

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DEL AIRE, LA
HUMEDAD RELATIVA Y LA VELOCIDAD DEL VIENTO Y SU RELACIÓN CON EL
ARBOLADO URBANO PRESENTE EN TRES ZONAS DE VILLAVICENCIO



KATHERINE PAOLA SANCHEZ COPETE

MARIA CAMILA REYES DIAZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO
2020

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DEL AIRE, LA
HUMEDAD RELATIVA Y LA VELOCIDAD DEL VIENTO Y SU RELACIÓN CON EL
ARBOLADO URBANO PRESENTE EN TRES ZONAS DE VILLAVICENCIO

MARIA CAMILA REYES DIAZ
KATHERINE PAOLA SANCHEZ COPETE

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingenieras Ambientales

Director (a)
ANGÉLICA MARÍA BUSTAMANTE ZAPATA
Ingeniera Ambiental

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2020

Contenido

	Pág.
Resumen	9
Abstract.....	10
1. Contexto del trabajo.....	11
2. Objetivos.....	12
2.1 Objetivo General.....	12
2.2 Objetivos Específicos	12
3. Justificación	13
4. Alcance del proyecto	14
5. Elementos teóricos.....	16
Arbolado urbano y calidad ambiental.....	16
Funciones de las áreas verdes	16
Función del arbolado a escala de microclima urbano.....	17
6. Metodología.....	18
6.1 Método de investigación.....	18
6.2 Fases metodológicas	18
6.2.1 Fase I. Identificación del comportamiento en el tiempo de las variables microclimáticas	19
6.2.1.1 Procesamiento de los datos de las variables meteorológicas a estudiar.....	19
6.2.1.2 Estudio de los máximos y mínimos de las variables	22
6.2.2 Fase II. Análisis de la temperatura efectiva como indicador ambiental	24
6.2.2.1 Estimación de la temperatura efectiva.	24
6.2.2.2 Análisis estadístico ANOVA	25
6.2.3 Fase III. Determinación del aporte de arbolado urbano en la regulación térmica por medio de la abundancia relativa, la abundancia absoluta y modelación espacial.	26
6.2.3.1 Estimación de abundancia relativa y abundancia absoluta.	26
6.2.3.2 Modelación espacial del arbolado.....	27

6.2.3.3 Estimación de la reducción de temperatura efectiva bajo el árbol con base a bibliografía secundaria para determinar el aporte del arbolado en la regulación térmica.	27
7. Resultados y análisis.....	29
7.2 Fases metodológicas	29
7.2.1 Fase I. Identificación del comportamiento en el tiempo de las variables microclimáticas.	29
7.2.1.1 Procesamiento de los datos de las variables meteorológicas a estudiar.....	29
7.2.1.2 Estudio de los máximos y mínimos de las variables.....	30
7.2.2 Fase II. Análisis de la temperatura efectiva como indicador ambiental	37
7.2.2.1 Estimación de la temperatura efectiva.	37
7.2.2.2 Análisis estadístico ANOVA.	40
7.2.3 Fase III. Determinación del aporte de arbolado urbano en la regulación térmica por medio de la abundancia relativa, la abundancia absoluta y modelación espacial.	44
7.2.3.1 Estimación de abundancia relativa y abundancia absoluta.	44
7.2.3.2 Georreferenciación y espacialización del arbolado.	47
7.2.3.3 Estimación de la temperatura efectiva bajo el árbol con base a bibliografía secundaria.	48
8. Conclusiones.....	53
Bibliografía.....	55
Anexos	58

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Coordenadas geográficas de las estaciones del SVCAV.	14
Tabla 2. Categorías de interpretación para la determinación de anomalías.	23
Tabla 3. Índice categórico según el rango de comportamiento.	24
Tabla 4. Hipótesis del análisis estadístico ANOVA.	25
Tabla 5. Barrios más cercanos a las estaciones del SVCAV	27
Tabla 6. Numero de datos faltantes por estación.	29
Tabla 7. Matriz del índice categórico para determinar los fenómenos de variabilidad climática.	35
Tabla 8. Nivel de intensidad del fenómeno del Niño.	36
Tabla 9. Nivel de intensidad del fenómeno del Niña	36
Tabla 10. Comportamiento de la Temperatura efectiva máxima mensual plurianual en las tres estaciones.	39
Tabla 11. Comportamiento de la Temperatura efectiva mínima mensual plurianual en las tres estaciones.	40
Tabla 12. ANOVA del índice de temperatura efectiva máxima promedio en el 2017, 2018 y 2019 para las estaciones La esmeralda, Cofrem y Catumare.	40
Tabla 13. ANOVA del índice de temperatura efectiva mínima promedio en el 2017, 2018 y 2019 para las estaciones La esmeralda, Cofrem y Catumare.	41
Tabla 14. Datos de temperatura efectiva mínima promedio	43
Tabla 15. Inventario de las especies forestales más representativas en la estación La Esmeralda según los índices de abundancia relativa y absoluta.	44
Tabla 16. Inventario de las especies forestales más representativas en la estación de Cofrem según los índices de abundancia relativa y absoluta.	45
Tabla 17. Inventario de las especies forestales más representativas en la estación Catumare según los índices de abundancia relativa y absoluta.	46
Tabla 18. Índice de similitud entre estaciones por Bray-curtis.	47

Tabla 19. Datos de reducción de temperatura para las especies más representativas de la estación La Esmeralda. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020.....	49
Tabla 20. Datos de reducción de temperatura para las especies más representativas de la estación de Catumare.	50
Tabla 21. Datos de reducción de temperatura para las especies más representativas de la estación Cofrem. Por: Sanchez & Reyes, 2020	51
Tabla 22. Datos mensuales plurianuales de temperatura del aire	58
Tabla 23. Datos mensuales plurianuales de humedad relativa.....	59
Tabla 24. Datos mensuales plurianuales de velocidad del viento	60
Tabla 25. Datos máximos y mínimos mensuales plurianuales de temperatura del aire. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020.....	61
Tabla 26. Datos máximos y mínimos mensuales plurianuales de humedad relativa. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020.....	62
Tabla 27. Datos máximos y mínimos mensuales plurianuales de velocidad del viento. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020.....	63
Tabla 28. Datos de temperatura efectiva máxima promedio.....	64
Tabla 29. Datos de temperatura efectiva mínima promedio	65
Tabla 30. Método Tukey para la temperatura efectiva máxima promedio desde el 2017 hasta el.....	66
Tabla 31. Método Tukey para la temperatura efectiva mínima promedio desde el 2017 hasta el	66
Tabla 32. Cantidad de arbolado por familia más representativas en la estación La Esmeralda. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020	66
Tabla 33. Cantidad de arbolado por familia más representativas en la estación Cofrem. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020.....	67
Tabla 34. Cantidad de arbolado por familia más representativas en la estación Catumare. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020.....	67
Tabla 35. Información secundaria utilizada para la reducción de temperatura efectiva por especie.....	67

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Áreas de estudio en la ciudad de Villavicencio a partir del software ArcGis 10.3, bajo la licencia adquirida por la Universidad Santo Tomás	15
Figura 2. Diagrama metodológico del proyecto.....	19
Figura 3. Análisis grafico de los valores máximo, promedios y mínimos de temperatura de aire durante el 2017-2019	30
Figura 4. Análisis grafico de los valores máximos, promedios y mínimos de humedad relativa durante el 2017-2019	32
Figura 5. Análisis grafico de los valores máximos, promedios y mínimos de velocidad del viento durante el 2017-2019	33
Figura 6. Temperatura efectiva mensual plurianual.....	38
Figura 7. Cantidad de individuos por especies en la estación de La Esmeralda.....	45
Figura 8. Cantidad de individuos por especies en la estación de Cofrem.....	46
Figura 9. Geoposicionamiento de las especies más representativas en la estación de La Esmeralda y su reducción de temperatura	48
Figura 10. Geoposicionamiento de las especies más representativas en la estación de Catumare	50
Figura 11. Geoposicionamiento de las especies más representativas en la estación de Cofrem. .	51

Lista de anexos

	Pág.
Anexo A. Datos mensuales plurianuales de las variables en estudio.....	58
Anexo B. Datos máximos y mínimos mensuales plurianuales de las variables en estudio	61
Anexo C. Datos de temperatura efectiva máxima y mínima	64
Anexo D. Método Tukey para la temperatura efectiva máxima y mínima promedio.....	66
Anexo E. Familias más representativas por estación	66
Anexo F. Información secundaria de temperatura efectiva	67

Resumen

Este trabajo se presenta en modalidad de Auxiliatura de Investigación en el marco del proyecto de investigación FODEIN de la Facultad de Ingeniería Ambiental, titulado como “Análisis del servicio ecosistémico de regulación de la temperatura en el microclima urbano que es suministrado por el arbolado en tres zonas de Villavicencio” el cual busca reconocer la importancia de la presencia del arbolado urbano en los espacios públicos al aire libre en el municipio de Villavicencio (Arboleda & Bustamante, 2019). Esta Auxiliatura de investigación realizó aportes a la Fase II (ítems 1,2,6 y 7) y Fase III (ítems 3 y 5) del proyecto FODEIN en mención, además contribuye con un indicador ambiental adicional a los planteados en el proyecto mencionado.

Con el interés de identificar la variación entre la temperatura del aire, velocidad del viento y humedad relativa se plantearon tres fases que conformaron los objetivos específicos del mismo. Inicialmente se obtuvieron los datos de las estaciones de Catumare, Cofrem y La Esmeralda, cuyas series de tiempo fueron completadas para cada variable en mención con los métodos de estimación de datos faltantes de la razón normal y el inverso a la distancia (IDW) en la franja horaria de 6 a.m. a 17 p.m. Se estudió el comportamiento de los datos anómalos expresados en gráficos de máximos y mínimos y se culminó con el cálculo de temperatura efectiva, abundancia relativa y absoluta con los datos del inventario del arbolado urbano de la Secretaria de Ambiente del municipio de Villavicencio para concluir con mapas térmicos que zonificaron las áreas.

Los resultados indican la presencia del fenómeno de La Niña en el año 2018 y el fenómeno de El niño en el año 2019 en las tres estaciones, además el área con mayor reducción en la temperatura efectiva teniendo en cuenta las especies más representativas fue La Esmeralda ya que obtuvo una reducción de temperatura efectiva máxima de 2.07 debido a la presencia de especies tales como el yopo y el cedro las cuales concluyen que entre mayor sea la altura y la circunferencia a la altura del pecho mayor será la reducción de temperatura efectiva en esa estación.

Palabras Clave: Regulación térmica, Microclima Urbano, Arbolado Urbano.

Abstract

This work is presented in the form of Research Aid within the framework of the FODEIN research project of the Faculty of Environmental Engineering, entitled as "Analysis of the ecosystem service of temperature regulation in the urban microclimate that is supplied by the woodland in three areas of Villavicencio" which seeks to recognize the importance of the presence of urban woodland in outdoor public spaces in the municipality of Villavicencio (Arboleda & Bustamante, 2019). This Research Support made contributions to Phase II (items 1, 2, 6 and 7) and Phase III (items 3 and 5) of the FODEIN project in mention, in addition it contributes with an additional environmental indicator to those raised in the project mentioned.

With the interest of identifying the variation between air temperature, wind speed and relative humidity, three phases were proposed that formed the specific objectives of the same. Data were initially obtained from the Catumare, Cofrem and La Esmeralda stations, whose time series were completed for each variable mentioned with the missing data estimation methods of the normal and inverse ratio at distance (IDW) in the time range from 6 a.m. to 17 p.m. The behavior of the anomalous data expressed in graphs of maxima and minima was studied and culminated with the effective temperature calculation, relative and absolute abundance with the inventory data of the urban woodland of the Secretary of Environment of the municipality of Villavicencio to conclude with thermal maps that zoned the areas.

The results indicate the presence of the La Niña phenomenon in 2018 and the El Niño phenomenon in 2019 in the three seasons, and the area with the greatest reduction in effective temperature taking into account the most representative species was La Esmeralda. that obtained a maximum effective temperature reduction of 2.07 due to the presence of species such as yopo and cedar, which conclude that the greater the height and circumference at chest height, the greater the effective temperature reduction in that season .

Key Word: Thermal regulation, Urban Microclimate, Urban Trees, Air Temperature, Wind Speed, Relative Humidity.

1. Contexto del trabajo

Bajo los objetivos del proyecto FODEIN de la Universidad Santo Tomas titulado como “Análisis del servicio ecosistémico de regulación de la temperatura en el microclima urbano que es suministrado por el arbolado en tres zonas de Villavicencio” (Bustamante & Arboleda, 2019). Esto se realiza en el marco de la problemática acerca del aumento de temperaturas estimado por El Plan Regional Integral de Cambio Climático para la Orinoquia (PRICCO) del 2017 el cual, advierte que bajo el escenario realista RCP 4,5 Villavicencio tendrá para el año 2100 un incremento en su temperatura máxima anual de 1,4 a 1,49°C (Cormacarena, 2018)

Se pretende “analizar el comportamiento de las variables características del microclima urbano y comprender su interrelación mediante un índice térmico denominado temperatura efectiva el cual tiende a variar bajo la copa del árbol, dado el servicio ecosistémico de regulación de la temperatura que suministran los árboles”. Para ello el indicador de temperatura efectiva se relacionó con las especies más representativas (entendiéndose como representativas a las especies o familias con mayor número de individuos o especímenes) de arbolado en cada zona de estudio, que han sido determinadas a partir de los indicadores de abundancia relativa y absoluta, de las cuáles se estudia la disminución bajo la copa del árbol, observando cuál es el efecto de la presencia de la especie en cada zona de estudio.

Esto se realiza en el marco de la problemática acerca del aumento de temperaturas estimado por El Plan Regional Integral de Cambio Climático para la Orinoquia (PRICCO) del 2017 el cual, advierte que bajo el escenario realista RCP 4,5 Villavicencio tendrá para el año 2100 un incremento en su temperatura máxima anual de 1,4 a 1,49°C (Cormacarena, 2018) Todo esto contemplando la idea de que el clima y vegetación son variables del espacio físico que poseen una relación dinámica y de interdependencia (Duval, 2016). Todo esto contemplando la idea de que el clima y vegetación son variables del espacio físico que poseen una relación dinámica y de interdependencia (Duval, 2016).

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Analizar el aporte que genera la presencia del arbolado en el comportamiento de las variables velocidad del viento, humedad relativa y temperatura del aire en 200 metros alrededor de las estaciones Catumare, Cofrem y La Esmeralda pertenecientes al SVCAY.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar la evolución en el tiempo de las variables temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento en cada área de estudio, mediante el análisis estadístico de los registros obtenidos en el SVCAY.
- Analizar el comportamiento de las variables temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento, mediante el indicador de temperatura efectiva.
- Determinar el aporte del arbolado urbano en la regulación térmica mediante la estimación de la abundancia relativa, la abundancia absoluta y modelación espacial.

3. Justificación

La temperatura de una ciudad puede elevarse hasta 6°C como resultado del conjunto de las siguientes acciones: reemplazo de la vegetación por asfalto, concreto y otras superficies impermeables, lo que provoca una gran absorción de la radiación solar, así como la verticalización de construcciones (edificios) que puede formar una barrera para la circulación del aire (Francisco, 2020). El hormigón absorbe una gran cantidad de radiación solar (aproximadamente el 98% de la radiación que llega a la superficie), mientras que las áreas verdes pueden disipar esta energía (Francisco, 2020), es decir, son un factor bioclimático determinante en la intensidad de la isla de calor (Casadei, 2017)

El entorno en que se desarrolla la ciudad de Villavicencio cuenta con zonas de gran valor ecológico y paisajístico, como sistemas de humedales, caños, el entorno de los ríos Guatiquía y Ocoa, entre otros (Findeter, 2016), pese a presentar gran cantidad de áreas verdes identificadas como espacio público, la ciudad presenta un valor menor del promedio nacional con 4.3 m² de espacio público por habitante, conteniendo tan solo 2.5 m² (Findeter, 2016), lo anterior, se presenta aun cuando el Decreto 1504 de 1998 en su artículo 5, menciona que los elementos constitutivos naturales son las áreas especiales de interés ambiental y elementos complementarios tales como la vegetación natural e intervenida; por último, la ciudad de Villavicencio no cuenta con un Plan Maestro de Espacio Público el cual podría proporcionar un inventario que cumpla plenamente con las políticas y estrategias de regulación en la ciudad (Findeter, 2016).

Se pretende, por tanto, analizar el aporte del arbolado en el microclima urbano, considerando variables como humedad relativa, velocidad del viento, temperatura del aire con el fin de dar a conocer el desempeño ambiental que este brinda en un área no superior a 200 metros alrededor de las únicas tres estaciones con las que cuenta el sistema de Vigilancia y Calidad del Aire de CORMACARENA ubicadas en la ciudad de Villavicencio bajo el argumento que se considera al arbolado como un recurso eficiente contra el calor en la ciudad, el cual -además de sombrear- permite el paso de la brisa local, absorbe de manera eficaz la radiación térmica de onda larga, emitida por las superficies calentadas por la radiación solar, y contribuye a enfriar el recinto urbano por medio de la evapotranspiración. (Luise Martins, 2001)

4. Alcance del proyecto

Esta Auxiliatura de investigación estuvo orientada a analizar el aporte que genera la presencia del arbolado en el comportamiento de las variables velocidad del viento, humedad relativa y temperatura del aire en 200 metros alrededor de las estaciones Catumare, Cofrem y La Esmeralda pertenecientes al SVCAV, analizando su correlación mediante el uso de un indicador ambiental térmico para así determinar el aporte del arbolado urbano en la regulación térmica. Con los datos obtenidos se espera contribuir a la realización de las fases 2 y 3, del proyecto de investigación FODEIN. El proyecto se llevó a cabo en el departamento del Meta en la ciudad de Villavicencio ubicada en las coordenadas Latitud: 4°8'31.2" Norte Longitud: 73° 37' 59" Oeste, en el piedemonte de la cordillera oriental, posee temperaturas promedio de 28 a 30 grados centígrados, y tiene una altitud media de 467 m.s.n.m. El proyecto se ejecutó en los 200 metros a la redonda de las estaciones del Servicio de Vigilancia y Calidad del Aire de Villavicencio (SVCAV) correspondientes a Catumare, Cofrem y La Esmeralda en el departamento del Meta.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de las estaciones del SVCAV.

<i>Barrio</i>	<i>Comuna Coordenadas</i>	
<i>Catumare</i>	8	4°16'17,26"N 73°64'58,32"O
<i>Cofrem</i>	3	4°08'46,22"N 73°62' 10,19"O
<i>La Esmeralda</i>	1	4°10'59,09"N 73°65' 57,60"O

Nota: posición geográfica de las estaciones a estudiar en la ciudad de Villavicencio-Meta. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

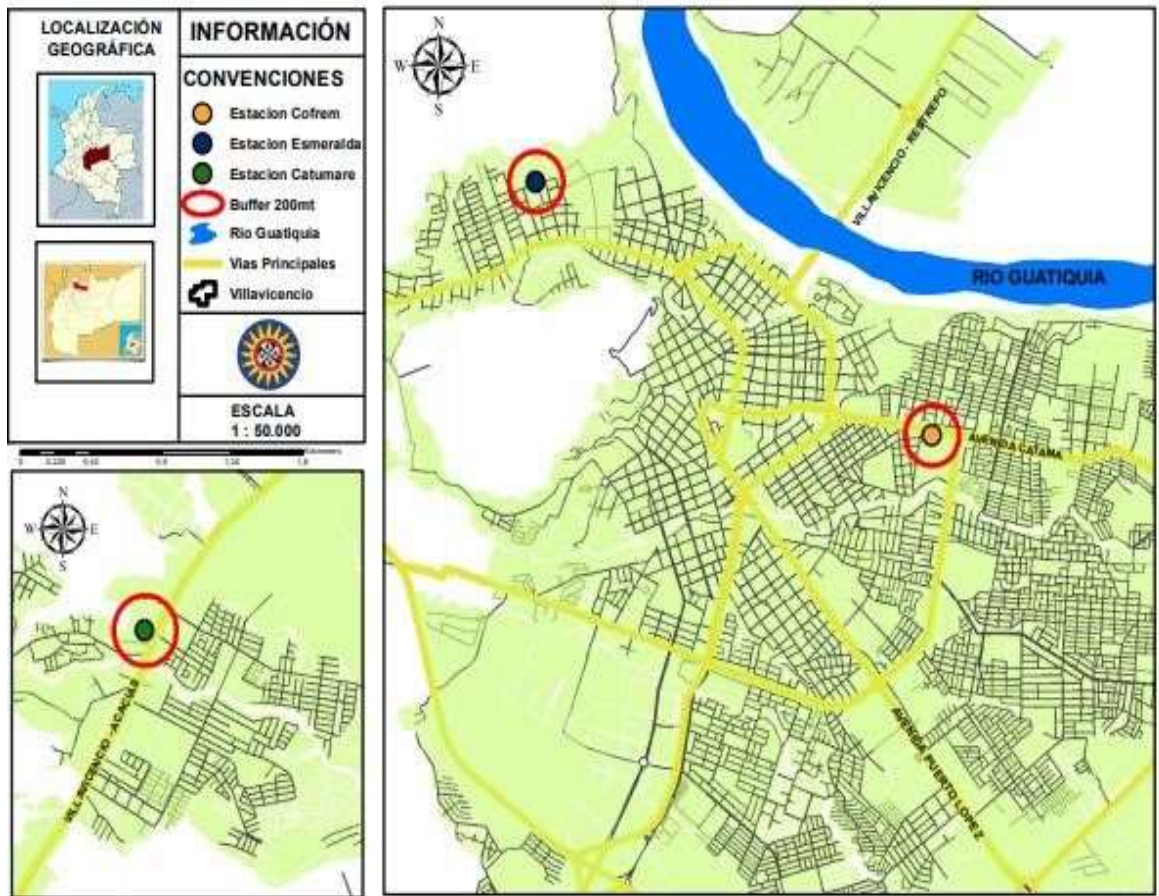


Figura 1. Áreas de estudio en la ciudad de Villavicencio a partir del software ArcGis 10.3, bajo la licencia adquirida por la Universidad Santo Tomás. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

5. Elementos teóricos

Arbolado urbano y calidad ambiental

El arbolado es una de las tácticas utilizadas para contrarrestar el calor en las ciudades, más que todo en las de climas húmedos subtropicales, el arbolado además de la generación de sombra ayuda al flujo de la brisa de la ciudad y a la absorción tanto de la radiación solar directa como la radiación solar reflejada por las superficies que componen la ciudad (Mascaré & Mascaré, 2001). En las ciudades se utilizan árboles de gran tamaño que alcanzan a igualar la altura de algunos edificios y a pesar de ello la sombra proyectada por los edificios no es tan significativa como la sombra generada por el arbolado (Mascaré & Mascaré, 2001).

Funciones de las áreas verdes

Las áreas verdes son parte importante en la planificación y generación de áreas públicas en las ciudades, estos espacios además de generar áreas de integración ciudadana suministran servicios ecosistémicos que ayudan a la reducción de la temperatura (Colodro, 2014).

Función recreativa y de esparcimiento

Principalmente las áreas verdes están constituidas por varios componentes que hacen parte importante del paisaje urbano de la ciudad, desde la parte vegetal teniendo en cuenta la participación de los árboles, arbustos o pastos, a los aspectos e infraestructuras urbanas como las bancas, basureros, juegos infantiles y espacios para practicar todo tipo de deportes. La importancia del desarrollo como la generación de áreas verdes reside en que esta genera efectos positivos especialmente en la salud y promueve la conciencia ambiental (Mivah, 2016).

Función ambiental

La vegetación cuenta con algunas limitaciones que se traducen en ambigüedad, esto considerando que la planificación actual aún se rige bajo el concepto en el cual se controla el uso de vegetación en las zonas urbanas, dando así más estímulo a la construcción de edificaciones,

autopistas y estacionamientos sin tener alguna consideración de todas las cualidades positivas de la vegetación como lo son el servicio ornamental y paisajístico (Soto, 2011).

Regulador climático

Los espacios verdes sin duda alguna cumplen varias funciones que permiten el funcionamiento regular de las ciudades ya que estas actúan como neutralizantes de varios contaminantes y productos de la actividad antrópica. Además las áreas verdes urbanas representan un ente que participa en todos los medios ambientales tales como en el aire ya que son reguladores térmicos, contaminación sónica, mejoramiento de la calidad del aire, en el medio suelo aumentan la biodiversidad y proveen de alimento y habitat a la fauna silvestre y reducen la erosión del suelo (Soto, 2011).

Función del arbolado a escala de microclima urbano

El aumento de las superficies no transpirables es una de las principales causas por la cual se produce pérdida de la vegetación generando por tanto empobrecimiento en el proceso de evapotranspiración y acumulación de calor en la superficie expuesta (Matzarakis, 2007). El pasto es fundamental en el microclima urbano siendo uno de los elementos capaz de obstruir el paso de los rayos solares que van directo al suelo (Armson, 2012). En un ejemplo que se realizó en la ciudad de Basel (Suiza), se pudo manifestar el papel que juega la sombra del arbolado en la reducción de la temperatura del aire, debido a que según el estudio en días de verano las superficies con presencia de arbolado reducían en un 1°C la temperatura con respecto a superficies duras (Palomino, 2013)

6. Metodología

6.1 Método de investigación

La metodología se basa en el método cuantitativo debido al uso continuo de la estadística descriptiva básica (cálculos de promedio, máximos y mínimos) y multivariada (análisis ANOVA, razón normal e interpolación IDW) y al uso de información secundaria para el análisis de temperatura efectiva bajo la influencia de los individuos arbóreos presentes en cada zona de estudio.

6.2 Fases metodológicas

La metodología aplicada se desarrolla bajo el marco del megaproyecto “Análisis del servicio ecosistémico de regulación de la temperatura en el microclima urbano que es suministrado por el arbolado en tres zonas de Villavicencio “ (Arboleda & Bustamante, 2019) la contribución que realiza esta Auxiliatura a dicho proyecto, se describe en las siguientes fases (Figura 2), Fase 1: Identificación del comportamiento en el tiempo de las variables microclimáticas, Fase 2: Análisis de la temperatura efectiva como indicador ambiental y Fase 3: Determinación del aporte del arbolado urbano en la regulación térmica.

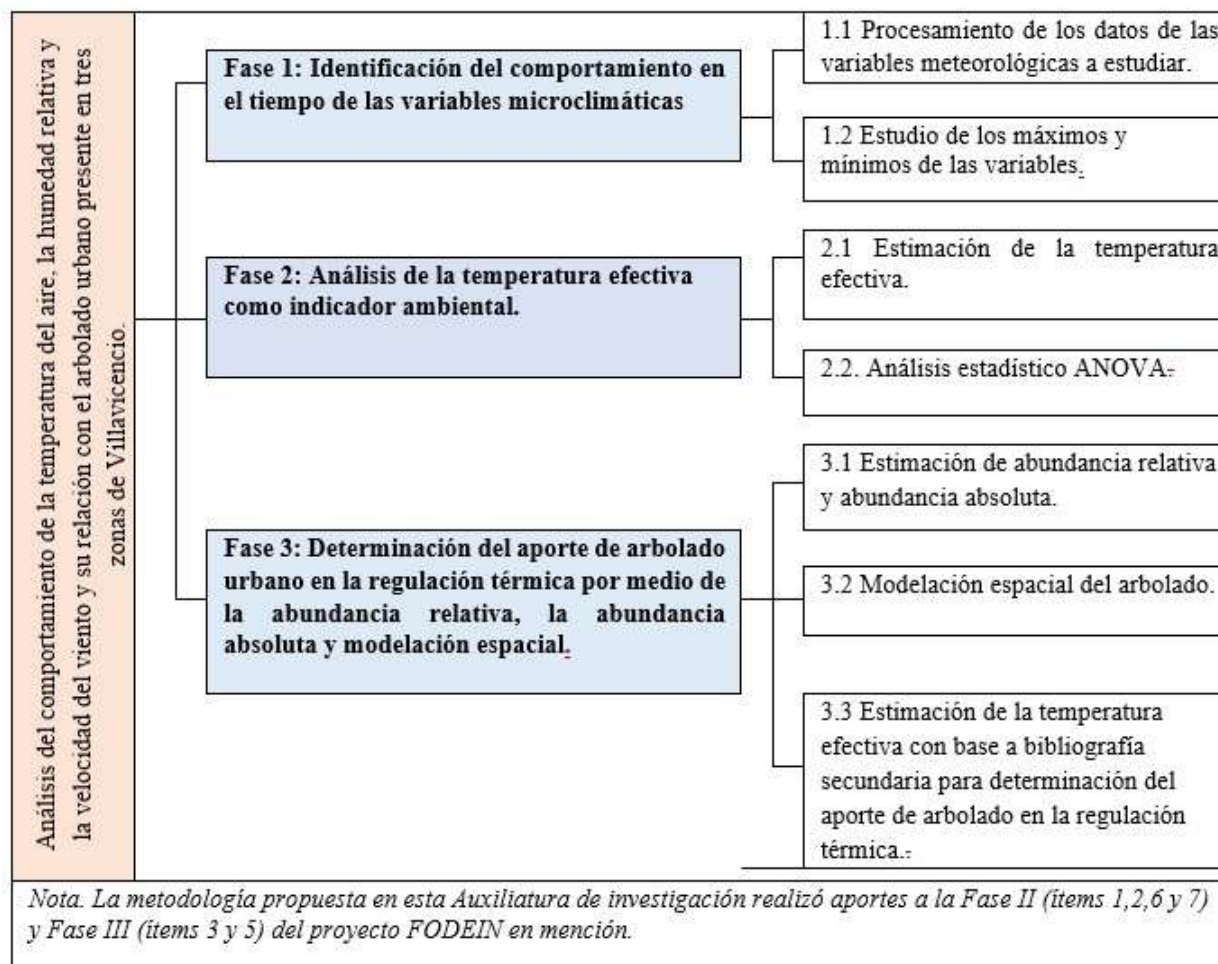


Figura 2. Diagrama metodológico del proyecto. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

6.2.1 Fase I. Identificación del comportamiento en el tiempo de las variables microclimáticas

6.2.1.1 Procesamiento de los datos de las variables meteorológicas a estudiar.

Consiste en:

- Acopio y revisión de las series de tiempo para la franja horaria de 06:00 – 17:00 horas, seleccionado este intervalo de tiempo debido a que obedece a las horas de exposición a la radiación solar en el día para las variables velocidad del viento, temperatura del aire y humedad relativa de las tres estaciones meteorológicas pertenecientes al Sistema y Vigilancia de Calidad del Aire de Villavicencio (SVCAV). Por ende, esta información fue tomada de los anuarios de la página del SISAIRE de CORMACARENA en el período 2017 (fecha de instalación de las estaciones) hasta 2019 en la franja horaria establecida (06:00 – 17:00 horas).

- Selección de estaciones adicionales para realizar los métodos de regresión e interpolación. Por medio de la página del IDEAM para la consulta y descarga de datos hidrometeorológicos ESRI, se utilizó para la variable de humedad relativa como apoyo para la suposición de datos faltantes la estación del Instituto Colombiano Agropecuario ICA para los meses de diciembre del año 2017, septiembre y octubre de 2018 y enero, abril y junio del 2019. Así mismo, para la variable velocidad del viento también se tuvo en cuenta los datos de la estación del ICA en los meses enero, febrero, abril, junio, agosto, septiembre y octubre del 2019, a diferencia de la variable de temperatura del aire en la cual solo se usaron las tres estaciones de estudio (Cofrem, La esmeralda y Catumare) debido a la ausencia de información por franja horaria (06:00 – 17:00 horas).

- Análisis, selección y desarrollo de los métodos. Se analizaron los métodos más adecuados para obtener las series de tiempo por variable (velocidad del viento, temperatura del aire y humedad relativa) y se determinó que el método de razón normal es el indicado para hacer la regresión debido a que este método permite calcular los datos faltantes de diferentes periodos de tiempo por medio de las estaciones cercanas a la estación a calcular y posterior a esto, debido a la ausencia de meses enteros sin datos para promediar se optó por usar el método de interpolación, Inverso a la Distancia (IDW).

Razón de valores normales

Cuando se desconoce el valor de la precipitación de un determinado mes o año en una estación, pero se conoce el valor registrado este mismo mes o año en algunas otras estaciones que por sus características fisiográficas y climatológicas se consideran como representativas de la primera, pueden estimarse dichas cantidades en función de los valores medios mensuales o anuales mediante la siguiente relación (1) (Montealegre B, 1990).

$$px = \frac{1}{n} \left(\frac{Nx}{NA} PA + \frac{NX}{NB} PB + \frac{NX}{NC} PC \right) \quad (1)$$

Ecuación 1. Método de regresión por Razón Normal (Montealegre B, 1990)

n: número de estaciones de referencia

Px: valor faltante

NA, NB, NC: corresponde al valor medio las estaciones (A, B, C)

NX: promedio de datos de la estación de datos faltantes

PA, PB, PC: dato del mes o año x

Inverso a la Distancia (IDW)

La aplicación del método IDW para el caso de las variables temperatura y precipitación, se sustenta en el concepto de zonalidad climática, es decir en la similitud de las condiciones climáticas del punto para el cual se requiere la determinación de las variables del clima, en relación con los puestos de observación o estaciones más cercanas de registro. El estimado se calcula como la media ponderada de los valores registrados en las estaciones cercanas, a las cuales se les asigna un peso con la ecuación (Andrade & Moreano, 2013).

Las ecuaciones usadas son (6)(6):

$$(2) \quad Z(x) = \sum_{i=1}^n (Y_i * z(x)_i)$$

Ecuación 2. Interpolación IDW (Andrade & Moreano, 2013)

Donde:

Z: es el valor de la variable en el punto a interpolar (por conocer);

Z(x)_i: es el valor de la variable en el punto conocido i Y_i: peso de la estación i n: número de estaciones consideradas

Cálculo de peso:

$$Y_i: \frac{\frac{1}{d_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{ij}^\beta}} \quad (3)$$

Ecuación 3. Cálculo del peso

Donde:

Y_i : peso de la estación i . d_{ij} : Distancia Geométrica entre la estación y el punto a interpolar β : coeficiente de ponderación.

6.2.1.2 Estudio de los máximos y mínimos de las variables

Con los datos en las horas de exposición a la radiación solar (06:00 – 17:00 horas) de cada estación (Catumare, Cofrem y La Esmeralda) se recopiló los valores máximos, mínimos y promedios mensuales en cada estación teniendo en cuenta para su análisis la franja horaria en los que se presentaban estos datos y posteriormente se realizaron diagramas de máximos y mínimos que permitieron distinguir la presencia de datos anómalos, entendiendo como datos anómalos a cualquier dato fuera de lo normal generados por irregularidades en la toma de información o por fenómenos de variabilidad climática, durante los 26 meses de estudio. Luego, se adoptó la metodología desarrollada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) que hace referencia al efecto climático de los fenómenos el Niño y la Niña en Colombia. En su informe final para la actualización del componente meteorológico del modelo institucional del IDEAM plantean la metodología a partir de índices mensuales y de periodo extendido IT con la variable Temperatura del aire con el fin de identificar fenómenos como el del Niño y la Niña mediante alteraciones del comportamiento de la temperatura del aire con respecto a la media multianual (Bocanegra, 2014). Las anomalías son calculadas como la diferencia entre un dato cualquiera y su valor promedio, en términos absolutos (Bocanegra, 2014).

Índice puntual (no acumulado)

El índice se calcula de acuerdo con la siguiente expresión (6):

$$It_{ij} = T_{ij} - T_j$$

Ecuación 4. Índice puntual (Bocanegra, 2014) (4)

Donde:

It_{ij} : Índice del parámetro del mes j y el año i .

T_{ij} : Valor del parámetro a nivel mensual.

T_j : Promedio multianual del parámetro del mes j .

Índice acumulado

Se construye el índice **IT_{ij}** trimestral, estacional o para cualquier periodo de tiempo definido en términos de meses, según la siguiente expresión (6):

$$IT_{ij} = \sum_{j=N1}^{j=N2} T_{ij} / n - \sum_{j=N1}^{j=N2} T_j / n \quad (5)$$

Ecuación 5. Índice acumulado (Bocanegra, 2014)

Donde:

iT_{ij}: Es el índice acumulado del parámetro para cada periodo definido en el año i ; N1 y N2 son los meses de inicio del año i y finalización del año i e i + 1.

T_{ij}: Es el valor del parámetro en el mes j del año i. T_j: Es el promedio multianual del parámetro en el mes j. n: es el número de meses afectados, estimado como la diferencia entre N2 y N1

Con base en el índice puntual y el acumulado se establecen una categoría de interpretación, considerando rangos usados por el IDEAM para las anomalías mensuales para la temperatura del aire.

Tabla 2. Categorías de interpretación para la determinación de anomalías.

RANGO DE VARIACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL EFECTO
$IT \leq -0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Enfriamiento severo (muy por debajo de lo normal)
$-0,5 \text{ }^{\circ}\text{C} < IT \leq -0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Enfriamiento (por debajo de lo normal)
$-0,2 \text{ }^{\circ}\text{C} < IT \leq 0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Normal
$0,2 \text{ }^{\circ}\text{C} < IT \leq 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Calentamiento (por encima de lo normal)
$IT > 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Calentamiento Severo (muy por encima de lo normal)

Nota. Dependiendo del rango de variación se determina el efecto que genera. Adaptado de (Bocanegra, 2014)

Índice categórico

Se define un índice categórico para los 5 rangos de afectación que permite restringir la variabilidad (absoluta o relativa) de las anomalías registradas en la temperatura del aire, asignándole a cada rango de comportamiento, uno de los siguientes valores

Tabla 3. Índice categórico según el rango de comportamiento.

Rango de variación	Descripción del efecto	Índice Categórico
$IT \leq -0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Enfriamiento severo	-2
$-0.5 \text{ }^{\circ}\text{C} < IT \leq -0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Enfriamiento	-1
$-0.2 \text{ }^{\circ}\text{C} < IT \leq 0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Normal	0
$0.2 \text{ }^{\circ}\text{C} < IT \leq 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Calentamiento	1
$IT > 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Calentamiento severo	2

Nota. Los datos se asocian mediante el uso del índice categórico, el cual varía entre (-2 a 2). Adaptado de (Bocanegra, 2014)

Por último, según el cálculo del índice categórico se obtiene una matriz por cada estación cubriendo la totalidad de los trimestres afectados por los eventos de la Niña y el Niño. (Bocanegra, 2014)

6.2.2 Fase II. Análisis de la temperatura efectiva como indicador ambiental

Teniendo en cuenta que el indicador de temperatura efectiva incluye todas las variables meteorológicas en estudio (temperatura del aire, velocidad del viento y humedad relativa), es posible correlacionar los datos medios mensuales plurianuales de cada estación con el fin de identificar la dependencia entre las variables en mención.

6.2.2.1 Estimación de la temperatura efectiva.

Se utilizaron los datos promedio por mes de las estaciones La Esmeralda, Catumare y Cofrem, correspondientes a los meses noviembre y diciembre del año 2017 hasta diciembre del 2019, entre las 06 y las 17 horas del día.

Con los datos promedio mensuales de temperatura del aire, velocidad del viento y humedad relativa en la franja horaria mencionada se determinó el valor de temperatura efectiva mensual para cada año en cada una de las tres estaciones con la siguiente ecuación:

Missenard (1937) definió la siguiente ecuación de temperatura efectiva (TE) teniendo en cuenta la influencia adicional del movimiento del viento con la ecuación (6) (Gonzales O. C., 1998).

$$TE = 37 - \frac{37 - ts}{0.68 - 0.0014h \frac{1}{1.76 + 1.4 \sqrt{0.75}}} - 0.29 + \left(1 - \frac{h}{100}\right)$$

(6)

Ecuación 6. Temperatura efectiva (Gonzales O. C., 1998)

Donde:

ts: temperatura del aire en (C°) h: humedad relativa en porcentaje (%)

v= velocidad del viento a 1.5 metros sobre el suelo, en metros por segundo (m/s)

Los datos de temperatura efectiva serán interpretados como la temperatura que experimentan las personas, cuando está en funcionamiento todo su sistema termorregulador (Orlando, 2008).

6.2.2.2 Análisis estadístico ANOVA

Con los datos de temperatura efectiva, se realizó un análisis estadístico de varianza ANOVA con prueba Tukey, con el fin de determinar si algunos de los valores mensuales plurianuales promedio de temperatura efectiva difiere estadísticamente de las demás.

El análisis ANOVA parte de las hipótesis (tabla 4):

Tabla 4. Hipótesis del análisis estadístico ANOVA.

Hipótesis nula: Todas las medias de temperatura efectiva son iguales

Hipótesis alterna: No todas las medias de temperatura efectiva son iguales

Nota. P- critico (0,05), si p valor < p- critico, existe una similitud estadísticamente significativa. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

Posterior a esto se generaron y gráficas de probabilidad normal que permitieron identificar la distribución de la muestra de datos a lo largo de la línea de regresión ajustada para cada una de las estaciones (LLC, 2017).

6.2.3 Fase III. Determinación del aporte de arbolado urbano en la regulación térmica por medio de la abundancia relativa, la abundancia absoluta y modelación espacial.

6.2.3.1 Estimación de abundancia relativa y abundancia absoluta.

Para cada especie se determinó su abundancia de acuerdo con el número de árboles por cada área de estudio, de acuerdo con la información de arbolado urbano disponible que fue suministrada por la Secretaría de Ambiente del municipio de Villavicencio en las tres zonas de estudio (Catumare, Cofrem y La Esmeralda) y la similitud entre cada área de estudio con base en las especies más representativas, donde 1 es muy diverso y 0 poco diverso. Para la estimación de la similitud se usó la aplicación Past3 la cual genera el cálculo utilizando la ecuación (6), y para el cálculo de abundancia relativa y absoluta se emplearon las ecuaciones (6)(6) . Con el fin de reducir la cantidad de individuos arbóreos, se propuso realizar un primer filtro para seleccionar las familias más representativas (entendiéndose como representativas a las especies o familias con mayor número de individuos o especímenes) y por consiguiente según sea la familia, se encontraron las especies más representativas en cada área (anexo d). Además, para cada estación se escogieron las especies que según su cantidad representen más del 50% de la población total en cada grupo de familia.

$$B - C = \frac{\sum(X_{ij} - X_{ik})}{\sum(X_{ij} + X_{ik})}$$

Ecuación 7. Similitud entre especies. ((Veloza, 2018)

Donde:

(7)

j: área 1 k: área 2

Xi: número de individuos

$$AA = \frac{\# \text{ de individuos } X \text{ especie}}{\# \text{ total de individuos en el area}}$$

(8)

Ecuación 8. Abundancia relativa (Veloza, 2018)

$$AR = AA \times 100\%$$

(9)

Ecuación 9. Abundancia absoluta (Veloza, 2018) Donde:

AA: abundancia relativa

6.2.3.2 Modelación espacial del arbolado.

- ❖ Procesamiento de datos espaciales relativa a los atributos de los árboles y la del geoposicionamiento en el programa ArcGis 10.5 según los datos obtenidos en la Secretaria de Ambiente de Villavicencio en los barrios identificados en la tabla 5.

Tabla 5. Barrios más cercanos a las estaciones del SVCAV

Barrios más cercanos		
Estación	Barrio	Comuna
Catumare	Playa Rica	8
	Catumare	8
Cofrem	Vainilla	3
	El Jordán	4
La Esmeralda	Esmeralda	1

Nota. Barrios que, según la base de datos obtenida de la Secretaria de Ambiente de Villavicencio, se encuentran dentro del buffer de 200 metros a la redonda de las estaciones Catumare, Cofrem y La Esmeralda. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

- ❖ Con el propósito de identificar los árboles más cercanos al SVCAV se creó un buffer de 200 metros a la redonda de cada una de las estaciones (La Esmeralda, Catumare y Cofrem).

6.2.3.3 Estimación de la reducción de temperatura efectiva bajo el árbol con base a bibliografía secundaria para determinar el aporte del arbolado en la regulación térmica.

Con base en la información secundaria obtenida se realiza la tabla 30 (anexo e), en ella se incorpora según la especie más representativa el dato de temperatura efectiva y las fuentes secundarias usadas, es decir por cada especie representativa se buscó un artículo de investigación donde generan como resultados la reducción de temperatura efectiva bajo el árbol de la especie, si este dato no se encontró explícitamente en el documento se determina esta reducción por medio de los resultados de la estimación de la temperatura efectiva del estudio y estimación de la temperatura

efectiva bajo el árbol de la bibliografía secundaria. Todo esto con el fin de interpretar los datos por medio de los mapas térmicos realizados en el Software ArcGis 10.5.

En relación con los datos cualitativos, después de obtener información secundaria con base a datos de temperatura efectiva de las especies arbóreas consideradas como representativas según los resultados de los índices de abundancia relativa y absoluta, se procede a modelar en el Software ArcGis 10.5 lo cual permite representar en mapas térmicos los cambios térmicos según el área de estudio.

7. Resultados y análisis

7.2 Fases metodológicas

7.2.1 Fase I. Identificación del comportamiento en el tiempo de las variables microclimáticas.

7.2.1.1 Procesamiento de los datos de las variables meteorológicas a estudiar.

Al revisar cada una de las series de datos, se encontró que las estaciones Cofrem y La Esmeralda presentaron en el 2019, tres meses (marzo, julio, diciembre) sin registro de temperatura del aire, a diferencia de la estación de Catumare, que presentó un solo mes con datos faltantes de temperatura del aire, a su vez la variable velocidad del viento tiene vacíos más que todo en la estación La Esmeralda en el mes de febrero, marzo, julio, agosto, septiembre, octubre y diciembre del año 2019 (tabla 6), además de no presentar ningún dato en las tres estaciones el mes de junio de 2018.

Tabla 6. Numero de datos faltantes por estación.

	Temperatura del Aire			Humedad Relativa			Velocidad del viento		
	Año del dato faltante	Meses faltantes	Datos faltantes de 6-17 horas	Año del dato faltante	Meses faltantes	Datos faltantes de 6-17 horas	Año del dato faltante	Meses faltantes	Datos faltantes de 6-17 horas
Cofrem	2019	3	1.116	2018	1	372	2019	3	1.116
La Esmeralda	2019	3	1.116	2018	1	372	2019	7	2.556
Catumare	2019	0	58	2018	1	372	2019	0	0

Nota. Número de meses con al menos un dato faltante de temperatura y número de horas sin registro de temperatura, por estación. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

Con base en la tabla anterior, se realizó la estimación de los datos por medio de los métodos de la razón normal y el método IDW, para así obtener series de tiempo completas de las tres variables. Además, teniendo en cuenta el periodo de estudio de las series de tiempo para cada estación se proceden a realizar las gráficas y análisis con las medias mensuales plurianuales. Anexo.

7.2.1.2 Estudio de los máximos y mínimos de las variables.

Con los datos meteorológicos obtenidos desde la página del SISAIRE de CORMACARENA se generaron gráficas por variable estudiada (temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento), las cuales incluyen los promedios, máximos y mínimos de las tres estaciones. Aunque el análisis se realiza entre los años 2017 a 2019, se observa la discontinuidad con respecto a los valores estudiados en varios meses de cada estación en las diferentes variables debido a la falta de información generada desde la descarga de los datos.

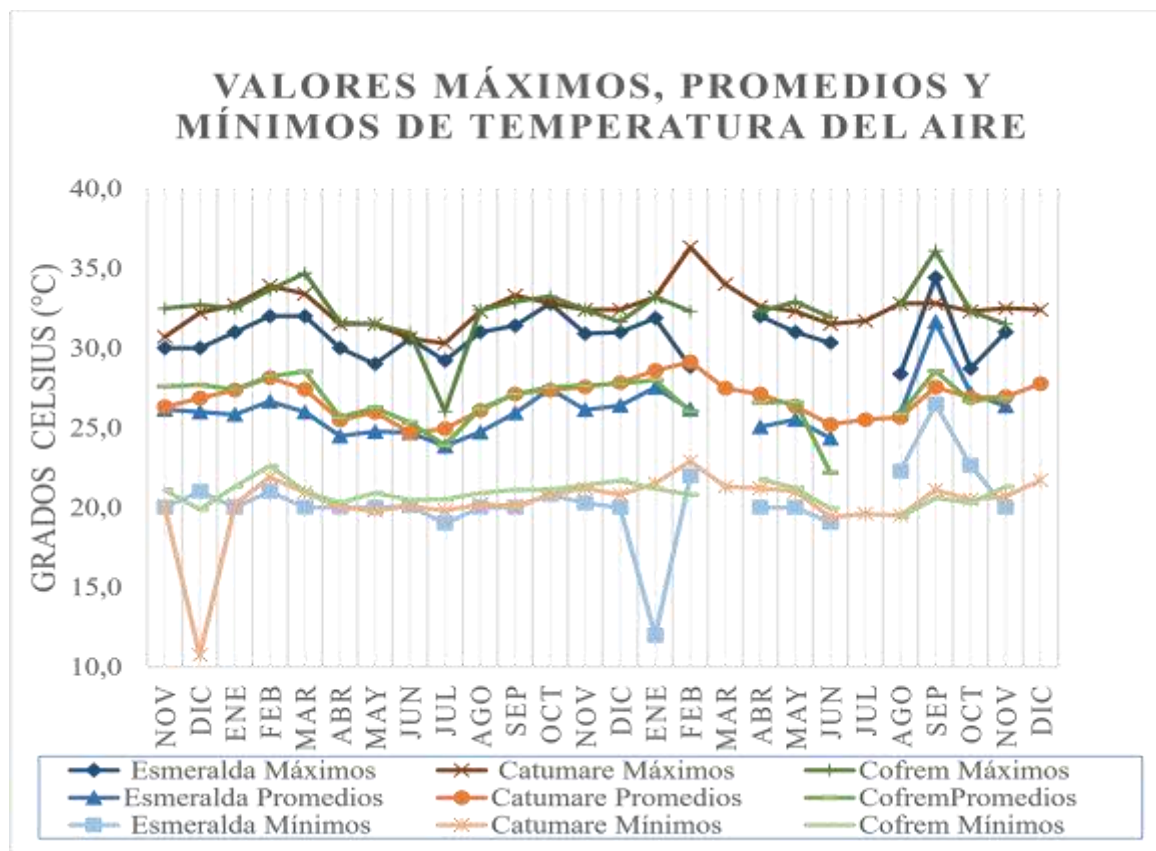


Figura 3. Análisis gráfico de los valores máximo, promedios y mínimos de temperatura de aire durante el 2017-2019. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

Observando los datos finales obtenidos se encuentra una inconsistencia en la estación Cofrem desde el primero al diecisiete de septiembre de 2019, con temperaturas desde 38° C hasta los 72° C, considerándolos inconsistentes debido a que según el IDEAM la temperatura del municipio de Villavicencio no sobrepasa los 37° C asociando el origen de la anomalía a algún error en el registro de datos en la estación, estos datos posteriormente se volvieron a estimar por medio de los métodos de la razón normal o el método IDW para no generar algún error en el análisis (IDEAM, 1999). Los promedios de temperatura del aire (figura 3) en las estaciones la Esmeralda, Catumare y

Cofrem, se obtienen desde los 22,2 °C a los 36,1 °C. Con relación a los promedios máximos en las tres estaciones (figura 3) los datos oscilan de 26 °C a 36 °C generalmente desde las 10:00-17:00 horas, sin contar los datos que sobrepasan los 37°C. Los promedios mínimos (figura 3) en las estaciones presentan una variación entre 10,7 °C a 26,4 °C, presentándose entre las 6:00-10:00 horas.

La evolución de la temperatura del aire en los veintiséis meses del estudio se presenta por la ubicación geográfica de la ciudad, la cual se ubica sobre la zona tropical de la Tierra, lo que conlleva a que el clima de Villavicencio está determinado por varios factores como el relieve, cobertura vegetal, la altura, la nubosidad y principalmente los vientos alisios del norte y del sur que convergen creando la Zona de Confluencia Intertropical o ZCIT, la cual influye directamente en la duración de los periodos de sequía y de lluvia, gracias a la influencia de los vientos alisios se observa en la figura 3 con respecto a los datos promedios de temperatura de las estaciones un aumento entre diciembre y marzo en los años estudiados, lo que corresponde a un periodo de sequía generado por la dominancia de los vientos alisios del norte, y una disminución de temperatura correspondiente a un periodo de lluvias desde el mes de marzo hasta el mes de noviembre, debido a la dominancia de los vientos alisios del sur. Los periodos con disminución o aumento significativo de la temperatura del aire vistos en los datos máximos y mínimos presentados en la figura correspondientes al mes de diciembre de 2017 en la estación de Catumare, enero en la estación La Esmeralda y septiembre de 2019 en la estación de Cofrem y La Esmeralda se generan por el tipo de corriente de los vientos alisios y la nubosidad, es decir en los periodos de aumento significativo de temperatura se debe a la presencia de los vientos denominados “chorro de los llanos” los cuales dispersan la nubosidad incrementando la incidencia y radiación del sol además de que se presentan vientos alisios de corrientes cálidas, a diferencia de los periodos que presentan disminución significativa de la temperatura los cuales presentan una aumento en la velocidad de los vientos alisios con una corriente de aire fría (Tejeda-Martínez, 2018). Otro aspecto a resaltar es la estrecha relación entre la elevación del lugar y la temperatura, donde se espera que con mayor altura menor será la temperatura, esto se puede evidenciar en la figura 3 con respecto a la estación La Esmeralda la cual se encuentra a mayor altura sobre el nivel del mar (554 msnm) en comparación de las otras dos estaciones (428 msnm en Cofrem y 446 msnm en Catumare), esta diferencia de altura hace que la estación La Esmeralda tenga de 0,1 °C a 9,5 °C menos de temperatura con las otras estaciones (Tejeda-Martínez, 2018).

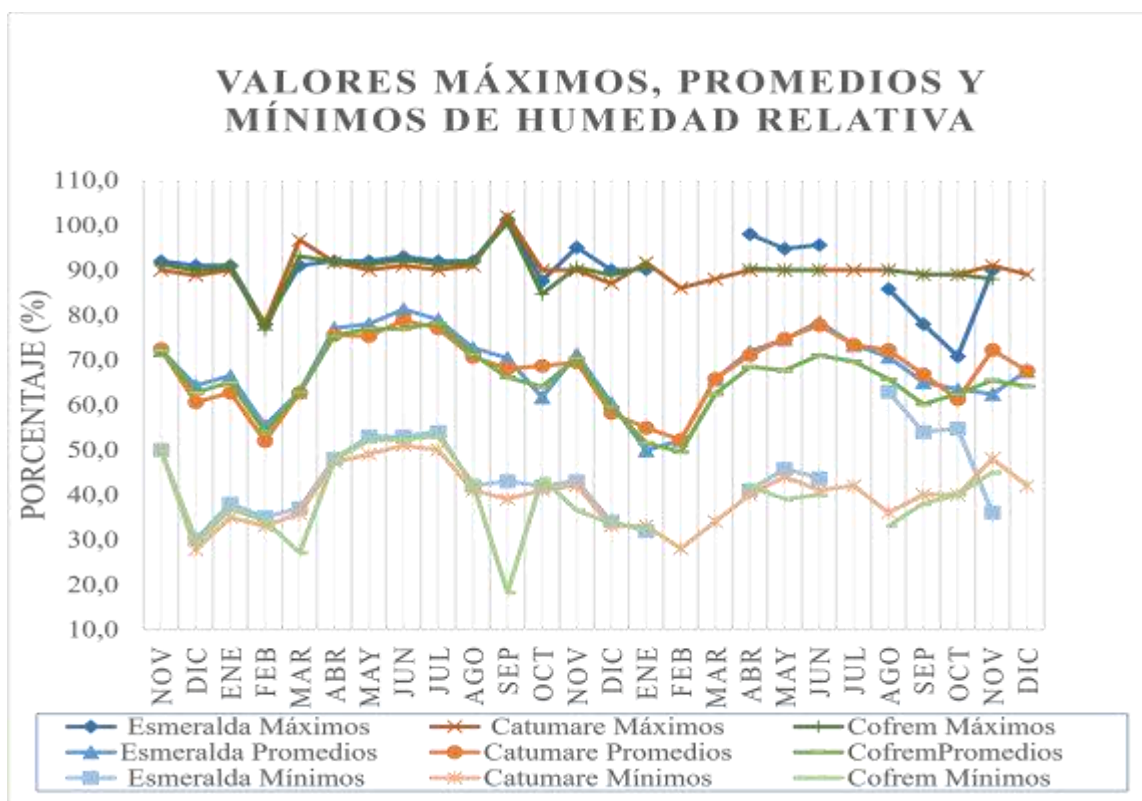


Figura 4. Análisis gráfico de los valores máximos, promedios y mínimos de humedad relativa durante el 2017-2019. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

Con los resultados finales de la variable de humedad relativa se realizó un análisis, dando como conclusión una anomalía el día 15 de septiembre de 2018 a las 11 a.m. en las tres estaciones con valores de humedad relativa mayores de 100%, teniendo en cuenta que estos resultados provenían de la base de datos de la página del SISAIRE, el error radica en la toma de la variable en las estaciones ese día del año.

De acuerdo con los resultados obtenidos (figura 4) se puede apreciar los máximos sin tener en cuenta las anomalías presentadas el día 15 de septiembre de 2018 en las estaciones entre 76% a 97%, que se presentan generalmente entre las 6:00-11:00 horas. Los promedios mínimos ocurrieron entre octubre a febrero en el periodo de tiempo estudiado en las tres estaciones, principalmente de 14:00-17:00 horas. Analizando los resultados con respecto a la franja horaria se puede concluir que en la mañana la humedad relativa en cada estación fue alta con un porcentaje mayor de 90%, entre las 11:00-14:00 horas la humedad relativa desciende rápidamente y alrededor de las 16:00 horas se presenta la mínima humedad relativa media horaria menores a 42%.

La evolución de la variable de humedad relativa en el estudio es debido a la influencia del clima por la Zona de Confluencia Intertropical, teniendo de diciembre a marzo la una época seca generada por la presencia de vientos alisios del norte generando una reducción en la humedad relativa y de marzo a noviembre una época de lluvias generada por la presencia de vientos alisios del sur aumentando la humedad relativa. Los periodos con disminución o aumento significativo de la humedad relativa vistos en la figura 4 correspondientes a los meses de febrero de 2018, septiembre de 2018 y octubre de 2019 se generan los periodos de disminución significativa de humedad relativa se debe a la presencia de vientos alisios de corrientes cálidas, a diferencia de los periodos que presentan aumento significativa de la humedad relativa los cuales presentan una aumento en la velocidad de los vientos alisios con una corriente de aire fría esto se presenta debido a que al tener las condiciones óptimas de temperatura la humedad relativa aumenta y el vapor de agua se satura a tal punto de que no puede contener más agua traduciéndose en la precipitaciones (Tejeda-Martínez, 2018).

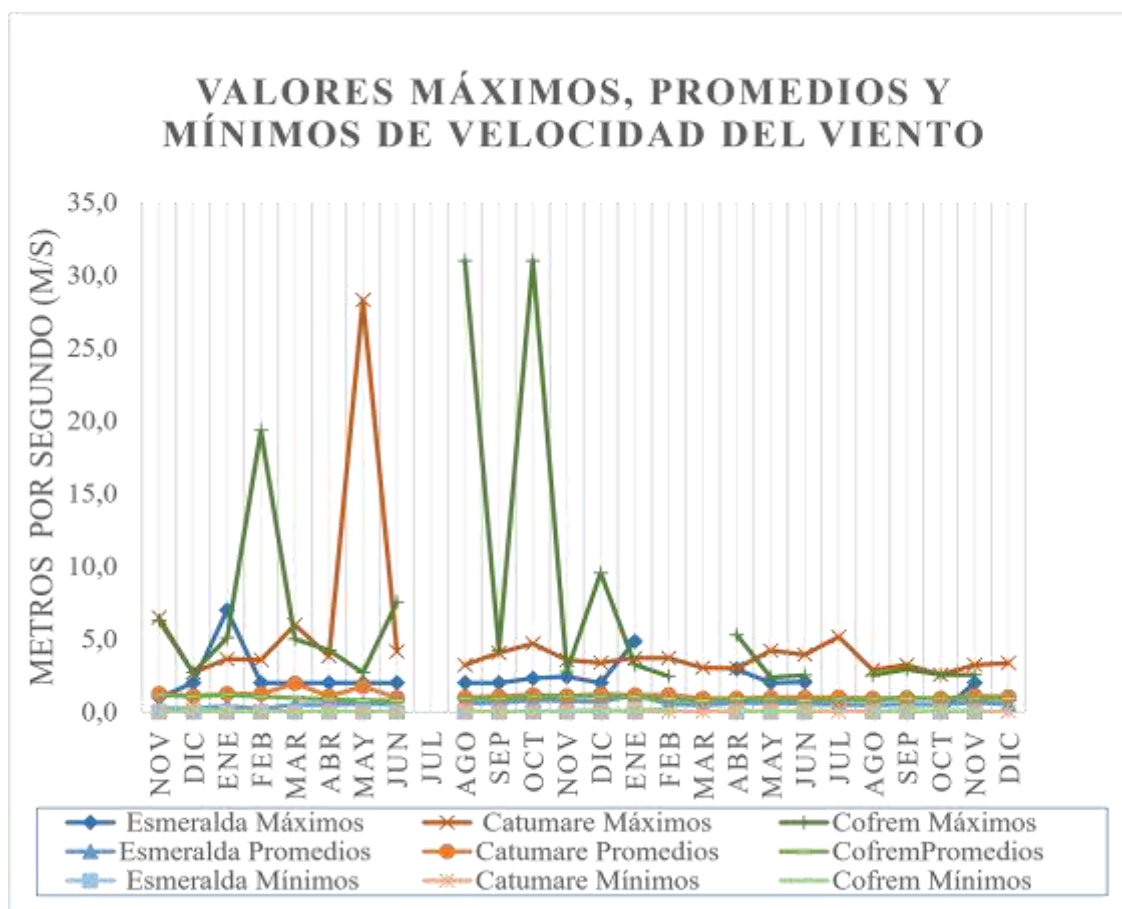


Figura 5. Análisis gráfico de los valores máximos, promedios y mínimos de velocidad del viento durante el 2017-2019. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

Con respecto a los datos obtenidos de velocidad del viento de las estaciones de la Esmeralda, Catumare y Cofrem (figura 5), se obtienen datos desde 0,0 m/s hasta 31 m/s en distintas horas del día, se encuentra una gran diferencia con respecto a los promedios máximos mensuales de velocidad del viento entre las estaciones, a diferencia de los promedios mínimos mensuales entre las estaciones ya que estos no superan los 0,2 m/s, con respecto a la estación la Esmeralda los datos máximos oscilan entre 1 m/s a 7 m/s, los meses en que se reportaron la mayoría los picos de velocidad del viento fueron en enero de 2018 (7 m/s), enero de 2019 (4,8 m/s) y abril de 2019 (2,9 m/s), en cuanto a la estación Catumare se obtuvieron datos máximos promedios entre 0,9 m/s a 28,3 m/s, principalmente en los meses de noviembre de 2017 (6,4 m/s), marzo de 2018 (5,9 m/s), mayo de 2018 (28,3 m/s), octubre de 2018 (4,7 m/s) y julio de 2019 (5,1 m/s), por último en la estación Cofrem presenta variación del promedio máximo mensual entre 0,8 m/s a 31 m/s, con los niveles máximos en los meses de noviembre de 2017 (6,3 m/s), febrero de 2018 (19,3 m/s), junio de 2018 (7,5 m/s), agosto de 2018 (31 m/s), octubre de 2018 (31 m/s), diciembre de 2018 (9,5 m/s) y abril de 2019 (5,29 m/s). En cuanto a la estación con mayores picos máximos promedios la estación de Cofrem es la de mayores picos con un total de siete meses a comparación de la estación Esmeralda (tres meses con picos máximos) y la estación Catumare (cinco meses con picos máximos).

La diferencia circunstancial entre las estaciones de Catumare y Cofrem con la estación de La Esmeralda con respecto a la velocidad del viento es debido a la ubicación de la estación de La Esmeralda la cual se encuentra dentro de los predios de la planta de tratamiento de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio la cual tiene en su interior la presencia de un área boscosa la cual reduce la velocidad del viento. Además, cabe resaltar que estos vientos son originarios de los vientos alisios del norte y del sur y solo se presenta grandes picos en la velocidad del viento en las estaciones de Catumare y de Cofrem en 2018, con lo que se concluye que hubo presencia del fenómeno de la Niña debido a la intensificación de los vientos en los meses de marzo a noviembre y del fenómeno del Niño de diciembre a marzo (Tejeda-Martínez, 2018).

Los datos de las series de tiempo se comparan entre sí mediante un índice categórico, que se presenta en la siguiente tabla (Tabla 7):

Tabla 7. Matriz del índice categórico para determinar los fenómenos de variabilidad climática.

Año	Mes	ESTACIÓN		
		Esmeralda	Catumare	Cofrem
2017	Noviembre	0	-1	0
	Diciembre	0	-1	0
2018	Enero	-2	-2	-1
	Febrero	0	-1	+2
	Marzo	0	0	0
	Abril	-1	-2	-1
	Mayo	-1	0	0
	Junio	0	-1	+2
	Julio	0	0	0
	Agosto	-2	0	0
	Septiembre	-2	0	-2
	Octubre	0	0	+1
	Noviembre	0	+2	+1
	Diciembre	0	+1	0
2019	Enero	+2	+2	+2
	Febrero	-1	+1	-2
	Marzo		0	
	Abril	+1	+2	+2
	Mayo	+1	0	0
	Junio	0	0	-2
	Julio		+1	
	Agosto	+2	0	0
	Septiembre	+2	0	+2
	Octubre	0	0	-2
	Noviembre	0	0	-2
	Diciembre		0	

Nota. Anomalías registradas en la temperatura del aire en las estaciones de Catumare, Cofrem y La esmeralda durante los 3 años de estudio. Por: Camila Reyes & katherine sanchez, 2020

Tabla 8. Nivel de intensidad del fenómeno del Niño.

		DURACION DEL EVENTO NIÑO																								Intensidad												
Año		Año 1												Año 2												Año 3												
Ubicación		N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D											
Esmeralda																												Débil										
																												Fuerte										
Catumare																												Débil										
																												Fuerte										
Cofrem																												Débil										
																												Fuerte										

Nota. Intensidad en la que se presentó el fenómeno Por: Camila Reyes & katherine sanchez, 2020

Tabla 9. Nivel de intensidad del fenómeno del Niña

		DURACION DEL EVENTO NIÑA																								Intensidad	
Ubicación	Año 1	Año 2												Año3													
	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N		D
Esmeralda																											Débil
																											Fuerte
Catumar																											Débil
e																											Fuerte
																											Débil
Cofrem																											Fuerte

Nota. Intensidad en la que se presentó el fenómeno de la Niña por estación climática. 2017 (año 1) ,2018(año 2) y 2019 (año 3). Por: Camila Reyes & katherine sanchez, 2020

Los datos arrojados con respecto a los resultados del análisis de las variables (anexo 1 y anexo 2) en las tres estaciones identifican principalmente datos anómalos en enero de 2018, agosto de 2018, septiembre de 2018, enero de 2019 y septiembre de 2019, exceptuando los datos anómalos originarios de los errores en las mediciones en las estaciones como las temperaturas mayores de 38 °C y la humedad relativa mayor de 100% , lo que decreta la presencia de fenómenos de variabilidad climática el Niño y la Niña, para refutar esta conclusión se analiza con relación a la metodología planteada por el IDEAM (Bocanegra, 2014), de acuerdo con el índice categórico de la temperatura del aire para identificación de anomalías generado en la tabla 7, en donde los resultados en 0 corresponde a efectos normales en la temperatura, los índices en 1 pertenecen a efectos por debajo de lo normal y 2 a efectos muy por debajo de lo normal, dependiendo si son valores negativos o positivos varia su efecto, negativo para enfriamiento y positivo para calentamiento, así se calcula el índice categórico en cada estación para reconocer los eventos Niño (tabla 8) y Niña (tabla 9) con relación a sus diferentes categorías de intensidad (débil o fuerte).

De la misma manera el fenómeno del Niño (tabla 8) se presentó con mayor intensidad en el 2019 en los meses de enero, abril agosto y septiembre, causando una variabilidad a nivel microclimático debido a la interacción entre el océano y la atmosfera e interpretado como fenómeno del Niño.

Con respecto a los resultados generados del índice categórico para el fenómeno de la niña mostrados en la tabla 9 se observó que en los meses en que se presentan mayores intensidades del fenómeno en 2018 corresponden a los mismos meses en los cuales se encontraron anomalías en alguna de las variables en las estaciones. Ante la presencia de este fenómeno se producen fuertes perturbaciones sobre la circulación atmosférica global como producto del comportamiento del medio físico natural (anomalías capacidad de amortiguamiento del sistema suelo-vegetación, temperatura, vientos etc.) (Bocanegra, 2014).

7.2.2 Fase II. Análisis de la temperatura efectiva como indicador ambiental

7.2.2.1 Estimación de la temperatura efectiva.

Al efectuar el cálculo de temperatura efectiva se encontró que la nula información de las estaciones en el año 2018 en el mes de julio y en el año 2019 en los meses de marzo, julio y diciembre en cualquiera de las tres variables afectaba el resultado de temperatura efectiva, obteniendo datos negativos, con base en lo anterior se optó por eliminar los meses que no tenían ninguna información en cualquiera de las variables, obteniendo así los resultados planteados en la figura 6.

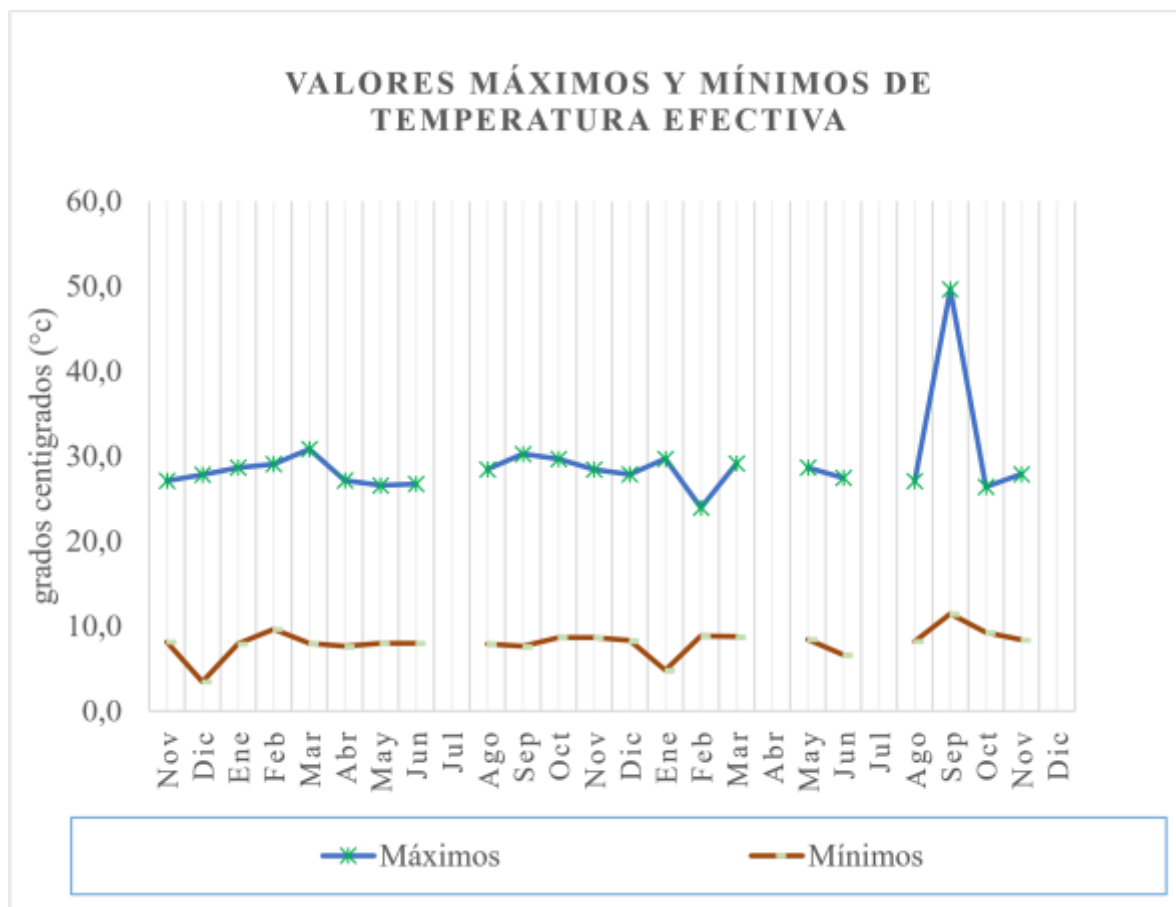


Figura 6. Temperatura efectiva mensual plurianual. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez,

Para el desarrollo de la tabla número 10 se consideraron solo los datos máximos y mínimos de temperatura del aire, velocidad del viento y humedad relativa posteriormente, se halló el valor de temperatura efectiva máxima y mínima mensual plurianual de cada estación, lo siguiente fue realizar un promedio de la temperatura efectiva mensual plurianual de las tres estaciones para el mismo mes durante el mismo año y calcular el dato de temperatura efectiva máxima y mínima de las tres estaciones (La Esmeralda, Catumare y Cofre) en el mismo mes durante el mismo año por tanto con estos dos datos se realizó el cálculo que implica comparar tanto el promedio como el dato máximo y mínimo de temperatura efectiva y determinar si aumentó, disminuyó o permaneció igual esa temperatura máxima y mínima. Es decir que los resultados en la tabla muestran los datos máximos y mínimos de temperatura efectiva promedio en términos cualitativos (aumento, descenso y mantenido) de las tres estaciones en el mismo mes y año (anexo c).

Tabla 10. Comportamiento de la Temperatura efectiva máxima mensual plurianual en las tres estaciones.

Temperatura Efectiva máxima				
		La esmeralda	Catumare	Cofrem
Mes				
2017	Noviembre	Descenso	Descenso	Aumento
	Diciembre	Descenso	Mantenido	Aumento
	Enero	Descenso	Aumento	Mantenido
	Febrero	Descenso	Aumento	Aumento
	Marzo	Descenso	Mantenido	Aumento
	Abril	Descenso	Aumento	Aumento
	Mayo	Descenso	Aumento	Aumento
	Junio	Mantenido	Descenso	Aumento
	Agosto	Descenso	Aumento	Aumento
	Septiembre	Descenso	Aumento	Aumento
	Octubre	Descenso	Aumento	Mantenido
	Noviembre	Descenso	Aumento	Aumento
2018	Diciembre	Descenso	Aumento	Mantenido
	Enero	Descenso	Mantenido	Mantenido
	Febrero	Descenso	Aumento	Descenso
	Abril	Mantenido	Mantenido	Mantenido
	Mayo	Descenso	Mantenido	Aumento
	Junio	Descenso	Aumento	Aumento
	Agosto	Descenso	Aumento	Aumento
	Septiembre	Descenso	Descenso	Aumento
2019	Octubre	Descenso	Aumento	Aumento
	Noviembre	Descenso	Aumento	Descenso

Nota. Cada dato de máximo refleja un aumento, descenso o estabilidad de la temperatura efectiva máxima comparada con el promedio de temperatura efectiva de las estaciones. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

Tabla 11. Comportamiento de la Temperatura efectiva mínima mensual plurianual en las tres estaciones.

Temperatura Efectiva mínima				
		La esmeralda	Catumare	Cofrem
Mes				
2017	Noviembre	Descenso	Descenso	Aumento
	Diciembre	Aumento	Descenso	Aumento
	Enero	Descenso	Mantenido	Aumento
	Febrero	Descenso	Mantenido	Aumento
	Marzo	Descenso	Mantenido	Mantenido
	Abril	Descenso	Descenso	Mantenido
	Mayo	Descenso	Descenso	Mantenido
	Junio	Descenso	Descenso	Mantenido
	Agosto	Descenso	Mantenido	Aumento
	Septiembre	Descenso	Descenso	Mantenido
	Octubre	Descenso	Mantenido	Mantenido
	Noviembre	Descenso	Mantenido	Mantenido
2018	Diciembre	Descenso	Mantenido	Aumento
	Enero	Descenso	Aumento	Aumento
	Febrero	Mantenido	Aumento	Descenso
	Abril	Descenso	Mantenido	Aumento
	Mayo	Descenso	Aumento	Aumento
	Junio	Descenso	Mantenido	Mantenido
	Agosto	Aumento	Descenso	Descenso
	Septiembre	Aumento	Descenso	Descenso
2019	Octubre	Aumento	Descenso	Descenso
	Noviembre	Descenso	Aumento	Aumento

Nota. Cada dato refleja un aumento, descenso o estabilidad de la temperatura efectiva mínima comparada con el promedio mínimo de temperatura efectiva de estaciones. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

7.2.2.2 Análisis estadístico ANOVA.

Se realizó un análisis de ANOVA con el fin de considerar similitudes estadísticamente significativas entre el aumento o descenso de temperatura efectiva y los valores promedio máximos y mínimos de temperatura efectiva.

Tabla 12. ANOVA del índice de temperatura efectiva máxima promedio en el 2017, 2018 y 2019 para las estaciones La esmeralda, Cofrem y Catumare.

temperatura efectiva máxima		
	F	p-valor
2017	12.07	0.037
2018	7.47	0.002
2019	1.31	0.288

Nota. P- crítico (0,05), si p valor < p- crítico, existe una similitud estadísticamente significativa Adaptado del Software MINITAB. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

Según la tabla 12 y la figura 6 el P-valor nos indica que el aumento en la temperatura efectiva máxima promedio en el 2017 es significativo ya que es menor al P-crítico. En el 2018 el aumento también se afirma como estadísticamente significativo debido a que el p-valor es menor que el p-crítico (0,005) y por último para el año 2019 el aumento en la temperatura efectiva máxima promedio no es estadísticamente significativa.

El aumento del índice de temperatura efectiva máxima en el 2017 se produjo debido a la poca intensidad del fenómeno de la niña durante los meses de noviembre y diciembre junto con el pico más pronunciado de temperatura mínima (10°C) en el mes de diciembre. En el 2018 aumenta la temperatura efectiva debido a la fuerte intensidad del fenómeno del niño durante los meses febrero, junio y noviembre además a lo largo del año 2019 en los meses enero, abril, agosto y septiembre se observó datos atípicos de temperatura efectiva que desproporcionan el valor de la media.

Tabla 13. ANOVA del índice de temperatura efectiva mínima promedio en el 2017, 2018 y 2019 para las estaciones La esmeralda, Cofrem y Catumare.

	<u>temperatura efectiva mínima</u>	
	F	p-valor
2017	1.05	0.452
2018	9.12	0.001
2019	0.03	0.974

Nota. P- crítico (0,05), si p valor < p- crítico, existe una similitud estadísticamente significativa Adaptado del Software MINITAB. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

Según la tabla 13 y la figura 6 el P-valor nos indica que al mantenerse la temperatura efectiva mínima promedio en el 2017 no logra ser un dato significativo ya que es menor al P-crítico. En el 2018 el descenso se afirma como estadísticamente significativo debido a que el p-valor es menor que el p-crítico (0,005) y por último para el año 2019 el descenso en la temperatura efectiva mínima promedio no es estadísticamente significativo.

Para el año 2017 las temperaturas efectivas mínimas descienden en el mes de diciembre sin embargo durante este año no se presenta ningún fenómeno (niña o niño) que pueda representarse como dato un dato significativo que impacte la temperatura efectiva. En el año 2018 el descenso de la temperatura efectiva es significativo ya que la humedad relativa mínima en el mes de

septiembre obtuvo el pico más bajo registrado desproporcionando los resultados de temperatura efectiva mínima para el 2018 por ultimo en el 2019 el descenso en la temperatura efectiva media no es significativa ya que según la (tabla 10) de episodios fríos y cálidos por temporada, en el 2019 no se presentó ningún episodio frio.

Sin embargo, para determinar con exactitud cuales estaciones tienen mayores similitudes y cuales mayores diferencias se realizó la prueba de Tukey (Anexo **C. Datos de temperatura efectiva máxima y mínima**)

Tabla 27. Datos de temperatura efectiva máxima promedio

	Máxima			promedio
Noviembre	25	26	29	27
Diciembre	25	28	29	28
enero	27	30	29	29
Febrero	27	30	30	29
marzo	28	31	33	31
abril	26	28	28	27
mayo	24	28	28	27
Junio	27	26	27	27
Agosto	27	29	29	28
Septiembre	28	32	31	30
Octubre	29	30	30	30
Noviembre	27	29	29	28
Diciembre	27	29	28	28
Enero	28	30	30	30
Febrero	17	35	21	24
Abril	29	29	29	29
Mayo	27	29	30	29
Junio	26	28	28	27
Agosto	22	30	29	27
Septiembre	31	30	89	50
Octubre	22	29	29	26
Noviembre	27	29	27	28

Nota: Se estimó la temperatura efectiva promedio máxima con los datos de temperatura de aire, humedad relativa y velocidad del viento máximos. bibliográfica. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

Tabla 14. Datos de temperatura efectiva mínima promedio

	Mínima			promedio
Noviembre	7	7	9	8
Diciembre	8	-4	7	3
Enero	7	8	9	8
Febrero	9	10	11	10
Marzo	7	8	8	8
Abril	7	7	8	8
Mayo	8	7	9	8
Junio	8	8	8	8
Agosto	7	8	9	8
Septiembre	7	7	8	8
Octubre	8	9	9	9
Noviembre	8	9	9	9
Diciembre	7	8	9	8
Enero	-4	9	9	5
Febrero	9	11	7	9
Abril	7	9	10	9
Mayo	7	9	9	8
Junio	6	7	7	7
Agosto	12	7	6	8
Septiembre	17	9	8	11
Octubre	12	8	8	9
Noviembre	7	9	9	8

Nota: Se estimó la temperatura efectiva promedio mínima con los datos de temperatura de aire, humedad relativa y velocidad del viento mínimos. bibliográfica. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

Las 3 estaciones presentan similitudes significativas entre sus medias de temperatura efectiva máxima y mínima promedio. Por último se realizó la prueba de normalidad para el indicador de temperatura efectiva promedio máxima donde se logra apreciar que la estación que cuenta con una distribución normal es Catumare con un P- value igual a 0.070, para la temperatura efectiva mínima promedio se establece que la única estación con una distribución normal es cofrem con un P- value igual a 0,636

7.2.3 Fase III. Determinación del aporte de arbolado urbano en la regulación térmica por medio de la abundancia relativa, la abundancia absoluta y modelación espacial.

7.2.3.1 Estimación de abundancia relativa y abundancia absoluta.

Tabla 15. Inventario de las especies forestales más representativas en la estación La Esmeralda según los índices de abundancia relativa y absoluta.

LA ESMERALDA			
Nombre Común	Familia	Abundancia Absoluta	Abundancia Relativa
Cedro	Meliaceae	42	10,8
Mango	Anacardiaceae	47	12,17
Yopo	Mimosaceae	87	22,53
Mandarina	Rutaceae	24	6,21
Total en la estación:386		Total:200	51,8

Nota. Datos obtenidos del inventario forestal de la Secretaria de Medio Ambiente. Por: Camila Reyes & katherine sanchez, 2020

Según los índices de abundancia relativa y absoluta se registraron cuatro especies representativas pertenecientes a cuatro familias de la estación La Esmeralda (tabla 14), se seleccionaron tan solo estas cuatro especies debido a que la sumatoria de las abundancias relativas de estas especies en comparación con el total en la estación represento más del 50 por ciento de abundancia relativa. La familia más representativa fue Mimosaceae con 87 individuos, seguida de Anacardiaceae con 47. De las cuatro especies, una fue nativa (yopo) y tres fueron introducidas (mango, cedro y mandarina). Para los índices de abundancia se tomó en cuenta que la población total según su nombre común en la estación La Esmeralda fue de 386 individuos. Según el índice de abundancia relativa la proporción del mango con respecto a las demás del texto fue del 22, 53%, es decir, fue la especie más común en comparación con las otras especies, siendo la menos común la mandarina con solo un 6,21%.

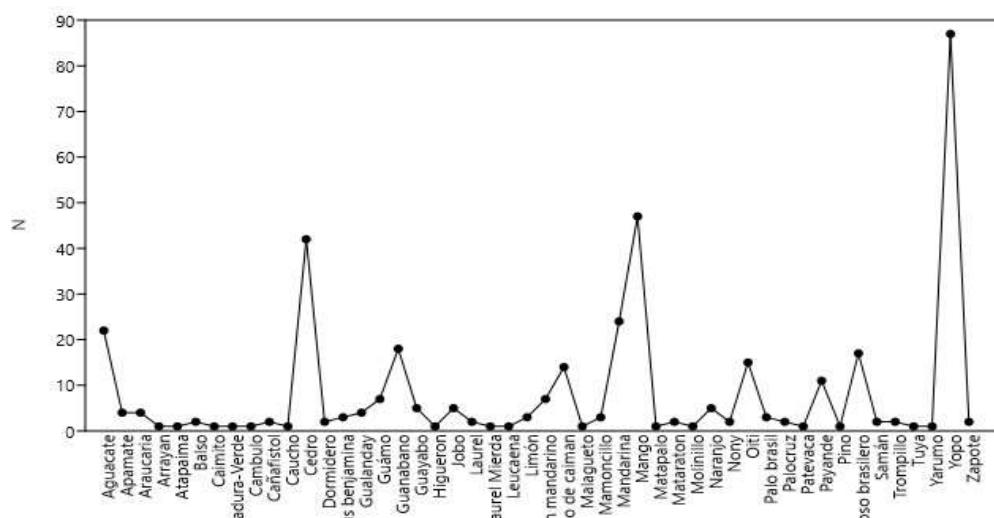


Figura 7. Cantidad de individuos por especies en la estación de La Esmeralda. Por: Camila Reyes & katherine sanchez, 2020

Como se pudo evidenciar en la Figura 7, de acuerdo con los picos máximos de abundancia de cada especie, la que contó con mayor cantidad de individuos arbóreos fue el yopo, luego el mango, cedro y por último la mandarina.

Tabla 16. Inventario de las especies forestales más representativas en la estación de Cofrem según los índices de abundancia relativa y absoluta.

COFREM			
Nombre Común	Familia	Abundancia	Abundancia
Guayacán	Bignoniaceae	14	25
Oiti	Chrysobalanaceae	7	12,5
Pomarroso	Myrtaceae	9	16,05
Total en la estación:		56	53,5

Nota. Datos obtenidos del inventario forestal de la Secretaria de Medio Ambiente. Por: Camila Reyes & katherine sanchez, 2020

Según los índices de abundancia relativa y absoluta se registraron tres especies representativas pertenecientes a tres familias de la estación de Cofrem (tabla 15), la familia más representativa fue Bignoniaceae con 14 individuos, seguida de Myrtaceae con 9. De las tres especies, las tres fueron introducidas (guayacán rosado, oiti y pomarroso brasilero). Para los índices de abundancia se tomó en cuenta que la población total por nombre común en la estación de Cofrem es 56.

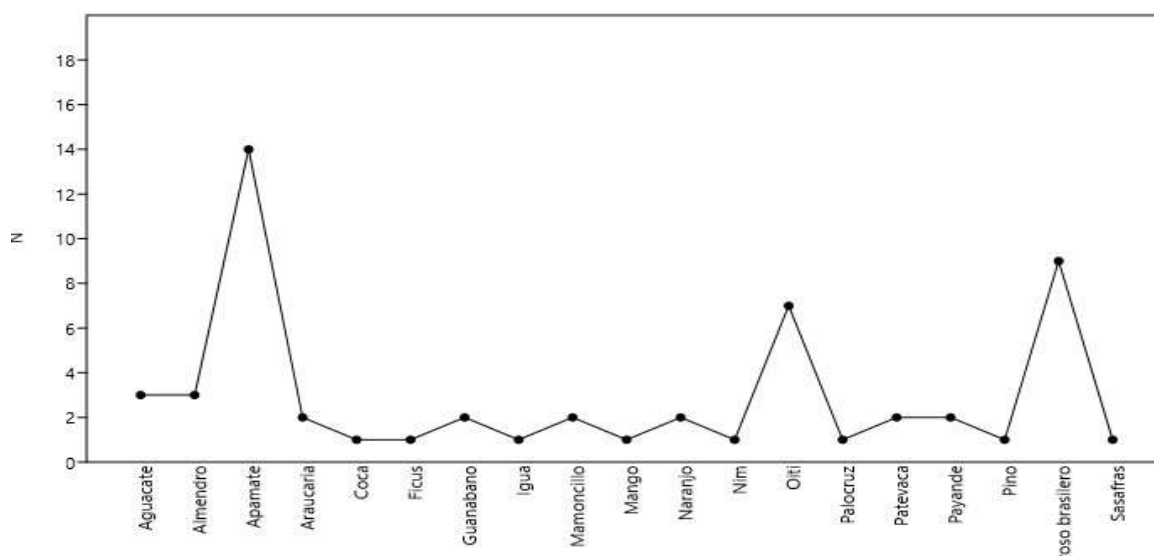


Figura 8. Cantidad de individuos por especie en la estación de Cofrem. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020.

Anteriormente, se presenta la gráfica (figura 8) con los picos máximos de cada especie. Según la gráfica la especie con mayor cantidad de individuos arbóreos fue el apamate mayormente conocido como guayacán rosado, luego el Oiti y por último el pomarroso brasileiro.

Tabla 17. Inventario de las especies forestales más representativas en la estación Catumare según los índices de abundancia relativa y absoluta.

CATUMARE			
Nombre Común	Nombre Científico	Abundancia Absoluta	Abundancia Relativa
Almendro	Bignoniaceae	1	33,33
Caucho	Chrysobalanaceae	1	33,33
Mamoncillo o mamon	Myrtaceae	1	33,33
Total en la estación:3		Total:3	100

Nota. Datos obtenidos del inventario forestal de la secretaria de medio ambiente. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

Según los índices de abundancia relativa y absoluta se registraron tres especies representativas pertenecientes a tres familias de la estación Catumare (tabla 16). De las tres especies, dos fueron nativas (mamoncillo y caucho) y una introducida (almendro). Para los índices de abundancia se tomó en cuenta que la población total en la estación de Catumare es de tres.

Una vez identificadas las especies más representativas se realizó el análisis entre estaciones por medio del índice de similitud de Bray-curtis, con el fin de identificar la similitud y la disimilitud de especies entre estaciones.

Tabla 18. Índice de similitud entre estaciones por Bray-curtis

Índice de similitud			
	<u>Catumare</u>	<u>Cofrem</u>	<u>Esmeralda</u>
Catumare	1	0,66	0,66
Cofrem	0,66	1	0,36
Esmeralda	0,66	0,36	1

Nota. Entre más cercano a cero (0) la similitud es menor o en su defecto, entre más cercano a uno (1), poseen mayor similitud entre estaciones. La comparación se realizó con el total de especies según la base de datos de la secretaria de ambiente de Villavicencio. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

Con respecto a la tabla 17 se observa la disimilitud de especies entre la estación Cofrem y La Esmeralda con un 0,36 a comparación de la similitud de estas dos estaciones con la estación Catumare, esta similitud se debe a la escasez de información de arbolado urbano por parte de la Secretaria de Medio Ambiente en la estación de Catumare. Además, se puede relacionar la disimilitud entre Cofrem y La Esmeralda teniendo en cuenta la información planteada en las figuras 19 y 20, observando que la estación con mayor riqueza (variedad de número de especies en una comunidad) es la estación La Esmeralda debido a su ubicación, ya que a diferencia de las otras dos estaciones esta estación se encuentra cerca de la reserva natural de Bavaria y de la vereda La Argentina donde se realiza ecoturismo, a su vez la estación Cofrem presenta gran riqueza, pero lo que difiere a la estación La Esmeralda es su ubicación más concurrida debido a su cercanía con una de las vías principales de Villavicencio, por ende es entendible la predeterminación de árboles ornamentales como el Guayacán rosado debido a su atractivo, además de que ayudan al mejoramiento de la estabilidad del suelo y no generan daños en las construcciones urbanas.

7.2.3.2 Georreferenciación y espacialización del arbolado.

Mediante el uso del software ArcGis 10.5 se logró identificar lo representativas que son las especies dentro del buffer de 200 metros, alrededor de cada una de las estaciones. En Catumare solo se observaron 3 especies, esto debido a que en la base de datos de la Secretaria de Medio Ambiente del municipio solo se tienen hasta el momento información de esas especies en ese lugar,

por ende se toman estas especies para el estudio, en la estación de Cofrem se observó una distribución de las tres especies a lo largo del parque el Jordán y el separador de la vía Catama, por último en la estación La esmeralda cuenta con 200 de individuos representativos dentro de las instalaciones de la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Villavicencio.

7.2.3.3 Estimación de la temperatura efectiva bajo el árbol con base a bibliografía secundaria.

La elección de las especies más representativas se realizó por medio del cálculo de abundancia relativa y abundancia absoluta, posteriormente para la estimación de la temperatura efectiva bajo el árbol de las especies representativas se realizó por medio de bibliografía secundaria, es decir con cada especie representativa se seleccionó un artículo donde se pudo efectuar la estimación de la reducción de temperatura efectiva bajo el árbol teniendo en cuenta la temperatura relativa de la ciudad o región en la que se realiza cada estudio para así obtener el dato de reducción de temperatura efectiva por especie de árbol (anexo f).

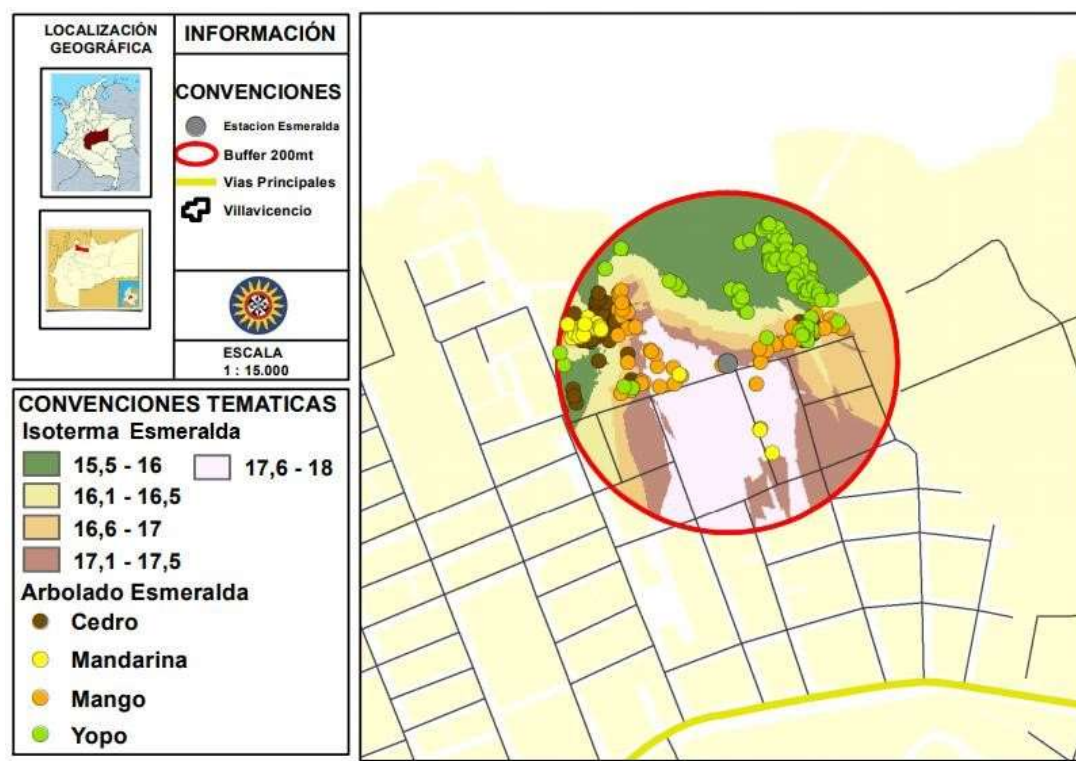


Figura 9. Geoposicionamiento de las especies más representativas en la estación de La Esmeralda y su reducción de temperatura. Por: Camila Reyes & katherine sanchez, 2020

Tabla 19. Datos de reducción de temperatura para las especies más representativas de la estación La Esmeralda.
Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

LA ESMERALDA					
Cantidad	Nombre Común	Familia	Reducción de temperatura efectiva (°C)	CAP (cm)	Altura (m)
42	Cedro	Meliaceae	2,07	178,04	16,64
47	Mango	Anacardiaceae	0,11	113,31	8,33
87	Yopo	Mimosaceae	2,08	89,95	11,51
24	Mandarina	Rutaceae	0,59	35,79	4,34
Total:					

Nota. La reducción de temperatura efectiva se obtuvo por medio de información secundaria, un estudio diferente para el yopo (PEREZ, 2014), mango (Gonzales O. E., 2008), cedro (Jesús David Gómez Díaz, 2017) y mandarina (Fischer) para cada especie se usó la temperatura según la ciudad de referencia de las fuentes bibliográficas mencionadas. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

Con base a las características dasométricas del arbolado se analizó la altura y la circunferencia a la altura del pecho promedio de cada especie con el fin de establecer una relación entre el árbol y los cambios de temperatura que este genera. El cedro fue el que tuvo el mayor promedio de Circunferencia a la Altura del Pecho (CAP) de 178,04 cm, en comparación de la mandarina con tan solo 35,79 cm de CAP, seguido del mango con un CAP de 113,31 cm y el yopo con un CAP de 35,79 cm, a diferencia de los datos del CAP se encuentra una relación directamente proporcional entre la reducción de temperatura efectiva y la altura del arbolado ya que el cedro y el yopo quienes obtuvieron mayor reducción de temperatura efectiva son los árboles con mayor altura promedio con 16,64 m y 11, 51 m respectivamente (tabla 15) también se observa (figura 9) la reducción de la temperatura efectiva especialmente en los lugares donde se encuentra el yopo y el cedro, los cuales reducen en más de dos grados centígrados la temperatura efectiva, principalmente se observa que la distribución de las especies se encuentra de manera natural es decir que los individuos de las especies han nacido naturalmente sin necesidad de un programa de siembra.

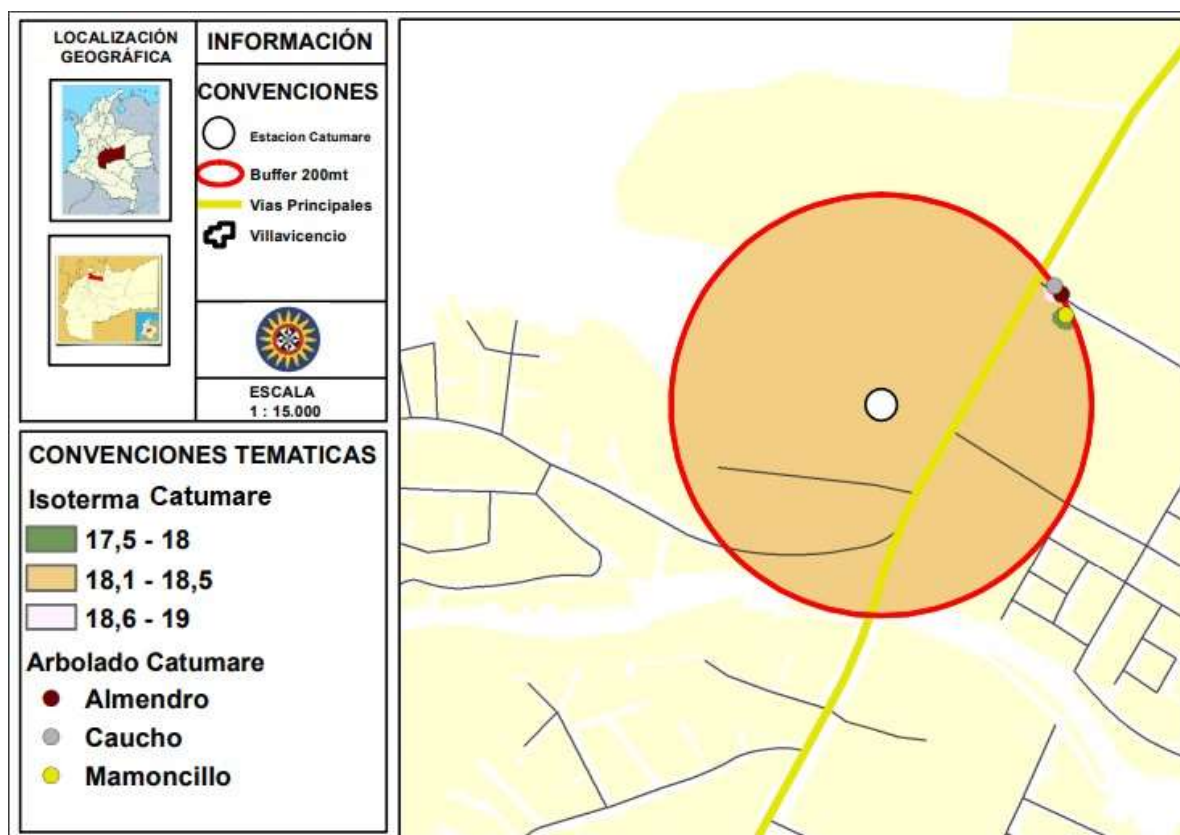


Figura 10. Geoposicionamiento de las especies más representativas en la estación de Catumare. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

Tabla 20. Datos de reducción de temperatura para las especies más representativas de la estación de Catumare.

CATUMARE					
Cantidad	Nombre	Familia	Reducción de	CAP (cm)	Altura (m)
1	Almendro	Bignoniaceae	0,03	68	6,79
1	Caucho	Chrysobalanaceae	0,21	97,75	7
1	Mamoncillo	Myrtaceae	0,94	29,25	5,25
Total:3					

Nota. Se estimó la temperatura efectiva de acuerdo con las condiciones térmicas de la región de referencia de la fuente bibliográfica (Gonzales O. E., 2008). Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

En la estación de Catumare con el fin de comparar los cambios térmicos con otra característica dasométricas se realizó la comparación con los datos promedios del CAP y altura por especie y los resultados son los siguientes: el caucho cuenta con un CAP de 97,75 cm y una altura de 7 m, le sigue el almendro con 68 cm y 6,79 m de altura y por último el mamoncillo con un CAP de 29,25 cm y una altura de 5,25 m. A diferencia de la estación La Esmeralda, la reducción de la temperatura efectiva en la estación Catumare (tabla 16) está relacionada con datos de CAP y de altura bajos como en el caso del mamoncillo. En la figura 10 se observa la espacialización de la reducción y

localización de las especies de la estación de Catumare donde la especie con mayor reducción es donde se encuentra el Mamoncillo con una reducción de temperatura efectiva cercana a 1 °C.

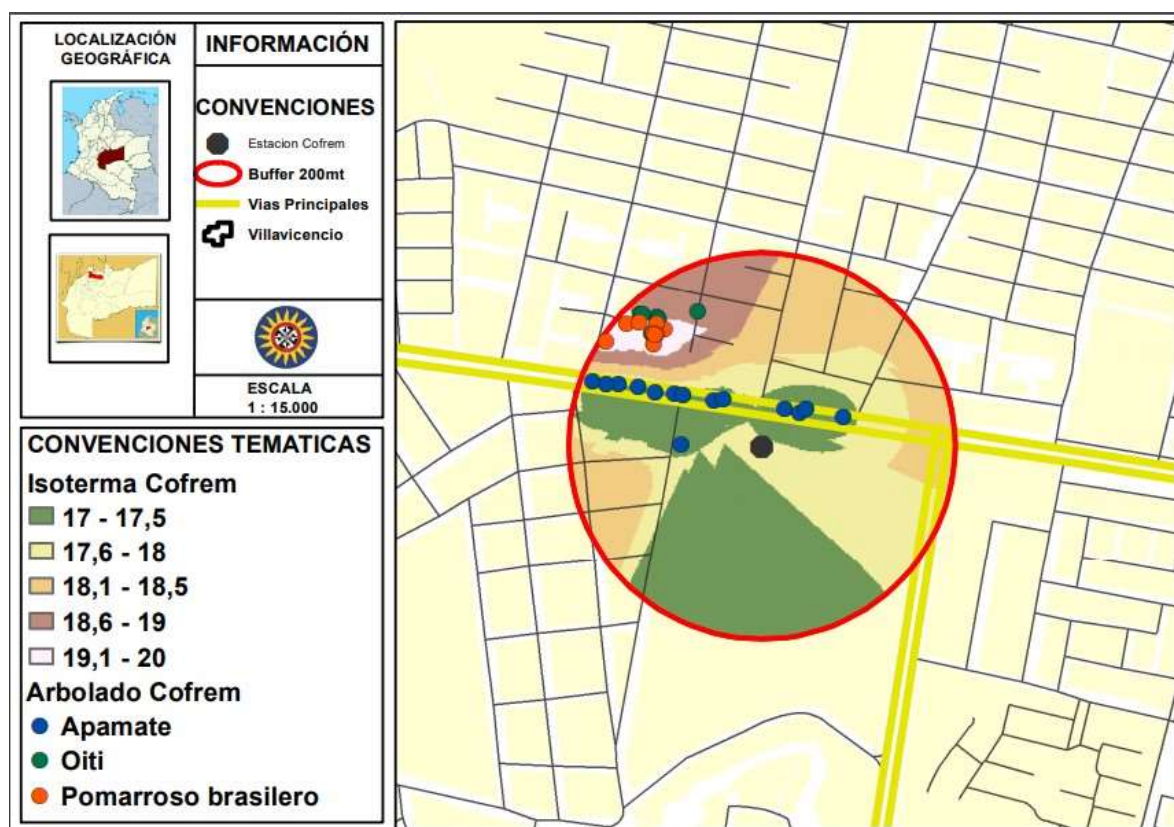


Figura 11. Geoposicionamiento de las especies más representativas en la estación de Cofrem. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

Tabla 21. Datos de reducción de temperatura para las especies más representativas de la estación Cofrem. Por: Sanchez & Reyes, 2020

COFREM				
Nombre		Reducción de temperatura efectiva (°C)	CAP (cm)	Altura (m)
Cantidad	Familia			
Guayacán 14			75	6,65
Rosado	Bignoniaceae	2,10		
7 Oiti	Chrysobalanaceae	0.9	34,4	3,7
Pomarroso 9			92,4	7,1
brasileiro	Myrtaceae	0,22		
Total:3				

Nota. Se estimó la temperatura efectiva de acuerdo con las condiciones térmicas de la región de referencia de la fuente bibliográfica (Gonzales O. E., 2008). Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

Por último, para la estación de Cofrem se analizó la altura promedio en metros, de cada especie con respecto a la temperatura efectiva. En el caso del Oiti, cuenta con una altura promedio de 3,7 metros, le sigue el guayacán rosado con una altura de 6,65 y por último el pomaroso brasileiro con una altura de 7,1. Esto demuestra la relación directa entre la altura y la CAP con la reducción de temperatura efectiva, donde datos promedios que no son bajos ni altos a comparación de las demás especies generan una gran reducción de temperatura efectiva (tabla 17), como se demuestra en la figura 11 donde el guayacán rosados es la especie que más reducción de temperatura efectiva genera a su alrededor, además de que este fue utilizado en los separadores de la carretera.

Lo cual confirma que cada especie según características dasométricas como la altura y el CAP tienen una correlación diferente dependiendo la estación a estudiar en la temperatura efectiva. Además, se observa los beneficios del arbolado en la reducción de variables climáticas, se determina que la presencia de árboles reduce la temperatura efectiva por medio del control de la radiación solar, esto depende netamente de la densidad y altura del espécimen, además de que disminuyen los efectos climáticos, por medio del control del viento ya que dependiendo de su distribución pueden obstruir o desviar las corrientes de aire

8. Conclusiones

- ❖ En el año 2018 y 2019 hubo presencia de fenómenos de variabilidad climática, en 2018 el fenómeno de La Niña y en 2019 el fenómeno de El Niño en las tres estaciones, con mayor efecto en la estación La Esmeralda, esto teniendo en cuenta el análisis estadístico de las variables en el tiempo. La temperatura del aire presenta valores desde los 10°C a los 36°C, la estación con mayor disimilitud con respecto al promedio de temperatura del aire en las estaciones fue la de Cofrem, más que todo en el año 2019, las temperaturas máximas del aire se presentan desde las 9:00-17:00 horas dependiendo de cada estación, y los mínimos de temperatura del aire se encuentran desde las 6:00-10:00 horas, La humedad relativa muestra valores desde los 76% a 97%, la estación que difiere con respecto a las demás es la de Cofrem obteniendo una disminución de 3 a 4% del promedio de humedad relativa en 2019 con respecto a las otras dos estaciones, las humedades relativas máximas se presentan desde las 6:00-11:00 horas, y los mínimos de esta variable se encuentran desde las 14:00-17:00 horas teniendo la estación de Cofrem los menores valores de humedad relativa, la velocidad del viento genera valores desde 0,0 m/s hasta 31 m/s, los valores de las tres estaciones difieren entre sí, con los mayores valores en la estación de Catumare, seguida Cofrem y con los menores valores provenientes de La Esmeralda, las velocidades del viento máximas y mínimos no se presentan en un rango específico de tiempo, encontrando estos datos en distintas horas del día. La evolución en el tiempo de las variables climáticas está determinada principalmente por los vientos alisios del norte y del sur los cuales desplazan la ZCIT creando los periodos de sequía de diciembre a marzo y periodos húmedos desde marzo a noviembre.
- ❖ El 2019 es el año con mayor variación en las medias de temperatura efectiva según el análisis estadístico para las estaciones Cofrem y La Esmeralda debido a los datos atípicos distribuidos en el mes de septiembre (25 °C) para la estación de La Esmeralda, y septiembre (35,7°C) en Cofrem. Para realizar el análisis estadístico de temperatura efectiva promedio máxima y mínima mensual plurianual Se debe usar otro método diferente al de normalidad ya que las estaciones presentan diferencias significativas en

su distribución normal. Los fenómenos de la niña y el niño aumentan o disminuyen el índice de temperatura efectiva. Las temperaturas efectivas máximas promedio aumentaron a lo largo de los tres años de estudio (2017,2018 y 2019). El 2018 según el análisis ANOVA fue el único año con similitud en sus medias estadísticamente significativas

- ❖ Las mediciones de temperatura efectiva pueden presentar variaciones ya que en el caso del yopo se apropiaron datos obtenidos en la ciudad de Villavicencio, Meta Colombia con una temperatura relativa de 25,04 °C, para la mandarina se apropiaron los datos del piedemonte llanero de Colombia con una temperatura efectiva de 24,2 °C, para el cedro se apropiaron los datos del Estado de Hidalgo de México con una temperatura efectiva de 23,38 °C y por ultimo para el resto del arbolado se apropiaron los datos de la ciudad de Barranquilla, Colombia con una temperatura efectiva de 27,6 °C.
- ❖ Conforme el arbolado existente La estación que obtuvo mayor reducción en la temperatura efectiva fue La Esmeralda, con 1,43° C menos para los años 2017,2018 y 2019 teniendo en cuenta que las especies más representativas para esa área fueron el cedro, mango, yopo y mandarina y la especie que representa mayor reducción en la temperatura efectiva es el yopo con 87 especies presentes alrededor de la estación, algunas características dasométricas del arbolado como el CAP y la altura mantienen una correlación directa con el servicio ecosistémico de regulación térmica, la mayor parte del individuo arbóreo más representativo (el Yopo) se encuentra dentro de las instalaciones de la planta de tratamiento de agua potable de La Esmeralda y por tanto en esa zona se presenta las temperaturas efectivas más bajas y varían entre 15,5°C y 15,6 °C, a diferencia de la estación de Catumare la cual debido al reducido porcentaje de individuos arbóreos y la presencia de especies que reducen en menor cantidad los grados de temperatura se establece como el área más caliente y con menor biodiversidad. Según la cantidad de individuos arbóreos geo posicionada en cada estación La Esmeralda, Cofrem y Catumare se observa así mismo una correlación con el índice de temperatura efectiva.

Bibliografía

- Alcaldia, V.-M. (02 de 10 de 2020). Economía. Obtenido de <http://villavicencio.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>
- Andrade, & Moreano. (2013). Sistema de Información para la Interpolación de datos de Temperatura y de Precipitación del Ecuador. Revista Politécnica, 70–75. obtenido de https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/viewFile/52/pdf
- 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. Proyecto de investigación VII convocatoria interna para proyectos de investigación modalidad: Proyectos interinstitucionales en el marco de la articulación entre Universidad- Empresa- Estado- Sociedad civil, 17. obtenido de: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/22664>
- Armson, D. S. (2012). The effect of tree shade and grass. Urban Forestry , 11(3), 245– 255. obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/257669001_The_effect_of_tree_shade_and_grass_on_surface_and_globe_temperatures_in_an_urban_area
- Bocanegra, J. E. (2014). Actualización del componente meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico. Bogotá: IDEAM.
- Bustamante, A., & Arboleda, L. (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. Villavicencio: Universidad Santo Tomás.
- Camacho, J. H. (10 de 09 de 2020). Selva y Futuro, 1990. Obtenido de <http://licaciones/Biodiv/bdcolcar.htm>
- Casadei, P. (2017). Descripción y cuantificación de las Islas de Calor Urbanas en Argentina. Obtenido de <http://ri.agro.uba.ar/files/intranet/intensificacion/2017casadeipaula.pdf>
- Colodro, J. S. (2014). Áreas verdes metropolitanas planificación territorial e (in)justicia ambiental en Santiago de Chile. Santiago de Chile . obtenido de:

- https://www.researchgate.net/publication/311948974_Areas_verdes_metropolitanas_plan_ificacion_territorial_e_injusticia_ambiental_en_Santiago_de_Chile
- Cormacarena, C. y. (2018). Plan Regional Integral de Cambio Climático para la Orinoquía- Meta.
- Duval, V. S. (2016). “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. obtenido de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/42372>
- Findeter. (2016). Villavicencio Sostenible. Obtenido de <https://www.findeter.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=descargar&idFile=242428>
- Fischer, J. O.-R. (s.f.). Balance hídrico e influencia del estrés hídrico en la inducción y desarrollo floral de la mandarina ‘Arrayana’ en el piedemonte llanero de Colombia. Agronomía Colombiana, 25(2), 255-263. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180320296007.pdf>
- Francisco, W. d. (12 de 03 de 2020). Microclima urbano. Recuperado el 15 de 08 de 2019, de <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/microclima-urbano.htm>
- Gonzales, O. C. (16 de 09 de 1998). Metodología para el Cálculo del Confort Climático en Colombia. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/007574/Metodologiaconfort.pdf>
- Gonzales, O. E. (Julio-Diciembre de 2008). Índice de confort de la vegetación. Nodo, 3(5), 49-70. doi:file:///C:/Users/kmird/Downloads/Dialnet-IndiceDeConfortDeLaVegetacion-3396622%20(3).pdf
- IDEAM. (6 de Octubre de 1999). cartas climáticas. Obtenido de Clima: Climatografía de la principales ciudades: <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/villao/temperatura.htm>
- Jesús David Gómez Díaz, A. I. (2017). Distribución del cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en el estado de Hidalgo, bajo condiciones actuales y escenarios de cambio climático. Madera y Bosque, 29-49. obtenido de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v13n2/1405-0471-mb-13-02-29.pdf>
- LLC, M. (2017). Minitab. State College, Pennsylvania, EE.UU.
- Luise Martins, M. W. (2001). arbolado urbano, aspectos ambientales. Laboratorio de Investigaciones del Territorio y el Ambiente (LINTA), 51-54.

- Mascaré, J. L., & Mascaré, L. (2001). Arbolado urbano: aspectos ambientales. Laboratorio de Investigaciones del Territorio y el Ambiente (LINTA), 51-54.
- Matzarakis, A. R. (2007). Modelado de flujos de radiación en entornos simples y complejos: aplicación del modelo RayMan. *Int J Biometeorology*, 51(4), 323–334.
- Mivah. (2016). Importancia de las áreas verdes recreativas. Costa Rica: Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos de Costa Rica.
- Montealegre B, J. E. (1990). técnicas estadísticas aplicadas en el manejo de datos hidrológicos y meteorológicos. Bogotá: instituto colombiano de hidrología, meteorología y adecuación de tierras - himat. obtenido de:
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/009198/009198.htm> Orlando, G. (2008). Índice de confort de la vegetación. *Revista nodo* N° 5, 49-70.
- Palomino, C. M. (2013). Análisis de especies arbóreas urbanas. Bogotá. obtenido de:
<http://hdl.handle.net/10554/12463>
- PEREZ, N. P. (2014). evaluación del componente forestal *Acacia mangium* Willd, melina *Gmelina* arborea Roxb y yopo *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg bajo sistemas silvopastoriles en el centro de investigación la libertad corporaica- villavicencio - meta. Obtenido de <https://repository.udca.edu.co/bitstream/11158/1695/1/Documento%20Maestr%c3%ada.%20Niria%20Bonza%202014.pdf>
- Soto, J. a. (11 de 09 de 2011). Las áreas verdes urbanas: una alternativa para mejorar el microclima urbano. Obtenido de <http://www.otromundoesposible.net/las-areasverdes-urbanas-unaalternativa-para-mejorar-el-microclima-urbano/>
- Tejeda-Martínez, A. (Diciembre de 2018). La Humedad en la atmósfera bases físicas, instrumentos y aplicaciones. México: Universidad de Colima. obtenido de:
http://ww.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/La-humedad-en-la-atmosfera_466.pdf
- Veloza, R. (12 de 04 de 2018). Conservación y restauración ecológica. Electiva 1. Villavicencio, Colombia: Universidad Santo Tomás .

Anexos

Anexo A. Datos mensuales plurianuales de las variables en estudio

Tabla 22. Datos mensuales plurianuales de temperatura del aire

		TEMPERATURA DEL AIRE		
Año Mes		<u>Esmeralda Catumare Cofrem</u>		
	Noviembre 2017	26,1	26,3	27,6
	Diciembre	26,0	26,9	27,7
2018	Enero	25,8	27,4	27,4
	Febrero	26,7	28,1	28,2
	Marzo	26,0	27,4	28,5
	Abril	24,5	25,5	25,7
	Mayo	24,8	26,0	26,2
	Junio	24,7	24,7	25,3
	Julio	23,8	24,9	23,9
	Agosto	24,7	26,1	26,2
	Septiembre	25,9	27,1	27,1
	Octubre	27,4	27,4	27,5
	Noviembre	26,1	27,6	27,7
	Diciembre	26,4	27,8	27,8
2019	Enero	27,5	28,6	28,0
	Febrero	26,2	29,1	26,0
	Abril	25,1	27,1	26,6
	Mayo	25,5	26,3	26,6
	Junio	24,3	25,2	22,2
	Agosto	25,9	25,7	25,9
	Septiembre	31,7	27,5	39,1
	Octubre	27,2	26,9	26,7
	Noviembre	26,4	26,9	26,9

Nota. Datos obtenidos de la página SISAIRE de CORMACARENA con franja horaria de 06 – 17 horas del día. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

Tabla 23. Datos mensuales plurianuales de humedad relativa

Año Mes	HUMEDAD RELATIVA		
	<u>Esmeralda</u>	<u>Catumare</u>	<u>Cofrem</u>
2017			
Noviembre	72,2	72,4	72,3
Diciembre	64,3	60,6	62,9
2018			
Enero	66,5	62,7	65,0
Febrero	55,4	51,9	54,0
Marzo	62,9	62,7	62,8
Abril	77,1	75,5	75,4
Mayo	78,0	75,3	77,0
Junio	81,3	78,8	76,9
Julio	79,0	77,0	78,3
Agosto	72,7	70,7	71,4
Septiembre	70,4	68,1	66,1
Octubre	61,7	68,7	64,0
Noviembre	71,3	69,5	70,3
Diciembre	60,4	58,2	59,5
2019			
Enero	49,8	54,9	51,5
Febrero	52,2	52,2	49,5
Marzo	65,7	65,8	62,4
Abril	71,9	71,1	68,4
Mayo	74,6	74,7	67,7
Junio	78,5	77,8	71,0
Julio	73,3	73,4	69,7
Agosto	70,7	72,2	65,8
Septiembre	65,1	66,8	60,2
Octubre	63,5	61,3	62,4
Noviembre	62,4	72,2	65,4
Diciembre	67,5	67,6	64,1

Nota. Datos obtenidos de la página SISAIRE de CORMACARENA con franja horaria de 06 – 17 horas del día. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

Tabla 24. Datos mensuales plurianuales de velocidad del viento

Año Mes	VELOCIDAD DEL VIENTO			
	<u>Esmeralda</u>	<u>Catumare</u>	<u>Cofrem</u>	
Noviembre 2017	0,2	1,27	1,1	1,2
Diciembre	0,2			1,1
Enero	0,4	1,3		1,2
Febrero	0,2	1,2		1,1
Marzo	0,5	2,0		1,0
Abril	0,5	1,1		0,9
Mayo	0,6	1,7		0,8
2018 Junio	0,5	1,0		0,8
Agosto	0,6	1,0		0,9
Septiembre	0,6	1,1		1,0
Octubre	0,8	1,2		1,1
Noviembre	0,8	1,1		1,1
Diciembre	0,7	1,2		1,1
Enero	1,2	1,2		1,0
Febrero	0,6	1,2		0,9
Marzo	0,5	0,9		0,8
Abril	0,6	0,9		0,9
Mayo	0,6	1,0		0,9
Junio	0,6	1,0		0,8
2019 Julio	0,5	1,0		0,9
Agosto	0,5	0,9		0,9
Septiembre	0,5	1,0		0,9
Octubre	0,5	0,9		0,9
Noviembre	0,7	1,1		1,0
Diciembre	0,5	1,1		0,9

Nota. Datos obtenidos de la página SISAIRe de CORMACARENA con franja horaria de 06 – 17 horas del día.
 Por: Camila Reyes & katherine sanchez, 2020

Anexo B. Datos máximos y mínimos mensuales plurianuales de las variables en estudio*Tabla 25. Datos máximos y mínimos mensuales plurianuales de temperatura del aire. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020*

TEMPERATURA DEL AIRE							
Año	Mes	Esmeralda		Catumare		Cofrem	
		Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos
2017	Nov	30,0	20,0	30,7	20,1	32,5	21,1
	Dic	30,0	21,0	32,2	10,7	32,7	19,9
	Ene	31,0	20,0	32,7	20,2	32,5	21,3
	Feb	32,0	21,0	33,9	21,9	33,7	22,6
	Mar	32,0	20,0	33,4	20,9	34,7	21,0
	Abr	30,0	20,0	31,5	20,0	31,6	20,3
	May	29,0	20,0	31,5	19,8	31,5	20,9
	Jun	30,6	20,1	30,6	20,1	30,9	20,5
	Jul	29,2	19,0	30,3	19,8	26,0	20,5
	Ago	31,0	20,0	32,3	20,2	32,4	20,9
	Sep	31,4	20,0	33,3	20,1	32,9	21,1
	Oct	32,8	20,8	32,8	20,8	33,3	21,1
2018	Nov	30,9	20,3	32,4	21,2	32,4	21,4
	Dic	31,0	20,0	32,4	20,8	31,6	21,7
	Ene	31,9	12,0	33,2	21,2	33,2	21,5
	Feb	28,8	22,0	32,3	20,8	36,3	22,9
	Mar					34,0	21,3
	Abr	32,0	20,0	32,3	21,8	32,6	21,2
	May	31,0	20,0	32,9	21,2	32,3	21,0
	Jun	30,3	19,0	31,9	19,9	31,5	19,4
	Jul					31,7	19,6
	Ago	28,4	22,3	32,7	19,4	32,8	19,5
	Sep	34,4	26,5	32,3	20,6	32,8	21,1
	Oct	28,7	22,6	32,3	20,3	32,3	20,5
2019	Nov	31,0	20,0	31,5	21,3	32,5	20,7
	Dic					32,4	21,7

Tabla 26. Datos máximos y mínimos mensuales plurianuales de humedad relativa. Por: Camila Reyes & katherine sanchez, 2020

Año	Mes	HUMEDAD RELATIVA					
		Esmeralda		Catumare		Cofrem	
		Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos
2017	Nov	92,0	50,0	90,0	50,0	91,3	50,0
	Dic	91,0	30,1	88,8	27,7	89,9	29,2
	Ene	91,0	38,0	90,0	35,0	90,6	36,8
	Feb	78,0	35,0	78,0	33,0	76,8	34,2
	Mar	91,0	37,0	96,7	35,8	93,1	27,1
	Abr	92,0	48,0	91,7	47,2	91,9	47,7
	May	92,0	53,0	90,0	49,0	91,3	52,1
	Jun	93,0	53,0	91,0	51,0	92,2	52,2
	Jul	92,0	54,0	90,0	50,0	91,2	53,1
	Ago	92,0	42,0	91,0	41,0	91,6	42,6
	Sep	101,2	43,0	102,0	39,0	100,7	18,2
	Oct	87,6	41,9	90,0	41,0	84,6	43,6
2018	Nov	95,1	43,1	90,0	42,0	90,6	36,5
	Dic	90,0	34,0	87,0	33,0	88,9	33,6
	Ene	90,1	32,0	91,7	33,1	90,7	32,7
	Feb			86,0	28,0		
	Mar			88,0	34,0		
	Abr	98,0	41,0	90,0	40,0	90,4	41,8
	May	94,7	45,8	90,0	44,0	90,0	39,0
	Jun	95,6	43,7	90,0	41,0	90,0	39,9
	Jul			90,0	42,0		
	Ago	85,8	62,9	90,0	36,0	90,0	33,0
	Sep	78	54	89,0	40,0	89,0	38,0
	Oct	70,8	54,7	89,0	40,0	89,0	40,0
2019	Nov	90,0	36,0	91,0	48,0	88,0	45,0
	Dic			89,0	42,0		

Tabla 27. Datos máximos y mínimos mensuales plurianuales de velocidad del viento. Por: Camila Reyes & katherine sanchez, 2020

Año	Mes	VELOCIDAD DEL VIENTO					
		Esmeralda		Catumare		Cofrem	
		Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos	Máximos	Mínimos
2017	Nov	1,0	0,0	6,5	0,0	6,3	0,0
	Dic	2,0	0,0	2,7	0,2	2,7	0,2
	Ene	7,0	0,0	3,7	0,1	5,1	0,1
	Feb	2,0	0,0	3,6	0,1	19,3	0,0
	Mar	2,0	0,0	6,0	0,0	5,0	0,0
	Abr	2,0	0,0	3,8	0,0	4,2	0,0
	May	2,0	0,0	28,3	0,0	2,7	0,0
	Jun	2,0	0,0	4,2	0,0	7,6	0,0
	Jul						
	Ago	2,0	0,0	3,2	0,1	31,0	0,0
	Sep	2,0	0,0	4,1	0,0	4,2	0,0
	Oct	2,3	0,0	4,7	0,0	31,0	0,0
2018	Nov	2,4	0,0	3,6	0,1	2,8	0,0
	Dic	2,0	0,0	3,4	0,1	9,6	0,1
	Ene	4,9	0,0	3,7	0,1	3,3	0,1
	Feb			3,7	0,0	2,5	0,2
	Mar			3,1	0,0		
	Abr	3,0	0,0	3,0	0,1	5,3	0,1
	May	2,0	0,0	4,2	0,0	2,4	0,0
	Jun	2,1	0,0	3,9	0,1	2,5	0,0
	Jul			5,2	0,1		
	Ago	0,5	0,3	2,9	0,0	2,5	0,0
	Sep	0,6	0,3	3,2	0,0	2,9	0,1
	Oct	0,5	0,4	2,6	0,1	2,6	0,1
2019	Nov	2,0	0,0	3,2	0,0	2,5	0,1
	Dic			3,4	0,0		

Anexo C. Datos de temperatura efectiva máxima y mínima*Tabla 28. Datos de temperatura efectiva máxima promedio*

	Máxima			promedio
Noviembre	25	26	29	27
Diciembre	25	28	29	28
enero	27	30	29	29
Febrero	27	30	30	29
marzo	28	31	33	31
abril	26	28	28	27
mayo	24	28	28	27
Junio	27	26	27	27
Agosto	27	29	29	28
Septiembre	28	32	31	30
Octubre	29	30	30	30
Noviembre	27	29	29	28
Diciembre	27	29	28	28
Enero	28	30	30	30
Febrero	17	35	21	24
Abril	29	29	29	29
Mayo	27	29	30	29
Junio	26	28	28	27
Agosto	22	30	29	27
Septiembre	31	30	89	50
Octubre	22	29	29	26
Noviembre	27	29	27	28

Nota: Se estimó la temperatura efectiva promedio máxima con los datos de temperatura de aire, humedad relativa y velocidad del viento máximos. bibliográfica. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

Tabla 29. Datos de temperatura efectiva mínima promedio

	Mínima			promedio
Noviembre	7	7	9	8
Diciembre	8	-4	7	3
Enero	7	8	9	8
Febrero	9	10	11	10
Marzo	7	8	8	8
Abril	7	7	8	8
Mayo	8	7	9	8
Junio	8	8	8	8
Agosto	7	8	9	8
Septiembre	7	7	8	8
Octubre	8	9	9	9
Noviembre	8	9	9	9
Diciembre	7	8	9	8
Enero	-4	9	9	5
Febrero	9	11	7	9
Abril	7	9	10	9
Mayo	7	9	9	8
Junio	6	7	7	7
Agosto	12	7	6	8
Septiembre	17	9	8	11
Octubre	12	8	8	9
Noviembre	7	9	9	8

Nota: Se estimó la temperatura efectiva promedio mínima con los datos de temperatura de aire, humedad relativa y velocidad del viento mínimos. bibliográfica. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

Anexo D. Método Tukey para la temperatura efectiva máxima y mínima promedio

Tabla 30. Método Tukey para la temperatura efectiva máxima promedio desde el 2017 hasta el

Factor	N	Media	Agrupación
cofrem	22	31.51	A
catumare	22	29.298	A
la	22	26.263	A
esmeralda			

Nota. Las medias que no comparten una letra, son significativamente diferentes. Por: Camila Reyes & katherine sanchez, 2020

Tabla 31. Método tukey para la temperatura efectiva minima promedio desde el 2017 hasta el

Factor	N	Media	Agrupación
cofrem	21	8.493	A
la	21	7.904	A
esmeralda			
catumare	21	7.669	A

Nota. Las medias que no comparten una letra, son significativamente diferentes. Por: Camila Reyes & katherine sanchez, 2020

Anexo E. Familias más representativas por estación

Tabla 32. Cantidad de arbolado por familia más representativas en la estación la Esmeralda. Por: Camila Reyes & katherine sanchez, 2020

ESMERALDA		
Familia	Nombre común	Cantidad
Mimosaceae	Dormidero	2
	Guámo	7
	Payande	11
	Samán	2
	Yopo	87
Anacardiaceae	Jobo	5
	Mango	47
Meliaceae	Cedro	42
	Trompillo	2
Rutaceae	Limón	3
	Limón mandarino	
	7	
	Mandarina	24

Tabla 33. Cantidad de arbolado por familia más representativas en la estación Cofrem. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

COFREM		
Familia	Nombre común	Cantidad
Bignoniaceae	Apamate	14
Chrysobalanaceae	Oiti	6
Myrtaceae	Pomarroso brasileiro	9

Tabla 34. Cantidad de arbolado por familia más representativas en la estación Catumare. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020

CATUMARE		
Familia	Nombre Común	Cantidad
Chrysobalanaceae	Caucho	4
Myrtaceae	Mamoncillo	8
Bignoniaceae	Almendro	24

Anexo F. Información secundaria de temperatura efectiva

Tabla 35. Información secundaria utilizada para la reducción de temperatura efectiva por especie.

INFORMACIÓN SECUNDARIA UTILIZADA POR ESPECIE					
Familia	Nombre común	Fuente	Nombre	Autor	Ciudad
Mimosaceae	Yopo	(PEREZ, 2014)	evaluación del componente forestal acacia <i>acacia mangium willd</i> , melina <i>gmelina arbórea roxb</i> y yopo <i>anadenanthera peregrina (l.) speg</i> bajo sistemas silvopastoriles en el centro de investigación	niria Villavicepastora bonzaMeta perezColombia	
Anacardiaceae	Mango	(Gonzales O. E., 2008)	Índice de confort de la vegetación	Orlando Barranquilla, E. Jiménez Colombia González	

Meliaceae	Cedro	(Jesús David Gómez Díaz, 2017)	Distribución del cedro rojo (<i>Cedrela odorata L.</i>) en el estado de Hidalgo, bajo condiciones actuales y escenarios de cambio climático	Jesús David Gómez Díaz, Alejandro Ismael Monterroso Rivas y Juan Ángel Tinoco Rueda	Estado de Hidalgo de México
Rutaceae	Mandarina	(Fischer)	Balance hídrico e influencia del estrés hídrico en la inducción y desarrollo floral de la mandarina 'Arrayana' en el piedemonte llanero de Colombia	Orduz-Rodríguez, Javier Orlando; Fischer, Gerhard	piedemonte llanero de Colombia
Bignoniaceae	Apamate	(Gonzales O. E., 2008)	Índice de confort de la vegetación	Orlando E. Jiménez González	Barranquilla, Colombia
Chrysobalanaceae	Oiti	(Gonzales O. E., 2008)	Índice de confort de la vegetación	Orlando E. Jiménez González	Barranquilla, Colombia
Myrtaceae	Pomarroso brasileiro	(Gonzales O. E., 2008)	Índice de confort de la vegetación	Orlando E. Jiménez González	Barranquilla, Colombia
Chrysobalanaceae	Caucho	(Gonzales O. E., 2008)	Índice de confort de la vegetación	Orlando E. Jiménez González	Barranquilla, Colombia
Myrtaceae	Mamoncillo	(Gonzales O. E., 2008)	Índice de confort de la vegetación	Orlando E. Jiménez González	Barranquilla, Colombia

Bignoniaceae	Almendra	(González O. E., 2008)	Índice de confort de la vegetación	Orlando E. Jiménez González	Barranquilla, Colombia
--------------	----------	------------------------	------------------------------------	-----------------------------	------------------------

Nota: Se estimó la temperatura efectiva de acuerdo con las condiciones térmicas de la región de referencia de la fuente bibliográfica. Por: Camila Reyes & Katherine Sanchez, 2020