

VARIACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL Y SU RELACIÓN CON EL
ARBOLADO URBANO EN TRES ZONAS DE VILLAVICENCIO – META



JENNY YURLEYGORDILLO BERMÚDEZ
SEBASTIÁN FELIPE MORALES GÓMEZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2021

VARIACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL Y SU RELACIÓN CON EL
ARBOLADO URBANO EN TRES ZONAS DE VILLAVICENCIO – META

JENNY YURLEYGORDILLO BERMÚDEZ
SEBASTIÁN FELIPE MORALES GÓMEZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de INGENIERO AMBIENTAL

Asesor
LEYDY JOHANNA ARBOLEDA MONTES
Geóloga

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2021

Autoridades Académicas

P. JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, O.P.

Rector General

P. EDUARD GÓNZALEZ GIL, O.P.

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ANTONIO BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. RODRIGO GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TABÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YESICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota De Aceptación

YESICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana de Facultad de Ingeniería Ambiental

Leydy Johanna Arboleda Montes

Directora Trabajo de Grado

Jair Esteban Burgos Contenido

Jurado

Jhon Harrinson Cortes Cagüño

Jurado

Villavicencio, Abril y 2021

Agradecimientos

En principio quiero agradecer a Dios por brindarme entendimiento disciplina, salud y ganas de acertar, factores importantes que me permitieron sacar adelante mi carrera, quiero también brindar un total y sincero agradecimiento a mi madre, principal motivación y ejemplo a seguir durante el desarrollo de este proyecto, ya que todo el tiempo estuvo para mí, incondicional, apoyándome, aconsejándome, haciéndome entender que, en la vida tarde o temprano los objetivos se alcanzan, que por fin después de tanto sacrificio, dedicación y esfuerzo, la vida sonrío y nos llega la anhelada recompensa, eso, por lo que tanto se luchó y se esperó con ansias desde el principio del camino, un camino que no fue fácil recorrer, pero con ella a mi lado, enfrentamos todas las adversidades, saliendo victoriosas ante cada una de ellas, ahora solo hay lugar para la felicidad, felicidad que es bien compartir con ella por dedicarme su tiempo, brindarme sus consejos, enseñarme a ser esa persona que soy, por eso este logro es por ella y para ella, al igual que mi padre, mi hermano y Jesús, mi hermana Paula Gordillo por su dedicación y ser ese soporte que necesite durante este recorrido. Gracias a mis compañeros por brindarme su apoyo y amistad incondicional que permanecerá a lo largo del tiempo, especialmente a mi compañero de tesis y mi pareja por toda la dedicación, tenacidad, disciplina que le entrego a este proyecto de investigación. Quiero agradecer a mis directoras de grado, las docentes Leydy Arboleda y Angélica Bustamante por sus conocimientos, tiempo y compromiso con este proyecto, a la decana Natalia Mosquera por enseñarme a querer esta profesión por todo el apoyo y confianza que me brindó y demás docentes de la facultad por su profesionalismo y compromiso, por las experiencias que me ayudaron a crecer profesionalmente.

Jenny Yurley Gordillo Bermúdez

Agradezco en primer lugar a Dios por cada día, por darme fortaleza, disciplina, sabiduría, tenacidad, perseverancia y salud para permitirme culminar esta etapa de mi vida. Este trabajo está dedicado a mi Padre, Madre y Hermano, que con su amor, esfuerzo y sacrificio, fueron el pilar de mi motivación para seguir creciendo como persona y profesional. Por otro lado, también quiero agradecer a cada uno de mis compañeros con los que tuve el gusto de compartir este proceso, especialmente a mis futuros par de colegas con quienes construimos fuertes lazos de hermandad. Agradezco y doy mi completa admiración a mi compañera, amiga y pareja, que fue absolutamente todo lo bueno y grato encajado en una persona, le deseo lo mejor del mundo y que siempre persiga y haga realidad sus metas. Resalto el acompañamiento de mis tutoras de tesis, quienes fueron un gran apoyo con sus conocimientos y consejos para la elaboración de este trabajo. A todos los docentes de mi facultad por su labor tanto profesional como humana durante la carrera. Finalmente, pero no menos importante, a mi alma máter, la Universidad Santo Tomás, lugar de muchas anécdotas, fuente de emociones y conocimientos. Hoy, mañana y siempre, Soy Orgullosamente Tomasino.

Sebastián Felipe Morales Gómez

Contenido

	Pág.
Resumen	14
1. Contexto del trabajo	17
2. Objetivos	19
2.1 Objetivo general.....	19
2.2 Objetivos específicos.....	19
3. Justificación	20
4. Alcance	22
5. Elemento Teóricos	24
5.1 Regulación de clima.....	24
5.2 Disminución de los contaminantes atmosféricos	25
5.3 Conservación de suelos y aguas.....	25
5.4 . Características del arbolado urbano	26
5.5 Evapotranspiración Potencial (ETP)	26
6. Metodología	28
7. Resultados y análisis	36
7.1 Primera fase: Cuantificación de las variables del arbolado urbano (Altura, DAP, hábito de crecimiento) en las tres estaciones del SVCAV.....	36
7.2 Segunda fase: Estimación de la biomasa aérea a partir de las variables del arbolado urbano (Altura total, DAP y densidad básica de la madera) y estimación de la evapotranspiración a partir de las variables ambientales (radiación solar y temperatura del aire).....	46
7.3 Tercera fase: Relacionar las variables micro climáticas con respecto a las variables del arbolado urbano en la ciudad de Villavicencio – Meta mediante una prueba de correlación...	53
8. Conclusiones	60
9. Referencias bibliográficas	62
10. Lista de anexos	66

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 Estaciones de monitoreo del Sistema de Vigilancia y Calidad del Aire de Villavicencio	22
Tabla 2 Caracterización del arbolado urbano	29
Tabla 3 Radiación extraterrestre por mes para el hemisferio norte. Por: (Allen, 1998)	33
Tabla 4 Hipótesis aplicada al análisis estadístico ANOVA. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021	34
Tabla 5 Matriz de variables requeridas durante la ejecución del proyecto. Gordillo J, Morales S, 2021.....	35
Tabla 6 Composición del arbolado urbano existente en un radio de 200 m de la estación de SVCAV La Esmeralda. Por Gordillo, J & Morales, S, 2021	36
Tabla 7 Composición del arbolado urbano existente en un radio de 200 m de la estación de SVCAV CATUMARE. Por Gordillo, J & Morales, S, 2021	39
Tabla 8 Composición del arbolado urbano existente en un radio de 200 m de la estación de SVCAV COFREM. Por Gordillo, J & Morales, S, 2021	41
Tabla 9 Valores promedio de biomasa de cada una de las especies registradas en las tres zonas de estudio. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021.....	47
Tabla 10 Valores promedio de la biomasa para las clases diamétricas del arbolado. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021	48
Tabla 11 Valores promedio de biomasa para la variable altura del arbolado. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021	48
Tabla 12 Análisis de varianza ANOVA empleada a la ETPo de los 5 puntos ubicados en la estación Esmeralda. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021.	53
Tabla 13. Análisis de varianza ANOVA empleada a la ETPo de los 5 puntos ubicados en la estación Catumare. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021.	53
Tabla 14 Análisis de varianza ANOVA empleada a la ETPo de los 5 puntos ubicados en la estación Cofrem. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021.....	54
Tabla 15. Análisis de varianza ANOVA empleada a la ETPo de las 3 estaciones (Catumare, Cofrem y Esmeralda). Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021.....	54
Tabla 16 Prueba de Tukey empleada a la ETPo de las 3 estaciones (Catumare, Cofrem y Esmeralda). Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021.....	55
Tabla 17 Correlación de Spearman entre la ETP y la biomasa en la zona de la Esmeralda. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021.	56
Tabla 18 Correlación de Spearman entre la ETP y la biomasa en la zona de la Esmeralda. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021.	57

Tabla 19 Correlación de Spearman entre la ETP y la biomasa en la zona de Cofrem. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021.....	57
Tabla 20 Radiaciones extraterrestres en Hemisferio Norte y Sur. Por: (Allen, 1998).....	66
Tabla 21 Especies de las tres zonas de estudio con valores promedio de alturas, DAP y Biomasa. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021	67
Tabla 22 Temperaturas máximas, mínimas y promedios de evapotranspiración potencial en franja horaria de La Esmeralda. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021	71
Tabla 23 Temperaturas máximas, mínimas y promedios de evapotranspiración potencial en franja horaria de Catumare. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021	72
Tabla 24 Temperaturas máximas, mínimas y promedios de evapotranspiración potencial en franja horaria de Cofrem. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021	73

Lista de ecuaciones

Ecuación 1 Biomasa aérea destinada para árboles. Por: (Gutiérrez Espeleta & Wei Chou, 2013)	30
Ecuación 2 Biomasa aérea en palmas. Por: (Yepes, y otros, 2011).....	31
Ecuación 3 Método de Hargreaves para la estimación de Evapotranspiración Potencial. Por: (Hargreaves & Samani, 1985).....	32
Ecuación 4 Radiación Solar incidente	32
Ecuación 5 Interpolación lineal.....	33

Lista de figuras

Figura 1 Ubicación de las estaciones Esmeralda, Cofrem y Catumare con las zonas de 200 metros a la redonda. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021.....	23
Figura 2 Elementos teóricos para el marco referencial del presente documento, Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021	24
Figura 3 Categorías de alturas en la zona de influencia La Esmeralda. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021	36
Figura 4 Categorías de diámetro a la altura del pecho en la zona de influencia La Esmeralda. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021	37
Figura 5 Hábito de crecimiento de los individuos arbóreos presentes en La Esmeralda. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021.....	37
Figura 6 Emplazamiento de los individuos arbóreos presentes en La Esmeralda. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021	37
Figura 7 Categorías de alturas e individuos en la zona de influencia Catumare. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021	39
Figura 8 Categorías de diámetro a la altura del pecho y número de individuos en la zona de influencia Catumare. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021.....	40
Figura 9 Hábito de crecimiento del total de individuos registrados en la zona de influencia Catumare. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S., 2021.....	40
Figura 10 Emplazamiento del total de individuos registrados en la zona de influencia Catumare. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S., 2021	40
Figura 11 Categorías de alturas e individuos en la zona de influencia Cofrem. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021	42
Figura 12 Categorías de diámetro a la altura del pecho e individuos en la zona de influencia Cofrem. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021	42
Figura 13 Emplazamiento del total de individuos registrados en la zona de influencia Cofrem. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S., 2021	43
Figura 14 Hábito de crecimiento del total de individuos registrados en la zona de influencia Cofrem. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S., 2021	43
Figura 15 Categorías por alturas de los individuos de las tres zonas del proyecto. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021	45
Figura 16 Categorías por DAP de los individuos de las tres zonas del proyecto. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021	46

Figura 17 Evapotranspiración de los cinco días en cada uno de los puntos de La Esmeralda. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021	50
Figura 18 Temperaturas promedio en cada día desde los diferentes puntos de la zona La Esmeralda. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021	50
Figura 19 Evapotranspiración en los 5 días de toma de datos en Catumare distribuidos por los puntos asignados. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021.....	51
Figura 20 Evapotranspiración en la zona de Cofrem distribuida por días en diferentes puntos. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021	52
Figura 21 Evapotranspiración potencial distribuida desde las 10 am a 3 pm en las tres zonas de estudio. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021.....	52
Figura 22 Diagrama de dispersión de ETP vs Biomasa en Esmeralda. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021	56
Figura 23 Diagrama de dispersión de ETP vs Biomasa en Catumare. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021	57
Figura 24 Diagrama de dispersión de ETP vs Biomasa en Cofrem. Elaborado por: Gordillo, J & Morales, S, 2021	58

Lista de anexos

ANEXO A Radiaciones extraterrestres	66
ANEXO B Especies de las áreas de estudio con su densidad básica y promedio de altura, DAP y biomasa.	67
ANEXO C Relación categórica DAP vs Biomasa y Altura vs Biomasa	70
ANEXO D Valores promedio de temperatura y evapotranspiración potencial.	70
ANEXO E Registro fotográfico	74

Resumen

Este trabajo de grado se presenta bajo la modalidad de auxiliatura de investigación, siendo un aporte al proyecto de investigación “Análisis del servicio ecosistémico de regulación de la temperatura en el microclima urbano que es suministrado por el arbolado en tres zonas de Villavicencio”, por ende, el objetivo principal es determinar la variación de la evapotranspiración potencial (ETP) y su relación con el arbolado urbano en tres zonas del municipio de Villavicencio – Meta.

Para el desarrollo del proyecto se analizó la composición del arbolado urbano mediante la cuantificación de sus variables dasométricas (DAP y altura total), junto con la densidad básica de la madera y las especies. Posteriormente, se calculó la biomasa total promedio en cada uno de los puntos y se empleó mediciones *in-situ* de la variable temperatura del aire y obtención de fuentes secundarias de la radiación solar incidente, lo anterior durante un periodo de 5 días en cada zona de estudio. Para estimar la evapotranspiración potencial se utilizó el método de Hargreaves; finalmente, se comparó el comportamiento entre las tres zonas de estudio mediante un análisis de varianza ANOVA y se evaluó la asociación entre la evapotranspiración potencial y biomasa mediante una prueba de correlación de Spearman.

Los resultados de la investigación arrojaron un total de 704 individuos forestales, perteneciendo el 64,1%, 15,2% y 20,7% para las zonas de Esmeralda, Catumare y Cofrem, respectivamente, de los cuales el 71,16 % corresponde a tipo árbol, 18,60% se trata de arbustos y 10,05% pertenece a palmas, con una biomasa total de 211499,02 Kg (211,499 Ton) en donde Cofrem, Catumare y La Esmeralda constituyen el 3,89%, 19,64% y 76,47% respectivamente. Las especies que contienen mayor biomasa corresponden a *Albizia saman*, *Mangifera indica* y *Cedrela odorata*. Por otro lado, los valores estimados de evapotranspiración potencial fueron mayores en la zona de Catumare (3.5 mm/día), seguido de la Esmeralda (3.3 mm/día) y Cofrem (2.6 mm/ día) influenciados principalmente por la radiación y las temperaturas medidas que variaron desde 27,4 °C hasta 31,0° C.

Los análisis de varianza ANOVA reflejaron niveles altos de significancia entre los puntos de medición de ETP de cada zona, y la prueba de Tukey comprobó el grado de similitud que existe entre la zona de Esmeralda y Catumare. Finalmente los análisis de correlación de Spearman indicaron una correlación positiva entre la ETP y la biomasa, las cuales agrupan las variables ambientales y dasométricas.

Palabras Clave: Evapotranspiración potencial, biomasa, servicios ecosistémicos, arbolado urbano, microclimas.

Abstract

This degree work is presented under the form of a research assistant, being a contribution to the research project "Analysis of the ecosystemic service for temperature regulation in the urban microclimate that is provided by the trees in three areas of Villavicencio", therefore, the main objective is to determine the variation in potential evapotranspiration (PET) and its relationship with the urban trees in three areas of the municipality of Villavicencio - Meta.

For the development of the project, the composition of the urban trees was analyzed by quantifying its dasometric variables (DBH, total height, basic density of the wood and species), then the average total biomass was calculated in each of the points and used in-situ measurements of the variable air temperature and obtaining secondary sources of incident solar radiation, the above during a period of 5 days in each study area. To estimate potential evapotranspiration, the Hargreaves method was used; finally, the behavior between the three study areas was compared through an ANOVA analysis of variance and the association between potential evapotranspiration and biomass was evaluated using a Spearman correlation test.

The results of the research showed a total of 704 forest individuals, belonging to 64,1%, 15,2% and 20,7% for the areas of Esmeralda, Catumare and Cofrem, respectively, of which 71,16% correspond In the tree type, 19,60% are shrubs and 15,05% belong to palms, with a total biomass of 211499,02 Kg (211,499 Ton) where Cofrem, Catumare and La Esmeralda constitute 3,89%, 19,64% and 76,47% respectively. The species that contain the highest biomass correspond to *Albizia saman*, *Mangifera indica* and *Cedrela odorata*. On the other hand, the estimated values of potential evapotranspiration were higher in the Catumare area (3.5 mm/day), followed by Esmeralda (3.3 mm/day) and Cofrem (2.6 mm/day) influenced mainly by radiation and temperatures measurements that ranged from 27,4 ° C to 31,0 ° C.

The ANOVA analyzes of variance reflected high levels of significance between the ETP measurement points of each zone, and the Tukey test verified the degree of similarity that exists between the Esmeralda and Catumare zones. Finally, Spearman's correlation analyzes indicated a positive correlation between ETP and biomass, which group the environmental and dasometric variables.

Key Words: Potential evapotranspiration, biomass, ecosystem services, urban trees, microclimates.

1. Contexto del trabajo

El proyecto de investigación titulado “Análisis del servicio ecosistémico de regulación de la temperatura en el microclima urbano, que es suministrado por el arbolado en tres zonas de Villavicencio” (Montes & Zapata, 2018), hace parte de la modalidad “Proyectos interinstitucionales en el marco de la articulación entre Universidad-Empresa-Estado-Sociedad Civil”, en donde se resalta el apoyo por parte de la Secretaría de Medio Ambiente del municipio de Villavicencio y por supuesto la Universidad Santo Tomás. Por otro lado, está presentado bajo la línea de investigación de Gestión Ambiental. Este proyecto es apoyado por ocho (8) auxiliares de investigación, todos estudiantes de la Facultad de Ingeniería Ambiental

El proyecto de investigación surge a partir de conocer el microclima urbano del municipio de Villavicencio, teniendo en cuenta que existe poca información técnica que se tiene del mismo, pese a que el municipio cuenta con tres (3) estaciones del Sistema de Vigilancia y Calidad del Aire (SVCAY) desde el año 2017, la información no se encuentra con una disposición ágil, lo que puede presentar complejidad en el momento de ser requerida para proyectos de investigación con temas relacionados y/o proyectos municipales futuros. Otro aspecto importante que surgió para la creación de este proyecto de investigación, es que el municipio de Villavicencio contiene una alta variedad de sus sistemas vegetales, que con su ausencia o presencia, puede alterar el balance energético del clima a escala local, ocasionando por ejemplo, variaciones en la radiación solar que impacta a la superficie, en la temperatura, velocidad y dirección del viento, y en la humedad del aire.

Por ello, el arbolado urbano contribuye en gran medida como un amortiguante de los elementos climáticos, mejorando la sensación de confort en los espacios exteriores urbanos (Ochoa de la Torre, 1999). Teniendo en cuenta que la vegetación permite la caracterización del clima de una zona a través de varios componentes, se destaca la determinación de la evapotranspiración, utilizando como base las variables micro climáticas y que en este proyecto corresponden a la temperatura del aire y radiación solar.

En ese sentido, este macroproyecto de investigación se enfoca en reconocer la importancia del arbolado urbano del municipio mediante un análisis del servicio ecosistémico de regulación del microclima, en tres zonas de Villavicencio que coinciden con los lugares de instalación y

cobertura del SVCAV ubicadas en el sector de Catumare, Cofrem y la Esmeralda y, de esta manera poder responder a la siguiente pregunta planteada, ¿De qué manera el arbolado urbano suministra el servicio ecosistémico de regulación de la temperatura en el microclima contiguo a las tres estaciones pertenecientes al Sistema de Vigilancia y Calidad del Aire de Villavicencio, Catumare, La Esmeralda y Cofrem?

Por lo tanto, el macro proyecto contempla tres (3) fases metodológicas, dentro de éstas, el proyecto de auxiliatura de investigación denominado “Variación de la evapotranspiración potencial y su relación con el arbolado urbano en tres zonas de Villavicencio – Meta” aporta de manera directa a la fase 3 del proyecto de investigación principal que plantea dentro de su objetivo, analizar la variabilidad del microclima urbano y su relación con la temperatura en las zonas de estudio a partir de indicadores ambientales, por lo tanto, la auxiliatura de manera particular tiene como objeto principal determinar la variación de la evapotranspiración potencial y su relación con el arbolado urbano, allí también se medirán otro tipos de variables micro climáticas como (radiación solar y temperatura del aire), permitiendo de esta manera que el documento final pueda funcionar como base técnica que esté en la capacidad de ser un referente para proyectos municipales orientados en la planificación y ordenamiento de la silvicultura urbana y especialmente en estrategias de arborización y/o espacios verdes, asimismo ser un aporte a otros proyectos de investigación con una temática relacionada.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

- Determinar la variación de la evapotranspiración potencial y su relación con el arbolado urbano en tres zonas del municipio de Villavicencio-Meta mediante su caracterización con variables dasométricas y ambientales.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el arbolado urbano a través de las variables (altura, DAP, hábito de crecimiento y biomasa) en tres zonas de Villavicencio-Meta.
- Estimar la evapotranspiración potencial a partir de las variables ambientales (radiación solar y temperatura del aire) en un periodo de tiempo de cinco días.
- Relacionar las variables ambientales con respecto a las variables del arbolado urbano en la ciudad de Villavicencio – Meta mediante una prueba de correlación.

3. Justificación

En los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) se contemplan acciones, estrategias y metas para mejorar la calidad de vida de los seres humanos y garantizar la protección duradera del planeta y sus recursos naturales. En el contexto de interés, el ODS 11 (lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles garantizando espacios verdes), el ODS 13 (realizar medidas viables para enfrentar el cambio climático junto con los efectos que este conlleva) y el ODS 15 (proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar los bosques de forma sostenible, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y poner freno a la pérdida de la diversidad biológica). (ONU, 2019)

Además, el cambio climático y calentamiento global ha tomado fuerza, principalmente desde la Cumbre de la Tierra, donde se dieron a conocer tratados internacionales, entre estos, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) que entró en vigencia en el año 1994 (MADS M. d., 2020), y más adelante como complemento esencial en 1997, los gobiernos acordaron incorporar el Protocolo de Kyoto, que entró en vigor en febrero de 2005 y diez años después se adoptó durante la COP21 de la CMNUCC el Acuerdo de París que busca mejorar y actualizar la aplicación de la convención. (ONU, Organización de las Naciones Unidas, 1998)

Por su parte, Colombia implementa en su marco legal ambiental, el plan de acción frente al escenario climático actual y futuro, por ello, se desarrolla la Política Nacional del Cambio Climático que dentro de sus estrategias territoriales comprende el desarrollo urbano y rural bajo en carbono y resilientes al clima, que específicamente, cuenta con líneas de acción que fomentan el manejo del paisaje y la estructura ecológica, por medio del mantenimiento y construcción de nuevos espacios públicos urbanos verdes (MADS, 2017).

La gestión integral del territorio en la zona urbana del municipio de Villavicencio debe ser mejorada bajo un fuerte concepto de desarrollo sostenible con el fin de asegurar el conjunto de medidas de adaptación y mitigación necesarias, que contemplen los aspectos legales y económicos, la infraestructura urbana, componente social, recursos físicos, vivienda y por supuesto la ampliación y renovación de espacios verdes que permitan a sus ciudadanos disfrutar de una mejor

calidad de vida y que la ciudad avance en proyectos de transición ante los impactos negativos producto del cambio climático y es así, que se hace evidente en este trabajo la necesidad de información técnica que permita complementar el desarrollo de los proyectos municipales futuros orientados a la planificación y gestión de la silvicultura urbana. (Reyes & Gutierrez, 2010)

Por lo anterior, esta investigación pretende conectarse con estas estrategias con un enfoque planificado, integrado y sistemático del ordenamiento de árboles de zonas urbanas para que puedan hacer un aporte efectivo al bienestar fisiológico, sociológico y económico de la sociedad urbana, conociendo el comportamiento de las variables climáticas a nivel local en tres zonas específicas del municipio, donde se encuentran estaciones meteorológicas del SVCAV, que se encargan de registrar la concentración de las emisiones y la variación de los datos climáticos en la ciudad de Villavicencio como son los puntos: La Esmeralda, Cofrem y Catumare.

A partir de esta información, se abordará la estimación y variación de la evapotranspiración potencial que deriva de las variables ambientales (radiación solar y temperatura del aire) y la relación con las variables del arbolado urbano (altura, DAP, hábito de crecimiento) que permitirá ser un aporte a la fase III del proyecto de investigación la facultad de Ingeniería Ambiental denominado: “Análisis del servicio ecosistémico de regulación de la temperatura en el microclima urbano que es suministrado por el arbolado en tres zonas de Villavicencio” que tiene un enfoque final de proponer estrategias de regulación del microclima urbano a partir de los resultados obtenidos.

En este sentido, la ejecución de este trabajo funcionará como referencia técnica para las actividades y proyectos que tengan previsto esta temática en su contenido, con el fin de beneficiar a la comunidad municipal, suministrando la información para las futuras planificaciones, distribución y toma de decisiones en la silvicultura de la ciudad y principalmente sobre la conservación y preservación del paisaje y los elementos naturales del entorno del municipio para así mitigar los impactos negativos que el cambio climático y calentamiento global podrían ocasionar.

4. Alcance

Este proyecto de investigación apoyó a la fase 2 y 3 del proyecto de investigación FODEIN (Arboleda & Bustamante, 2019) estimando la evapotranspiración potencial y la biomasa. Para ello se caracterizó cada zona en un radio límite de 200 metros desde la estación respectiva, se tomó en cuenta variables micro climáticas como temperatura y radiación solar y variables dasométricas (DAP y Altura) durante cinco (5) días. Las tres estaciones de monitoreo operadas por el SVCAV fueron el área de influencia para la toma de datos, las cuales registran a diario la concentración de emisiones y el comportamiento de las variables ambientales. Las estaciones se ubican en las comunas 1, 3, 4 y 8 de la ciudad de Villavicencio (Ver Tabla 1).

Tabla 1 Estaciones de monitoreo del Sistema de Vigilancia y Calidad del Aire de Villavicencio.

Estaciones SVCAV	Coordenadas		Altura (m.s.n.m)	Barrios Adyacentes	Comunas
	Norte	Oeste			
ESMERALDA	4°09'44.54"	73°38'57.23"	560	La Esmeralda	1
COFREM	4°08'51.32"	73°37'18.38"	428	Jordán, Paraíso y Vainilla	3 y 4
CATUMARE	4°06'29.21"	73°39'21.63"	446	Catumare y Playa Rica	8

Nota. Barrios municipales que se encuentran en el radio límite de cada estación con la correspondiente comuna de la ciudad. por Jenny Gordillo & Sebastian Morales, 2021

La estación de monitoreo Esmeralda, se encuentra en las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Villavicencio, se requirió solicitud de ingreso la cual fue negada debido a que la planta se encontraba en obra de remodelación y también a la contingencia global provocada por el nuevo coronavirus COVID-19, estos limitantes repercuten en no registrar variables ambientales en ese predio, sin embargo se realizó la toma de datos en las afueras de esta instalación teniendo en cuenta los 200 metros a la redonda establecidos. La estación de monitoreo Cofrem, se encuentra en las instalaciones del Parque de la Vida Cofrem, por lo que, se requirió de una solicitud de ingreso a las instalaciones con el fin de evitar limitaciones durante la toma de datos, en esta zona se encuentra la Avenida Catama (Ver Figura 1), siendo ésta uno de los más importantes corredores viales de la ciudad.

La estación de monitoreo Catumare está ubicada cerca de una estación de gasolina, el sector industrial y la vía que conduce al municipio de Acacias. Esta zona incluye a la Universidad Santo Tomás Campus Loma Linda, por lo que no se presentaron limitaciones para el ingreso y registro de datos. Sin embargo, el inventario forestal del municipio no tiene registro de individuos en el polígono de estudio, el cual obliga a tomar datos dasométricos de la mayor cantidad de árboles posibles, que para el predio de Loma Linda se presentaron inconvenientes para la toma de la dasometría de un conjunto considerable de árboles debido a la topografía del lugar. El proyecto principal cuenta con el apoyo financiero y logístico por parte de la Alcaldía de Villavicencio específicamente por la Secretaria de Medio Ambiente y la Universidad Santo Tomás, por lo tanto, este proyecto auxiliar se acobija a los recursos proporcionados por estas entidades.

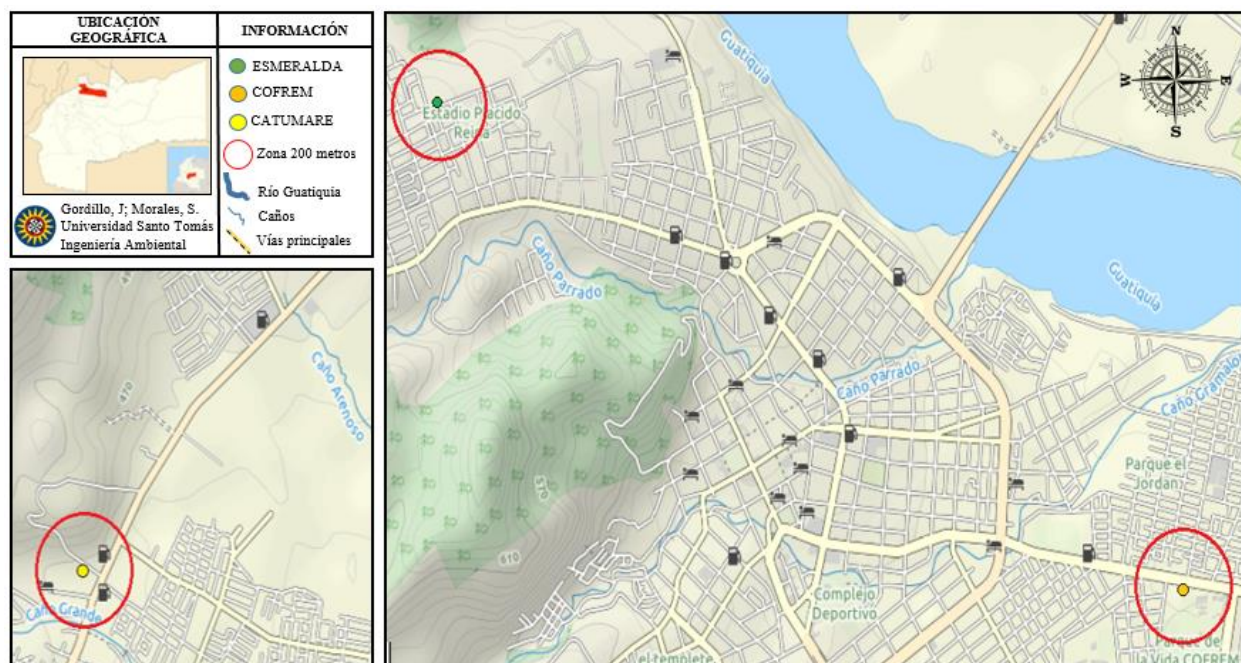


Figura 1 Ubicación de las estaciones Esmeralda, Cofrem y Catumare con las zonas de 200 metros a la redonda. Por: Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021

5. Elemento Teóricos

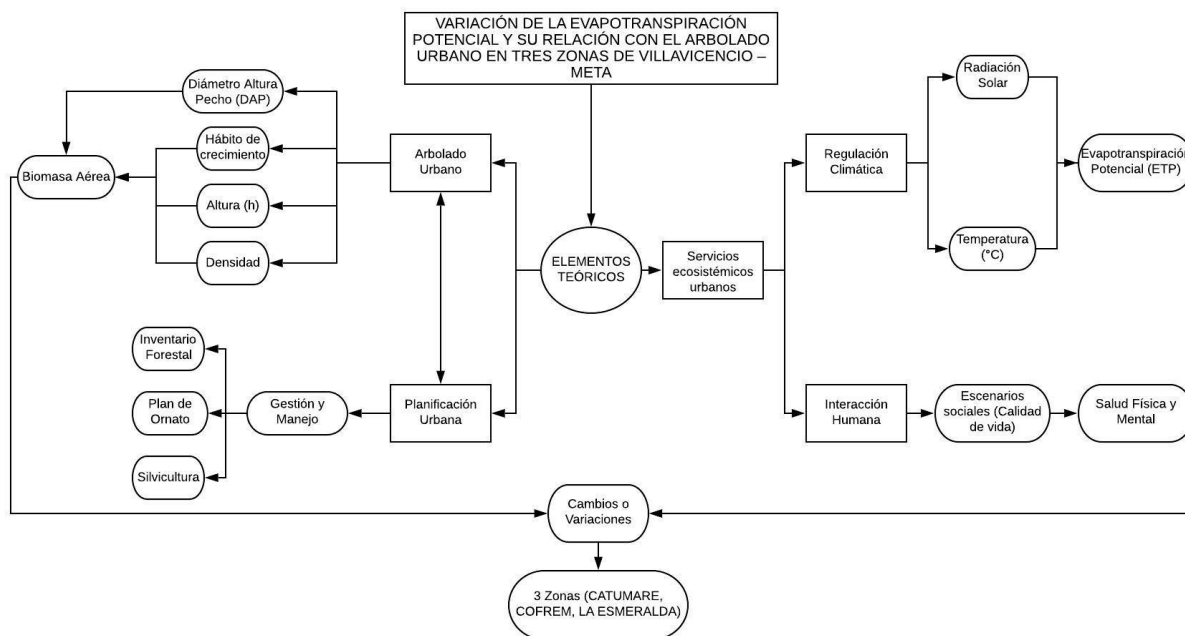


Figura 2 Elementos teóricos para el marco referencial del presente documento, Por: Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021

El arbolado urbano es un elemento fundamental en el paisaje de una ciudad, pues brinda diversos beneficios de orden ambiental, estético o paisajístico, recreativo, social y económico, los cuales son aprovechados por la población local (Tovar Corzo, 2007).

5.1 Regulación de clima

El entorno urbano promueve la formación de microclimas debido a la alta irradiación de la energía calórica que proviene del sol, los edificios y otras construcciones que por sus elementos estructurales, acumulan el calor debido a los bajos porcentajes de albedo y no permiten la dispersión de esta energía térmica, así mismo, el sector de la industria, transporte, actividades caseras como de cocina, aparatos eléctricos, calefacción, entre otros, generan la convección de formas de calor lo que produce el movimiento de corrientes de aire que convergen desde todas las direcciones cuando la velocidad del viento es débil, este calor que se acumula durante el día en las coberturas artificiales se libera lentamente durante la noche y en ese sentido, los asentamientos

humanos y/o ciudades presentan temperaturas más altas en el tiempo diurno y una lenta disipación de calor en tiempo nocturno (Tovar Corzo, 2007).

El sistema arbóreo en una ciudad contribuye a la regulación del clima a través de la disminución de la temperatura y modificación de la radiación solar por efectos de sombra y viento, además modifica aspectos tales como la humedad, transpiración y evaporación por lo que la evapotranspiración puede sufrir cambios debido a su relación con los aspectos mencionados, dado que hace parte de un solo conjunto de transporte de agua por acción del suelo y cobertura vegetal. (Theran Nieto, Rodríguez Potes, Mouthon Celedón , & Manjarrés de León, 2019)

La composición de una estructura vegetal como los árboles, pueden modificar varios elementos en su zona circundante, desde una regulación de temperatura local por acción de su sombra hasta ser un componente mitigante de la contaminación atmosférica de una ciudad, debido a que las características de las hojas de diferentes especies permiten la captación y adhesión de partículas que están presentes en el aire. (Gonzales de Canales, 2002)

5.2 Disminución de los contaminantes atmosféricos

Los estomas de las hojas hacen captación de contaminantes que ingresan a través de los espacios intracelulares, de modo que facilitan la disminución de la cantidad de material contaminante que es producido por las actividades (Smith, 1990). Otro punto importante es la acción de las hojas sobre las partículas en suspensión, y es que éstas pueden quedar adheridas a las hojas que posteriormente caerán o serán lavadas por efecto de la lluvia (Gonzales de Canales, 2002). Todo el sistema arbóreo, desde sus hojas hasta sus raíces y el suelo circundante, es un componente importante de captación de contaminantes y material particulado, que funcionan como un factor mitigante de los impactos producidos por los procesos antrópicos demandados por la sociedad actual.

5.3 Conservación de suelos y aguas

Dentro de las ciudades se encuentran coberturas impermeables que dificultan la capacidad de infiltrar, retener, evaporar y transpirar agua lluvia (Castro Espinosa, 2011). Por otra parte, la alteración en la topografía y el aumento de zonas con poca rugosidad causan un crecimiento en la velocidad de la esorrentía (CIRIA, 2015). Resulta importante, la planificación para la renovación

urbana con una perspectiva hacia el desarrollo de zonas verdes y espacios públicos con mayor presencia de arbolado urbano.

El arbolado urbano, teniendo en cuenta sus características dasométricas, ofrece otros servicios tales como control de la erosión y estabilización de taludes, protección contra el viento, control de contaminación auditiva y beneficios del tipo cultural, simbólico, salud mental y física, estos dos últimos derivados de las oportunidades que los espacios naturales ofrecen para actividades físicas, lúdico - recreativas, descanso y ocio, de manera que el residente urbano pueda aprovechar para potenciar su salud y bienestar (González de Canales, 2002).

5.4 . Características del arbolado urbano

El arbolado de una ciudad, presenta variaciones en la composición dasométrica, debido a que las urbes contienen diversas especies de cuerpos vegetales, por lo que las variables dasométricas tales como el Diámetro Altura Pecho (DAP), hábito de crecimiento y la altura en metros, puede que se relacionen de manera directa con los servicios ecosistémicos y sus beneficios a la población, por ello, resulta esencial la gestión, planificación y manejo del arbolado urbano, mediante los programas, planes y proyectos de las entidades municipales. La influencia de estas variables en el arbolado, puede ejercer modificaciones en la regulación micro climático, así mismo, en las cantidades de humedad que se relacionan con la capacidad de evaporación y transpiración de las plantas, que juntas constituyen una sola variable denominada evapotranspiración (ET). (Benavides Meza & Fernández Grandizo, 2012)

5.5 Evapotranspiración Potencial (ETP)

El concepto (ET) surge de la combinación de dos procesos: a) evaporación de agua desde el suelo, los cuerpos de agua y eventualmente el agua interceptada por o depositada sobre la vegetación; y b) transpiración de las plantas (Aguilera, 2018).

Son varias las razones que justifican el estudio y desarrollo de métodos de estimación de evapotranspiración basados en temperatura. Por ejemplo, la temperatura y la radiación solar explican por lo menos el 80% de la variabilidad de la evapotranspiración (Samani, 2000).

Por otro lado, varios estudios indican que el rango de temperatura está relacionado con la humedad relativa y el grado de nubosidad (Di Stefano & Ferro, 1997), y es que el punto indicativo más importante en la fórmula de Hargreaves, es la temperatura del aire, que corresponde a la

variable con mayor disponibilidad entre las necesarias para el cálculo de la evapotranspiración (Aguilera, 2018). La fórmula de Hargreaves para evaluar la Evapotranspiración Potencial (ETP) necesita datos de temperaturas y de Radiación Solar. (Hargreaves & Samani, 1985).

5.6 Biomasa

A partir de las variables dasométricas de uno o un conjunto de individuos arbóreos, es posible estimar la biomasa de manera indirecta a través de modelos matemáticos, teniendo en cuenta la dasometría del árbol sobre su altura en metros, diámetro a la altura del pecho (DAP) y densidad básica de la madera. Sin embargo, existen dos formas de estimar la biomasa de un sistema arbóreo, el primero consiste en una práctica destructiva, en donde se hace el corte del árbol, secado de la madera y finalmente el pesaje de la misma, que resulta en destrucción de individuos y sobre costos pero con un alto grado de precisión; por otro lado, el método comúnmente usado corresponde a la estimación de la biomasa a partir de ecuaciones alométricas usando el DAP, altura total y densidad de madera, siendo éste último el que aporta mayor confiabilidad en los resultados ya que cada individuo por factores externos como, la edad, especie, influencia climática, presenta variaciones en sus densidades (Gutiérrez Espeleta & Wei Chou, 2013). Generalmente la biomasa es definida como la cantidad total de materia orgánica viva sobre el suelo en los arboles expresada en kilogramos o toneladas (Brown, 1997)

6. Metodología

El proyecto se basa en el método cuantitativo, haciéndose uso de información primaria y secundaria para posteriormente aplicar la estadística descriptiva (agrupación de datos, media, máximos y mínimos, obtención de gráficas acordes a los datos) y multivariada con el análisis ANOVA y finalmente correlaciones entre datos con el objeto de realizar el análisis correspondiente. Se subdividió en las siguientes fases:

6.1. Primera fase: Cuantificación de las variables del arbolado urbano (Altura, DAP, hábito de crecimiento) en las tres estaciones del SVCAV.

6.1.1 *Solicitud de datos*

Se solicitó a la Secretaría de Medio Ambiente del municipio los datos de los inventarios forestales vigentes de las zonas aledañas a las tres estaciones Esmeralda, Cofrem y Catumare.

6.1.2 *Reconocimiento previo*

Inicialmente se realizaron visitas de campo con el propósito de establecer los puntos de muestreo para la toma de datos del proyecto, desde el criterio de que cada punto debe estar asociado a la presencia de arbolado cuyo registro esté en los datos de los inventarios de la Secretaría de Ambiente de Villavicencio

6.1.3 *Caracterización de las zonas*

A partir del inventario forestal suministrado por el municipio, se procedió a caracterizar cada una de las zonas de la siguiente manera:

- Por medio del software ArcGIS se aplicó un buffer teniendo en cuenta un radio de 200 metros a la redonda a partir de cada estación, con el objeto de incorporar los datos del arbolado cuya presencia en base a coordenadas ocupe el polígono para las zonas de estudio.
- Caracterizar el arbolado presente en cada zona por medio de las variables dasométricas, hábito de crecimiento y tipo de emplazamiento (Ver Tabla 2)

Tabla 2 Caracterización del arbolado urbano.

Conjunto de caracterización	Variables
Dasometría	DAP Altura Total
Hábito de crecimiento	Árbol Palma Arbusto
Emplazamiento	Andén Separador Zona verde PTAP Campus LL Parque Polideportivo

Nota. Caracterización de las zonas a partir del inventario del arbolado urbano mediante dasometría, hábito de crecimiento y emplazamiento con sus variables correspondientes. Por: Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021

6.1.4 Toma de datos dasométricos para la Estación y área de estudio CATUMARE

Debido a que el inventario forestal perteneciente a la zona de Catumare, no contiene información del polígono que corresponde a los 200 metros a la redonda desde la estación, se ejecutó un plan de levantamiento de datos de inventario de arbolado urbano adicional para la mayor cantidad de individuos arbóreos posibles en esta zona. Para la ejecución de este levantamiento de datos se tuvieron en cuenta las siguientes variables:

- Información sobre la especie: exploración visual y registro fotográfico para posterior identificación de la especie teniendo como base las existentes en el inventario forestal.
- Altura total: obtención de datos de altura de los individuos mediante la manipulación del equipo hipsómetro láser.
- DAP: la circunferencia a la altura del pecho (CAP) fue tomada usando cinta métrica a una altura promedio de 1,3 metros de altura y para determinar el diámetro a la altura del pecho (DAP), los valores de CAP se dividieron por el número π .
- Coordenadas: se usó el dispositivo GPS Garmín en cada individuo para asignar localización geográfica.

6.2 Segunda fase: Estimación de la biomasa aérea a partir de las variables del arbolado urbano (Altura total, DAP y densidad básica de la madera) y estimación de la evapotranspiración a partir de las variables ambientales (radiación solar y temperatura del aire).

6.2.1 Biomasa aérea

Existen diferentes formas de hallar la biomasa aérea, la destructiva o experimental y la matemática o teórica, para la presente investigación se optó por la teórica, la cual consiste en usar modelos alométricos teniendo como base la dasometría de los árboles (Brown, 1997). Algunas ecuaciones incluyen dentro de su modelo únicamente la variable DAP, por otro lado, algunos modelos requieren DAP y altura total, sin embargo, los modelos que cuentan con mayor grado de precisión son aquellos que incluyen DAP, altura total y la densidad básica de la madera, éste último siendo la pieza clave de la ecuación ya que con la variación de la densidad se generan diferentes resultados de biomasa (Gutiérrez Espeleta & Wei Chou, 2013).

- Biomasa aérea en árboles

La ecuación alométrica del presente estudio (Ver Ecuación 1) surge de la investigación realizada por (Gutiérrez Espeleta & Wei Chou, 2013) en donde construyeron y compararon de modelos de regresión para una ecuación de estimación de biomasa aérea acorde a los bosques tropicales, teniendo en cuenta que Villavicencio tiene temperaturas promedio de 25,5°C y unas precipitaciones anuales promedio de 4383 mm (IDEAM, 2019), que se asemejan a las características climáticas de la investigación del 2013.

$$BA = 0,07754 * (\rho * DAP^2 * HT)^{0,94}$$

Ecuación 1 Biomasa aérea destinada para árboles. Por: (Gutiérrez Espeleta & Wei Chou, 2013)

Dónde:

BA: Biomasa aérea (Kg)

ρ : Densidad básica de la madera (g/cm^3)

DAP: Diámetro altura pecho (cm)

HT: Altura total (m)

- ***Biomasa aérea en palmas***

Por otro lado, se requirió de una ecuación alométrica en donde se incluya el arbolado tipo palma (Ver Ecuación 2), ya que el contenido de biomasa varía en relación con los árboles (Kirby & Potvin, 2007). Esta ecuación fue generada por el IDEAM en el Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia y también fue usada por dos estudiantes para el municipio de Villavicencio en su trabajo de grado de facultad de ingeniería ambiental de la Universidad Santo Tomás (Cortés Cagueño & Matias Barrientos, 2019).

$$BA = e^{(0,360+1,218*Ln(HT))}$$

Ecuación 2 Biomasa aérea en palmas. Por: (Yepes, y otros, 2011)

Dónde:

BA: Biomasa aérea (Kg)

HT: Altura total (m)

- ***Densidad básica de la madera***

Existen dos métodos para hallar la densidad de la madera, el primero consiste en un proceso experimental o de laboratorio, implica ir al campo y tomar muestras del tronco del árbol; el segundo, se obtiene a través de bases de datos, los cuales contienen información de densidades por especies de árboles. Para este proyecto se optó por el segundo método, obteniendo los datos a partir del Catálogo Virtual de flora del Valle de Aburrá (Catálogo Virtual de Flora del Valle del Aburrá, 2021) y otras fuentes secundarias.

6.2.2 Estimación de la Evapotranspiración potencial

En primer lugar, se determinó en cada zona de estudio cinco (5) puntos de muestreo y posteriormente se georreferenció con un GPS Garmin, una vez determinados los puntos de muestreo por cada zona, se procedió a medir la temperatura del aire utilizando un anemómetro a lo largo de cada hora en un periodo de tiempo de 10:00 am a 3:00 pm durante cinco días por cada

zona, obteniendo un tiempo de muestreo de 15 días por las tres zonas de estudio y de esta manera se logra comparar estos datos en una misma área y los demás sitios de estudio.

Finalmente se procesaron los datos de las variables ambientales en una base de datos en Excel agrupados por cada sitio de muestreo (estación del SVCAV de Catumare, Cofrem y La esmeralda) y finalmente proceder a estimar la ETP. El cálculo de la ETP, está dada por la ecuación planteada por Hargreaves, en donde se consideran las variables de temperatura del aire y radiación solar incidente.

$$ETP = 0.0135(t_{med} + 17.78)R_s$$

Ecuación 3 Método de Hargreaves para la estimación de Evapotranspiración Potencial. Por: (Hargreaves & Samani, 1985)

Dónde:

ETP: evapotranspiración potencial (mm/día)

t_{med} : temperatura media en °C

R_s : radiación solar incidente en mm/día.

- *Obtención de la Radiación solar incidente*

Según (Samani, 2000), para obtener la radiación solar incidente, se debe emplear una fórmula en la que una de sus variables son la radiación solar extraterrestre (Ver Ecuación 4), variable que se puede obtener de valores en función de la latitud y del mes específico. Estos valores de radiación solar extraterrestre están incluidos en la tabla de (Allen, 1998) (Ver Anexo A).

$$R_s = R_0 * KT * (Tmax - Tmin)^{0,5}$$

Ecuación 4 Radiación Solar incidente

Dónde:

R_s : Radiación solar incidente (mm/día)

R_0 : Radiación solar extraterrestre

KT : Coeficiente

$Tmax$: Temperatura diaria máxima (°C)

$Tmin$: Temperatura diaria mínima (°C)

El coeficiente KT es un dato empírico que Hargreaves recomienda usar $KT = 0,19$ para regiones costeras y $KT = 0,162$ para regiones del interior, éste último es el válido para aplicar a la ecuación, dada la ubicación geográfica del municipio de Villavicencio.

Para obtener el dato de radiación solar extraterrestre que requiere la Ecuación 4, fue necesario en primer lugar conocer la latitud del territorio nacional, que corresponde a latitud 4.570868 y longitud -74.297333 y se ubica en el hemisferio norte. Por lo tanto, para extraer los datos de Radiación solar extraterrestre correspondientes al mes de toma de datos (noviembre de 2020) y que se complementen con la ubicación latitudinal de la ciudad de Villavicencio (siendo latitud 4.142), fue requerido aplicar una interpolación entre la latitud 4 y 6 (Ver Tabla 3), con el fin de obtener valores únicos para la zona, basándose también en la ubicación del territorio Colombiano, el cual se encuentra en latitud 4.570868 mencionada con anterioridad.

Tabla 3 Radiación extraterrestre por mes para el hemisferio norte. Por: (Allen, 1998)

Lat.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
4	14,1	14,9	15,3	15,3	14,7	14,3	14,4	14,9	15,2	14,9	14,2	13,8
6	13,8	14,6	15,3	15,3	14,9	14,6	14,7	15,1	15,2	14,7	13,9	13,4

Nota. Dado que la toma de datos del presente proyecto se llevó a cabo en noviembre del 2020, entonces se toman los datos de radiación extraterrestre de dicho mes con las latitudes 4 y 6 para su posterior interpolación. por (Allen, 1998)

Para interpolar estos datos, se usó la ecuación de interpolación lineal dada de la siguiente

forma:

$$y = y_0 + \frac{(y_1 - y_0)}{(x_1 - x_0)} * (x - x_0)$$

Ecuación 5 Interpolación lineal

A partir del resultado de esta interpolación, será el valor asignado de radiación solar extraterrestre durante el mes de noviembre, dato que funciona para reemplazarlo en la Ecuación 4 y obtener el valor de radiación solar incidente para finalmente aplicarlo en la Ecuación 3 de Hargreaves.

6.3 Tercera fase: Relacionar las variables micro climáticas con respecto a las variables del arbolado urbano en la ciudad de Villavicencio – Meta mediante una prueba de correlación.

6.3.1 Análisis de varianza ANOVA

- Una vez finalizada la segunda fase, se realizó un análisis estadístico de varianza ANOVA para cada zona, teniendo como variable comparativa la evapotranspiración potencial estimada con anterioridad. Cada zona contiene 5 puntos distribuidos con base en la presencia de datos del arbolado derivado del inventario forestal otorgado por la Secretaría de Medio Ambiente del municipio, estos puntos se ubican en un radio de 200 metros a la redonda desde las estaciones del SVCAV. Los puntos contienen los datos calculados de evapotranspiración los cuales son introducidos al software IBM SPSS Statistics Base Versión 22.0 con el fin de evaluar cada punto de una zona específica.
- Posteriormente se aplicó este análisis estadístico ANOVA desde una ejecución general con el objeto de evaluar si los valores de evapotranspiración difieren estadísticamente entre las tres zonas. El análisis ANOVA funciona con la hipótesis de la Tabla 4
- Finalmente, se aplicó la prueba de Tukey dependiendo de los resultados arrojados por el proceso ANOVA, el cual se usó únicamente para evaluar las diferencias entre el ANOVA general de las tres zonas.

Tabla 4 Hipótesis aplicada al análisis estadístico ANOVA.

Hipótesis nula (H_0) : Todas las medias de Evapotranspiración Potencial son similares

Hipótesis alterna (H_1) : No todas las medias de Evapotranspiración Potencial son similares

Nota. P-crítico (0,05), si Sig > p-crítico, existe una similitud estadísticamente significativa. por Jenny Gordillo & Sebastian Morales, 2021

6.3.2 Test de correlación de Spearman

En este ejercicio se correlaciona el componente de las variables micro climáticas que obedecen a la temperatura del aire y la radiación solar incidente, con el componente arbóreo el cual contiene las variables dasométricas del arbolado de las zonas, que son el diámetro a la altura del pecho

(DAP), hábito de crecimiento y la altura total, teniendo en cuenta que en cada zona se pueden presentar condiciones diferentes entre los sistemas.

Cada componente agrupa este conjunto de variables que fueron usadas para las estimaciones de Evapotranspiración Potencial y Biomasa (Ver Tabla 5) que alojan las variables microclimáticas y dasométricas respectivamente. Para realizar esta prueba de correlación se utilizaron los promedios totales de biomasa pertenecientes a las especies localizadas en una circunferencia de 20 metros a la redonda en función de los puntos de muestreo de cada zona.

Tabla 5 Matriz de variables requeridas durante la ejecución del proyecto.

Nombre de la variable	Sigla	Unidad	Método/Instrumento	Precisión
Diámetro a la altura del pecho	DAP	metros	Cinta métrica	± 0,1 mm
Altura total	H	metros	Hipsómetro láser	± 0,2 ° ángulos y ±0,1 altura
Temperatura media	T _{med}	°C	Anemómetro	± 0,4
Radiación solar incidente	R _s	mm/día	Ecuación de Samani	n/a
Evapotranspiración potencial diaria	ET ₀	mm/día	Formula de Hargreaves	n/a
Biomasa aérea	BA	Kg	Ecuación de Brown	n/a

Nota. por Jenny Gordillo & Sebastian Morales, 2021

7. Resultados y análisis

7.1 Primera fase: Cuantificación de las variables del arbolado urbano (Altura, DAP, hábito de crecimiento) en las tres estaciones del SVCAV.

7.1.1 Zona de estudio Estación del Sistema de Vigilancia y Calidad del Aire de Villavicencio – LA ESMERALDA

Tabla 6 Composición del arbolado urbano existente en un radio de 200 m de la estación de SVCAV La Esmeralda.

ESTACION SVCAV LA ESMERALDA			
Altura Total	Arbolado	DAP	Arbolado
Categoría I (0,8 - <3 m)	47	Categoría I (0,01 - <0,11 m)	134
Categoría II (>3 - 7 m)	198	Categoría II (0,12 - <0,24 m)	135
Categoría III (8 - 13 m)	136	Categoría III (>0,24 – 0,38 m)	71
Categoría IV (14 - 19 m)	48	Categoría IV (0,39 - <0,60 m)	65
Categoría V (20 - 25 m)	22	Categoría V (0,60 - <1,50 m)	46

Nota. Los datos del arbolado fueron suministrados por la Secretaría de Ambiente del municipio de Villavicencio mediante el inventario forestal del barrio La Esmeralda y aplicando el aislamiento para la zona de estudio que corresponde a 200 metros a la redonda desde la ubicación de la estación. por Jenny Gordillo & Sebastian Morales, 2021

Esta zona cuenta con un área de 125.558,84 m² (12.56 Ha), se conforma principalmente por ser zona residencial con cobertura arbórea en parques, zonas verdes, calles y en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad (PTAP).

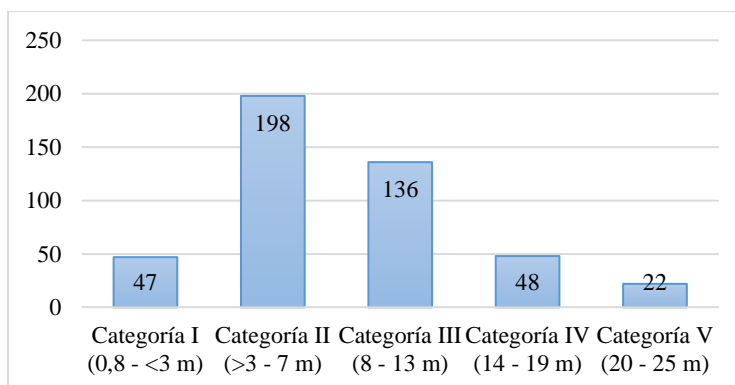


Figura 3 Categorías de alturas en la zona de influencia La Esmeralda. Por: Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021

A partir del inventario forestal que fue solicitado a la Secretaria de Ambiente del municipio, se obtuvieron resultados de un total de 451 individuos forestales para esta zona, de los cuales, una mayoría que representa el 43,9% y 30,19% tienen alturas de entre 3 a 7 y 8 a 13 metros respectivamente, y una menor cantidad que corresponde al 4,88% se ubican en alturas entre los 20 a 25 metros (Ver Figura 3), siendo estos últimos los árboles más altos de la zona (Ver Tabla 6).

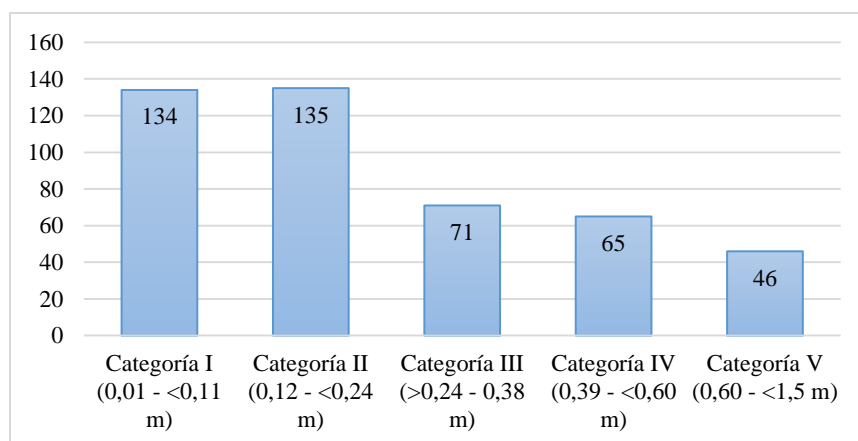


Figura 4 Categorías de diámetro a la altura del pecho en la zona de influencia La Esmeralda. Por: Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021

La categorización diamétrica de la zona La Esmeralda, está constituida por una gran cantidad de individuos para las categorías I y II, que se ubican entre los 1 a 11 cm y 12 a 24 cm respectivamente y correspondiendo al 59,65% del lugar, lo que repercute en que más de la mitad de los individuos en la zona contienen diámetros relativamente bajos con los máximos registrados que pertenecen a la categoría V (Ver Figura 4), que se encuentran entre los 60 a 150 cm y sólo corresponden al 10,20%.

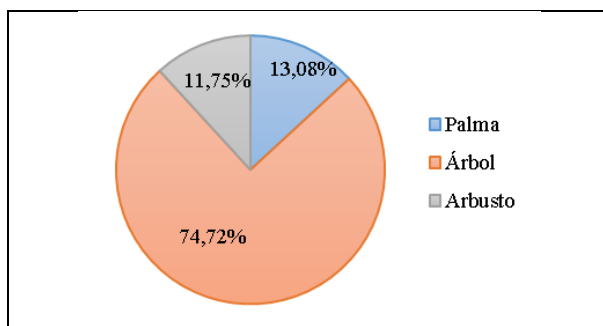


Figura 5 Hábito de crecimiento de los individuos arbóreos presentes en La Esmeralda. Por: Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021.

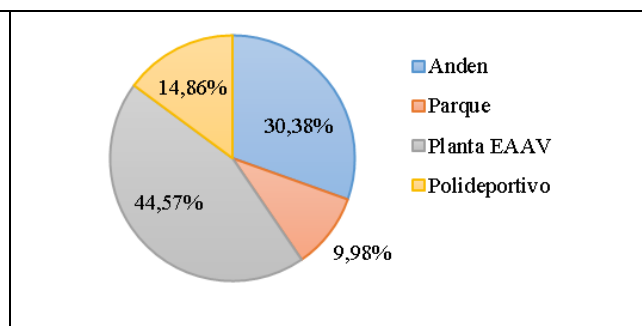


Figura 6 Emplazamiento de los individuos arbóreos presentes en La Esmeralda. Por: Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021.

La Esmeralda está constituida en gran parte por una vegetación cuyo hábito de crecimiento corresponde a tipo arbóreo con un 74,72% del total de la zona (Ver Figura 5), lo que implica que la biomasa total de la zona está influenciada principalmente por los árboles en comparación con arbustos y palmas, siendo estas últimas que en proporciones de altura y DAP no generan un contraste tan significativo con el material leñoso de tipo árbol (*Kirby & Potvin, 2007*).

Para el emplazamiento de la zona (Ver Figura 6), con el mayor porcentaje de individuos (44,57%), se ubican en las instalaciones privadas de la planta de tratamiento de agua potable, representando un poco menos de la segunda parte de la zona y que siendo un recinto privado y conteniendo esa cantidad de individuos, la comunidad residente no puede gozar totalmente de los beneficios que aporta el arbolado de tipo simbólico, cultural, aspectos que fomenten la salud mental mediante espacios que permiten el desarrollo de actividades físicas y lúdico recreativas, y que también se ve soportado con un emplazamiento bajo en un parque y polideportivo de la zona (*Gonzales de Canales, 2002*).

El 30,38% de los ejemplares de La Esmeralda están ubicados en andenes, especialmente cercanos a domicilios, entendiendo que esta zona en su totalidad es una zona residencial, desde este aspecto los residentes pueden gozar de los servicios ecosistémicos de este arbolado, de los que se pueden destacar la reducción del consumo de energía; por la abstención de utilizar equipos de refrigeración o ventilación, control de la contaminación ambiental, protección del asoleamiento directo y disminución de la temperatura en la temporada seca y cálida a través de la sombra proyectada por la copa del árbol hacia el recinto urbano; éste último convirtiéndose en el efecto más apreciado por las personas (*Mascaró, Mascaró, Martins, & Wessheimer, 2001*).

7.1.2 Zona de estudio Estación del Sistema de Vigilancia y Calidad del Aire de Villavicencio – CATUMARE

Esta zona abarca una extensión de 126.000,61 m² (12.60 Ha), en donde se cruza uno de los corredores viales más importante para el municipio que corresponde a la vía Villavicencio – Acacías, y que tiene alta densidad de tráfico por la ubicación de barrios del sur pertenecientes a la comuna 8 en la periferia del municipio. El área de influencia de 200 metros a la redonda de esta zona, no abarca una zona residencial, sin embargo limita con barrios como Playa Rica y Catumare. El inventario forestal no contenía información de la zona delimitada en Catumare, por lo tanto, los elementos del arbolado de esta zona fueron recopilados a través de registro en campo de sus

variables dasométricas y para la identificación de la especie, se hizo el registro fotográfico y su posterior reconocimiento.

Tabla 7 Composición del arbolado urbano existente en un radio de 200 m de la estación de SVCAV CATUMARE.

ESTACION SVCAV CATUMARE			
Categoría	Altura Total	Categoría	DAP
Categoría I (2,8 - 6,7 m)	19	Categoría I (0,12 - >0,20 m)	22
Categoría II (6,8 - 8,4 m)	19	Categoría II (0,20- >0,30 m)	35
Categoría III (8,5 - >11m)	18	Categoría III (0,30 - >0,50 m)	30
Categoría IV (11 - >13m)	20	Categoría IV (0,50 - <0,60 m)	11
Categoría V (13- >23 m)	31	Categoría V (0,60 - <1,80 m)	9

Nota. Categorías de altura total y DAP para 200 metros a la redonda desde la estación Catumare. por Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021

Se levantó en campo la cantidad total de 107 individuos y con la categorización de las variables medidas mostraron que 31 individuos (28,97%) (Ver Figura 7) se ubican en alturas entre los 13 a 23 metros, perteneciendo a la categoría con la altura más elevada. Por otro lado, los elementos forestales más bajos comprenden alturas entre 2,8 a 6,7 metros perteneciendo al 17,76% del lugar (Ver Tabla 7).

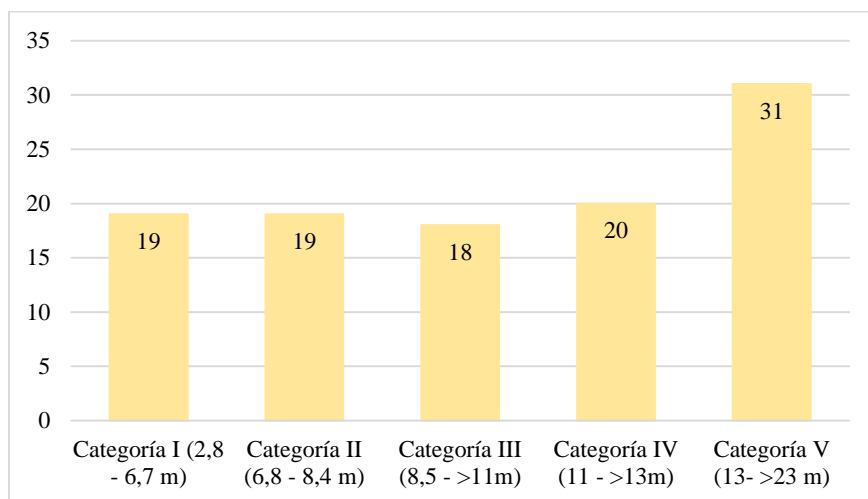


Figura 7 Categorías de alturas e individuos en la zona de influencia Catumare. Por: Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021

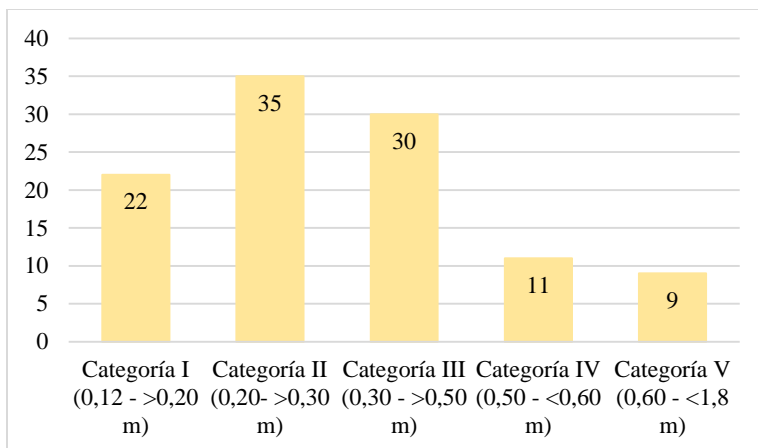
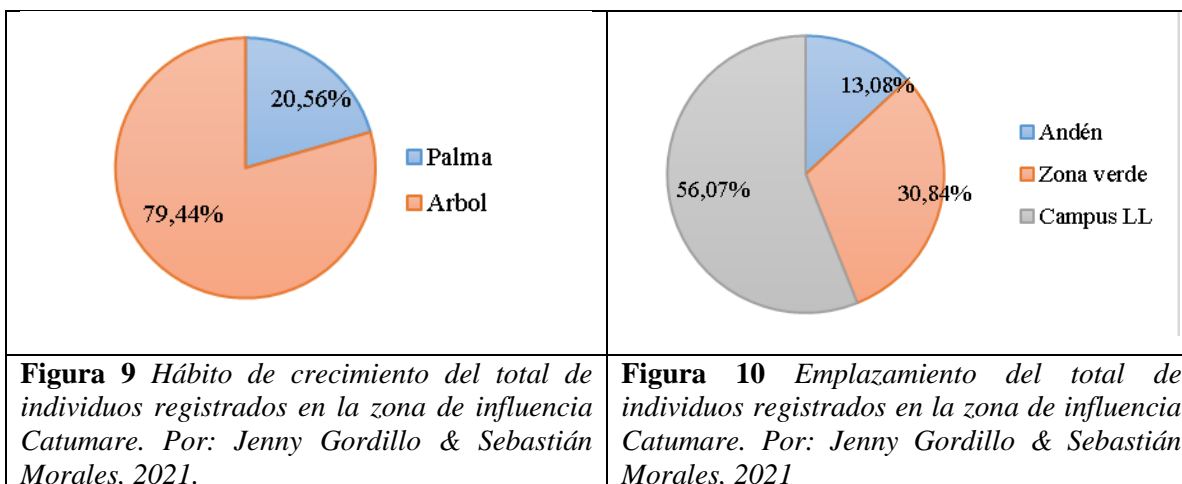


Figura 8 Categorías de diámetro a la altura del pecho y número de individuos en la zona de influencia Catumare. Por: Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021

Dos categorías diamétricas contienen un mayor número de individuos para esta zona, que corresponden a la categoría II y III, representando el 60,75% del total de la zona (Ver Figura 8), demostrando que de 107 individuos, 65 tienen diámetros de entre 0,20 y 0,50 metros, es decir de 20 a 50 cm. Representando apenas el 8,41%, la categoría V contiene DAP entre 60 a 180 cm



El hábito de crecimiento de esta zona demuestra que el crecimiento de tipo árbol domina con 79,44 % de los individuos en contraste con las palmas tomada del lugar con un 20,6% (Ver Figura 9); lo cual está relacionado con el emplazamiento de la zona que es dominado por el predio de la Universidad Santo Tomás Campus Loma Linda con un 56,07 % de los individuos, entre los cuales en su mayoría pertenecían al hábito de crecimiento de árbol. Debido a que estas

distribuciones de crecimiento del arbolado urbano fue principalmente sobre la margen derecha del corredor vial con sentido Villavicencio – Acacías, no fue precisamente zona residencial, por lo que no se puede evaluar los beneficios plenamente directos del arbolado hacia la comunidad, exceptuando por supuesto la comunidad perteneciente a la universidad.

Sin embargo, la masa arbórea de esta zona puede funcionar como receptor de las emisiones de contaminantes que son producidas por industrias procesadoras de madera y arroz, también por el parque automotor; que transita por esta avenida principal y que sufre de atascos y saturación en horas pico (6am-8am, 12m-1pm y 5pm-7pm) y que según (Ortíz González & Ríos Moreno, 2019) Villavicencio contiene 97.387 vehículos automotores que producen una cifra de 1362214.3 kilogramos de CO_2 por día. Además de ejercer funciones ecológicas para la fauna existente y el ecosistema general, también aporta un corredor ecológico para diferentes especies, fuente de alimentación para mamíferos y fuente de semillas para su dispersión por las aves. (Cortés Cagueño & Matias Barrientos, 2019)

7.1.3 Zona de estudio Estación del Sistema de Vigilancia y Calidad del Aire de Villavicencio – COFREM

La zona de Cofrem, denominada de esta forma por la presencia de la estación climática en las instalaciones del Parque de la Vida y colegio Cofrem, tiene una extensión de 125.998,94 m^2 (12.60 Ha). En el área de influencia se encuentran zonas residenciales por la presencia de los barrios El Jordán, Vainilla y Paraíso, además de una zona comercial e incluir otro corredor vial del municipio que corresponde a la Avenida Catama.

Tabla 8 Composición del arbolado urbano existente en un radio de 200 m de la estación de SVCAV COFREM.

ESTACIÓN SVCAV COFREM			
Categoría	Altura total	Categoría	DAP
Categoría I (1 - <2 m)	16	Categoría I (0,02 - >0,07 m)	43
Categoría II (2 - 4 m)	64	Categoría II (>0,07 - 0,14 m)	34
Categoría III (>4 - 6 m)	23	Categoría III (>0,14 - 0,21 m)	30
Categoría IV (7 - 11 m)	34	Categoría IV (>0,22 - 0,33 m)	24
Categoría V (12 - 17 m)	9	Categoría V (>0,33 - 0,78 m)	15

Nota. Variables medidas en las instalaciones del colegio Cofrem, zona residencial y Avenida Catama, por Jenny Gordillo & Sebastian Morales, 2021

La categoría II de la variable dasométrica altura total comprende el 43,84 % de los individuos de la zona, con un rango de alturas de entre 2 a 4 metros, y un 23,29 % del total contienen alturas de entre 7 a 11 metros que corresponden a la categoría IV (Ver Tabla 8). Esta zona tiene un número bajo de individuos con las mayores alturas, con apenas 9 elementos del arbolado que pertenece al 6,16 % de 146 individuos de la zona (Ver Figura 11).

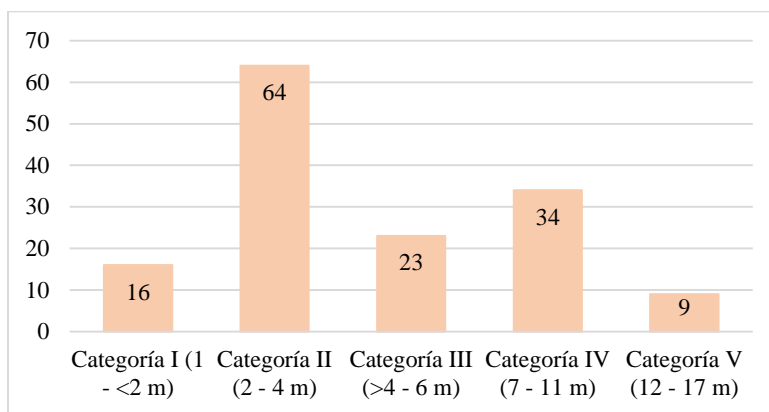


Figura 11 Categorías de alturas e individuos en la zona de influencia Cofrem. Por: Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021

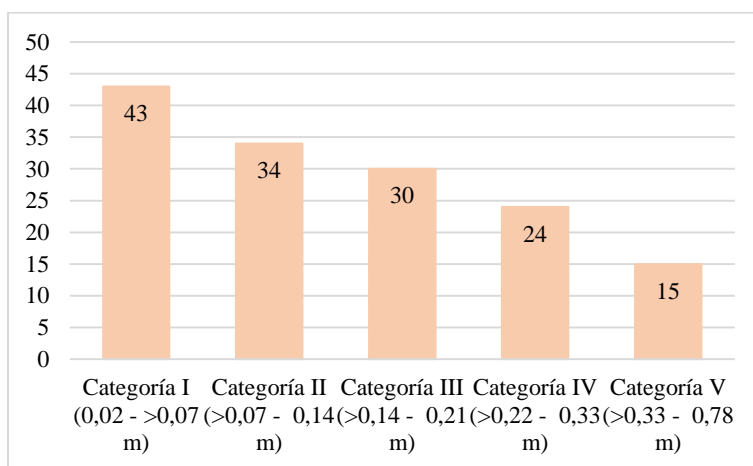
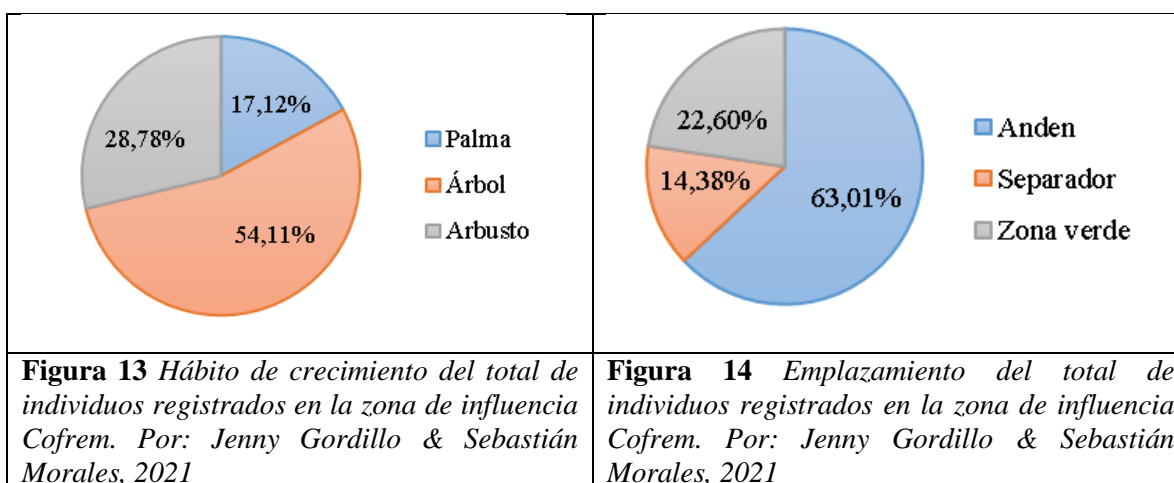


Figura 12 Categorías de diámetro a la altura del pecho e individuos en la zona de influencia Cofrem. Por: Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021

El DAP de los individuos en la zona Cofrem evidencia un decremento de individuos a través de las categorías, teniendo una mayor cantidad de elementos forestales para los DAP entre 2 y 7 cm (Categoría I); que representan el 29,45 % del lugar y una menor cantidad de individuos

para los DAP ubicados entre 33 a 78 cm (Categoría V); perteneciendo al 10,27 % de la zona (Ver Figura 12)



El inventario forestal de Cofrem indica tres tipos de hábitos de crecimiento los cuales corresponden a palmas, árboles y arbustos; representando valores de 17,12 %, 54,11 % y 28,78 % respectivamente (Ver Figura 13). Dado que los tipos de crecimiento de palma y arbustos componen un estimado de 45,9 % del total, demuestra que esta zona tiene un alto contenido de material vegetal que está asociado principalmente a embellecimiento estético del lugar, teniendo en cuenta que éstos no desempeñan un rol significativo tanto en la reducción de las temperaturas por la baja sombra que proyectan como también en la reducción de la contaminación ambiental, además, observando desde el punto de vista ecológico, sólo un limitado número de especies, tal es el caso de la palma moriche (no presente en ninguna zona de estudio); proporcionan o son fuente de alimento para la fauna residente y por ende tienen un rol más allá de lo estético (Cortés Cagueño & Matias Barrientos, 2019).

El emplazamiento en Cofrem contiene proporciones de 63,01 % de individuos en andenes, 22,60 % en zonas verdes y 14,38 % en el separador vial que pertenece a la Avenida Catama (Ver Figura 14). Es importante resaltar la presencia de arbolado en el separador de una vía tan importante para el municipio, sin embargo los individuos presentes allí no generan impacto de alto grado en cuanto al servicio ecosistémico de regulación de la temperatura, debido al deterioro observado o porque algunos individuos aún están en crecimiento.

De lo anterior es importante escoger especies recomendadas para el fortalecimiento de la estructura ecológica urbana, descartando especies que puedan generar riesgo directo o indirecto a

la salud humana en el espacio público, daños o deterioro de infraestructura (servicios públicos, asfaltos y andenes de las redes viales), especies que atraen plagas y aquellas que generen malos olores y accidentes (Molina Prieto & Vargas Garzón, 2007).

El 63,01 % de los individuos ocupan andenes y dependiendo de la especie del árbol y su localización, puede beneficiar a una cantidad de personas, especialmente a partir de los servicios de regulación de temperatura, dado que se encuentran próximos a viviendas y disipan la radiación solar y temperatura con la proyección de sombra (Gonzales de Canales, 2002).

7.1.4 Altura total y DAP en las tres zonas de estudio, comparaciones y observaciones

Se pudo detallar cada zona de sus particularidades relacionadas a las variables utilizadas para la caracterización del arbolado urbano (Ver Anexo B). Sin embargo, resulta más acertivo aplicar las comparaciones entre zonas con el objeto de hallar características que pueden diferir de cada zona. La zona de la Esmeralda contiene los valores más altos de individuos seleccionados con un total de 451, seguidamente está la zona de Cofrem con un total de 146 y finalmente la zona de Catumare con apenas 107 individuos, para un total de elementos del arbolado urbano en las tres zonas de 704, de los cuales el 71,16 % corresponde a tipo árbol, 18,60% se trata de arbustos y 10,05% pertenece a palmas y en donde se hace énfasis de que las palmas presentes en las tres zonas pueden funcionar principalmente como embellecimiento dado que sus aportes en la regulación de la temperatura varían en contraste de los árboles.

Las diferencias de individuos entre zona pueden llegar a mostrar diferencias entre las cantidades estimadas de biomasa y también actuar de manera sobre la evapotranspiración debido que esta variable se ve influenciada por la temperatura de un lugar, que en relación al arbolado disminuye o aumenta dependiendo de la densidad de árboles de una zona en específico (Duval, Benedetti, & Baudis, 2020).

Si bien las categorías de alturas y DAP no manejan los mismos rangos de datos, se reflejan las similitudes entre las proximidades que existen entre cada categoría. Lo que más sobresale de observar las figuras 15 y 16 son la cantidad de individuos que presenta la zona de La Esmeralda en relación de las dos restantes zonas. Por otro lado, la zona de La Esmeralda junto a Cofrem muestra que la mayor cantidad de individuos se sitúan en categorías que incluyen rangos de alturas de entre 2 a 13 metros, aspecto que no sucede en la zona de Catumare, en donde la mayor cantidad de individuos se sitúan en alturas entre los 13 a 23 metros, dejando a las demás categorías de esta

zona en valores cercanos de 18-19-20 individuos (Ver Figura 15). Este comportamiento que se refleja en Catumare puede inferirse a la cantidad reducida de individuos registrados en este lugar, en comparación con las demás zonas.

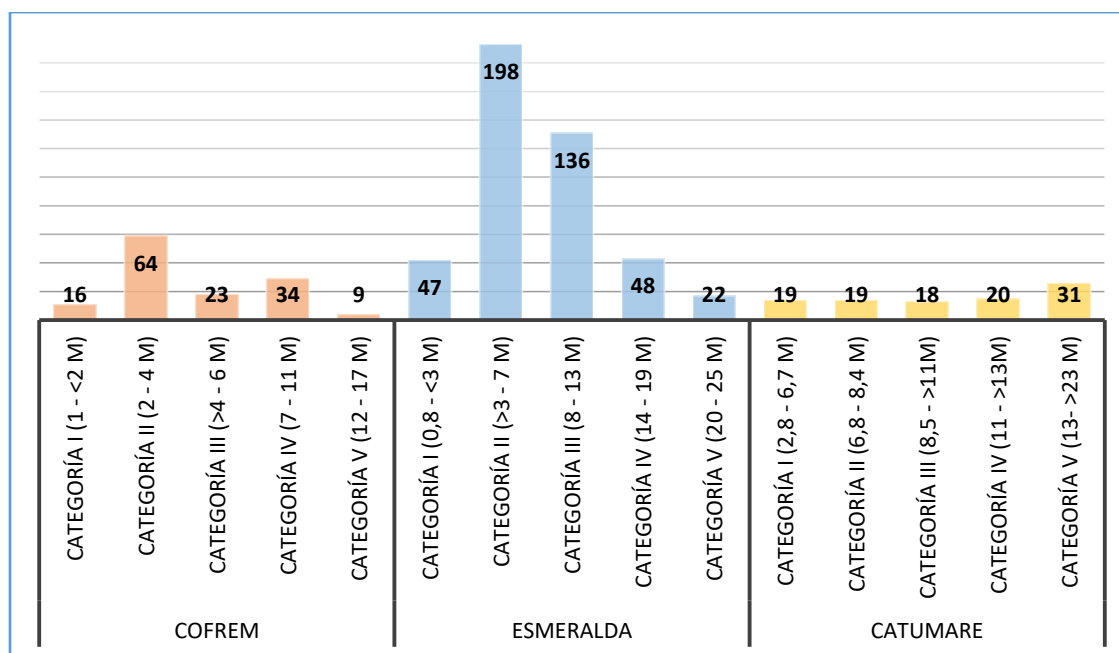


Figura 15 Categorías por alturas de los individuos de las tres zonas del proyecto. Por: Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021

Respecto a los valores de DAP de las tres zonas (Ver Figura 16), se resalta un efecto en común que corresponde a la categoría V, que siempre refleja que las cantidades más bajas de individuos contienen DAP entre 33 a 180 cm. Las zonas Cofrem y Esmeralda nuevamente reflejan una relación, esta vez en la disminución del número de individuos conforme incrementan los valores de DAP, evento que no sucede en Catumare puesto que no muestra un comportamiento regular y nuevamente puede asociarse a que es la zona con menor cantidad de arbolado respecto a las demás, lo anterior debido a que se requirió de la toma de datos de arbolado en esta zona a causa del vacío en el inventario forestal municipal para esta área de influencia y el bajo número de datos, corresponde a inconvenientes con la accesibilidad de predios y por acción de la topografía, además de que esta zona no presentaba mayor cantidad de arbolado en lo que corresponde a zona residencial.

Las especies con el promedio mayor de altura corresponden a *Erythrina poeppigiana*, *Leucaena leucocephala* y *Albizia saman* con totales de 24, 22 y 21 metros respectivamente y paralelamente las mismas especies tienen los DAP promedio más altos con 76,39, 70,03 y 118,72 centímetros. El promedio de altura y DAP de todo el arbolado corresponde a 8,72 metros y 30,45 centímetros.

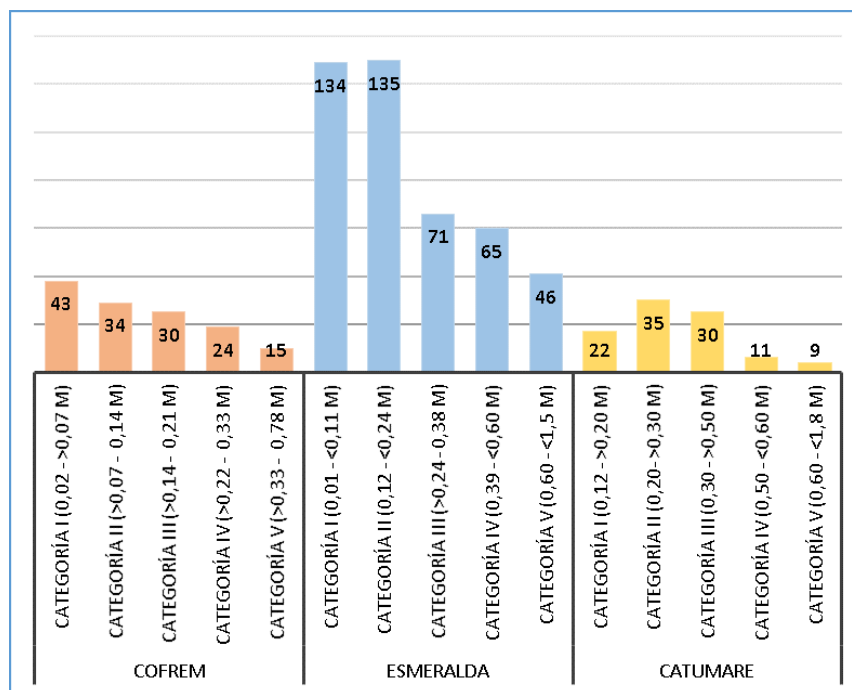


Figura 16 Categorías por DAP de los individuos de las tres zonas del proyecto. Por: Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021

7.2 Segunda fase: Estimación de la biomasa aérea a partir de las variables del arbolado urbano (Altura total, DAP y densidad básica de la madera) y estimación de la evapotranspiración a partir de las variables ambientales (radiación solar y temperatura del aire).

7.2.1 Biomasa aérea

Fue requerido investigar la densidad básica de la madera desde fuentes secundarias. Se estimó la biomasa para cada una de las especies en cada zona y se promediaron los valores (Ver Anexo B). Se identifican especies cuyos valores de biomasa promedio fueron los más altos de las zonas de estudio (Ver Tabla 9), con valores entre los 1207,79 Kg para la especie *Cedrela odorata* hasta los 5596,14 Kg de biomasa para la especie *Albizia saman*. La biomasa de la zona de Catumare

corresponde a 41532,45 Kg (41,5 Ton) en donde los árboles representan el 98,98% y las palmas el 1,02%, Cofrem posee una biomasa de 8235,56 Kg (8,235 Ton), árboles y palmas contienen el 95,19% y 4,81% respectivamente. Finalmente la zona de Esmeralda constituye un total de 161731 Kg (161,731 Ton), árboles y palmas corresponden al 99,53% y 0,47% respectivamente.

Las tres zonas contienen un total de 211499,02 Kg (211,499 Ton) en donde Cofrem, Catumare y La Esmeralda constituyen el 3,89%, 19,64% y 76,47% respectivamente. Desde lo anterior, esas cantidades varían bastante principalmente a los datos presentes en el inventario, es decir que para la zona Cofrem habían datos de arbolado en la zona residencial, comercial y Avenida Catama pero no habían registros de los individuos forestales en las instalaciones del Parque de la vida Cofrem, el cual representa una extensión en terreno amplia del radio de 200 metros. Catumare no tenía registro de datos en el inventario forestal, por lo cual se debió iniciar toma de datos dasométricos a la mayor cantidad de árboles en el lugar los cuales resultaron ser más bajos respecto a las demás zonas, pero no significa que tenga menor densidad de árboles que las demás zonas, teniendo en cuenta que gran parte de la zona abarca predios con grandes extensiones de cobertura vegetal, los cuales no pudieron ser registrados por aspectos logísticos tales como solicitudes de acceso a predios y dificultad del terreno.

Tabla 9 Valores promedio de biomasa de cada una de las especies registradas en las tres zonas de estudio.

Nombre_Com	Nombre Científico	#	Altura	DAP (cm)	Densidad (g/cm ³)	Biomasa Kg	Biomasa promedio
Almendro	<i>Terminalia catappa</i>	12	12,5	43,28	0,48	7401,27	616,77
Yopo	<i>Anadenanthera peregrina</i>	13	11,3	35,23	0,512	7498,57	576,81
Apamate	<i>Tabebuia rosea</i>	23	8,31	31,19	0,54	8797,87	382,51
Lomo de caiman	<i>Platypodium elegans</i>	13	11,92	32,66	0,8	10279,46	790,72
Pomarroso brasilero	<i>Syzygium malaccense</i>	35	9,36	31,52	0,56	10281,58	293,75
Payande	<i>Pithecellobium dulce</i>	16	10,75	46,13	0,64	11720,27	732,51
Samán	<i>Albizia saman</i>	4	21	118,72	0,49	22384,57	5596,14
Mango	<i>Mangifera indica</i>	58	10,3	42,6	0,55	35230,02	607,41
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	44	16	54,14	0,5	53142,83	1207,79

Nota. Las especies en la tabla corresponden a aquellas que tienen el mayor promedio de biomasa en las tres zonas. Las especies totales y sus biomásas se encuentran en el anexo B, por Jenny Gordillo & Sebastian Morales, 2021

La altura y el DAP son variables que inciden fuertemente en la variación de la biomasa entre especies, pero incluir la densidad de cada individuo o especie en la ecuación, genera un grado más de precisión. Sin embargo, es importante aclarar que los valores de densidad de esta investigación resultan de bases de datos y otras fuentes secundarias (Cortés Cagueño & Matias Barrientos, 2019), por lo que los resultados pueden contener cierta incertidumbre, aunque para Villavicencio ya se obtuvieron densidades de individuos arbóreos de algunas especies que coinciden con este proyecto, por lo que resulta una buena línea base de información.

Se ha encontrado que la relación entre la altura y el DAP de los árboles resulta muy significativa, por otro lado, la densidad de los árboles influyen en el resultado o cantidad de la biomasa debido a si un número de individuos que contengan similitudes en sus volúmenes (altura y DAP) pero con densidades diferentes, mostrarán diferencias en la cantidad de su biomasa (Gutiérrez Espeleta & Wei Chou, 2013).

Tabla 10 Valores promedio de la biomasa para las clases diamétricas del arbolado.

Clase diamétrica (cm)	# Individuos	Biomasa (Kg)	
		Total	Promedio
10,18-18,78	165	5412,02	32,80
19,09-28,96	124	16336,79	131,74
28,97-39-79	81	22843,09	282,01
40,11-58,88	79	38289,82	484,68
58,89-142,28	64	128631,29	2009,86

Nota. Biomasa total y el promedio de los individuos en cada rango de DAP. por Jenny Gordillo & Sebastian Morales, 2021

Tabla 11 Valores promedio de biomasa para la variable altura del arbolado.

Alturas (m)	# Individuos	Biomasa (Kg)	
		Total	Promedio
1-6,1	149	8355,30	56,07
6,4-8,3	111	21006,80	189,25
8,4-11,8	95	24350,86	256,32
11,9-15,6	101	62087,72	614,72
15,8-25	57	95712,33	1679,16

Nota. Biomasa total y el promedio de los individuos en cada rango de altura. por Jenny Gordillo & Sebastian Morales, 2021

Se puede identificar que las categorías con mayor número de individuos siempre corresponden a la primera de cada variable (altura y DAP) pero son las que menos biomasa contienen, debido a las bajas alturas y diámetros del arbolado. Aunque la densidad de cada individuo influye en el resultado final de la biomasa, las variables de altura y DAP demuestran una

influencia fuerte en el aumento del resultado de la masa arbórea, las Tablas 10 y 11 reflejan el incremento de estas cifras con respecto a mayores alturas y DAP. Las correspondientes gráficas de las tablas anteriores se encuentran en el Anexo D.

Por ello, se ha destacado entre éstas, al diámetro a la altura del pecho como la variable más influyente en la determinación de la biomasa, y algunas metodologías optan por usar ecuaciones alométricas que incluyan únicamente las variables de densidad y DAP, entendiendo que en ocasiones medir la altura en sistemas forestales de alta densidad de árboles por área, resulta muy difícil de tomar en campo (Yepes, A. P.; Navarrete, D. A.; Duque, A. J.; Phillips, J. F.; Cabrera, K. R.; Álvarez, E.; García, M. E.; Ordoñez, M. F., 2011).

7.2.2 Evapotranspiración Potencial

Para estimar la ETP es necesario obtener la radiación solar extraterrestre que a través de una interpolación (Ver Ecuación 5) se obtuvo el valor de esta radiación para el mes de noviembre con un valor 14,185 mm/día (de agua evaporada), a partir de valor, se reemplazó en la Ecuación 4 con el fin de obtener los valores de radiación solar incidente en función de las temperaturas máximas, mínimas y promedio de cada zona (Ver Anexo E). Esta variable demostró comportamientos diferentes en las tres zonas, por ello resulta importante observar estas fluctuaciones. La evapotranspiración potencial tiene como unidad de medida el milímetro por día, por lo que la forma en que varía puede considerarse de baja diferencia pues los valores oscilan entre 2,2 hasta 3,5 mm/día. Sin embargo al tratarse de una variable de alta complejidad para estimarse de manera exacta, demuestran ser diferentes entre zonas, en donde pueden intervenir factores vegetales y climáticos.

En la zona de estudio La Esmeralda se identificaron valores altos y bajos de ETP, en donde se pueden diferenciar los puntos y los días de toma de datos en la figura 17. Todos los puntos se comportan bajo una misma tendencia, sin embargo algunos tienen valores más bajos y altos en un mismo día. De los cinco días de toma de datos en la Esmeralda, tres días fueron soleados (día 1, 3 y 5) y dos estuvieron acompañados de precipitaciones leves (día 4 y 5) durante la jornada de 10am a 3pm, que posteriores a estas horas se presentaron con mayor intensidad. Lo anterior explica el comportamiento de la ETP frente a las condiciones del tiempo en esos días con presencia de precipitaciones, lo que indica que estos valores disminuyen frente a la presencia de nubosidades y posteriores precipitaciones (Ver Figura 17).

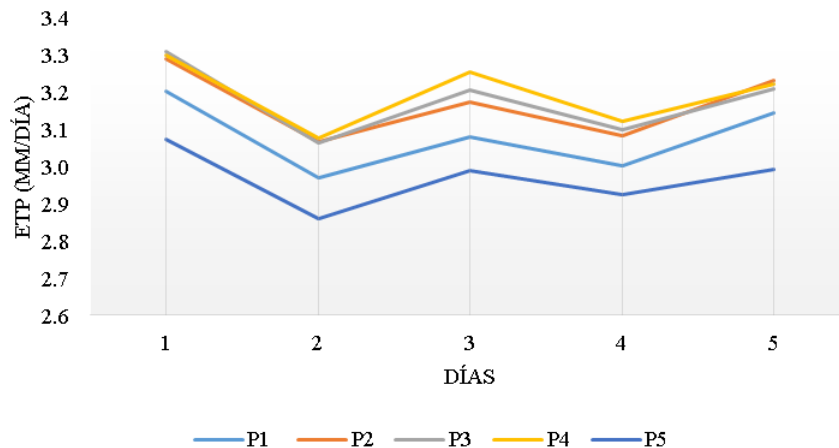


Figura 17 Evapotranspiración de los cinco días en cada uno de los puntos de La Esmeralda. Por: Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021

La radiación solar y la temperatura del aire explican por lo menos el 80% de la variabilidad de la evapotranspiración (Samani, 2000), es por ello que si se relacionan los valores de evapotranspiración potencial con las temperaturas promedio de cada zona, van a tener un comportamiento muy similar (Ver Figura 18)

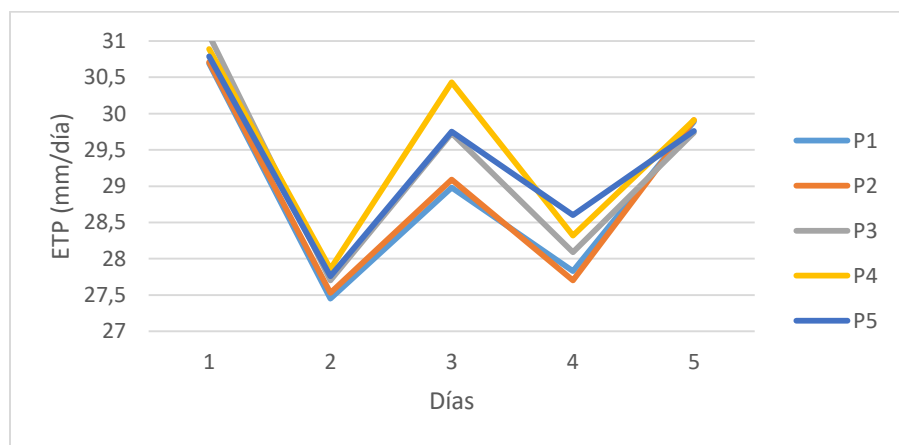


Figura 18 Temperaturas promedio en cada día desde los diferentes puntos de la zona La Esmeralda. Por: Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021

Las evapotranspiraciones en Catumare muestran nuevamente esta relación de la evapotranspiración con las temperaturas promedio registradas en cada uno de los puntos durante diferentes días, ya que se logra identificar la alta dependencia de la ETP con la condición del tiempo, resaltando el día 3 de toma de datos que corresponde al 23 de noviembre del 2020 (Ver Figura 19), en donde se registraron las temperaturas más altas en esta zona, los valores más bajos

de ETP corresponden a los días cuyas temperaturas descendieron cerca de 2°C por acción de breves precipitaciones en el día 5, los días 1, 3 y 4 presentaron oscilaciones soleadas y nubladas, es decir, las temperaturas no fueron tan altas por el hecho de que no fue un día totalmente soleado.

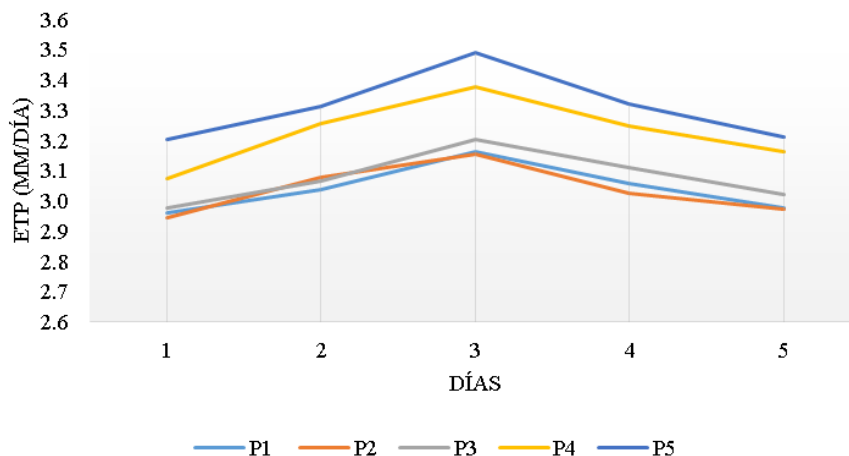


Figura 19 Evapotranspiración en los 5 días de toma de datos en Catumare distribuidos por los puntos asignados. Por: Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021

La zona de Cofrem, por su parte muestra un comportamiento más constante en los días 3, 4 y 5, con valores de ETP entre 2,3 mm/día a 2,5 mm/día (Ver Figura 20). Además, se logra identificar que esta zona cuenta con los valores más bajos de evapotranspiración en contraste de Catumare y Esmeralda. Sólo el día 2 demostró los mayores valores de ETP que corresponde a un día que se diferencia de los demás por la mayor incidencia de la temperatura del aire. Por otro lado, se pueden observar las diferencias de la ETP conforme varían los puntos, esto relacionado a la influencia del arbolado, debido a que en los puntos 1 y 5 se registraban temperaturas menores con diferencias de 0,5°C a 1,6°C por la presencia de árboles de gran tamaño que permitían proyectar mayor sombra y de esta manera reducir la temperatura de la zona.

La relación entre la evapotranspiración y las variables del arbolado urbano que están agrupadas en la biomasa, desde ya permiten asociar a que la ETP disminuye conforme lo hace la temperatura del aire, que es provocada ya sea por ubicarse en una zona en donde el arbolado esté generando una regulación de la temperatura por acción del volumen (altura y DAP) representada por la biomasa, o bien sea por acción del tiempo parcial (nublado con o sin precipitaciones y soleado). Sin embargo, la fase 3 de esta investigación abarca más sobre esta relación ETP – Biomasa.

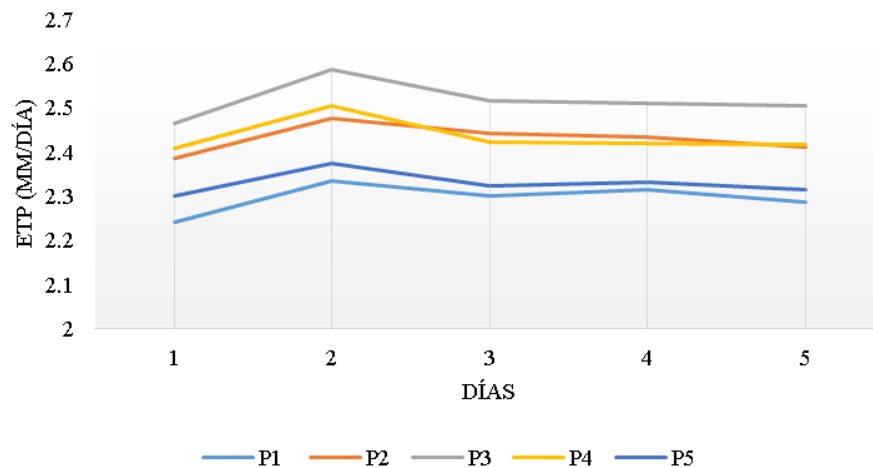


Figura 20 Evapotranspiración en la zona de Cofrem distribuida por días en diferentes puntos. Por: Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021

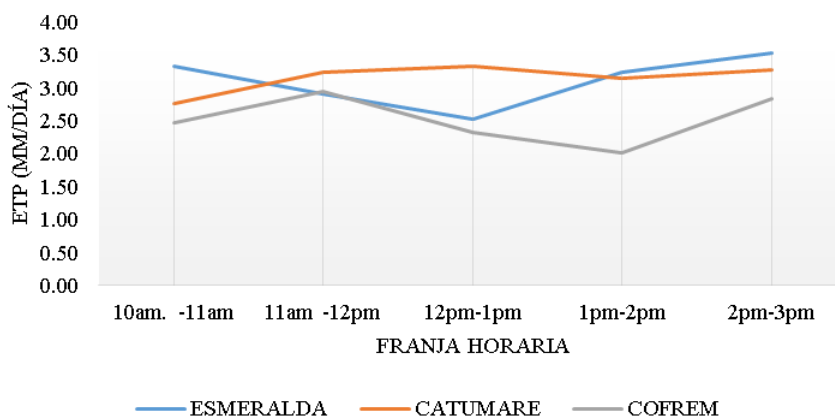


Figura 21 Evapotranspiración potencial distribuida desde las 10 am a 3 pm en las tres zonas de estudio. Por: Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021.

El comportamiento de la ETP en franja horaria (Ver Figura 21) indica que los valores más bajos de esta variable se encuentran en la zona Cofrem, los cuales inician su disminución a partir del mediodía, coincidiendo también con la zona de la Esmeralda. Catumare muestra ETP mayores que las demás zonas.

7.3 Tercera fase: Relacionar las variables micro climáticas con respecto a las variables del arbolado urbano en la ciudad de Villavicencio – Meta mediante una prueba de correlación.

7.3.1 Análisis de varianza ANOVA con respecto a la evapotranspiración potencial de los 5 puntos de cada estación del SVCAV (Esmeralda, Catumare y Cofrem).

Se emplearon análisis de varianzas para cada zona de estudio, evaluando los valores estimados de evapotranspiración potencial que posee los cinco puntos por zona, desde los cuales se puede determinar si existe una variabilidad significativa en las Tablas 12, 13 y 14 se presentan los resultados para las zonas de La Esmeralda, Catumare y Cofrem, respectivamente. El valor de p-crítico (α) es 0,05, la hipótesis nula (H_0) indica que las medias poblacionales son similares y la hipótesis alternativa (H_1) indica que una o dos poblaciones difiere en contraste con las demás.

Tabla 12 Análisis de varianza ANOVA empleada a la ETP de los 5 puntos ubicados en la estación Esmeralda.

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,180	4	0,045	0.177	0,947
Dentro de grupos	5,085	20	0,254		
Total	5,266	24			

Nota. por Jenny Gordillo & Sebastian Morales, 2021

Se observa que el valor de Sig (0,947) es mayor que $\alpha=0,05$ (Ver Tabla 12), por lo que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, indicando que la evapotranspiración potencial estimada en cada uno de los puntos de esta zona presentan similitudes significativas. Por otro lado, la zona de Catumare presentó el mismo comportamiento, las ETP estimadas en los puntos de esta zona tienen similitudes entre ellas, en donde se puede diferir que la evapotranspiración resulta ser casi similar (Ver Tabla 13).

Tabla 13 Análisis de varianza ANOVA empleada a la ETP de los 5 puntos ubicados en la estación Catumare.

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,333	4	0,083	0,978	0,441
Dentro de grupos	1,701	20	0,085		
Total	2,034	24			

Nota. por Jenny Gordillo & Sebastian Morales, 2021

Tabla 14 Análisis de varianza ANOVA empleada a la ETP de los 5 puntos ubicados en la estación Cofrem.

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,163	4	0,041	0,305	0,871
Dentro de grupos	2,671	20	0,134		
Total	2,834	24			

Nota. por Jenny Gordillo & Sebastian Morales, 2021

La zona de Cofrem también obtuvo un Sig mayor a $\alpha=0,05$, lo que indica una similitud significativa (Ver Tabla 14). Cada una de las estaciones muestra comportamientos significativos de similitud mediante el análisis ANOVA. Lo anterior soportado en resultados que ya fueron evaluados en relación con la ETP de los puntos de una zona en particular, teniendo en cuenta que varían sus valores con los cambios de temperatura, pero todos los puntos mostraron el mismo comportamiento.

7.3.2 Análisis de varianza ANOVA con respecto a la evapotranspiración potencial de las 3 estaciones del SVCAV (Esmeralda, Catumare y Cofrem)

Si bien los puntos no mostraron diferencias en el anterior análisis ANOVA por zona, se decidió realizar este análisis reuniendo las tres zonas para identificar si existe una variabilidad significativa. Para ello, se tomaron los valores promedio de las ETP de cada zona y se ejecutó el proceso en el software SPSS Statistics y se obtuvieron resultados presentes en la Tabla 15, desde donde se puede identificar que el Sig (0,0000000002) es menor a $\alpha=0,05$ y por ende se rechaza la hipótesis nula (H_0), evidenciando que las medias poblacionales difieren unas de otras.

Tabla 15 Análisis de varianza ANOVA empleada a la ETP de las 3 estaciones (Catumare, Cofrem y Esmeralda).

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	8,647	2	4,323	30,715	0,0000000002
Dentro de grupos	10,135	72	0,141		
Total	18,781	74			

Nota. por Jenny Gordillo & Sebastian Morales, 2021

7.3.3 Prueba de Tukey con respecto a la evapotranspiración potencial de las 3 estaciones del SVCAV (Esmeralda, Catumare y Cofrem)

A partir del ANOVA anterior, en el que se empleó el análisis de varianza en conjunto de las tres zonas y se obtuvieron resultados de diferencia significativa, se procedió a ejecutar la prueba de Tukey, para determinar cuáles zonas presentan mayores similitudes y cuales mayores diferencias.

Tabla 16 Prueba de Tukey empleada a la ETP de las 3 estaciones (Catumare, Cofrem y Esmeralda).

Estaciones	Diferencia de medias	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
				Límite inferior	Límite superior	
Esmeralda	Cofrem	,697927960302519*	0,1061	0,000000025	0,4440	0,9519
	Catumare	-0.04280469295591	0,1061	0,9143	-0,2968	0,2111
Cofrem	Esmeralda	-,697927960302519*	0,1061	0,000000025	-0,9519	-0,4440
	Catumare	-,740732653258429*	0,1061	0,000000009	-0,9947	-0,4868
Catumare	Esmeralda	0.042804692955911	0,1061	0,9143	-0,2111	0,2968
	Cofrem	,740732653258430*	0,1061	0,000000009	0,4868	0,9947

Nota. por Jenny Gordillo & Sebastian Morales, 2021

Se identificaron que las zonas de Esmeralda - Catumare presentan los valores de significancia (Sig = 0,9143) superiores al valor crítico $\alpha=0,05$, lo que indica un alto grado de similitud con relación a la evapotranspiración potencial. Casos contrarios los correspondientes a Cofrem – Catumare y Cofrem – Esmeralda, cuyos valores de significancia son de 0,000000009 y 0,000000025, respectivamente, que evidencian grados de diferencia significativa para estas relaciones (Ver Tabla 16).

7.3.4 Análisis de correlación de Spearman entre los valores de evapotranspiración potencial y biomasa aérea de cada punto de las tres estaciones del SVCAV (Esmeralda, Catumare y Cofrem).

Se realizaron pruebas de correlación de Spearman entre las variables de ETP y biomasa para cada una de las zonas de estudio, teniendo en cuenta los puntos de medición con un área de influencia de 20 metros a la redonda que contienen los valores promedios de biomasa y ETP, con el objeto de evaluar el comportamiento de asociación de éstas. En las tablas 17, 18 y 19, y las figuras 21, 22 y 23, correspondientes a las correlaciones en las zonas de estudio Esmeralda, Catumare y Cofrem; se obtuvieron valores de coeficientes de 0,200, 0,300 y 0,400 respectivamente, los cuales

indican una correlación positiva, es decir, si incrementan los valores de evapotranspiración potencial, de forma paralela, los valores de biomasa también.

Según (Martínez Ortega, Tuya Pendás, Martínez Ortega, Pérez Abreu, & Cánovas, 2009), el coeficiente de correlación es positivo cuando sus valores se encuentran en un rango de 0,0 a 1,0. Sin embargo, estas correlaciones tienen un comportamiento escaso y débil según rangos establecidos (Escaso 0-0,25; Débil 0,26-0,50; Moderada y Fuerte 0,51-0,75; Fuerte y Perfecta 0,76-1,00)

Tabla 17 Correlación de Spearman entre la ETP y la biomasa en la zona de la Esmeralda.

ESMERALDA				
			EPT (mm/día)	Biomasa (kg)
Rho de Spearman	EPT (mm/día)	Coeficiente de correlación	1,000	0,200
		Sig. (bilateral)		0,747
	Biomasa (kg)	Coeficiente de correlación	0,200	1,000
		Sig. (bilateral)	0,747	

Nota. por Jenny Gordillo & Sebastian Morales, 2021

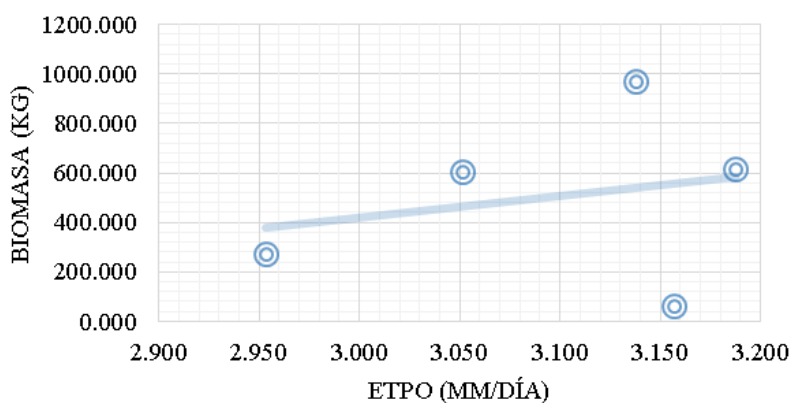


Figura 22 Diagrama de dispersión de ETP vs Biomasa en Esmeralda. Por: Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021

Por su parte, la zona de Catumare obtuvo un valor de 0,300 (Ver Tabla 18), indicando apenas una cifra más alta que la Esmeralda, la zona de Cofrem también incrementa sólo una cifra en su coeficiente en relación de Catumare (Ver Tabla 19), que se les atribuye es éstas últimas zonas con una correlación débil.

Tabla 18 Correlación de Spearman entre la ETP y la biomasa en la zona de la Esmeralda.

CATUMARE				
			ETP (mm/día)	Biomasa (Kg)
Rho de Spearman	ETP (mm/día)	Coefficiente de correlación	1,000	0,300
		Sig. (bilateral)		0,624
	Biomasa (Kg)	Coefficiente de correlación	0,300	1,000
		Sig. (bilateral)	0,624	

Nota. por Jenny Gordillo & Sebastian Morales, 2021

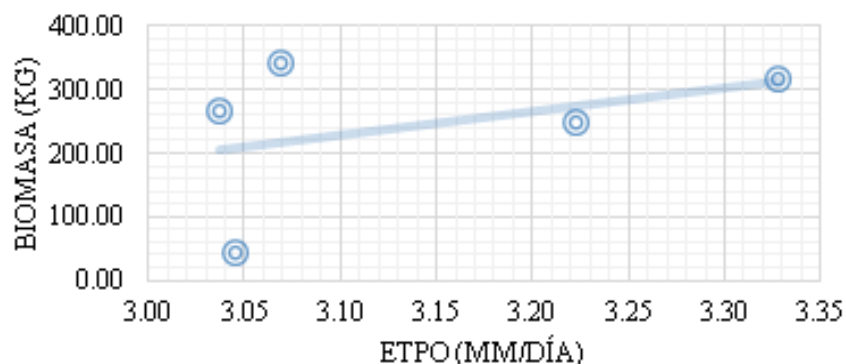


Figura 23 Diagrama de dispersión de ETP vs Biomasa en Catumare. Por: Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021

Tabla 19 Correlación de Spearman entre la ETP y la biomasa en la zona de Cofrem.

COFREM				
			ETP (mm/día)	Biomasa (Kg)
Rho de Spearman	ETP (mm/día)	Coefficiente de correlación	1,000	0,400
		Sig. (bilateral)		0,505
	Biomasa (Kg)	Coefficiente de correlación	0,400	1,000
		Sig. (bilateral)	0,505	

Nota. por Jenny Gordillo & Sebastian Morales, 2021

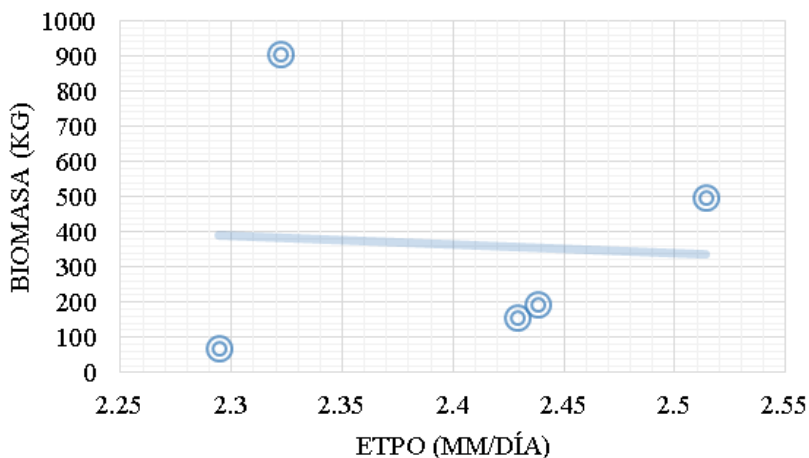


Figura 24 Diagrama de dispersión de ETP vs Biomasa en Cofrem. Por: Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021

La intensidad de la relación lineal entre dos variables expresada en el coeficiente de correlación es meramente un aspecto matemático que no implica causa y efecto. En este caso, el hecho de que la ETP y la biomasa tengan una correlación leve, no significa que una tenga un efecto tanto directo como indirecto sobre la otra (Martínez Ortega, et al., 2009), lo que sucede en este caso es que, la evapotranspiración potencial se ve influenciada por otras variables, de la misma forma sucede con la biomasa. La evapotranspiración potencial es una estimación del agua evaporada que proviene de la incidencia de la radiación solar y la temperatura sobre los sistemas vegetales, cuerpos de agua y el contenido de agua en el suelo (Aguilera, 2018).

Las variables de temperatura del aire y radiación solar incidente son contenidas en la ETP y la biomasa está constituida por las variables del arbolado urbano (DAP, altura total y densidad básica de la madera). En ese sentido, se evaluó la correlación entre estas dos variables en lo que finalmente resultó en correlaciones escasas y débiles en todas las zonas.

Se hubiese esperado observar correlaciones más fuertes entre la ETP y la biomasa, teniendo en cuenta que el arbolado urbano ofrece diversos servicios ecosistémicos, entre ellos, el aumento de la evapotranspiración (Escudero, 2019), por lo cual, si en algunos puntos de toma de datos se obtuvieron valores más altos de biomasa, se esperaba que también se observaran diferencias significativas en las evapotranspiraciones. El arbolado de una ciudad y dependiendo de las densidades del follaje y estado de copa, reducen la radiación solar hasta un 20% (Weber, et al., 2014), protegen a las personas de los rayos solares a través de la proyección de sombrero, reducen la temperatura que se experimenta bajo el árbol con una fuerte relación de la morfología en su

follaje (Jiménez González, 2008) y tienen una función de regulación bioclimática que promueve la humedad del aire mediante la absorción del agua por medio de las raíces y que se restituye por evapotranspiración (Reyes & Gutierrez, 2010).

Además, entre los factores climáticos que tienen efecto sobre los árboles y por ende la ETP están: radiación solar, temperatura del aire, humedad ambiental y velocidad del viento (Marín Valencia, 2010), y en el ámbito urbano los árboles juegan un importante rol de control de la radiación, teniendo en cuenta que del 100% de la energía solar incidente, éstos disipan por evapotranspiración el 20-40% (Ochoa de la torre, 1999).

De lo anterior, la ETP funciona como un mecanismo de los árboles en relación de un servicio ecosistémico para disminuir los efectos de la radiación y la temperatura, por ello, se aplicaron estas correlaciones, identificándose correlaciones escasas o débiles, a pesar de que el arbolado se relaciona técnicamente en la transpiración y ETP, no se observa una fuerte asociación lineal entre la cantidad de biomasa vegetal y los valores estimados de evapotranspiración para las zonas de estudio analizadas, siendo esta última influenciada principalmente por la temperatura y radiación solar (Ver Figuras 17 y 18), identificándose comportamientos similares entre temperatura del aire y ETP.

8. Conclusiones

La cuantificación del arbolado urbano permitió identificar un total de 704 individuos en las tres zonas, de los cuales el 71,16 % corresponde a tipo árbol, 18,60% se trata de arbustos y 10,05% pertenece a palmas. Las especies con el promedio mayor de altura corresponden a *Erythrina poeppigiana*, *Leucaena leucocephala* y *Albizia saman* con totales de 24, 22 y 21 metros respectivamente y paralelamente las mismas especies tienen los DAP promedio más altos con 76,39, 70,03 y 118,72 centímetros. El promedio de altura y DAP de todo el arbolado corresponde a 8,72 metros y 30,45 centímetros.

La biomasa total de las tres zonas fue de 211499,02 Kg (211,499 Ton) en donde Cofrem, Catumare y La Esmeralda constituyen el 3,89%, 19,64% y 76,47% respectivamente. La altura, DAP y la densidad básica de la madera son variables que inciden fuertemente en la variación de la biomasa entre especies, en donde los individuos con menores cifras de altura y DAP presentaban menores cantidades de biomasa en comparación con los árboles cuyos DAP y alturas rondaban los 58,89 – 142,28 centímetros y 15,8 – 25 metros que alcanzaban valores promedio de 2009,86 y 1679,16 Kg respectivamente. Se identificaron especies cuyos valores de biomasa promedio fueron los más altos de las zonas de estudio, con valores entre los 1207,79Kg para *Cedrela odorata* hasta los 5596,14 Kg para *Albizia saman*.

La ETP demostró comportamientos con unas diferencias leves en las tres zonas, Catumare obtuvo los valores promedio más altos de la ETP; con 3.5 mm/ día, seguido de la zona Esmeralda con valores hasta los 3.3 mm/día y finalmente, Cofrem registró la ETP con valores de 2,6mm/día. Se indicó que estos valores se relacionan directamente con la temperatura del aire y radiación solar, debido a que con mayores temperaturas la ETP aumenta pero estos valores disminuyen frente a la presencia de nubosidades, leves precipitaciones en las zonas y la presencia del arbolado ya que permiten la regulación de la temperatura a través de la proyección de la sombra.

El análisis ANOVA en cada zona permitió observar que la evapotranspiración potencial estimada en cada uno de los puntos por zona presentó similitudes significativas. El ANOVA general indicó diferencias de la ETP en las tres zonas de estudio, teniendo en cuenta que varían sus valores con los cambios de temperatura provocados por factores climáticos (nubosidades, precipitaciones y por factores vegetales asociados a los servicios ecosistémicos).

La prueba de Tukey identificó que las zonas de Esmeralda - Catumare presentan valores de significancia superiores al valor crítico $\alpha=0,05$, lo que indica un alto grado de similitud en relación con la evapotranspiración potencial. Casos contrarios los correspondientes a Cofrem – Catumare y Cofrem – Esmeralda, los cuales presentaron diferencias entre sí.

Las pruebas de correlación de Spearman entre las variables de ETP y biomasa para cada una de las zonas de estudio Esmeralda, Catumare y Cofrem; indicaron valores de coeficientes de 0,200, 0,300 y 0,400 respectivamente, los cuales mostraron una correlación positiva, es decir, si incrementan los valores de biomasa, también lo hace la evapotranspiración potencial. Sin embargo corresponden a correlaciones débiles. Lo cual permitió diferir que la evapotranspiración potencial se ve influenciada por otras variables (climáticas) que son ajenas a las variables con las que se estimó la biomasa que corresponden a variables dasométricas.

La relación que existe entre la ETP y la biomasa es principalmente adjudicada a la transpiración de las coberturas arbóreas y dado que la biomasa es un estimado de toda la materia orgánica en donde se incluye el tronco, ramas y hojas, la biomasa se relaciona más a procesos que facilitan conocer el contenido de carbono y fijación de dióxido de carbono. Los árboles absorben y transpiran agua, como un método natural que proporciona una regulación bioclimática, pero se encontró que con la metodología utilizada, la ETP se ve influenciada principalmente por los cambios en la radiación y la temperatura, siendo estas variables asociadas al arbolado urbano mediante el servicio de regulación de la temperatura en donde también ingresa la condición del clima local.

9. Referencias bibliográficas

- Aguilera, R. B. (13 de Julio de 2018). *Calibración de la ecuación de Hargreaves para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) en el Oasis Norte de Mendoza, Argentina*. [Tesis de Maestría, Universidad de Buenos Aires]. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n6468_Aguilera.pdf
- Allen, R. G. (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56*. Roma: Water Resources, Development and Management Service. <http://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>
- Arboleda, L. J., & Bustamante, A. M. (2019). Análisis del servicio ecosistémico de regulación de la temperatura en el microclima urbano que es suministrado por el arbolado en tres zonas de Villavicencio. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/22664>
- Barreto Ruiz, L. F., & Morales Villamil, P. A. (2017). *Comparación de metodologías para el cálculo de la evapotranspiración real, a partir de diferentes métodos de estimación como una herramienta para la toma de decisiones en la agricultura urbana, en el barrio hierbabuena (Villavicencio, Meta)*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9246/2017luisabarreto.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Benavides Meza, H., & Fernández Grandizo, D. Y. (2012). Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del Bosque de Chapultepec. *Madera y bosques*, 18(2), 51-71. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712012000200004
- Brown, S. (1997). *Estimating Biomass and Biomass Change Of Tropical Forests*. Illinois: Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.researchgate.net/publication/239974368_Estimating_Biomass_and_Biomass_Change_of_Tropical_Forests_A_Primer
- Castro Espinosa, M. L. (2011). *Pavimentos permeables como alternativa de drenaje urbano*. [Trabajo de grado, Pontifica Universidad Javeriana]. Repositorio. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7483/tesis599.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Catálogo Virtual de Flora del Valle del Aburrá. (2021). Información botánica y ecológica <https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/>
- CIRIA. (2015). *Información y reportes ecológicos*. Obtenido de <http://www.hrwallingford.com.cn/pdfs/news/CIRIA%20report%20C753%20The%20SuDS%20Manual-v2.pdf>
- CORMACARENA. (2020). Fichas técnicas de determinantes ambientales para el ordenamiento territorial municipal. Villavicencio.
- Cortés Cagueño, J. H., & Matias Barrientos, E. V. (2019). *Estimación de la capacidad potencial de fijación de CO₂ y producción de O₂, como servicio ecosistémico suministrado por el arbolado del parque los fundadores y la alameda de la avenida 40 en el municipio de Villavicencio (Meta)*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio.

- <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/18427/2019jhoncortes.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Di Stefano, C., & Ferro, V. (1997). Estimation of evapotranspiration by Hargreaves formula and remotely sensed data in semi-arid Mediterranean areas . *Journal of Agricultural Engineering Research*, 68(3) 189-199. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021863497901669>
- Domingo, F., Villagarcía, L., & Were, A. (2002). ¿Cómo se puede medir y estimar la evapotranspiración?: estado actual y evolución. *Ecosistemas: Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*. 12(1). <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/251>
- Duval, V. S., & Campo, A. M. (2017). Variaciones microclimáticas en el interior y exterior del bosque de caldén (*Prosopis caldenia*), Argentina. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 26(1), 37-49. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v26n1.42372>
- Duval, V.S., Benedetti, G.M., & Baudis, K. (2020). El impacto del arbolado de alineación en el microclima urbano. Bahía Blanca, Argentina. *Investigaciones Geográficas*, (73), 171-188. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.DBB>
- El Tiempo. (12 de Octubre de 2016). *Villavicencio, la ciudad con alto déficit de árboles en zona urbana*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/villavicencio-sin-arboles-48330>
- Escudero, A. (2019). *Estimación de los contenidos de biomasa del bosque urbano del tecnológico de Antioquia – Institución Universitaria*. [Trabajo de grado, Tecnológico de Antioquia]. Repositorio. <https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tda/472/Trabajo%20de%20grado%20Alejandro%20Escudero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- FINDETER. (2017). Financiera de Desarrollo <https://www.findeter.gov.co/documentos/202183/villavicencio/>
- Gallo Cabeza, M. E. (2017). *Servicios ecosistémicos del arbolado urbano del Carmen De Bolívar, Departamento de Bolívar*. [Trabajo de grado, Universidad de Sucre]. Repositorio. <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/596/1/T574.5268%20G%20172.pdf>
- González de Canales, C. P. (Noviembre de 2002). *Beneficios del Arbolado Urbano*. Obtenido de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/24578/1/Beneficios%20del%20arbolado%20urbano>.
- Gutiérrez Espeleta, E., & Wei Chou, S. (2013). Ecuación para estimar la biomasa arbórea en los bosques tropicales de Costa Rica. *Tecnología en marcha*, 26(2). 42-54. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835699.pdf>
- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 96-99. https://www.researchgate.net/publication/247373660_Reference_Crop_Evapotranspiration_From_Temperature
- IDEAM. (2012). *Estado de la calidad del aire en Colombia 2007-2010*. Bogotá D.C: Comité de comunicaciones y publicaciones del IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/68521396/5.+Informe+del+estado+de+la+calidad+del+aire+2007-2010.pdf/52d841b0-afd0-4b8e-83e5-444c3d17ed29?version=1.0>
- IDEAM. (2019). Documentos estadísticos de las principales ciudades y municipios. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudad>

- es+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a23591baee8c73fc
- Jiménez González, O. E. (2008). Índice de confort de la vegetación. *Nodo N° Volumen 3(5)*, 49-70. <http://revistas.uan.edu.co/index.php/nodo/article/view/21>
- Kirby, K., & Potvin, C. (2007). Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. *Forest Ecology and Management* , 208-221. https://krkirby.files.wordpress.com/2013/06/kirby_potvin_2007.pdf
- Konijnendijk, C., Nilsson, K., Randrup, T., & Schipperijn, J. (2005). *Urban Forests and Trees* . Frederiksberg, Denmark : Springer-Verlag.
- Kurn, D. M., Bretz, S. E., & Akbari, H. (1994). *The Urban Climatologist* <http://www.theurbanclimatologist.com/uploads/4/4/2/5/44250401/vegetativecooling.pdf>
- Locatelli , B., Kanninen, M., Brockhaus, M., Colfer, C., Murdiyarsa, D., & Santoso, H. (2009). Ante un futuro incierto: cómo se pueden adaptar los bosques y las comunidades al cambio climático. *Perspectivas Forestales*. Bogor, Indonesia: CIFOR. https://www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/BLocatelli0901.pdf
- Marín Valencia, V. (2010). *Evaluación de la relación entre la evapotranspiración potencial teórica y la evaporación registrada en los departamentos de Cundinamarca y valle del Cauca*. [Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio. <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis369.pdf>
- Martínez Ortega, R. M., Tuya Pendás, L. C., Martínez Ortega, M., Pérez Abreu, A., & Cánovas, A. M. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman Caracterización. *Habanera de Ciencias Médicas*, Volumen 8 N° 2. <http://www.revhabanera.sld.cu/index.php/rhab/article/view/1531>
- Mascaró, J. L., Mascaró , L., Martins, L., & Wessheimer, M. (2001). Arbolado urbano: aspectos ambientales. En F. Universidade Federal do Rio Grande do Sul , *Anales LINTA Volumen II* (págs. 51-54). <https://digital.cic.gba.gov.ar/handle/11746/901?locale-attribute=en>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Política Nacional sobre cambio climático*. <https://www.minambiente.gov.co/index.php/politica-nacional-de-cambio-climatico>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., M. d. (2020). *Cambio Climático*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/cambio-climatico/que-es-cambioclimatico/causas-del-cambio-climatico>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., M. d. (2020). *Convención sobre el Marco de las Naciones Unidas para el cambio climático*. <http://www.minambiente.gov.co/index.php/convencion-marco-de-naciones-unidas-para-el-cambio-climatico-cmnucc/historia-cmnucc>
- Molina Prieto, L. F., & Vargas Garzón, B. (2007). Árboles para Villavicencio, Especies que fortalecen la Estructura Ecológica Principal. *Revista Nodo N° 3, Volumen 2.*, 85-98. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3396687.pdf>
- Montes, L. J., & Zapata, A. M. (2018). *Análisis del servicio ecosistémico de regulación de la temperatura en el microclima urbano que es suministrado por el arbolado en tres zonas de Villavicencio*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/22664>

- Ochoa de la torre, J. (1999). Impacto de la vegetacion en el microclima urbano. En *La Vegetación como Instrumento para el Control Microclimático*. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93436/03JMot03de12.pdf>
- ONU. (1998). *Protocolo de Kioto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*. Obtenido de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- ONU. (2019). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/es/>
- Ortíz González, N. F., & Ríos Moreno, J. A. (2019). *Inventario preliminar de emisiones por fuentes móviles en ruta para la ciudad de Villavicencio*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/19512/2019neryortiz?sequence=6>
- Pabon, J. D. (2003). El cambio climatico global y su manifiestacion en Colombia. *Revista Colombiana de Ingenieria*, 111-119. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/10277>
- Penman, H. L., & Keen, B. A. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc.R.Soc.Lond*, 120-145. <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rspa.1948.0037>
- Reyes, I., & Gutierrez, J. J. (2010). Los servicios ambientales de la arborización urbana: retos y aportes para la sustentabilidad de la ciudad de Toluca. *Quivera*, 12(1) 96-102. <https://www.redalyc.org/pdf/401/40113202009.pdf>
- Samani, Z. (2000). Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 265-267. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9437%282000%29126%3A4%28265%29>
- Smith, W. H. (1990). *Air Pollution and Forests: Interactions between Air Contaminants and Forest Ecosystems*. New York: Springer.
- Theran Nieto, K. R., Rodríguez Potes, L., Mouthon Celedón, S., & Manjarrés de León, J. (19 de Noviembre de 2019). Microclima y Confort Térmico Urbano1. *Módulo Arquitectura CUC*. <https://revistascientificas.cuc.edu.co/moduloarquitecturacuc/article/view/2535/2495>
- Thorntwaite, C. (1948). An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, 55-94. <https://www.jstor.org/stable/210739>
- Tovar Corzo, G. (2007). Manejo del arbolado urbano en Bogotá. *Territorios*. (16-17) 149-173. <https://www.redalyc.org/pdf/357/35701709.pdf>
- Weber, F., Kowarik, I., & Säumel, I. (2014). Herbaceous plants as filters: Immobilization of particulates along urban street corridors. *Environmental Pollution*, (186), 234-240. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24398336/>
- Yepes, A. P., Navarrete, D. A., Duque, A. J., Phillips, J. F., Cabrera, K. R., Álvarez, E., . . . Ordoñez, M. F. (Julio de 2011). *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia*. http://www.ideam.gov.co/documents/13257/13548/Protocolo+para+la+estimaci%C3%B3n+nacional+y+subnacional_1.pdf/11c9d26b-5a03-4d13-957e-0bcc1af8f108

10. Lista de anexos

ANEXO A Radiaciones extraterrestres

Tabla 20 Radiaciones extraterrestres en Hemisferio Norte y Sur.

Latitud	HEMISFERIO NORTE												HEMISFERIO SUR											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	1.1	4.2	9.4	14.4	17.3	16.1	11.4	6.1	2.0	0.0	0.0	16.9	11.7	6.4	2.0	0.1	0.0	0.0	0.9	4.4	9.6	15.2	18.5
68	0.0	1.5	4.8	9.8	14.4	17.1	15.9	11.7	6.6	2.4	0.3	0.0	16.7	12.0	6.9	2.4	0.3	0.0	0.0	1.3	4.9	10.0	15.3	18.2
66	0.2	2.0	5.3	10.1	14.5	16.9	15.8	12.0	7.1	2.9	0.6	0.0	16.7	12.2	7.4	2.9	0.6	0.0	0.2	1.7	5.3	10.4	15.3	18.0
64	0.6	2.4	5.8	10.5	14.7	16.8	15.8	12.2	7.5	3.5	1.0	0.2	16.7	12.6	7.9	3.4	1.0	0.2	0.5	2.2	5.9	10.7	15.5	17.9
62	0.9	2.9	6.3	10.9	14.8	16.8	15.9	12.5	8.0	4.0	1.4	0.5	16.8	12.9	8.3	3.9	1.4	0.5	0.8	2.6	6.3	11.1	15.6	17.9
60	1.3	3.4	6.8	11.2	14.9	16.8	16.0	12.8	8.4	4.4	1.8	0.9	16.9	13.2	8.8	4.4	1.8	0.8	1.2	3.1	6.8	11.5	15.8	17.9
58	1.8	3.9	7.2	11.6	15.1	16.9	16.1	13.1	8.9	4.9	2.2	1.3	17.0	13.5	9.2	4.9	2.2	1.2	1.6	3.6	7.3	11.8	16.0	18.0
56	2.2	4.4	7.7	11.9	15.3	16.9	16.2	13.3	9.3	5.4	2.7	1.7	17.1	13.8	9.6	5.4	2.7	1.6	2.0	4.0	7.8	12.2	16.1	18.0
54	2.7	4.9	8.2	12.2	15.4	16.9	16.2	13.6	9.7	5.9	3.2	2.1	17.2	14.0	10.0	5.9	3.1	2.0	2.4	4.5	8.2	12.5	16.3	18.1
52	3.1	5.4	8.6	12.6	15.6	17.0	16.4	13.8	10.1	6.4	3.7	2.6	17.3	14.3	10.4	6.4	3.6	2.4	2.9	5.0	8.7	12.8	16.4	18.1
50	3.6	5.9	9.1	12.9	15.7	17.0	16.4	14.0	10.5	6.9	4.2	3.1	17.4	14.5	10.9	6.8	4.1	2.9	3.3	5.5	9.1	13.1	16.6	18.2
48	4.1	6.4	9.5	13.1	15.8	17.1	16.5	14.2	10.9	7.4	4.7	3.6	17.5	14.8	11.2	7.3	4.5	3.3	3.8	6.0	9.5	13.4	16.7	18.2
46	4.6	6.9	9.9	13.4	16.0	17.1	16.6	14.4	11.2	7.8	5.1	4.0	17.6	15.0	11.6	7.8	5.0	3.8	4.2	6.4	9.9	13.7	16.8	18.2
44	5.1	7.3	10.3	13.7	16.0	17.1	16.6	14.7	11.6	8.3	5.7	4.5	17.6	15.2	12.0	8.2	5.5	4.3	4.7	6.9	10.3	13.9	16.9	18.2
42	5.6	7.8	10.7	13.9	16.1	17.1	16.7	14.8	11.9	8.7	6.2	5.1	17.7	15.4	12.3	8.7	6.0	4.7	5.2	7.3	10.7	14.2	17.0	18.2
40	6.1	8.3	11.1	14.2	16.2	17.1	16.7	15.0	12.2	9.2	6.7	5.6	17.7	15.6	12.6	9.1	6.4	5.2	5.7	7.8	11.1	14.4	17.1	18.2
38	6.6	8.8	11.5	14.4	16.3	17.1	16.7	15.1	12.5	9.6	7.1	6.0	17.7	15.7	12.9	9.5	6.9	5.7	6.2	8.2	11.4	14.6	17.1	18.2
36	7.1	9.2	11.8	14.6	16.3	17.0	16.7	15.3	12.9	10.0	7.6	6.6	17.7	15.9	13.2	9.9	7.4	6.2	6.6	8.7	11.8	14.8	17.1	18.1
34	7.6	9.7	12.2	14.7	16.3	17.0	16.7	15.3	13.1	10.4	8.1	7.1	17.7	16.0	13.5	10.3	7.8	6.6	7.1	9.1	12.1	15.0	17.1	18.1
32	8.1	10.1	12.5	14.5	16.3	16.9	16.6	15.5	13.4	10.9	8.6	7.6	17.7	16.1	13.8	10.7	8.3	7.1	7.6	9.5	12.4	15.1	17.1	18.0
30	8.6	10.5	12.8	15.0	16.3	16.8	16.6	15.5	13.6	11.3	9.1	8.1	17.6	16.2	14.0	11.1	8.7	7.6	8.0	9.9	12.7	15.3	17.1	17.9
28	9.1	10.9	13.1	15.1	16.3	16.7	16.5	15.6	13.8	11.6	9.5	8.6	17.6	16.2	14.2	11.5	9.2	8.0	8.4	10.3	13.0	15.4	17.1	17.8
26	9.6	11.3	13.4	15.3	16.3	16.6	16.4	15.6	14.1	12.0	10.0	9.1	17.5	16.3	14.4	11.8	9.6	8.5	8.9	10.7	13.3	15.5	17.1	17.7
24	10.0	11.8	13.7	15.3	16.2	16.4	16.3	15.6	14.2	12.3	10.4	9.5	17.3	16.3	14.6	12.2	10.0	8.9	9.3	11.1	13.5	15.6	17.0	17.6
22	10.5	12.1	13.9	15.4	16.1	16.3	16.2	15.7	14.4	12.7	10.9	10.0	17.2	16.4	14.8	12.5	10.4	9.4	9.8	11.5	13.8	15.7	16.9	17.4
20	10.9	12.5	14.2	15.5	16.0	16.1	16.0	15.6	14.6	13.0	11.3	10.4	17.1	16.3	14.9	12.8	10.9	9.8	10.2	11.8	14.0	15.8	16.8	17.2
18	11.4	12.9	14.4	15.5	15.9	16.0	15.9	15.6	14.7	13.3	11.7	10.9	16.9	16.3	15.1	13.1	11.2	10.2	10.6	12.2	14.2	15.8	16.7	17.0
16	11.8	13.2	14.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6	14.9	13.6	12.1	11.4	16.8	16.3	15.2	13.4	11.6	10.7	11.0	12.5	14.4	15.8	16.6	16.8
14	12.2	13.5	14.7	15.6	15.7	15.6	15.6	15.5	15.0	13.8	12.5	11.8	16.6	16.2	15.3	13.6	12.0	11.1	11.4	12.8	14.5	15.8	16.4	16.6
12	12.6	13.8	14.9	15.5	15.5	15.3	15.3	15.4	15.1	14.1	12.9	12.2	16.4	16.2	15.4	13.9	12.3	11.5	11.8	13.1	14.7	15.8	16.2	16.3
10	13.0	14.1	15.1	15.5	15.3	15.1	15.1	15.3	15.1	14.3	13.2	12.7	16.1	16.0	15.4	14.1	12.7	11.9	12.2	13.4	14.8	15.7	16.0	16.1
8	13.4	14.4	15.2	15.4	15.1	14.8	14.9	15.2	15.2	14.5	13.6	13.1	15.9	15.9	15.5	14.3	13.0	12.2	12.5	13.6	14.9	15.7	15.8	15.8
6	13.8	14.6	15.3	15.3	14.9	14.6	14.7	15.1	15.2	14.7	13.9	13.4	15.6	15.8	15.5	14.5	13.3	12.6	12.9	13.9	15.0	15.6	15.6	15.5
4	14.1	14.9	15.3	15.3	14.7	14.3	14.4	14.9	15.2	14.9	14.2	13.8	15.3	15.6	15.5	14.7	13.6	13.0	13.2	14.1	15.1	15.5	15.3	15.2
2	14.4	15.1	15.4	15.1	14.4	14.0	14.1	14.7	15.2	15.1	14.5	14.2	15.1	15.5	15.5	14.9	13.9	13.3	13.5	14.4	15.1	15.4	15.1	14.9
0	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5

Nota. Adaptado de (Allen, 1998)

ANEXO B Especies de las áreas de estudio con su densidad básica y promedio de altura, DAP y biomasa.*Tabla 21 Especies de las tres zonas de estudio con valores promedio de alturas, DAP y Biomasa.*

Nombre	Nombre Científico	Individuos	Altura (m)	DAP (cm)	Densidad (g/cm ³)	Biomasa (Kg)	Biomasa promedio (Kg)
Acacia amarilla	Caesalpinia pluviosa	9	12,41	30,87	0,86	4295,36	477,26
Yopo	Anadenanthera peregrina	13	11,3	35,23	0,512	7498,57	576,81
Guanábano	Annona muricata	17	6,05	15,87	0,32	491,96	28,96
Araucaria	Araucaria heterophylla	7	10,54	30,23	0,44	1543,15	220,45
Patevaca	Bauhinia picta	17	8,57	29,09	0,603	4112,00	241,88
Palocruz	Brownea ariza	13	5,86	18,33	0,726	1008,64	77,59
Francesina	Brunfelsia pauciflora	3	4	14	0,6	67,95	22,63
Cañafistol	Cassia fistula	1	9	13,37	0,8	64,94	64,94
Yarumo	Cecropia engleriana	7	10,12	22,87	0,435	921,99	131,71
Cedro	Cedrela odorata	44	16	54,14	0,5	53142,83	1207,79
Ceiba	Ceiba pentandra (L.) Gaertner.	4	13,45	41,85	0,26	1328,91	332,22
Jobo	Centrolobium yavizanum	7	12	48,1	0,4	4924,74	703,53
Limón mandarino	Citrus × limonia	1	6	17,19	0,49	44,88	44,88
Limón	Citrus limon	6	4,11	17,45	0,49	210,75	35,11
Mandarina	Citrus reticulata	20	4,45	13,16	0,5	431,00	21,54
Naranja	Citrus sinensis	2	5,5	13,53	0,78	83,76	41,82
Cámbulo	Erythrina poeppigiana	1	24	76,39	0,3	1719,99	1719,99
Ficus	Ficus	6	4,76	57,13	0,46	3973,85	662,30
Higuerón	Ficus aurea	1	12	59,84	0,39	724,94	724,94
Ficus benjamina	Ficus benjamina	5	8,74	52,58	0,46	2383,35	476,67
Caucho	Ficus elastica	4	7,25	37	0,52	1124,40	281,10
Matapalo	Ficus lyrata	1	12	46,79	0,39	456,50	456,50
Parasol	Firmiana simplex	1	10	62,07	0,5	826,37	826,37
Mataratón	Gliricidia sepium	2	5,5	19,73	0,52	173,70	86,85
Trompillo	Guarea guidonia	1	9	11,14	0,56	32,96	32,96
Guámo	Inga spuria	6	7,66	21,22	0,5	548,61	91,43
Gualanday	Jacaranda hesperia	4	12	44,41	0,35	1781,65	445,41
Jazmín	Jasminum laurifolium	2	2,25	12,57	0,5	19,96	9,98

Tabla 21 (Continuación)

Leucaena	Leucaena leucocephala	1	22	70,03	0,45	1970,41	1970,41
Oití	Licania tomentosa	18	6,47	17,84	0,98	2721,44	151,19
Mango	Mangifera indica	58	10,3	42,6	0,55	35230,02	607,41
Mamoncillo	Melicoccus bijugatus	2	9	21,64	0,87	191,43	382,92
Mussaenda	Mussaenda	1	3	12,73	0,5	13,56	13,56
Mirto	Myrtus	5	4,32	22,53	0,79	933,63	186,72
Pino		1	4	10,19	0,6	13,87	13,87
Balso	Ochroma pyramidale	1	5	12,41	0,3	12,92	12,92
Aguacate	Persea americana	28	7,26	19,87	0,55	2635,66	94,13
Payandé	Pithecellobium dulce	16	10,75	46,13	0,64	11720,27	732,51
Laurel	Pittosporum undulatum	1	9	30,2	0,5	193,18	193,18
Lomo de caimán	Platypodium elegans	13	11,92	32,66	0,8	10279,46	790,72
Caimo madura-Verde	Pouteria caimito	1	9	22,92	0,7	157,80	157,80
Anime	Protium apiculatum	1	6	15,92	0,55	43,31	43,31
Guayabo	Psidium guajava	5	6,8	13,49	0,55	185,38	37,07
Zapote	Quararibea cordata	1	8	19,74	0,37	58,59	58,59
Tulipán africano	Spathodea campanulata	1	5	17,51	0,35	28,53	28,53
Pomarroso brasilero	Syzygium malaccense	35	9,36	31,52	0,56	10281,58	293,75
Apamate	Tabebuia rosea	23	8,31	31,19	0,54	8797,87	382,51
Molinillo	Talauma hernandezii	1	15	30,88	0,5	325,59	325,59
Almendro	Terminalia catappa	12	12,5	43,28	0,48	7401,27	616,77
Cojón de tigre	Thevetia ahouai	1	4	15,28	0,5	25,04	25,04
Tuya	Thuja orientalis	1	3	11,14	0,5	10,55	10,55
Malagueto	Xylopia sericea A. St.-Hil	1	7	17,83	0,5	56,64	56,64
Samán	Albizia saman	4	21	118,7	0,49	22384,57	5596,14
Palma Manila	Adonidia merrillii	7	8,17	23,23	n/a	133,17	19,02
Palma Pepire	Bactris gacipaes Humb. & Bonp.	1	9,8	50,93	n/a	23,10	23,10
Palma Bismarckia	Bismarckia nobilis	3	10,66	48,91	n/a	77,94	25,98
Palma de Coco	Cocos nucifera	9	7,76	22,45	n/a	157,76	17,52
Palma Fúnebre	Cycas revoluta	1	3	29,28	n/a	5,46	5,46

Tabla 21 (Continuación)

Palma Areca	Dypsis lutescens	4	6,25	10,9	n/a	53,84	13,46
Palma Manaca	Euterpe oleracea	1	12	15,92	n/a	29,57	29,57
Palma fénix	Phoenix canariensis	1	2	14,32	n/a	3,33	3,33
Palma Botella	Roystonea regia	38	10,39	33,53	n/a	959,13	25,24
Palma De Abanico	Washingtonia robusta	9	6,9	24,82	n/a	138,98	15,44

Nota. por Jenny Gordillo & Sebastian Morales, 2021

ANEXO C Relación categórica DAP vs Biomasa y Altura vs Biomasa

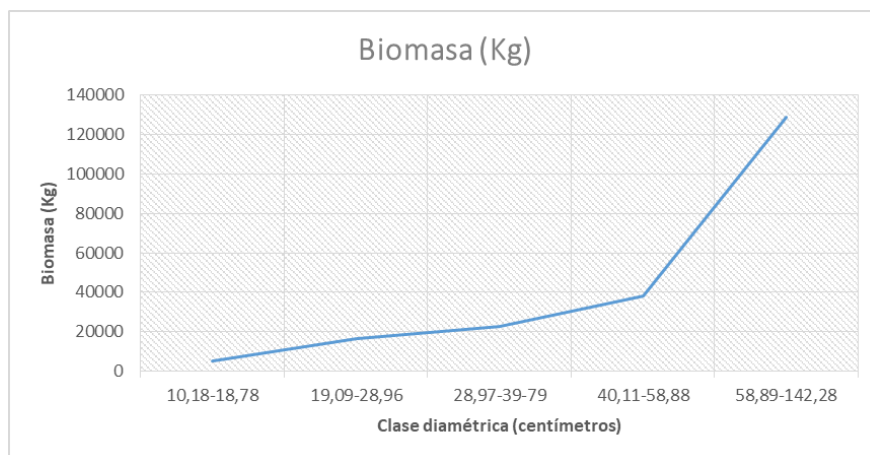


Figura 25 Comportamiento del DAP con las biomasa totales. Por Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021

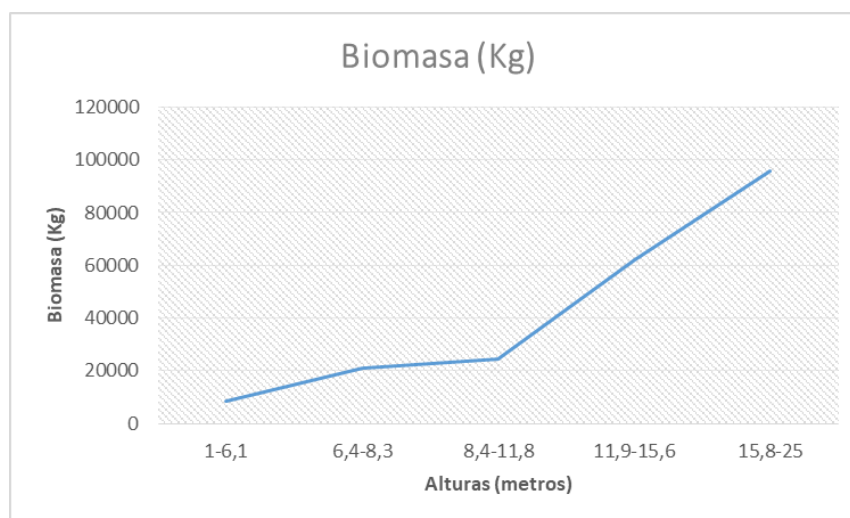


Figura 26 Comportamiento de las alturas con las biomasa totales. Por Jenny Gordillo & Sebastián Morales, 2021

ANEXO D Valores promedio de temperatura y evapotranspiración potencial.**Tabla 22** Temperaturas máximas, mínimas y promedios de evapotranspiración potencial en franja horaria de La Esmeralda.

Puntos	Hora	TA max (°C)	TA min (°C)	TA med (°C)	Radiación SI (mm/día)	ETP promedio (mm/día)	Prom ETP Punto 1 (mm/día)
1	10am - 11am	30,35	25,15	27,75	5,240	3,221	3,051
	11am - 12m	32,1	26,1	29,1	5,629	3,562	
	12m - 1pm	30,95	29,25	30,1	2,996	1,937	
	1pm - 2pm	30,3	25	27,65	5,290	3,245	
	2pm - 3 pm	30,75	25,4	28,075	5,315	3,290	
2	10am - 11am	30,8	25,85	28,325	5,113	3,182	3,138
	11am - 12m	31,75	26,4	29,075	5,315	3,362	
	12m - 1pm	31,1	27,65	29,375	4,268	2,717	
	1pm - 2pm	30,05	25,35	27,7	4,982	3,059	
	2pm - 3 pm	30,9	25,3	28,1	5,438	3,368	
3	10am - 11am	32,35	26,35	29,35	5,629	3,581	3,157
	11am - 12m	30,9	27,1	29	4,480	2,829	
	12m - 1pm	31,6	28,25	29,925	4,206	2,709	
	1pm - 2pm	30,15	25,55	27,85	4,929	3,036	
	2pm - 3 pm	31,8	25,45	28,625	5,791	3,628	
4	10am - 11am	32,3	26,75	29,525	5,414	3,457	3,187
	11am - 12m	30,7	27,55	29,125	4,078	2,583	
	12m - 1pm	32,3	28,9	30,6	4,237	2,767	
	1pm - 2pm	31,15	25,6	28,375	5,414	3,373	
	2pm - 3 pm	32,5	25,85	29,175	5,926	5,926	
5	10am - 11am	30,9	26,1	28,5	5,035	3,146	2,953
	11am - 12m	30,75	28,5	29,625	3,447	2,206	
	12m - 1pm	31,65	29	30,325	3,741	2,429	
	1pm - 2pm	31,1	25,45	28,275	5,462	3,396	
	2pm - 3 pm	31,8	25,6	28,7	5,722	3,590	

Nota. por Jenny Gordillo & Sebastian Morales, 2021

Tabla 23 *Temperaturas máximas, mínimas y promedios de evapotranspiración potencial en franja horaria de Catumare.*

Puntos	Hora	TA max (°C)	TA min (°C)	TA med (°C)	Radiación SI (mm/día)	ETP promedio (mm/día)	Prom ETP Punto 1 (mm/día)
1	10am - 11am	31,15	28,45	29,8	3,776	2,425	3,045
	11am - 12m	32,55	28,3	30,425	4,737	3,083	
	12m - 1pm	33,8	29,2	31,5	4,929	3,279	
	1pm - 2pm	32,6	28,15	30,375	4,848	3,151	
	2pm - 3 pm	33,2	28,45	30,825	5,008	3,286	
2	10am - 11am	31,65	29,15	30,4	3,633	2,363	3,037
	11am - 12m	33,65	28,75	31,2	5,087	3,364	
	12m - 1pm	33,6	28,2	30,9	5,340	3,509	
	1pm - 2pm	32,8	29,25	31,025	4,330	2,853	
	2pm - 3 pm	33,3	29,15	31,225	4,681	3,097	
3	10am - 11am	32,2	28,65	30,425	4,330	2,818	3,068
	11am - 12m	32,05	27,6	29,825	4,848	3,115	
	12m - 1pm	33,55	29,15	31,35	4,820	3,197	
	1pm - 2pm	33,05	29,25	31,15	4,480	2,959	
	2pm - 3 pm	33,65	29,1	31,375	4,902	3,253	
4	10am - 11am	32,2	28,65	30,425	4,330	2,818	3,222
	11am - 12m	33,35	28,65	31	4,982	3,281	
	12m - 1pm	33,15	28,65	30,9	4,875	3,204	
	1pm - 2pm	33,8	28,8	31,3	5,138	3,405	
	2pm - 3 pm	33,8	28,8	31,3	5,138	3,405	
5	10am - 11am	33,8	29,1	31,45	4,982	3,311	3,327
	11am - 12m	33,8	29,1	31,45	4,982	3,311	
	12m - 1pm	33,9	28,9	31,4	5,138	3,412	
	1pm - 2pm	34	29,4	31,7	4,929	3,292	
	2pm - 3 pm	33,8	29,1	31,45	4,982	3,311	

Nota. por Jenny Gordillo & Sebastian Morales, 2021

Tabla 24 *Temperaturas máximas, mínimas y promedios de evapotranspiración potencial en franja horaria de Cofrem.*

Puntos	Hora	TA max (°C)	TA min (°C)	TA med (°C)	Radiación SI (mm/día)	ETP promedio (mm/día)	Prom ETP Punto 1 (mm/día)
1	10am - 11am	32,35	29,7	31,025	3,7408241	2,465	2,294
	11am - 12m	32	29,25	30,625	3,8107521	2,490	
	12m - 1pm	32,6	30,8	31,7	3,0830503	2,059	
	1pm - 2pm	32,5	30,85	31,675	2,9517959	1,971	
	2pm - 3 pm	31,9	29,15	30,525	3,8107521	2,485	
2	10am - 11am	32,45	30	31,225	3,596892	2,380	2,429
	11am - 12m	32,5	30,05	31,275	3,596892	2,382	
	12m - 1pm	33,2	30,3	31,75	3,9133019	2,617	
	1pm - 2pm	31,7	30,3	31	2,7189948	1,791	
	2pm - 3 pm	33,3	29,5	31,4	4,4795682	2,974	
3	10am - 11am	32	29,45	30,725	3,6695638	2,403	2,514
	11am - 12m	32,15	29,8	30,975	3,5227213	2,319	
	12m - 1pm	33,55	30,25	31,9	4,1744698	2,800	
	1pm - 2pm	31,65	30	30,825	2,9517959	1,937	
	2pm - 3 pm	33,8	29,7	31,75	4,6530346	3,111	
4	10am - 11am	32,55	29,8	31,175	3,8107521	2,518	2,438
	11am - 12m	32,7	30,45	31,575	3,446955	2,297	
	12m - 1pm	33,1	31,25	32,175	3,1255771	2,108	
	1pm - 2pm	32,55	30,15	31,35	3,5599998	2,361	
	2pm - 3 pm	33,4	29,8	31,6	4,3600915	2,907	
5	10am - 11am	32,6	29,7	31,15	3,9133019	2,585	2,322
	11am - 12m	32,6	30,1	31,35	3,6334096	2,410	
	12m - 1pm	32,9	31,3	32,1	2,9067277	1,957	
	1pm - 2pm	32,25	30,6	31,425	2,9517959	1,957	
	2pm - 3 pm	32,4	29,2	30,8	4,1107337	2,696	

Nota. por Jenny Gordillo & Sebastian Morales, 2021

ANEXO E Registro fotográfico

