{-2}s^{-1}$. Estas especies también presentaron los valores más altos en cuanto a la eficiencia de carboxilación de la rubisco, en el cual, *Z. longifolia* presentó un valor de 0.06 ± 0.008 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, seguido de *C. cujete* con de 0.05 ± 0.003 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ y *S. campanulata* con de 0.05 ± 0.002 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$. Se ha reportado valores de conductancia estomática en tres especies del género *Brassica*, en el cual la especie *B. rapa* registró un gs de 0.75 ± 0.007 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, *B. napus* un gs de 0.63 ± 0.004 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ y *B. oleracea* 0.46 ± 0.005 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ (Taylor et al., 2020), otro estudio ha reportado valores de conductancia estomática para la especie *Populus deltoides* en ecosistemas urbanos con gs de 0.11 ± 0.04 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ y una eficiencia de carboxilación de la Rubisco de 0.12 ± 0.01 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ (Renninger et al., 2013). El punto de compensación de CO_2 no mostró diferencias significativas.

Tabla 2. Media y Error estándar de los parámetros fotosintéticos analizados en las curvas de respuesta de CO_2.

Especies	Amax	E	gs	Vc	Pt
O. quixos	14.79^{c} ±1,347	0.81^{d} ±0.051	0.09^{d} ±0.006	0.03^{b} ±0.004	81.07^{a} ±3.61
S. samarangense	19.54^{b} ±2,265	1.06^{c} ±0.059	0.16^{c} ±0.013	0.04^{ab} ±0.005	78.27^{a} ±3.41
C. cujete	23.476^{b} ±2,297	1.34^{b} ±0.051	0.28^{a} ±0.014	0.05^{a} ±0.003	75.43^{a} ±3.35
Z. longifolia	29.028^{a} ±2,806	1.47^{ab} ±0.043	0.21^{b} ±0.010	0.06^{a} ±0.008	75.50^{a} ±6.01
S. campanulata	27.45^{a} ±1,555	1.59^{a} ±0.036	0.27^{a} ±0.012	0.05^{ab} ±0.002	86.54^{a} ±4.20
M. balsamum	16.636^{c} ±1,049	0.92^{cd} ±0.038	0.12^{cd} ±0.008	0.04^{ab} ±0.005	73.58^{a} ±3.48

Leyenda: Amax: Tasa de fotosíntesis máxima (µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$); E: tasa de transpiración (mmol H_2O $m^{-2}s^{-1}$); gs: Conductancia estomática (µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$); Vc: Eficiencia de carboxilación de la rubisco (µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$); Pt: Punto de compensación de CO_2 (µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$)
Las letras distintas denotan diferencias significativas entre especies a un nivel de ($P \leq 0.05$) según la prueba de Tukey.

4.3. Respuesta fotosintética al incremento de la intensidad de luz

La (Figura 5) describe el comportamiento fotosintético de las seis especies evaluadas en el área urbano de la ciudad de Puyo, en respuesta al aumento en la intensidad PPFD. Se aplicó un pulso de luz de hasta 1800 µmol $m^{-2}s^{-1}$ PPFD para las especies *C. cujete*, *S. samarangense, S. campanulata y Z. longifolia* por ser especies heliófilas y hasta 800 (µmol $m^{-2}s^{-1}$) PPFD para *O. quixos* y *M. balsamum* por ser especies esciófitas. En el punto inicial a partir de los 25 µmol $m^{-2}s^{-1}$ de PPFD, cinco de las seis especies evaluadas no mostraron respuesta fotosintética, siendo la especie *C. cujete* la única en responder fotosintéticamente a tan bajas intensidades de luz.

Las dos especies que mostraron mejor respuesta fotosintéticas fueron: *Z. longifolia* que consiguió una estabilidad fotosintética sin mostrar aumentos representativos en la tasa de asimilación a partir de los 1000 µmol $m^{-2}s^{-1}$ de PPFD con una A de 13.58 ± 1.23 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, además alcanzó una Amax de 15. 20 ± 1.05 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ a los 1800 µmol $m^{-2}s^{-1}$ de PPFD (Figura 5d). Seguido de la especie *S. campanulata* que mostró una estabilidad en su respuesta fotosintética a partir de los 600 µmol $m^{-2}s^{-1}$ de PPFD con una A de 12.08 ± 0.97 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ y alcanzó una Amax de 14. 31 ± 1.11 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ a los 1000 µmol $m^{-2}s^{-1}$ de PPFD (Figura 5e).

El segundo grupo de especies fue *S. samarangenses* llegando a una estabilidad fotosintética a partir de los 1000 µmol $m^{-2}s^{-1}$ de PPFD con una A de 8.04 ± 0.47 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, además alcanzó una Amax de 9.45 ± 0.54 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ a los 1800 µmol $m^{-2}s^{-1}$ de PPFD (Figura 5b), seguido de *M. balsamum* quien mostró una estabilidad fotosintética a partir de los 250 µmol $m^{-2}s^{-1}$ de PPFD con una A de 6.02 ± 0.17 µmol CO_2

$m^{-2}s^{-1}$, además alcanzó una Amax de 8.13 ± 0.24 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ a los 650 µmol $m^{-2}s^{-1}$ de PPFD (Figura 5f).

El tercer grupo de especies con menor respuesta fotosintética fue *C. cujete* que consiguió una estabilidad fotosintética sin mostrar aumentos representativos en la tasa de asimilación a partir de los 600 µmol $m^{-2}s^{-1}$ de PPFD con una A de 5.49 ± 0.53 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, además alcanzó una Amax de 7.13 ± 0.88 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ a los 1500 µmol $m^{-2}s^{-1}$ de PPFD (Figura 5c). Seguido de la especie *O. quixos* que mostró una estabilidad en su respuesta fotosintética a partir de los 550 µmol $m^{-2}s^{-1}$ de PPFD con una A de 5.82 ± 0.63 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ y alcanzó una Amax de 6.78 ± 0.59 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ a los 800 µmol $m^{-2}s^{-1}$ de PPFD (Figura 5a).

La prueba de comparación de Tukey con una ($P \leq 0.05$) evidenció dos grupos de especies con diferencias significativas, en el primero se encontraron las dos especies con mayor Amax, siendo *Z. Longifolia* y *S. campanulata.* El segundo grupo está conformado por las cuatro especies restantes siendo *S. samarangense, M. balsamum, C. cujete y O. quixos* (Tabla 3). Se han reportado varios estudios que evaluaron la respuesta fotostática a varias intensidades de PPFD, en el cual la especie *Phragmites australis* presentó una Amax de 11.7 ± 0.13 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ (An et al., 2020), la especie *Ziziphus spina-christi* registró una Amax de 22.6 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ (Zait & Schwartz, 2018), *Populus deltoides* ha registrado una Amax de 11.3 ± 2.3 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ (Renninger et al., 2013).

También se ha reportado un estudio de la especie *Ligustrum lucidum* que su respuesta fotosintética a diferentes intensidades de PPFD ha sido evaluado en áreas urbanas de la Ciudad de México en el cual alcanzó una Amax de 8.4 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ (García-Sánchez et al., 2019). Otro estudio evaluó la respuesta fotosintética de tres especies del género *Brassica* a diferentes intensidades de PPFD, en el cual la especie que alcanzó una mayor Amax fue *B. rapa* con 44.9 ± 0.95 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, seguido de *B. napus* con una Amax de 43.9 ± 1.68 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ y *B. oleracea* con una Amax de 40 ± 1.66 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ (Taylor et al., 2020).

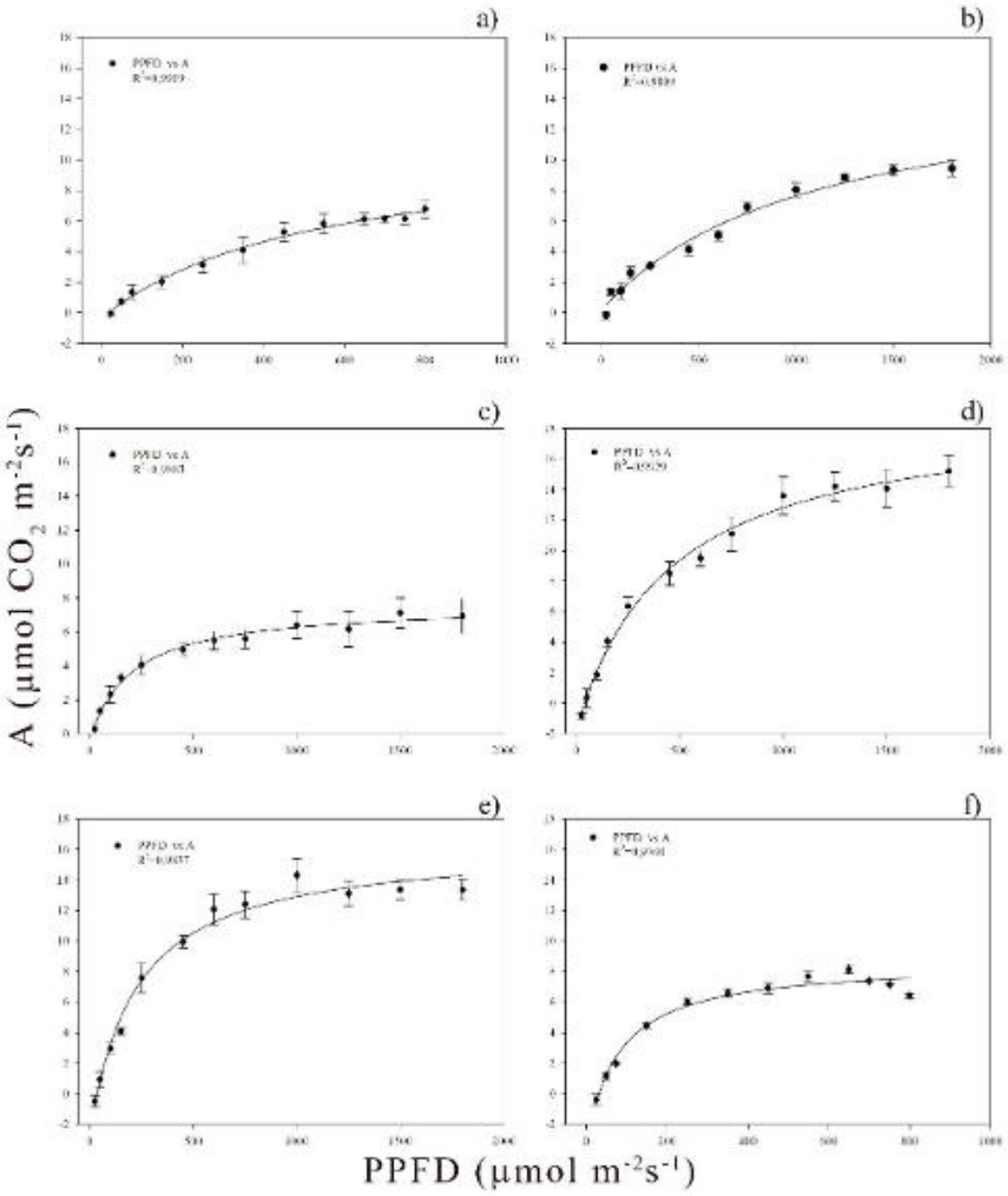

Figura 5. Curvas de respuesta fotosintética al incremento de las intensidades de PPFD de las seis especies evaluadas en el arbolado urbano de la ciudad de Puyo.

Leyenda: a) *O. quixos*; b) *S. samarangense*; c) *C. cujete*; d) *Z. longifolia*; e) *S. campanulata*; f) *M. balsamum;* A: Asimilación; PPDF: Densidad de flujo de fotones fotosintético; R^2: Coeficiente de determinación.

La (Tabla 3) presentó los resultados del ANOVA y la prueba de comparación de Tukey con ($P \leq 0.05$) de los parámetros fotosintéticos en respuesta a la PPFD. Se pudo evidenciar que la especie *Z. longifolia* mostró una mayor tasa de transpiración (E) con 1.31 ± 0.076 mmol H_2O $m^{-2}s^{-1}$ mostrando diferencias significativas, seguido se encuentran las especie

S. samarangenses con una tasa de E de 0.85 ± 0.056 mmol H_2O $m^{-2}s^{-1}$, *M. balsamum* con 0.69 ± 0.041 mmol H_2O $m^{-2}s^{-1}$, *S. campanulata* con 0.64 ± 0.025 mmol H_2O $m^{-2}s^{-1}$, *O. quixos* con 0.57 ± 0.039 mmol H_2O $m^{-2}s^{-1}$ y por último *C. cujete* con 0.48 ± 0.03 mmol H_2O $m^{-2}s^{-1}$.

La transpiración de la hoja de la especie *Z. longifolia* mostró un comportamiento similar en cuanto la tasa de transpiración en hojas sometidas en altas concentraciones de CO_2. Sim embargo, las cinco especies restantes presentaron un aumento en la tasa de transpiración cuando sus hojas fueron sometidas a altas concentraciones de CO_2, la conductancia estomática también presentó el mismo comportamiento (Tabla 2), además también se puede observar que la Amax en respuesta al aumento de las concentraciones de CO_2 fue el doble de la asimilación registrada en respuesta a las PPFD.

La respuesta fotosintética de la plantas se ven correlacionadas al incremento de Luz y CO_2, pero muchos estudios han reportado que la mayor asimilación sucede con el aumento en las concentraciones de CO_2 ya que es el principal sustrato de la fotosíntesis (An et al., 2020; Marín et al., 2014; Taylor et al., 2020; Zait & Schwartz, 2018).

La máxima velocidad de transporte de electrones (ETRmax) la registraron las especies *S. campanulata* con una ETRmax de 148.76 ± 8.19 µmol $m^{-2}s^{-1}$, seguido de la especie *Z. longifolia* con 119.68 ± 8.60 µmol $m^{-2}s^{-1}$, *M. balsamum* con 107.58 ± 12.82 µmol $m^{-2}s^{-1}$ µmol $m^{-2}s^{-1}$, *C. cujete* con 92.1 ± 6.93 µmol $m^{-2}s^{-1}$, *S. samarangenses* con 85.98 ± 2.39 µmol $m^{-2}s^{-1}$ y por último *O. quixos* con 65.72 ± 5.19 µmol $m^{-2}s^{-1}$. También se observó diferencias significativas entre las especies (Tabla 3).

Varios estudios han reportado que las plantas cuando llegan a presenciar pulsos de luz no saturante (PPFD) sus centros de reacción en el PSII se encuentran abiertos (oxidando), permitiendo que los electrones fluyan en el ciclo de Calvin, pero al entrar en contacto con pulsos de luz saturante las plantas dejan de responder de la misma forma es decir dejan de hacer fotoquímica (Ralph & Gademann, 2005; White & Critchley, 1999).

En cuanto a la respuesta que tuvieron la especies en la eficiencia de carboxilación de la rubisco y el punto de compensación de luz, las especies mostraron un comportamiento similar a Amax, en el cual las especies *Z. longifolia y S campanulata* presentaron una mejor respuesta evidenciándose diferencias significativas ($P \leq 0.05$) frente a las cuatro especies restantes. Se han reportado valores de punto de compensación de luz para la especie *Populus deltoides* con 53.1 ± 1.8 (Renninger et al., 2013).

Tabla 3. Media y error estándar de los parámetros fotosintéticos analizados en las curvas de respuesta la luz

Especies	Amax		E		gs		ETRmax		Vc		Pt	
O. quixos	6.78^{b}	±0.59	0.57^{cd}	±0.039	0.06^{d}	±0,004	65.72^{c}	±5.19	0.022^{b}	±0.001	31.37^{b}	±0.22
S. samarangense	9.45^{b}	±0.54	0.85^{b}	±0.056	0.10^{c}	±0,007	85.98^{bc}	±2.39	0.023^{b}	±0.002	22.5^{bc}	±0.44
C. cujete	7.13^{b}	±0.88	0.48^{d}	±0.030	0.05^{d}	±0,002	92.1^{bc}	±6.93	0.021^{b}	±0.001	14.70^{c}	±5.99
Z. longifolia	15.20^{a}	±1.05	1.31^{a}	±0.076	0.19^{a}	±0,015	119.68^{ab}	±8.60	0.043^{a}	±0001	53.91^{a}	±2.07
S. campanulata	14.31^{a}	±1.11	0.64^{cd}	±0.025	0.13^{b}	±0,008	148.76^{a}	±8.19	0.044^{a}	±0.002	47.10^{a}	±3.15
M. balsamum	8.13^{b}	±0.24	0.69^{bc}	±0.041	0.08^{cd}	±0,004	107.58^{b}	±12.82	0.026^{b}	±0.001	30.54^{b}	±2.04

Leyenda: Amax: Tasa de fotosíntesis máxima (µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$); E: tasa de transpiración (mmol H_2O $m^{-2}s^{-1}$); gs: Conductancia estomática (µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$); ETRmax Velocidad de transporte de electrones máxima (µmol $m^{-2}s^{-1}$); Vc: Eficiencia de carboxilación de la rubisco (µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$); Pt: Punto de compensación de CO_2 (µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$)
Las letras distintas denotan diferencias significativas entre especies a un nivel de ($P \leq 0.05$) según la prueba de Tukey.

4.4. Curvas de respuesta de los parámetros fotoquímicos al incremento de la intensidad de luz

La (Figura 6) presentó el comportamiento de la velocidad de transporte de electrones (ETR) frente a la densidad de flujos de fotones fotosintéticos (PPFD) en el que se puede evidenciar visualmente que la especie *S. campanulata* mostro mejor respuesta, alcanzando su estabilidad a los 750 µmol $m^{-2}s^{-1}$ PPFD con un ETR de 142.5 ± 6.7 µmol $m^{-2}s^{-1}$ (Figura 6e). seguido de la especie *Z. longifolia* que alcanzo su estabilidad en la misma intensidad de PPFD con un ETR de 117.06 ± 6.8 µmol $m^{-2}s^{-1}$ (Figura 6d), siendo las dos especies que mayor toleren las intensidades lumínicas antes de llegar a su punto de saturación.

Luego el segundo grupo de especies que alcanzaron su estabilidad en ETR a los 600 µmol $m^{-2}s^{-1}$ PPFD, siendo *C. cujete* con un ETR de 87.74 ± 5.88 µmol $m^{-2}s^{-1}$ (Figura 6c), seguido de *S. samarangense* con una ETR de 83.02 ± 1.55 µmol $m^{-2}s^{-1}$ (Figura 6b). Por último, *O. quixos* que alcanzó su estabilidad en ETR a partir de los 350 µmol $m^{-2}s^{-1}$ PPFD con un ETR de 56.08 ± 5.36 µmol $m^{-2}s^{-1}$ (Figura 6a). Sin embargo, en *M. balsamum* se puedo evidencias una ETR en constante aumento hasta llegar a los 800 µmol $m^{-2}s^{-1}$ PPFD que fue la máxima intensidad lumínica para esta especie.

Varios autores han detallado que las membranas tilacoides de las plantas, contienen fotosistemas especializados que absorben y atrapan la energía luminosa que posteriormente se transforma en energía química en forma de ATP y NADPH y se utiliza en la reducción bioquímica de carbono, nitrógeno y azufre (Cavalier-Smith, 2003). Las reacciones fotoquímicas que tienen lugar en los fotosistemas dependen de los procesos foto físicos de absorción de luz y transferencia de energía dentro del complejo de

captación de luz y la posterior migración de excitación desde los pigmentos de captación de luz, a través de la antena central hasta los pigmentos del centro de reacción de PSII y PSI respectivamente (McDonald et al., 2011)

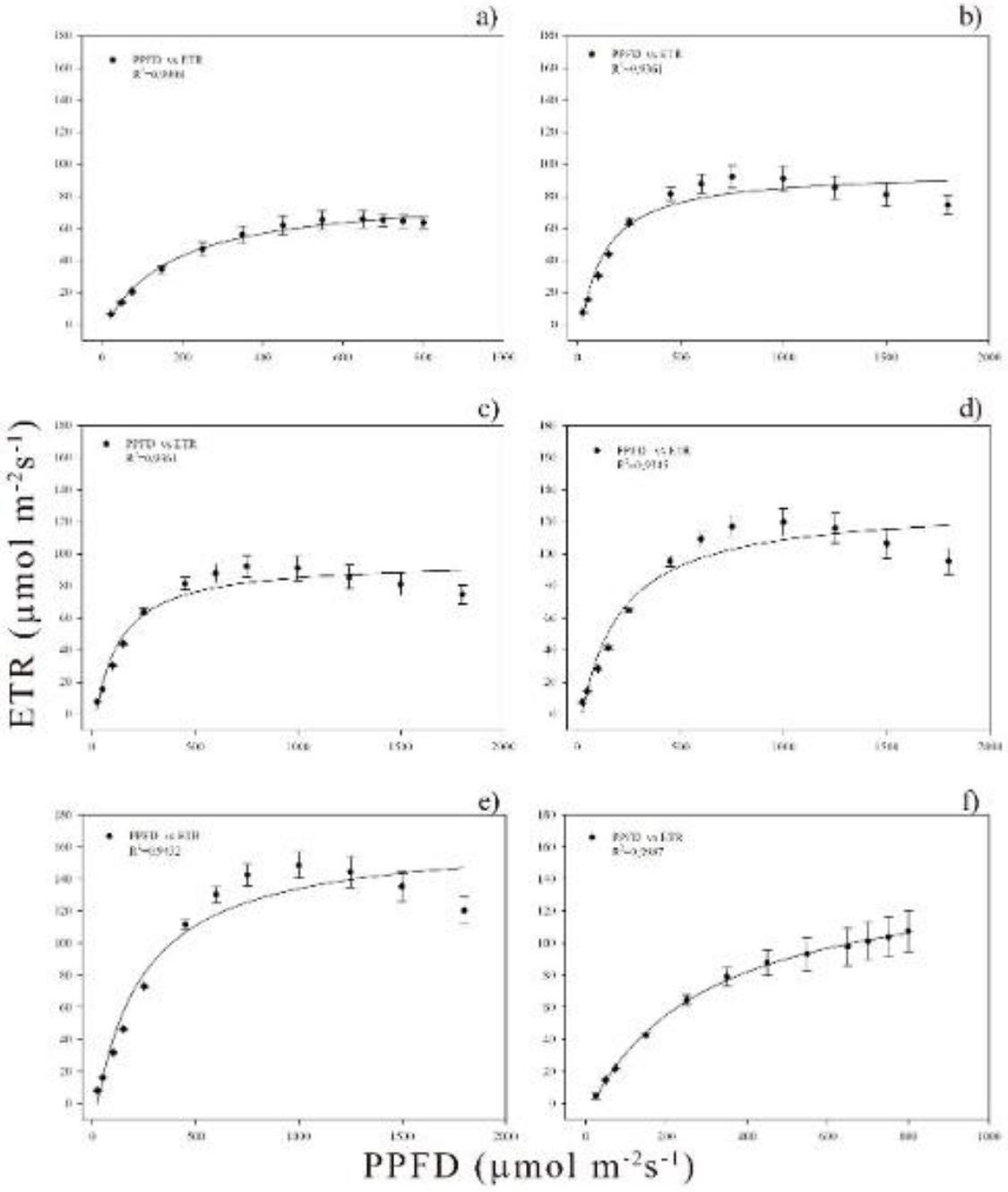

Figura 6. Curvas de velocidad de transporte de electrones (ETR)en respuesta al incremento de las intensidades de PPFD de las seis especies evaluadas en el arbolado urbano de la ciudad de Puyo.

Leyenda: a) *O. quixos*; b) *S. samarangense*; c) *C. cujete*; d) *Z. longifolia*; e) *S. campanulata*; f) *M. balsamum;* A: Asimilación; PPDF: Densidad de flujo de fotones fotosintético; R^2: Coeficiente de determinación.

En la (Figura 7) se describen las curvas de respuesta del rendimiento cuántico relativo (ΦPSII) frente a densidad de fujo de fotones fotosintéticos (PPFD) de las seis especies muestreadas, en el que se pudo evidenciar un comportamiento variado. La curva de la especie *S. campanulata* presentó un coeficiente de determinación (R^2) de 0.9985 (Figura 7e), seguido de *O. quixos* con un R^2 0.9972 (Figura 7a), *Z. longifolia* con un R^2 de 0.9988 (Figura 7d), *S. samaragense* con R^2 de 0.9932 (Figura 7b), *C. cujete* con R^2 de 0.9930 (Figura 7c) y por último *M. balsamum* con R^2 de 0.9923 (Figura 7e).

Se han reportado varios estudios que analizan curvas de respuestas del rendimiento cuántico relativo para comprender las funciones fisiológicas del aparato fotosintético (Ávila-Lovera & Tezara, 2018; Engineer et al., 2016; Maxwell & Johnson, 2000; Ralph & Gademann, 2005; Rascher et al., 2000; U Schreiber et al., 1997).

El rendimiento cuántico de PSII es una medición que representa la eficiencia lograda del fotosistema II bajo las condiciones actuales de iluminación fotosintética en estado estacionario (Loriaux et al., 2006; Maxwell & Johnson, 2000; Rascher et al., 2000). Se ve afectado por el cierre de los centros de reacción y la disipación de calor causada por el enfriamiento no fotoquímico (Ulrich Schreiber, 2007). También se ve afectado por la migración de los cloroplastos (Cazzaniga et al., 2013; Dall'Osto et al., 2014).

Cuando la luz ambiental llega al contacto con la planta, un promedio del 84% de esa luz es absorbida por la hoja, de los cuales el 50% de esa luz, es absorbido por las antenas asociadas con PSII y transferido a los centros de reacción. La absorción de la hoja puede variar del 70% al 90% (Eichelmann et al., 2004) y la absorción de PSII puede variar de 40% a 64% (Edwards & Baker, 1993; Laisk & Loreto, 1996). La absorción de la hoja presenta cambios con el estrés de la planta, la edad de la hoja, el contenido de clorofila, las especies y el nivel de luz (Cazzaniga et al., 2013).

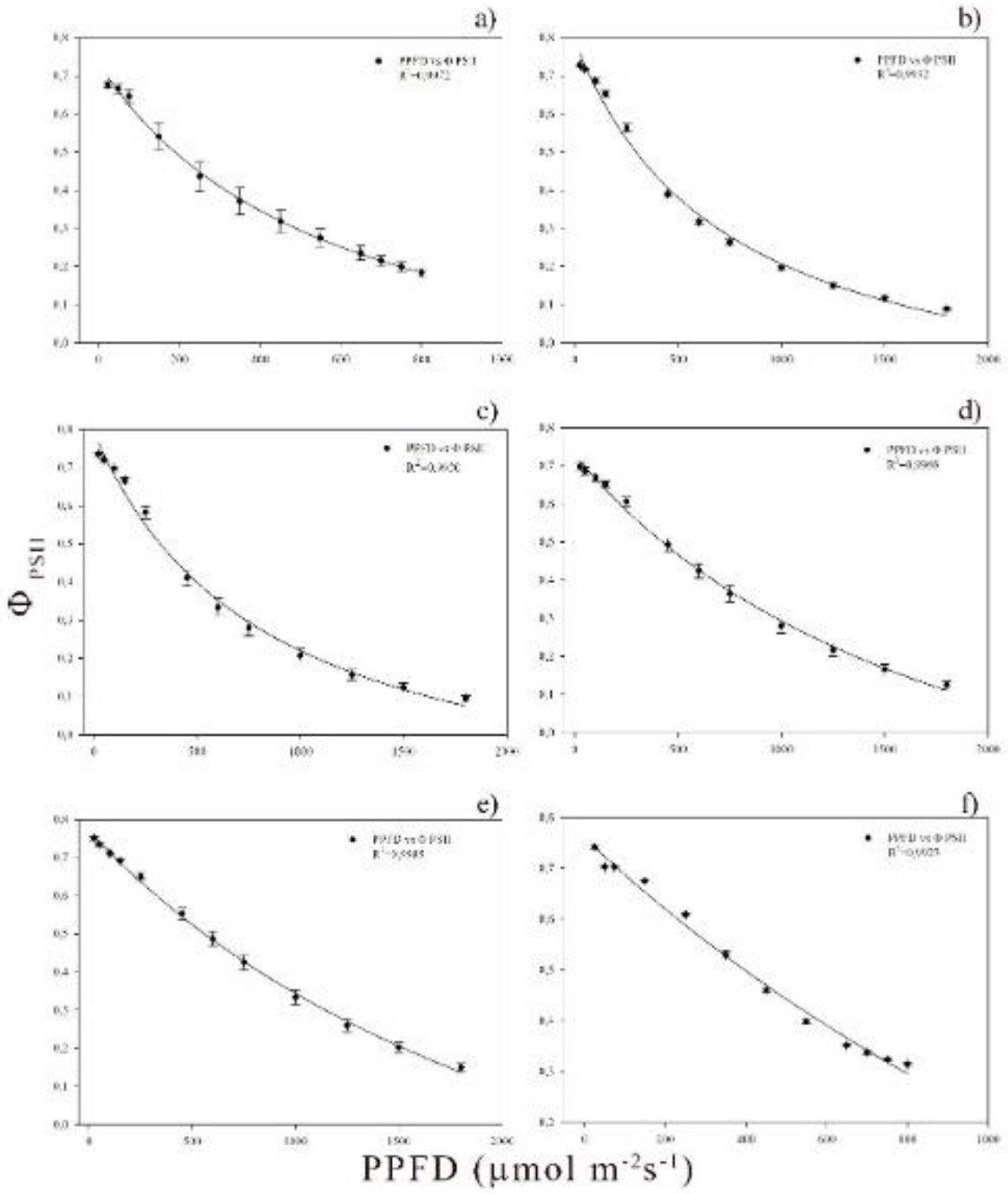

Figura 7. Curvas del rendimiento cuántico relativo (ΦPSII) en respuesta al incremento de las intensidades de PPFD de las seis especies evaluadas en el arbolado urbano de la ciudad de Puyo.

Leyenda: a) *O. quixos*; b) *S. samarangense*; c) *C. cujete*; d) *Z. longifolia*; e) *S. campanulata*; f) *M. balsamum;* A: Asimilación; PPDF: Densidad de flujo de fotones fotosintético; R^2: Coeficiente de determinación.

La (Figura 8) describe el comportamiento de las curvas del coeficiente de fluorescencia fotoquímica (qP), coeficiente de fluorescencia no fotoquímica (qN) y medida de

disipación de calor no fotoquímico en respuesta al incremento de las intensidades de PPFD de las seis especies evaluadas en el arbolado urbano de la ciudad de Puyo, en el cual se puedo evidenciar un comportamiento variado, dichos datos se corroboran con varios estudios que se han reportado, en el cual, realizan curvas de respuestas en los parámetros de fluorescencia para comprender las funciones fisiológicas del aparato fotosintético (Ávila-Lovera & Tezara, 2018; Engineer et al., 2016; Maxwell & Johnson, 2000; Ralph & Gademann, 2005; Rascher et al., 2000; U Schreiber et al., 1997).

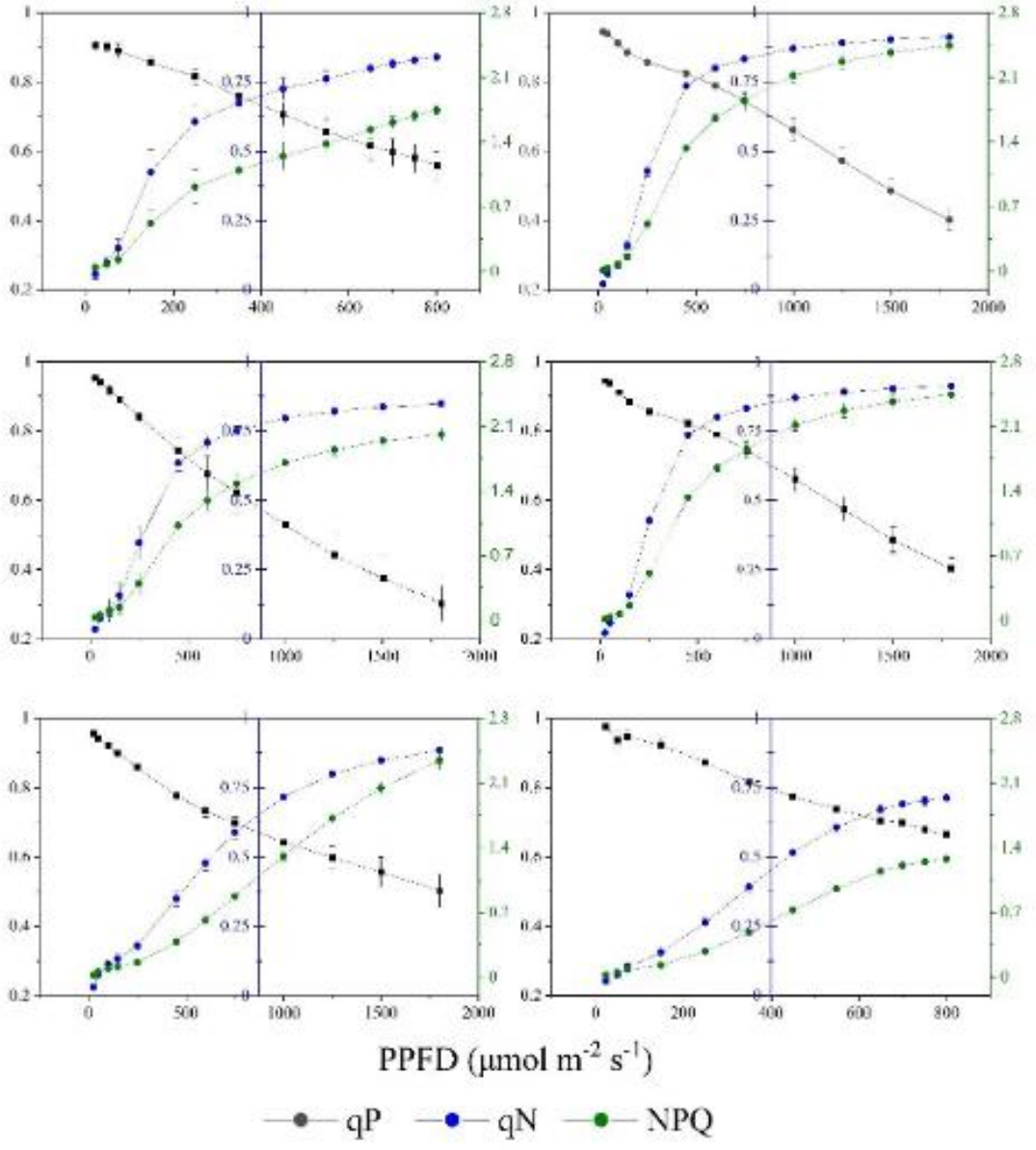

Figura 8. Curvas de respuesta de parámetros fotoquímicos al incremento de las intensidades de PPFD de las seis especies evaluadas en el arbolado urbano de la ciudad de Puyo.

Leyenda: a) *O. quixos*; b) *S. samarangense*; c) *C. cujete*; d) *Z. longifolia*; e) *S. campanulata*; f) *M. balsamum;* PPDF: Densidad de flujo de fotones fotosintético. coeficiente de fluorescencia fotoquímica (qP), coeficiente de fluorescencia no fotoquímica (qN) y medida de disipación de calor no fotoquímico (NPQ)

4.5. Respuesta fotosintética en condiciones ambientales

Los resultados del curso diario de fotosíntesis, se presentaron en la (Figura 4) en el cual se evidenció que todas las especies analizadas no mostraron respuesta fotosintética a las 6:00 de la mañana. La máxima respuesta fotosintética en condiciones ambientales se registró a las 10:00 am en todas las especies. *S. campanulata* fue la especie con mayor fotosíntesis, registrando una asimilación neta (A) de 4.15 ± 0.31 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ (Figura 9e), seguido de la especie *Z. longifolia* con una A de 4.08 ± 0.26 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ (Figura 9d), *C, cujete* con 3.22 ± 0.28 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ (Figura 9c), *O. quixos* con 4.15 ± 0.31 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ (Figura 9a), *S. samarangense* con 2.66 ± 0.18 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ (Figura 9b) y por último *M. balsamum* con 2.42 ± 0.17 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ (Figura 9f).

Se pudo evidenciar diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre *S. campanulata, Z. longifolia* siendo las dos especies de mayor respuesta y las especies *S. samarangense, O. quixos y M. balsamum*. Sin embargo, se evidenció que *C. cujete* no presentó diferencias significativas con ninguna de las especies antes mencionadas.

También se evidenció que la respuesta de la conductancia estomática está relacionada al comportamiento fotosintético que presenta cada especie, cuando la fotosíntesis está en aumento la conductancia estomática aumenta y cuando la tasa de fotosíntesis disminuye, también lo hace la conductancia estomática (Figura 4).

La (Figura 10) presentó la correlación entre la asimilación y la conductancia estomática en el cual se evidenció el comportamiento individual de las especies. Se ha reportado un comportamiento similar para la especie *Ligustrum lucidum* que alcanzó su máxima asimilación neta (AmaxN) de 2.80 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ a las 10:00 am (García-Sánchez et al., 2019), *Pittosporum crassifolium* con AmaxN de 4 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ a las 10:00 en ambientes urbanos (Weissert et al., 2017).

También se ha reportado un comportamiento variado para otras especies que han alcanzado AmaxN en diferentes horas del día, siendo las especies *Liquidambar styraciflua* con AmaxN de 8 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ a las 14:00, *Quercus robur* AmaxN de 10.2 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ a las 12:00, *Vitex lucens* con AmaxN de 6 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ a las 14:00, *Metrosideros excelsa* con AmaxN de 10 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ a las 14:00, *Alectryon excelsus* con AmaxN de 5 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ a las 8:00, *Pittosporum tenuifolium* con AmaxN de 5.3 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ a las 14:00, *Pittosporum eugenioides* con AmaxN de 3 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ a las 16:00, *Magnolia grandiflora* con AmaxN de 5 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ a las 12:00, *Corynocarpus laevigatus* con AmaxN de 2 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ a las 12:00. Estas especies

también fue analizado su curso diario de fotosíntesis en ecosistemas urbanos (Weissert et al., 2017).

Otro estudio ha reportado el curso diurno de fotosíntesis en un bosque tropical para las especies *Polypodium crassifolium* que alcanzó su AmaxN de 5.3 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ a las 10:00 y la especie *C. pentandra* con una AmaxN de 17.3 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ a las 12:00 (Zotz & Winter, 1993).

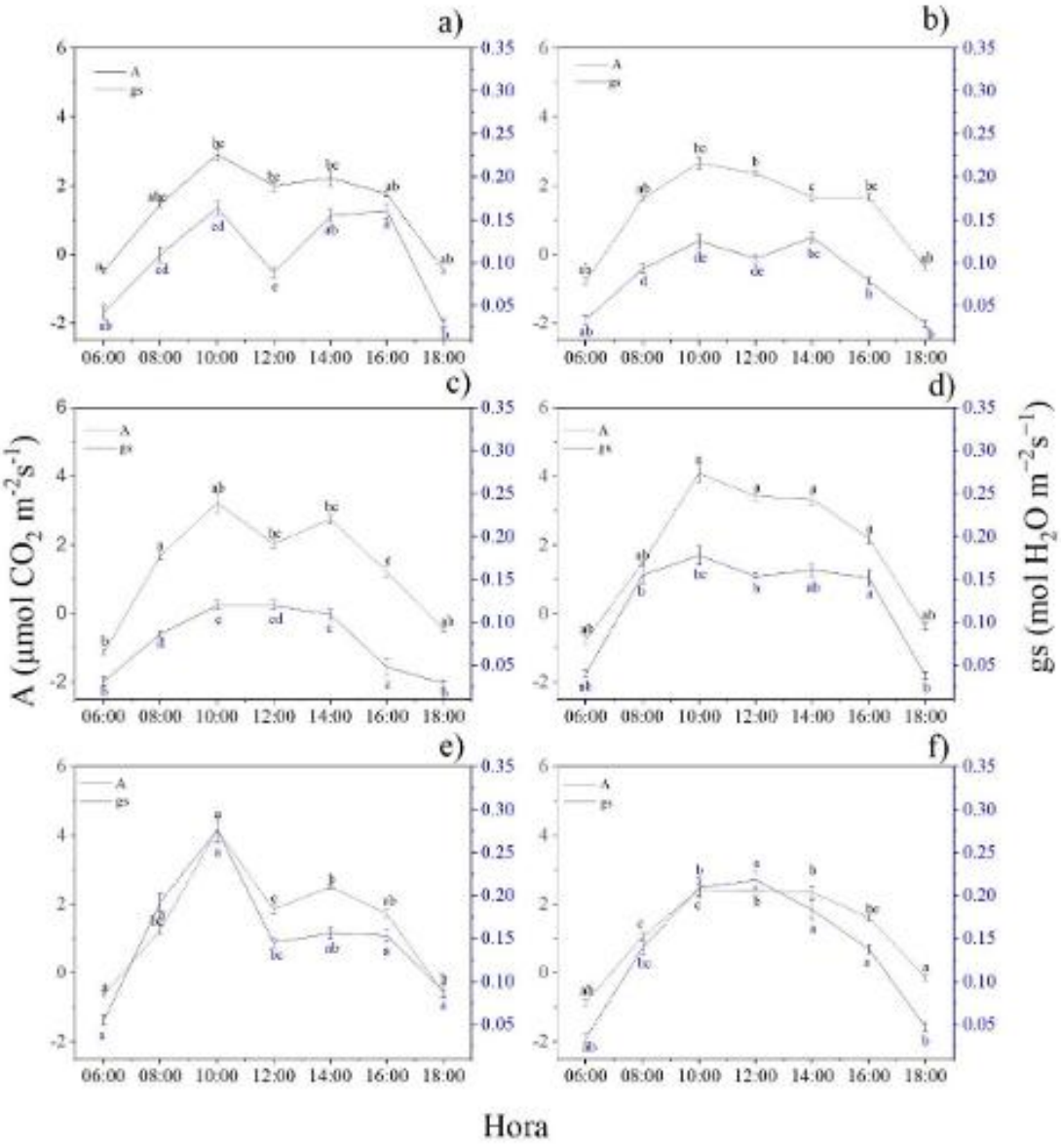

Figura 9. Curso diurno de la tasa de fotosíntesis neta (A) y de la conductancia estomática (gs) de las seis especies representativas del arbolado urbano de la ciudad de Puyo.

Leyenda: a) *O. quixos*; b) *S. samarangense*; c) *C. cujete*; d) *Z. longifolia*; e) *S. campanulata*; f) *M. balsamum;*

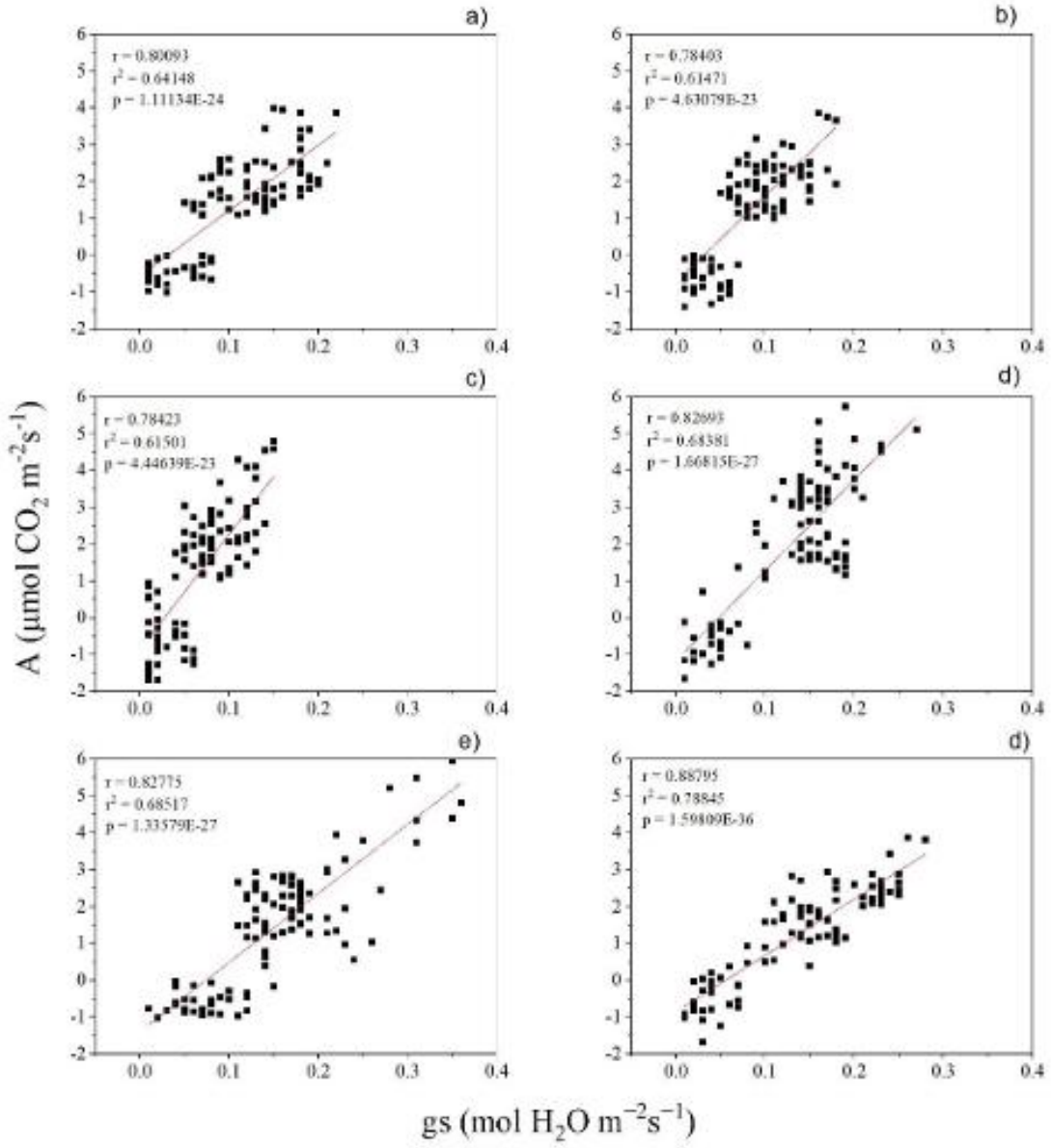

Figura 10. Curso diurno de la tasa de fotosíntesis neta (A) y de la conductancia estomática (gs) de las seis especies representativas del arbolado urbano de la ciudad de Puyo.

Leyenda: a) *O. quixos*; b) *S. samarangense*; c) *C. cujete*; d) *Z. longifolia*; e) *S. campanulata*; f) *M. balsamum.*

La Figura 11 y 12, muestran la relación que existe entre el comportamiento de la temperatura sobre la tasa de transpiración de las especies analizadas en el curso diario de fotosíntesis. Se observa que la transpiración responde a los cambios de temperatura, es decir, que la tasa de transpiración aumenta con el aumento de la temperatura, se ha descrito la dependencia de la temperatura de la tasa de fotosíntesis saturada de luz tiene

grandes variaciones interespecíficas e intraespecíficas, que pueden estar relacionadas con la adaptación al entorno del hábitat (Machino et al., 2021).

Muchos autores han realizado estudios similares para comprender el comportamiento del aparato fotosintético y las relaciones de sus componentes con el medio (Chang et al., 2021; Huang et al., 2021; Machino et al., 2021; Rotundo et al., 2019; Weissert et al., 2017; Zhang et al., 2021). Se conoce que los factores que afectan la fotosíntesis son las intensidades lumínicas, las concentraciones de CO_2, la temperatura y la humedad, también hay otros factores relacionados con el ambiente edáfico.

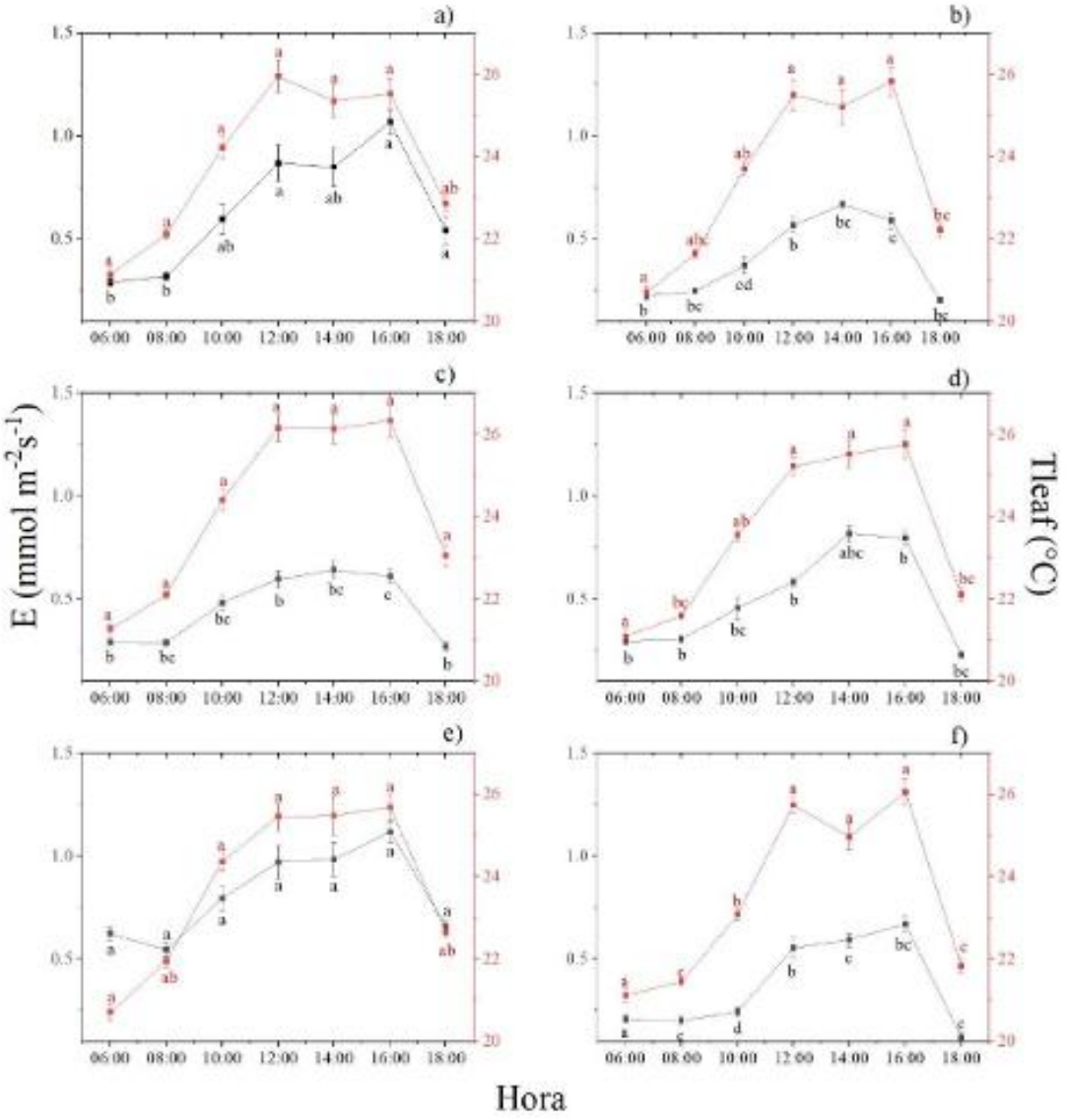

Figura 11. Curso diurno de la tasa de transpiración (E) y temperatura de la hoja (Tleaf) de las seis especies representativas del arbolado urbano de la ciudad de Puyo.

Leyenda: a) *O. quixos*; b) *S. samarangense*; c) *C. cujete*; d) *Z. longifolia*; e) *S. campanulata*; f) *M. balsamum.*

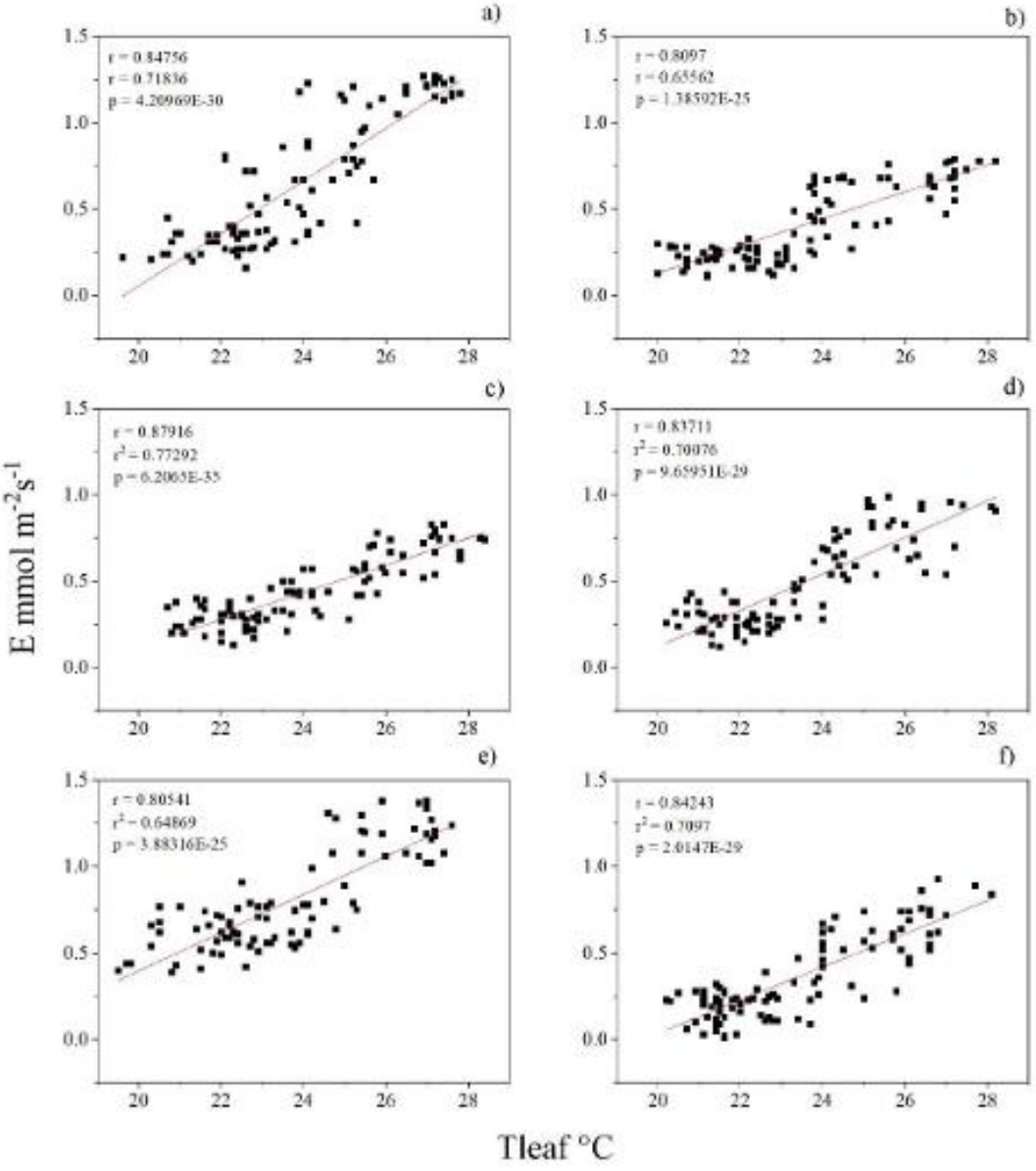

Figura 12. Correlación de la tasa de transpiración (E) y temperatura de la hoja (Tleaf) de las seis especies representativas del arbolado urbano de la ciudad de Puyo.

Leyenda: a) *O. quixos*; b) *S. samarangense*; c) *C. cujete*; d) *Z. longifolia*; e) *S. campanulata*; f) *M. balsamum.*

En la (Figura 13) se puede observar la relación que comparten las especies en cuanto a los parámetros fotosintéticos evaluados en la presente investigación. A través del análisis de componentes principales se evidenció que todas las variables se correlacionan positivamente y comparten características o semejanzas en cuanto a la respuesta fotosintética que presentaron *Z. longifolia y S. campanulata,* dicho resultado corrobora el potencial fotosintético que presentan estas especies y la capacidad para tolerar las condiciones ambientales que presentan los ecosistemas urbanos.

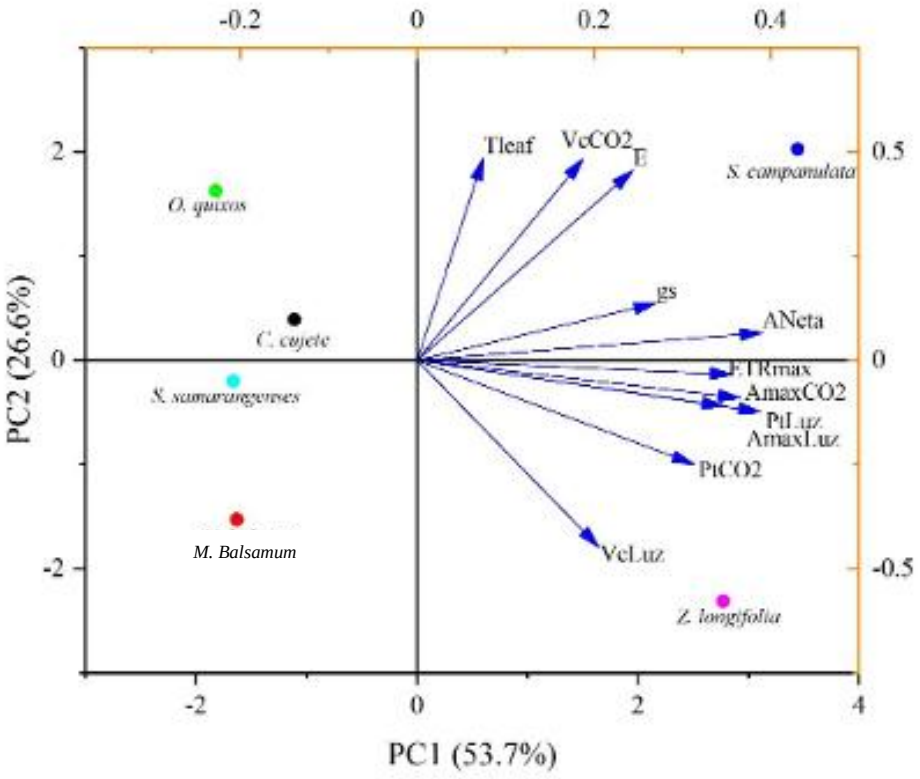

Figura 13. Análisis de componentes principales de los parámetros fotosintéticos analizados en las seis especies del arbolado urbano de la ciudad de Puyo.

Leyenda: Tleaf: Temperatura de la hoja; $VcCO_2$: Eficiencia de carboxilación de la rubisco en respuesta a las concentraciones de CO_2; E: Tasa de transpiración; gs: Conductancia estomática: ANeta: Tasa asimilación neta; ETRmax: Máxima velocidad de transporte de electrones; $AmaxCO_2$: Tasa de asimilación máxima en respuesta a las concentraciones de CO_2; PtLuz: Punto de compensación de luz; AmaxLuz: Tasa de asimilación máxima en respuesta a las intensidades de luz; $PtCO_2$: Punto de compensación de CO_2; VcCLuz: Eficiencia de carboxilación de la rubisco en respuesta a las intensidades de luz.

CONCLUSIONES

- Las especies que presentaron mejor respuesta en su capacidad fotosintética a altas concentraciones CO_2 fueron *Z. longifolia* con una A_{max} de 29.02 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, y *S. Campanulata* con una A_{max} de 27.45 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$. Se pudo evidenciar diferencias significativas en cuanto a la respuesta fotosintética que presentaron *O. quixos, C. cujete, S. samarangense y M. balsamum,* sin embargo, no se evidenció ($P \leq 0.05$) entre las dos especies, siendo estas muy tolerantes a las concentraciones de CO_2.
- Las especies que presentaron mejor respuesta en su capacidad fotosintética a altas intensidades de PPFD fueron *Z. longifolia* con una A_{max} de 15.20 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$, y *S. Campanulata* con una A_{max} de 14.31 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$. También se evidenció diferencias significativas en cuanto a la respuesta fotosintética que presentaron *O. quixos, C. cujete, S. samarangense y M. balsamum,* sin embargo, no se evidenció ($P \leq 0.05$) entre *Z. longifolia* y *S. Campanulata*, siendo ambas muy tolerantes a las altas intensidades lumínicas.
- Todas las especies mostraron un comportamiento variado en su respuesta fotosintética durante las diferentes horas del día, pero se evidenció un patrón muy particular en todas ellas, en el cual, alcanzaron su máxima asimilación neta a las 10:00 a.m. *S. campanulata* presentó una asimilación de 4.15 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ y *Z. longifolia* con 4.08 µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ siendo las especies que mejor respuesta fotosintética presentaron en condiciones ambientales evaluadas.
- A través del análisis de componentes principales se corroboró que todas las variables se correlacionan positivamente y comparten características o semejanzas en cuanto a la respuesta fotosintética que presentaron *Z. longifolia y S. campanulata,* dicho resultado corrobora el potencial fotosintético que presentan estas especies y la capacidad para tolerar las condiciones ambientales que presentan los ecosistemas urbanos.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar una propuesta de silvicultura urbana para la ciudad de Puyo con *Z. longifolia y S. campanulata*, debido a que la presente investigación sustentó científicamente la contribución de estas especies con el ambiente, por su alta capacidad fotosintética que presentan estas especies para asimilar CO_2 contribuyendo a la mitigación de estas emisiones que se generan dentro de la ciudad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abhijith, K. V., Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, F., Broderick, B., Di Sabatino, S., & Pulvirenti, B. (2017). Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review. In *Atmospheric Environment* (Vol. 162, pp. 71–86). https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.05.014

Akbari, H. (2002). Shade trees reduce building energy use and CO2 emissions from power plants. *Environmental Pollution*, *116*(SUPPL. 1). https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00264-0

Alexandri, E., & Jones, P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, *43*(4), 480–493. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055

An, S., Liu, X., Wen, B., Li, X., Qi, P., & Zhang, K. (2020). Comparison of the photosynthetic capacity of phragmites Australis in five habitats in Saline-Alkaline wetlands. *Plants*, *9*(10), 1–17. https://doi.org/10.3390/plants9101317

Ávila-Lovera, E., & Tezara, W. (2018). Water-use efficiency is higher in green stems than in leaves of a tropical tree species. *Trees - Structure and Function*, *32*(6), 1547–1558. https://doi.org/10.1007/s00468-018-1732-x

Ballaré, C. L., & Pierik, R. (2017). The shade-avoidance syndrome: Multiple signals and ecological consequences. In *Plant Cell and Environment* (Vol. 40, Issue 11, pp. 2530–2543). Blackwell Publishing Ltd. https://doi.org/10.1111/pce.12914

Baraldi, R., Neri, L., Costa, F., Facini, O., Rapparini, F., & Carriero, G. (2019). Ecophysiological and micromorphological characterization of green roof vegetation for urban mitigation. *Urban Forestry and Urban Greening*, *37*(March), 24–32. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.002

Barona, C. O., Devisscher, T., Dobbs, C., Aguilar, L. O., Baptista, M. D., Navarro, N. M., da Silva Filho, D. F., & Escobedo, F. J. (2020). Trends in Urban Forestry

Research in Latin America & The Caribbean: A Systematic Literature Review and Synthesis. In *Urban Forestry and Urban Greening* (Vol. 47, p. 126544). Elsevier GmbH. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126544

Barrance, A., Beer, J., Boshier, D. H., Chamberlain, J., Cordero, J., Detlefsen, G., Finegan, B., Galloway, G., Gómez, M., Gordon, J., Hands, M., Hellin, J., Hughes, C., Ibrahim, M., Kass, D., Leakey, R., Mesén, F., Montero, M., Rivas, C., … Pennington, T. (2003). Trees of Central America: a manual for extension workers. In *Trees of Central America: a manual for extension workers.*

Bassi, R., & Dainese, P. (1992). A supramolecular light-harvesting complex from chloroplast photosystem-II membranes. *European Journal of Biochemistry*, *204*(1), 317–326. https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1992.tb16640.x

Bellucco, V., Marras, S., Grimmond, C. S. B., Järvi, L., Sirca, C., & Spano, D. (2017). Modelling the biogenic CO2 exchange in urban and non-urban ecosystems through the assessment of light-response curve parameters. *Agricultural and Forest Meteorology*, *236*, 113–122. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.12.011

Ben-Shem, A., Frolow, F., & Nelson, N. (2003). Crystal structure of plant photosystem I. *Nature*, *426*(6967), 630–635. https://doi.org/10.1038/nature02200

Berghuijs, H. N. C., Yin, X., Ho, Q. T., Driever, S. M., Retta, M. A., Nicolaï, B. M., & Struik, P. C. (2016). Mesophyll conductance and reaction-diffusion models for CO2 transport in C3 leaves; needs, opportunities and challenges. In *Plant Science* (Vol. 252, pp. 62–75). Elsevier Ireland Ltd. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.05.016

Berland, A., Shiflett, S. A., Shuster, W. D., Garmestani, A. S., Goddard, H. C., Herrmann, D. L., & Hopton, M. E. (2017). The role of trees in urban stormwater management. In *Landscape and Urban Planning* (Vol. 162, pp. 167–177). https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.02.017

Blanusa, T., Garratt, M., Cathcart-James, M., Hunt, L., & Cameron, R. W. F. (2019). Urban hedges: A review of plant species and cultivars for ecosystem service delivery in north-west Europe. In *Urban Forestry and Urban Greening* (Vol. 44, p. 126391). Elsevier GmbH. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126391

Blanusa, T., Vaz Monteiro, M. M., Fantozzi, F., Vysini, E., Li, Y., & Cameron, R. W. F. (2013). Alternatives to Sedum on green roofs: Can broad leaf perennial plants offer better “cooling service”? *Building and Environment*, *59*, 99–106. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.08.011

Cameron, R. W. F., & Blanuša, T. (2016). Green infrastructure and ecosystem services - is the devil in the detail? *Annals of Botany*, *118*(3), 377–391. https://doi.org/10.1093/aob/mcw129

Cameron, R. W. F., Blanuša, T., Taylor, J. E., Salisbury, A., Halstead, A. J., Henricot, B., & Thompson, K. (2012). The domestic garden - Its contribution to urban green infrastructure. In *Urban Forestry and Urban Greening* (Vol. 11, Issue 2, pp. 129–137). https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.01.002

Cameron, R. W. F., Taylor, J. E., & Emmett, M. R. (2014). What’s “cool” in the world of green façades? How plant choice influences the cooling properties of green walls. *Building and Environment*, *73*, 198–207. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.12.005

Carbonnel, A., Aqueveque, C., & Carmona, M. (2017). Vulnerabilidad ambiental del arbolado urbano. Levantamiento georreferenciado comunal, Chile. *AUS*, *21*, 4–10. https://doi.org/10.4206/aus.2017.n21-02

Carvalho, I. T., Estevinho, B. N., & Santos, L. (2016). Application of microencapsulated essential oils in cosmetic and personal healthcare products - A review. In *International Journal of Cosmetic Science* (Vol. 38, Issue 2, pp. 109–119). Blackwell Publishing Ltd. https://doi.org/10.1111/ics.12232

Cavalier-Smith, T. (2003). Molecular Mechanisms of Photosynthesis. By Robert E Blankenship. *The Quarterly Review of Biology*, *78*(2), 234–235. https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=IbnQAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR11&ots=8CBKOxzSqc&sig=6ntjIpleXsSr7Wv6DMD5w735Rp4&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Cazzaniga, S., Dall’Osto, L., Kong, S. G., Wada, M., & Bassi, R. (2013). Interaction between avoidance of photon absorption, excess energy dissipation and zeaxanthin synthesis against photooxidative stress in Arabidopsis. *Plant Journal*, *76*(4), 568–

579. https://doi.org/10.1111/tpj.12314

Chang, Q., Xiao, X., Doughty, R., Wu, X., Jiao, W., & Qin, Y. (2021). Assessing variability of optimum air temperature for photosynthesis across site-years, sites and biomes and their effects on photosynthesis estimation. *Agricultural and Forest Meteorology*, *298–299*, 108277. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108277

Chen, Y. C., Chen, Q., & Fan, X. (2016). Optofluidic chlorophyll lasers. *Lab on a Chip*, *16*(12), 2228–2235. https://doi.org/10.1039/c6lc00512h

Coletti, J., Bonduelle, G. M., & Iwakiri, S. (2010). Evaluation of the production process of lamella for engineered wood floor using quality control instruments. *Acta Amazonica*, *40*(1), 135–140. https://doi.org/10.1590/s0044-59672010000100017

Crespo, Y. A., Bravo Sánchez, L. R., Quintana, Y. G., Cabrera, A. S. T., Bermúdez del Sol, A., & Mayancha, D. M. G. (2019). Evaluation of the synergistic effects of antioxidant activity on mixtures of the essential oil from Apium graveolens L., Thymus vulgaris L. and Coriandrum sativum L. using simplex-lattice design. *Heliyon*, *5*(6). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01942

Czemiel Berndtsson, J. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. In *Ecological Engineering* (Vol. 36, Issue 4, pp. 351–360). https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014

Dall'Osto, L., Cazzaniga, S., Wada, M., & Bassi, R. (2014). On the origin of a slowly reversible fluorescence decay component in the Arabidopsis npq4 mutant. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *369*(1640). https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0221

Davies, Z. G., Fuller, R. A., Loram, A., Irvine, K. N., Sims, V., & Gaston, K. J. (2009). A national scale inventory of resource provision for biodiversity within domestic gardens. *Biological Conservation*, *142*(4), 761–771. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.12.016

De Queiroz, A. C. M., Contrera, F. A. L., & Venturieri, G. C. (2014). The effect of toxic nectar and pollen from Spathodea campanulata on the worker survival of Melipona fasciculata Smith and Melipona seminigra Friese, two Amazonian stingless bees

(Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Sociobiology*, *61*(4), 536–540. https://doi.org/10.13102/sociobiology.v61i4.536-540

De Souza, A. P., Wang, Y., Orr, D. J., Carmo-Silva, E., & Long, S. P. (2020). Photosynthesis across African cassava germplasm is limited by Rubisco and mesophyll conductance at steady state, but by stomatal conductance in fluctuating light. *New Phytologist*, *225*(6), 2498–2512. https://doi.org/10.1111/nph.16142

Dearborn, D. C., & Kark, S. (2010). Motivaciones para conservar la biodiversidad urbana. *Conservation Biology*, *24*(2), 432–440. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01328.x

Dover, J. W. (2015). Green Infrastructure: Incorporating plants and enhancing biodiversity in buildings and urban environments. In *Green Infrastructure: Incorporating Plants and Enhancing Biodiversity in Buildings and Urban Environments*. https://doi.org/10.4324/9780203121993

Edwards, G. E., & Baker, N. R. (1993). Can CO2 assimilation in maize leaves be predicted accurately from chlorophyll fluorescence analysis? In *Photosynthesis Research* (Vol. 37, Issue 2, pp. 89–102). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/BF02187468

Eichelmann, H., Oja, V., Rasulov, B., Padu, E., Bichele, I., Pettai, H., Niinemets, Ü., & Laisk, A. (2004). Development of leaf photosynthetic parameters in Betula pendula Roth leaves: Correlations with photosystem I density. *Plant Biology*, *6*(3), 307–318. https://doi.org/10.1055/s-2004-820874

Ejelonu, B. C., Lasisi, A. A., Olaremu, A. G., & Ejelonu, O. C. (2011). The chemical constituents of calabash (Crescentia cujete). *African Journal of Biotechnology*, *10*(84), 19631–19636. https://doi.org/10.5897/AJB11.1518

Endo, T., Uebayashi, N., Ishida, S., Ikeuchi, M., & Sato, F. (2014). Light energy allocation at PSII under field light conditions: How much energy is lost in NPQ-associated dissipation? *Plant Physiology and Biochemistry*, *81*, 115–120. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.03.018

Engineer, C. B., Hashimoto-Sugimoto, M., Negi, J., Israelsson-Nordström, M., Azoulay-

Shemer, T., Rappel, W. J., Iba, K., & Schroeder, J. I. (2016). CO2 Sensing and CO2 Regulation of Stomatal Conductance: Advances and Open Questions. In *Trends in Plant Science* (Vol. 21, Issue 1, pp. 16–30). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.08.014

Escobedo, F. J., Giannico, V., Jim, C. Y., Sanesi, G., & Lafortezza, R. (2019). Urban forests, ecosystem services, green infrastructure and nature-based solutions: Nexus or evolving metaphors? In *Urban Forestry and Urban Greening* (Vol. 37, pp. 3–12). Elsevier GmbH. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.02.011

Fan, Y., Chen, J., Cheng, Y., Raza, M. A., Wu, X., Wang, Z., Liu, Q., Wang, R., Wang, X., Yong, T., Liu, W., Liu, J., Du, J., Shu, K., Yang, W., & Yang, F. (2018). Effect of shading and light recovery on the growth, leaf structure, and photosynthetic performance of soybean in a maize-soybean relay-strip intercropping system. *PLoS ONE*, *13*(5). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198159

Farinha-Marques, P., Lameiras, J. M., Fernandes, C., Silva, S., & Guilherme, F. (2011). Urban biodiversity: A review of current concepts and contributions to multidisciplinary approaches. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, *24*(3), 247–271. https://doi.org/10.1080/13511610.2011.592062

Flexas, J., Escalona, J. M., & Medrano, H. (1999). Water stress induces different levels of photosynthesis and electron transport rate regulation in grapevines. *Plant, Cell and Environment*, *22*(1), 39–48. https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1999.00371.x

Fromme, P., Jordan, P., & Krauß, N. (2001). Structure of photosystem I. In *Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics* (Vol. 1507, Issues 1–3, pp. 5–31). https://doi.org/10.1016/S0005-2728(01)00195-5

García-Sánchez, I. E., Barradas, V. L., Ponce de León Hill, C. A., Esperón-Rodríguez, M., Rosas Pérez, I., & Ballinas, M. (2019). Effect of heavy metals and environmental variables on the assimilation of CO2 and stomatal conductance of Ligustrum lucidum, an urban tree from Mexico City. *Urban Forestry and Urban Greening*, *42*(May), 72–81. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.05.002

Gavahian, M., Chu, Y. H., Lorenzo, J. M., Mousavi Khaneghah, A., & Barba, F. J. (2020). Essential oils as natural preservatives for bakery products: Understanding the

mechanisms of action, recent findings, and applications. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 60, Issue 2, pp. 310–321). Taylor and Francis Inc. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1525601

Grahn, P., & Stigsdotter, U. K. (2010). The relation between perceived sensory dimensions of urban green space and stress restoration. *Landscape and Urban Planning*, *94*(3–4), 264–275. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.10.012

Gratani, L., & Varone, L. (2013). Carbon sequestration and noise attenuation provided by hedges in Rome: The contribution of hedge traits in decreasing pollution levels. *Atmospheric Pollution Research*, *4*(3), 315–322. https://doi.org/10.5094/APR.2013.035

He, B., Chen, Y., Zhang, H., Xia, C., Zhang, Q., & Li, W. (2018). The effect of colored plastic films on the photosynthetic characteristics and content of active ingredients of Dysosma versipellis. *Horticulture Environment and Biotechnology*, *59*(4), 519–528. https://doi.org/10.1007/s13580-018-0061-8

Herman, A. (2019). Antimicrobial Ingredients as Preservative Booster and Components of Self-Preserving Cosmetic Products. In *Current Microbiology* (Vol. 76, Issue 6, pp. 744–754). Springer New York LLC. https://doi.org/10.1007/s00284-018-1492-2

Huang, G., Yang, Y., Zhu, L., Peng, S., & Li, Y. (2021). Temperature responses of photosynthesis and stomatal conductance in rice and wheat plants. *Agricultural and Forest Meteorology*, *300*, 108322. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108322

Jensen, E. P., Gilpin, M., Jurgen, K., & Scheller, H. V. (2000). The PSI-K subunit of photosystem I is involved in the interaction between light-harvesting complex I and the photosystem I reaction center core. *Journal of Biological Chemistry*, *275*(32), 24701–24708. https://doi.org/10.1074/jbc.M000550200

Killi, D., Bussotti, F., Gottardini, E., Pollastrini, M., Mori, J., Tani, C., Papini, A., Ferrini, F., & Fini, A. (2018). Photosynthetic and morphological responses of oak species to temperature and [CO2] increased to levels predicted for 2050. *Urban Forestry and Urban Greening*, *31*, 26–37. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.01.012

Kimm, H., & Ryu, Y. (2015). Seasonal variations in photosynthetic parameters and leaf area index in an urban park. *Urban Forestry and Urban Greening*, *14*(4), 1059–1067. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.10.003

Konijnendijk, C. C., Nilsson, K., Randrup, T. B., & Schipperijn, J. (2005). *Urban forests and trees: a reference book*.

Konijnendijk, C. C., Ricard, R. M., Kenney, A., & Randrup, T. B. (2006). Defining urban forestry - A comparative perspective of North America and Europe. *Urban Forestry and Urban Greening*, *4*(3–4), 93–103. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2005.11.003

Körner, C., Morgan, J., & Norby, R. (2007). CO2 Fertilization: When, Where, How Much? In *Terrestrial Ecosystems in a Changing World* (pp. 9–21). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-32730-1_2

Kouřil, R., Zygadlo, A., Arteni, A. A., De Wit, C. D., Dekker, J. P., Jensen, P. E., Scheller, H. V., & Boekema, E. J. (2005). Structural characterization of a complex of photosystem I and light-harvesting complex II of Arabidopsis thaliana. *Biochemistry*, *44*(33), 10935–10940. https://doi.org/10.1021/bi051097a

Laisk, A., & Loreto, F. (1996). Determining photosynthetic parameters from leaf CO2 exchange and chlorophyll fluorescence1: Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase specificity factor, dark respiration in the light, excitation distribution between photosystems, alternative electr. *Plant Physiology*, *110*(3), 903–912. https://doi.org/10.1104/pp.110.3.903

Liu, C., & Li, X. (2012). Carbon storage and sequestration by urban forests in Shenyang, China. *Urban Forestry and Urban Greening*, *11*(2), 121–128. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2011.03.002

Livesley, S. J., McPherson, E. G., & Calfapietra, C. (2016). The Urban Forest and Ecosystem Services: Impacts on Urban Water, Heat, and Pollution Cycles at the Tree, Street, and City Scale. *Journal of Environmental Quality*, *45*(1), 119–124. https://doi.org/10.2134/jeq2015.11.0567

Loriaux, S. D., Burns, R. a, Welles, J. M., Mcdermitt, D. K., Genty, B., St, S., Box, P. O., Cadarache, C. E. a, Écophysiologie, D., Aix, U. M. R., Ii, M., & Paul, S. (2006).

Determination of Maximal Chlorophyll Fluorescence Using A Multiphase Single Flash of Sub-Saturating Intensity. *Measurement*, 13108–13108.

Machino, S., Nagano, S., & Hikosaka, K. (2021). The latitudinal and altitudinal variations in the biochemical mechanisms of temperature dependence of photosynthesis within Fallopia japonica. *Environmental and Experimental Botany*, *181*, 104248. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104248

Mandal, R., & Dutta, G. (2020). From photosynthesis to biosensing: Chlorophyll proves to be a versatile molecule. *Sensors International*, *1*, 100058. https://doi.org/10.1016/j.sintl.2020.100058

Marín, D., Martín, M., Serrot, P. H., & Sabater, B. (2014). Thermodynamic balance of photosynthesis and transpiration at increasing CO2 concentrations and rapid light fluctuations. *BioSystems*, *116*(1), 21–26. https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2013.12.003

Mashilo, J., Shimelis, H., & Odindo, A. (2017). Yield-based selection indices for drought tolerance evaluation in selected bottle gourd [Lagenaria siceraria (Molina) Standl.] landraces. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, *67*(1), 43–50. https://doi.org/10.1080/09064710.2016.1215518

Maxwell, K., & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence-a practical guide. In *Journal of Experimental Botany* (Vol. 51, Issue 345). https://doi.org/https://doi.org/10.1093/jexbot/51.345.659

McDonald, A. E., Ivanov, A. G., Bode, R., Maxwell, D. P., Rodermel, S. R., & Hüner, N. P. A. (2011). Flexibility in photosynthetic electron transport: The physiological role of plastoquinol terminal oxidase (PTOX). In *Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics* (Vol. 1807, Issue 8, pp. 954–967). Elsevier. https://doi.org/10.1016/j.bbabio.2010.10.024

Mejía de Tafur, M. S., Burbano Diaz, R. A., & Garcia Davila, M. A. (2014). Respuesta fotosintética del Eucalyptus grandis a la disponibilidad de agua en el suelo. *Acta Agronómica*, *63*(4), 311–317. https://doi.org/10.15446/acag.v63n4.43598

Melgarejo, L. M., Hernández, S., Barrera, J., Solarte, M. E., Suárez, D., Pérez, L. V.,

Rojas, Y. A., Cruz Aguilar, M., Moreno Álvarez, L. G., Crespo, S., & Pérez, W. (2019). *Experimentos en fisiología vegetal*.

Miller, R. W. (1996). Urban forestry: planning and managing urban greenspaces. In *Urban forestry: planning and managing urban greenspaces.*

Moneruzzaman, K. M., Al-Saif, A. M., Alebidi, A. I., Hossain, A. B. M. S., Normaniza, O., & Nasrulhaq Boyce, A. (2011). An evaluation of the nutritional quality evaluation of three cultivars of Syzygium samarangense under Malaysian conditions. *African Journal of Agricultural Research*, *6*(3), 545–552. https://doi.org/10.5897/AJAR10.923

Murchie, E. H., & Lawson, T. (2013). Chlorophyll fluorescence analysis: A guide to good practice and understanding some new applications. In *Journal of Experimental Botany* (Vol. 64, Issue 13, pp. 3983–3998). https://doi.org/10.1093/jxb/ert208

Niinemets, Ü., Flexas, J., & Peñuelas, J. (2011). Evergreens favored by higher responsiveness to increased CO 2. *Trends in Ecology and Evolution*, *26*(3), 136–142. https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.12.012

Nowak, D. J., & Crane, D. E. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, *116*(3), 381–389. https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7

Nowak, D. J., Greenfield, E. J., Hoehn, R. E., & Lapoint, E. (2013). Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution*, *178*, 229–236. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.019

O'Sullivan, O. S., Holt, A. R., Warren, P. H., & Evans, K. L. (2017). Optimising UK urban road verge contributions to biodiversity and ecosystem services with cost-effective management. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 191, pp. 162–171). https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.062

Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R. R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Köhler, M., Liu, K. K. Y., & Rowe, B. (2007). Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services. In *BioScience* (Vol. 57, Issue 10, pp.

823–833). https://doi.org/10.1641/B571005

Olmedo, R. H., & Grosso, N. R. (2019). Oxidative Stability, Affective and Descriptive Sensory Properties of Roasted Peanut Flavored with Oregano, Laurel, and Rosemary Essential Oils as Natural Preservatives of Food Lipids. *European Journal of Lipid Science and Technology*, *121*(5). https://doi.org/10.1002/ejlt.201800428

Pal, A., Kulshreshtha, K., Ahmad, K. J., & Behl, H. M. (2002). Do leaf surface characters play a role in plant resistance to Auto-exhaust pollution? *Flora*, *197*(1), 47–55. https://doi.org/10.1078/0367-2530-00014

Parvin, M. S., Das, N., Jahan, N., Akhter, M. A., Nahar, L., & Islam, M. E. (2015). Evaluation of in vitro anti-inflammatory and antibacterial potential of Crescentia cujete leaves and stem bark Pharmacology and Toxicology. *BMC Research Notes*, *8*(1). https://doi.org/10.1186/s13104-015-1384-5

Payares Díaz, I. R. (2014). GERMINACIÓN Y DESARROLLO DE PLANTULAS DE Myroxylon balsamum (L.) Harms EN EL DEPARTAMENTO DE SUCRE. *Colombia Forestal*, *17*(2), 193. https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2014.2.a05

Pérez, E., & Carril, U. (2009). Fotosíntesis: Aspectos Básicos. *Reduca (Biología). Serie Fisiología Vegetal*, *2*(3), 1–47.

Pianaro, A., Pinto, J. P., Ferreira, D. T., Ishikawa, N. K., & Braz-Filho, R. (2007). Iridoid glucoside and antifungal phenolic compounds from Spathodea campanulata roots. *Semina*, *28*(2), 251–256.

Portis, A. R. (1982). Introduction to Photosynthesis: Carbon Assimilation and Plant Productivity. In *Photosynthesis* (pp. 1–12). Elsevier. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-294302-7.50009-4

Ralph, P. J., & Gademann, R. (2005). Rapid light curves: A powerful tool to assess photosynthetic activity. *Aquatic Botany*, *82*(3), 222–237. https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2005.02.006

Rascher, U., Liebig, M., & Lüttge, U. (2000). Evaluation of instant light-response curves

of chlorophyll fluorescence parameters obtained with a portable chlorophyll fluorometer on site in the field. *Plant, Cell and Environment*, *23*(12), 1397–1405. https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2000.00650.x

Ren, C., Ng, E. Y. Y., & Katzschner, L. (2011). Urban climatic map studies: A review. In *International Journal of Climatology* (Vol. 31, Issue 15, pp. 2213–2233). https://doi.org/10.1002/joc.2237

Renninger, H. J., Wadhwa, S., Gallagher, F. J., Vanderklein, D., & Schäfer, K. V. R. (2013). Allometry and photosynthetic capacity of poplar (Populus deltoides) along a metal contamination gradient in an urban brownfield. *Urban Ecosystems*, *16*(2), 247–263. https://doi.org/10.1007/s11252-012-0259-y

Resurreccion-Magno, M. H. C., Villaseñor, I. M., Harada, N., & Monde, K. (2005). Antihyperglycaemic flavonoids from Syzygium samarangense (Blume) Merr. and Perry. *Phytotherapy Research*, *19*(3), 246–251. https://doi.org/10.1002/ptr.1658

Rook, G. A. (2013). Regulation of the immune system by biodiversity from the natural environment: An ecosystem service essential to health. In *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (Vol. 110, Issue 46, pp. 18360–18367). https://doi.org/10.1073/pnas.1313731110

Rotundo, J. L., Tang, T., & Messina, C. D. (2019). Response of maize photosynthesis to high temperature: Implications for modeling the impact of global warming. *Plant Physiology and Biochemistry*, *141*, 202–205. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.05.035

Rowe, D. B. (2011). Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution*, *159*(8–9), 2100–2110. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.10.029

Roy, S., Byrne, J., & Pickering, C. (2012). A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. In *Urban Forestry and Urban Greening* (Vol. 11, Issue 4, pp. 351–363). Urban & Fischer. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.06.006

Ruban, A. V., & Murchie, E. H. (2012). Assessing the photoprotective effectiveness of non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching: A new approach.

Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics, *1817*(7), 977–982. https://doi.org/10.1016/j.bbabio.2012.03.026

Sacchetti, G., Guerrini, A., Noriega, P., Bianchi, A., & Bruni, R. (2006). Essential oil of wild Ocotea quixos (Lam.) Kosterm. (Lauraceae) leaves from Amazonian Ecuador. *Flavour and Fragrance Journal*, *21*(4), 674–676. https://doi.org/10.1002/ffj.1648

Sales, M. D. C., Costa, H. B., Fernandes, P. M. B., Ventura, J. A., & Meira, D. D. (2016). Antifungal activity of plant extracts with potential to control plant pathogens in pineapple. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, *6*(1), 26–31. https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2015.09.026

Schreiber, U, Gademann, R., Ralph, P. J., & Larkum, A. W. D. (1997). Assessment of photosynthetic performance of Prochloron in Lissoclinum patella in hospite by chlorophyll fluorescence measurements. *Plant and Cell Physiology*, *38*(8), 945–951. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a029256

Schreiber, Ulrich. (2007). Pulse-Amplitude-Modulation (PAM) Fluorometry and Saturation Pulse Method: An Overview. In *Chlorophyll a Fluorescence* (pp. 279–319). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9_11

Shahreen, S., Banik, J., Hafiz, A., Rahman, S., Zaman, A. T., Shoyeb, M. A., Chowdhury, M. H., & Rahmatullah, M. (2012). Antihyperglycemic activities of leaves of three edible fruit plants (Averrhoa carambola, ficus hispida and Syzygium samarangense) of Bangladesh. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, *9*(2), 287–291. https://doi.org/10.4314/ajtcam.v9i2.16

Shanahan, D. F., Lin, B. B., Bush, R., Gaston, K. J., Dean, J. H., Barber, E., & Fuller, R. A. (2015). Toward improved public health outcomes from urban nature. *American Journal of Public Health*, *105*(3), 470–477. https://doi.org/10.2105/AJPH.2014.302324

Shashua-Bar, L., Pearlmutter, D., & Erell, E. (2009). The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate. *Landscape and Urban Planning*, *92*(3–4), 179–186. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.04.005

Simas, N. K., Lima, E. D. C., Conceição, S. D. R., Kuster, R. M., De Oliveira Filho, A.

M., & Lage, C. L. S. (2004). Produtos naturais para o controle da transmissão da dengue - Atividade larvicida de Myroxylon balsamum (óleo vermelho) e de terpenóides e fenilpropanóides. *Quimica Nova*, *27*(1), 46–49. https://doi.org/10.1590/s0100-40422004000100009

Simirgiotis, M. J., Adachi, S., To, S., Yang, H., Reynertson, K. A., Basile, M. J., Gil, R. R., Weinstein, I. B., & Kennelly, E. J. (2008). Cytotoxic chalcones and antioxidants from the fruits of Syzygium samarangense (Wax Jambu). *Food Chemistry*, *107*(2), 813–819. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.086

Takagi, M., & Gyokusen, K. (2004). Light and atmospheric pollution affect photosynthesis of street trees in urban environments. *Urban Forestry and Urban Greening*, *2*(3), 167–171. https://doi.org/10.1078/1618-8667-00033

Tallis, M., Taylor, G., Sinnett, D., & Freer-Smith, P. (2011). Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments. *Landscape and Urban Planning*, *103*(2), 129–138. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.07.003

Taylor, S. H., Orr, D. J., Carmo-Silva, E., & Long, S. P. (2020). During photosynthetic induction, biochemical and stomatal limitations differ between Brassica crops. *Plant Cell and Environment*, *43*(11), 2623–2636. https://doi.org/10.1111/pce.13862

Trigo, J. R., & dos Santos, W. F. (2000). Insect mortality in Spathodea campanulata Beauv. (Bignoniaceae) flowers. *Revista Brasileira de Biologia*, *60*(3), 537–538. https://doi.org/10.1590/S0034-71082000000300019

Ugolini, F., Bussotti, F., Lanini, G. M., Raschi, A., Tani, C., & Tognetti, R. (2012). Leaf gas exchanges and photosystem efficiency of the holm oak in urban green areas of Florence, Italy. *Urban Forestry and Urban Greening*, *11*(3), 313–319. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.02.006

Van Renterghem, T., Attenborough, K., Maennel, M., Defrance, J., Horoshenkov, K., Kang, J., Bashir, I., Taherzadeh, S., Altreuther, B., Khan, A., Smyrnova, Y., & Yang, H. S. (2014). Measured light vehicle noise reduction by hedges. *Applied Acoustics*, *78*, 19–27. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2013.10.011

Villacís, J., Casanoves, F., Hang, S., Keesstra, S., & Armas, C. (2016). Selection of forest species for the rehabilitation of disturbed soils in oil fields in the Ecuadorian Amazon. *Science of the Total Environment*, *566–567*, 761–770. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.102

Wagner, H., Gilbert, M., Goss, R., & Wilhelm, C. (2006). Light emission originating from photosystem II radical pair recombination is sensitive to zeaxanthin related non-photochemical quenching (NPQ). *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, *83*(3), 172–179. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2005.12.020

Walker, B. J., Busch, F. A., Driever, S. M., Kromdijk, J., & Lawson, T. (2018). Survey of tools for measuring in vivo photosynthesis. In *Methods in Molecular Biology* (Vol. 1770, pp. 3–24). Humana Press Inc. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7786-4_1

Ward Thompson, C., & Aspinall, P. A. (2011). Natural environments and their impact on activity, health, and quality of life. *Applied Psychology: Health and Well-Being*, *3*(3), 230–260. https://doi.org/10.1111/j.1758-0854.2011.01053.x

Weissert, L. F., Salmond, J. A., & Schwendenmann, L. (2017). Photosynthetic CO2 uptake and carbon sequestration potential of deciduous and evergreen tree species in an urban environment. *Urban Ecosystems*, *20*(3), 663–674. https://doi.org/10.1007/s11252-016-0627-0

White, A. J., & Critchley, C. (1999). Rapid light curves: A new fluorescence method to assess the state of the photosynthetic apparatus. *Photosynthesis Research*, *59*(1), 63–72. https://doi.org/10.1023/A:1006188004189

Wiebe, K. S., & Yamano, N. (2016). *Estimating CO2 Emissions Embodied in Final Demand and Trade*. https://doi.org/10.1787/5jlrcm216xkl-en

Wilmers, F. (1990). Effects of vegetation on urban climate and buildings. *Energy and Buildings*, *15*(3–4), 507–514. https://doi.org/10.1016/0378-7788(90)90028-H

Wright, I. J., Reich, P. B., Westoby, M., Ackerly, D. D., Baruch, Z., Bongers, F., Cavender-Bares, J., Chapin, T., Cornellssen, J. H. C., Diemer, M., Flexas, J., Garnier, E., Groom, P. K., Gulias, J., Hikosaka, K., Lamont, B. B., Lee, T., Lee, W.,

Lusk, C., … Villar, R. (2004). The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, *428*(6985), 821–827. https://doi.org/10.1038/nature02403

Wu, J. (2014). Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. *Landscape and Urban Planning*, *125*, 209–221. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.018

Yang, F., Huang, S., Gao, R., Liu, W., Yong, T., Wang, X., Wu, X., & Yang, W. (2014). Growth of soybean seedlings in relay strip intercropping systems in relation to light quantity and red: Far-red ratio. *Field Crops Research*, *155*, 245–253. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.011

Zait, Y., & Schwartz, A. (2018). Climate-Related Limitations on Photosynthesis and Drought-Resistance Strategies of Ziziphus spina-christi. *Frontiers in Forests and Global Change*, *1*(September), 1–15. https://doi.org/10.3389/ffgc.2018.00003

Zhang, J., Ding, J., Ibrahim, M., Jiao, X., Song, X., Bai, P., & Li, J. (2021). Effects of the interaction between vapor-pressure deficit and potassium on the photosynthesis system of tomato seedlings under low temperature. *Scientia Horticulturae*, *283*, 110089. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110089

Zotz, G., & Winter, K. (1993). Short-term photosynthesis measurements predict leaf carbon balance in tropical rain-forest canopy plants. *Planta*, *191*(3), 409–412. https://doi.org/10.1007/BF00195700

ANEXOS

Anexo 1. Mediciones de fotosíntesis realizadas en las seis especies del arbolado urbano de la ciudad de Puyo

Medidas realizadas en *O. quixos*	Medidas realizadas en *S. samarangenses*
	
Medidas realizadas en *C. cujete*	Medidas realizadas en *Z. longifolia*
	
Medidas realizadas en *S. campanulata*	Medidas realizadas en *M. balsamu*m

	