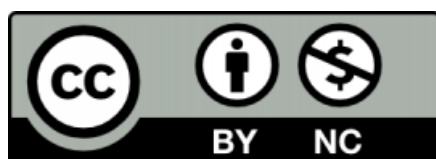


VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA EN RELACIÓN A LA COBERTURA DE TRES
ZONAS LOCALIZADAS EN VILLAVICENCIO-META



ANNY YULIED MARTÍNEZ CISNEROS
JEFFERSON DARIO ZAMBRANO PÉREZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2021

VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA EN RELACIÓN A LA COBERTURA DE TRES
ZONAS LOCALIZADAS EN VILLAVICENCIO-META

ANNY YULIED MARTÍNEZ CISNEROS
JEFFERSON DARÍO ZAMBRANO PÉREZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental en la
modalidad de Auxiliatura de Investigación

Director

ANGÉLICA MARÍA BUSTAMANTE ZAPATA
Ingeniera Ambiental, Esp. Gerencia de proyectos

Codirector

LEYDY JOHANNA ARBOLEDA MONTES
Geóloga

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2021

Autoridades Académicas

P. JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, O.P.

Rector General

P. EDUARD GÓNZALEZ GIL, O.P.

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ANTONIO BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. RODRIGO GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TABÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano Facultad de Ingeniería Ambiental

Dedicatoria

Dedicamos con mucho amor este proyecto a nuestros padres que fueron el motor y apoyo incondicional en todas las circunstancias que se presentaron durante el proceso de formación; tanto así, que nos forjaron en valores y principios para ser las personas que hoy día somos.

Agradecimientos

- ☐ Agradezco a Dios todopoderoso por guiar nuestros pasos y así permitirnos culminar esta etapa tan importante en nuestras vidas de la mejor manera.
- ☐ A las ingenieras Angelica Bustamante y Leydy Arboleda, directora y codirectora de la auxiliatura de investigación.
- ☐ A mis compañeros de investigación por las experiencias vividas y el apoyo mutuo para con el proyecto.

Contenido

	Pág.
1. Resumen	10
1.1. Abstract	10
2. Contexto.....	12
3. Objetivos.....	13
3.1. Objetivo general	13
3.2. Objetivos específicos.....	13
4. Justificación	14
5. Alcance del proyecto.....	15
6. Elementos teóricos	17
7. Metodología	21
7.1. Fase 1: Diagnóstico	21
7.2. Fase 2. Toma de datos	22
7.3. Fase 3. Tratamiento de datos.....	24
8. Resultados y análisis	27
8.1. Fase 1: Diagnóstico de la cobertura superficial	27
8.2. Fase 2: Toma de datos de las variables ambientales	35
8.3. Fase 3: Tratamiento de datos.....	42
9. Impacto social y humanístico	48
10. Conclusiones	49
11. Referencias bibliográficas	51
12. Anexos.....	58

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1, Coordenadas de las estaciones del SVCAV	16
Tabla 2, Factores para la medición y cálculo de variables	22
Tabla 3, Interpretación del valor del índice de correlación Spearman	24
Tabla 4: Interpretación del análisis de covarianza ANOVA de un factor	25
Tabla 5, Descripción de los tipos de cobertura superficial presentes en las zonas de estudio.....	27
Tabla 6, Porcentaje de área por cada tipo de cobertura	33
Tabla 7, Valores de las propiedades geométricas y de cobertura superficial para zonas climáticas locales	34
Tabla 8, Temperaturas máximas y mínimas	41
Tabla 9, Índice de correlación de Spearman entre variables para cada zona de estudio	42
Tabla 10, Análisis Anova de temperaturas Ta, Ts y TMR en las zonas de estudio.....	44
Tabla 11, Prueba post hoc Tukey entre zonas de estudio en relación a las temperaturas.....	45

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1, Mapa de la Ubicación de las zonas de estudio	16
Figura 2, Mapa de la clasificación del tipo de cobertura superficial en la estación Catumare	28
Figura 3, Mapa de la clasificación del tipo de cobertura superficial en la estación Cofrem	30
Figura 4, Mapa de la clasificación del tipo de cobertura superficial en la estación La Esmeralda	32
Figura 5, Ejecución de la toma de datos	35
Figura 6, Gráfico de la variación de la temperatura del aire.....	36
Figura 7, Gráfico de la variación de la temperatura superficial.....	38
Figura 8, Gráfico de la variación de la temperatura media radiante por franja horaria en cada tipo de cobertura superficial.....	40
Figura 9, Mapa de la distribución de la TMR en las zonas de estudio	46

Lista de anexos

	Pág.
Anexo 1, Datos de los cinco días de toma corregidos en la zona de estudio Catumare	58
Anexo 2, Datos de los cinco días de toma corregidos en la zona de estudio Cofrem.....	61
Anexo 3, Datos de los cinco días corregidos en la zona de estudio La Esmeralda	64
Anexo 4, Gráfico de la relación entre la Ta y Tg en la estación Catumare	68
Anexo 5, Gráfico de la relación entre la Ta y Ts en la estación Catumare.....	68
Anexo 6, Gráfico de la relación entre la Tg y Ts en la estación Catumare	69
Anexo 7, Gráfico de relación entre la Ta y Tg en la estación Cofrem	69
Anexo 8, Gráfico de la relación entre la Ta y Ts en la estación Cofrem	70
Anexo 9, Gráfico de la relación entre la Tg y Ts en la estación Cofrem.....	70
Anexo 10, Gráfico de la relación entre la Ta y Tg en la estación La Esmeralda.....	71
Anexo 11, Gráfico de la relación entre Ta y Ts en la estación La Esmeralda	71
Anexo 12, Gráfico de la relación entre la Tg y Ts en la estación La Esmeralda.....	72

1. Resumen

Este proyecto se realizó como auxiliatura de investigación, con el objeto de determinar la variación de la temperatura con respecto a la cobertura superficial en la zona contigua (200m) a las estaciones del Servicio de Vigilancia y Calidad del Aire de Villavicencio (SVCAV); inicialmente, se realizó un diagnóstico de la cobertura superficial a partir del modelo de zonas climáticas locales (ZCL), en el cual se clasificaron 5 tipos de cobertura superficial, tales como: pavimento, árboles dispersos, suelo desnudo/matorral, edificaciones y árboles densos; posteriormente, mediante el método de investigación cuantitativo se ejecutó la correlación de Spearman, el análisis de varianza ANOVA y la prueba de Tukey, a partir de variables medidas en campo (temperatura del aire (T_a), temperatura superficial (T_s), temperatura de globo (T_g), velocidad del viento (v)), y el cálculo de la temperatura media radiante (TMR). Como resultado las estaciones Cofrem, Catumare y La Esmeralda, presentaron valores de cobertura impermeables de 76,9%, 44,3% y 58% respectivamente; teniendo en cuenta lo anterior, la estación Cofrem es la zona que alcanza las TMR mayores con rango entre (33,8°C y 37,1°C), seguidamente la estación Catumare con valores entre (31,4°C y 36,3°C), finalmente la estación La Esmeralda presentó datos entre (29,4°C hasta 33,5°C); asimismo, el análisis de varianza y la prueba de Tukey demostraron que la zona de estudio La Esmeralda es diferente respecto a las otras zonas de estudio. En conclusión, se determinó que la estación Cofrem es la más crítica en cuanto al aumento de temperaturas y densidad de infraestructura; además, a partir del análisis de variables ambientales y correlación de las mismas, se evaluó el grado de similitud entre estaciones, con el fin de contribuir en los resultados de un macroproyecto y servir de información guía para la planificación territorial de la Ciudad.

Palabras Clave: Zona climática urbana, relación térmica, suelo impermeable, clima urbano, regulación térmica, áreas verdes.

1.1. Abstract

This project was carried out as a research aid, with the aim of determining the temperature variation with respect to the surface coverage in the zone contiguous (200m) to the stations of the

Surveillance and Air Quality Service of Villavicencio (SVCAV); initially, a diagnosis of surface coverage was made from the local climate zone model (ZCL), in which 5 types of surface cover were classified, such as: pavement, scattered trees, bare soil/scrub, buildings and dense trees; Subsequently, using the quantitative research method, the Spearman correlation, the ANOVA variance analysis and the Tukey test were executed from variables measured in the field (air temperature (T_a), surface temperature (T_s), balloon temperature (T_g), wind speed (v)), and the calculation of the mean radiant temperature (TMR). As a result, the Cofrem, Catumare and La Esmeralda stations showed waterproof coverage values of 76.9%, 44.3% and 58% respectively; taking into account the above, the Cofrem station is the area that reaches the highest MRRs with a range between (33.8°C and 37.1°C), then the Catumare station with values between (31.4°C and 36.3°C), finally the La Esmeralda station presented data between (29.4°C to 33.5°C); also, the analysis of variance and the Tukey test showed that the La Esmeralda study area is different from the other study areas. In conclusion, the Cofrem station was found to be the most critical in terms of temperature increase and infrastructure density; In addition, based on the analysis of environmental variables and their correlation, the degree of similarity between stations was evaluated in order to contribute to the results of a macro-project and serve as a guide for the territorial planning of the City.

Key Word: Urban climate zone, thermal ratio, permeable soil, urban climate, thermal regulation, green coverage.

2. Contexto

La auxiliatura de investigación que se desarrolló como opción de grado, se encuentra en el marco del macroproyecto denominado “*Análisis del servicio ecosistémico de regulación de la temperatura en el microclima urbano que es suministrado por el arbolado en tres zonas de Villavicencio*”; el cual tuvo como finalidad, valorar la importancia de las coberturas vegetales urbanas, en especial el arbolado urbano de la ciudad (Arboleda & Bustamante, 2019).

Las áreas de estudio se ubicaron en un radio de 200 metros de las estaciones del SVCAV (Arboleda & Bustamante, 2019), las cuales se encuentran en la planta de tratamiento de agua potable La Esmeralda, el Parque de la Vida Cofrem y la estación de servicio Esso Mobil del barrio Catumare.

Esta auxiliatura de investigación apoyó al desarrollo del segundo y tercer objetivo del macroproyecto; el cual consistió en la caracterización de las zonas de estudio a través de variables microclimáticas de cobertura y del arbolado urbano, mediante la obtención de registros del SVCAV y analizando la variabilidad característica del microclima urbano y su relación con la temperatura en las zonas de estudio a partir de indicadores ambientales (Arboleda & Bustamante, 2019).

Por tanto, se resalta que la función principal de esta auxiliatura de investigación, fue recolectar, revisar, organizar y analizar la información primaria y secundaria de las coberturas superficiales y las variables ambientales temperatura del aire, temperatura media radiante y temperatura superficial, suministradas por las imágenes satelitales y los datos de temperatura medidos en las zonas de estudio; dando cumplimiento al objetivo general del grupo de investigación de Ingeniería Ambiental denominado Gestión ambiental USTA Villavicencio (GAUV), el cual “*es desarrollar y aplicar desde una perspectiva científica e integrada una aproximación a la gestión ambiental del territorio con énfasis en la Orinoquia Colombiana*” (FIA, 2015).

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Determinar la variación de la temperatura respecto a la cobertura existente, a partir de la fotointerpretación y la medición de variables en campo, en el área correspondiente a 200 m equidistantes de las estaciones La Esmeralda, Catumare y Cofrem pertenecientes al SVCAV.

3.2. Objetivos específicos

- Realizar el diagnóstico de cobertura superficial mediante la fotointerpretación y recolección de datos en campo en tres zonas de Villavicencio-Meta.
- Determinar la variación de la temperatura mediante el monitoreo en campo de las variables temperatura del aire, temperatura media radiante y temperatura superficial en las zonas de estudio.
- Analizar la relación existente entre la cobertura superficial y el comportamiento de las variables temperatura superficial, del aire y media radiante, mediante análisis estadísticos de correlación ANOVA, Spearman (no paramétrico), desviación estándar, y análisis ambiental.

4. Justificación

El proyecto de investigación Variación de la temperatura en relación con la cobertura en tres zonas localizadas en Villavicencio-Meta, se desarrolló en la línea de investigación del grupo de Gestión Ambiental USTA Villavicencio (GAUV), de la Facultad de Ingeniería Ambiental, dentro del semillero de investigación Calidad del Aire y Cambio Climático CALICCO, el cual parte de que en la actualidad la variación climática es un fenómeno que no se puede eludir, se prevé que en las próximas décadas la temperatura tenga un aumento sobre suelos urbanos por el cambio en la superficie de estos, lo que conlleva a graves implicaciones tanto sociales como económicas, por tal motivo es importante la planeación urbanística de la ciudad para la toma de decisiones en la gestión y adaptabilidad al cambio de temperaturas en diferentes zonas del territorio (García, 2019).

El proyecto busca establecer información que sirva como guía para los planes de ornato, al proponer diferentes estrategias de adaptación en las ciudades, con base al aumento progresivo de las temperaturas (T_a , TMR y T_s) (CORMACARENA, 2013).

Igualmente los futuros proyectos de investigación que se enfoquen en estudios del microclima de Villavicencio, tendrán información preliminar para su desarrollo, asimismo la realización de este proyecto, contribuye como Auxiliatura de Investigación para la consolidación de información pertinente a los objetivos II Y III del proyecto de investigación de la Facultad de Ingeniería Ambiental, denominado: *Análisis del servicio ecosistémico de regulación de la temperatura en el microclima urbano que es suministrado por el arbolado en tres zonas de Villavicencio* (Arboleda & Bustamante, 2019), el cual se realizará con el fin de reconocer la importancia de la presencia del arbolado urbano en los espacios públicos al aire libre en el municipio, del que también existen contribuciones de otros auxiliares de investigación en variables ambientales complementarias para el conocimiento del microclima urbano como son: evapotranspiración, infiltración, humedad relativa, precipitación, radiación solar, que son de gran importancia dentro de la investigación.

5. Alcance del proyecto

La Auxiliatura de investigación aportó en el macroproyecto mencionado previamente, mediante la clasificación de la cobertura superficial y la identificación de tres variables ambientales relacionadas con la temperatura en cada tipo de cobertura superficial; con el fin de suministrar información que permita determinar la importancia del arbolado urbano dentro de la ciudad de Villavicencio.

Esta investigación se llevó a cabo en un área de 200 metros a la redonda de las estaciones SVCAV (Arboleda & Bustamante, 2019), instaladas por Cormacarena en los sectores de Catumare, Cofrem y La Esmeralda, las cuales tienen una elevación de 455, 430 y 547 msnm respectivamente, ver coordenadas en tabla 1.

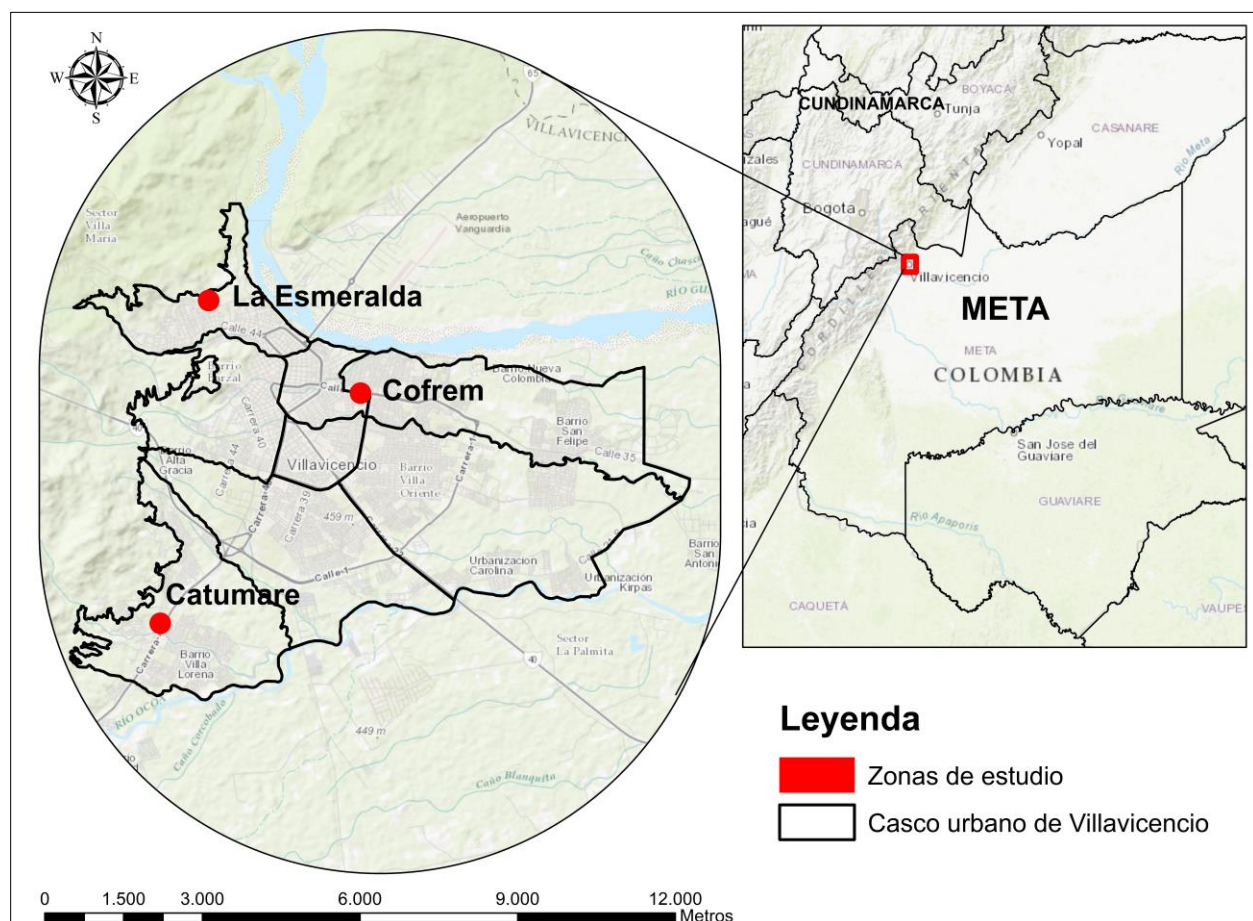
En la figura 1, se observa el mapa de Villavicencio con la localización de las estaciones; la estación Catumare se encuentra ubicada en la comuna 8, la cual se caracteriza por ser un área densamente construida. En segundo lugar, la estación Cofrem se encuentra dentro del Parque de la Vida, en el límite entre las comunas 3 y 4, esta zona tiene dos vías de gran importancia en la ciudad, las cuales son la Avenida Catama y la Carrera 19. Finalmente, la estación la Esmeralda se localiza en la comuna 1, dentro de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio (EAAV). En la tabla 1, se encuentran las coordenadas geográficas de cada una de las estaciones del SVCAV.

Debido a la aparición del síndrome respiratorio agudo severo Coronavirus 2 (SARS coV-2), virus que causa COVID-19, surgió la necesidad del aislamiento obligatorio a nivel internacional (Philpot, et al., 2021), razón que modificó el cronograma para la ejecución del proyecto en su segunda fase: toma de datos, la cual se realizó en noviembre del año 2020 durante 15 días no consecutivos. De acuerdo a lo anterior se tomó un periodo de tiempo de siete meses para la ejecución total del proyecto, comprendidos desde agosto de 2020 a febrero del año en curso. Además, se estimó un total de COP 11.520.292, teniendo en cuenta el costo de transporte, alimentación, trabajo de campo de los profesionales, los auxiliares de investigación y equipos utilizados en el desarrollo del proyecto, con porcentajes del valor total en 3%, 10%, 45% y 42%, respectivamente.

Tabla 1, Coordenadas de las estaciones del SVCAV

Estaciones	Norte (n)	Oeste (w)
La Esmeralda	4°09'48.43"	73°39'55.16"
Cofrem	4°08'51.35"	73°37'18.11"
Catumare	4°06'28.87"	73°39'21.93"

Figura 1, Mapa de la Ubicación de las zonas de estudio



Nota*: Casco urbano del municipio de Villavicencio, Adaptado del SIG-OT.

6. Elementos teóricos

Variación de la temperatura

Según el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, la variación en la temperatura promedio del planeta obedece al crecimiento acelerado de la población mundial, y a las actividades antrópicas que producen gases de efecto invernadero, lo cual, desencadena una serie de impactos negativos sobre el ambiente, y provoca que la temperatura global presente alteraciones de forma progresiva en los próximos años (Arnold, et al., 2017).

De acuerdo a las proyecciones realizadas por el Plan Regional Integral de Cambio Climático para la Orinoquia (PRICCO), bajo el escenario de trayectoria de concentración representativa (RCP) 4,5 el municipio de Villavicencio tendrá un aumento en la temperatura de 1,6° C para el año 2040 (CIAT & CORMACARENA, 2017); lo anterior, debido a la alteración del tipo de cobertura superficial por las diversas actividades económicas que predominan en la región, entre ellas la expansión urbanística y las actividades como ganadería y extracción de hidrocarburos (Mayorga, 2012). La expansión urbanística es la causa principal de la variación en la temperatura de zonas urbanas; los ecosistemas naturales transformados en elementos artificiales como edificaciones y vías, alteran el servicio ecosistémico de regulación de la temperatura en el microclima urbano que las coberturas vegetales brindan (Calderón, 2019).

Cambios de cobertura superficial

La cobertura superficial hace referencia a la capa de vegetación natural, que cubre la superficie del suelo; como: pastizales, bosques naturales, ecosistemas de páramo, agro-sistemas y ecosistemas acuáticos terrestres (lenticos y lóticos), es característico de suelo permeable; además, la cobertura superficial también está ocupada por sistemas artificializados: ciudades, infraestructura vial, obras de ingeniería como presas e infraestructura industrial, característicos de suelos impermeables (Corrales, et al., 2010).

En Colombia existe un interés creciente de cuantificar los cambios en la cobertura superficial, que ocurren por cuenta de la presión ejercida por actividades antrópicas y que regularmente se expresan en procesos de deforestación acelerada (Etter, et al., 2006).

Para el perímetro urbano, la construcción de edificios sobre áreas vegetadas, modifica el intercambio de calor y agua entre la superficie y la atmósfera; no obstante, las áreas verdes urbanas generan que la temperatura del aire se mantenga estable y se mejore la calidad del aire (Luján, et al., 2016).

Una característica importante de las ciudades tropicales es la vegetación urbana, que crea sombras en las calles y en las zonas residenciales, contribuyendo a desarrollar posibilidades de adaptación frente al cambio climático; además la presencia de vegetación en el diseño urbano se vuelve fundamental para mejorar condiciones micro-climáticas y la calidad de vida de las personas; su efectividad depende de la densidad del follaje, forma de las hojas y patrones de ramificación (Nieto, et al., 2019).

Zonas Climáticas

Stewart y Oke (2012) definen las Zonas Climáticas Locales (ZCL) como regiones de cobertura de superficie uniforme, con estructura, material y actividad humana que abarcan cientos de metros a escala horizontal; el nombre es apropiado porque las clases son *locales* en escala, *climático* en naturaleza y *zonal* en representación (p.6). Dichos autores ofrecen un análisis completo en cuanto a la clasificación de las coberturas urbanas y rurales. En este caso, se estudian las zonas climáticas urbanas; que según (Romero, et al., 2010) son aquellas donde la variación en la temperatura, humedad, ventilación y calidad del aire se relacionan espacial y temporalmente con los procesos y características socioeconómicas de su entorno (p.3). Los espacios urbanos actúan como modificadores de los climas regionales, debido a la sustitución de superficies naturales por espacios contruidos; con ellos se alteran las propiedades fisicoquímicas y los procesos térmicos que ocurren en la atmosfera; generando el denominado clima urbano, este tipo de clima se genera a partir de la comparación de la ciudad con su entorno natural o área periférica (Ferrelli, et al., 2016).

Absorción solar por los tipos de cobertura

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas cortas electromagnéticas; después de pasar por la atmosfera

donde sufre un proceso de debilitamiento por la difusión, reflexión en las nubes y absorción por las moléculas de gases (como el ozono y el vapor de agua) y partículas en suspensión, la radiación solar alcanza la superficie terrestre oceánica y continental que la refleja o la absorbe; la cantidad de radiación absorbida por la superficie es devuelta en dirección al espacio exterior en forma de radiación de onda larga, con lo cual se transmite calor a la atmósfera (IDEAM, 2014).

Según Correa, et al., (2003), la radiación solar absorbida por los materiales que la componen incide en la distribución de la temperatura en las áreas urbanas; las características ópticas de los materiales usados para la construcción del medio ambiente urbano, especialmente el albedo solar y la emisividad infrarroja tiene un impacto importante en el balance energético de las ciudades. Dentro de este contexto los pavimentos constituyen un conjunto de componente de indiscutible relevancia debido a que su incidencia cuantitativa sobre el área urbana es muy significativa.

Variables meteorológicas

Las variables ambientales que conformaron este estudio se enfocaron en la temperatura, en este caso se empleó la temperatura del aire, temperatura superficial y temperatura media radiante como variables principales o de interés; sin embargo se hizo uso de la temperatura de globo y velocidad del viento para la obtención de la variable principal temperatura media radiante. Por tanto, los conceptos de dichas variables se encuentran a continuación:

Temperatura del Aire T_a (°C): Es el elemento que está alrededor de nuestro cuerpo, si la temperatura es alta o baja, influye en las aportaciones que le hace al cuerpo a través de la piel, afectando el estado inicial de nuestra propia temperatura, la misma va ligada a la humedad (Rojas, 2013, p.58).

Temperatura de globo T_g (°C): Según Agüero, et al, (2015) es la temperatura que determina las afecciones que presentan las personas por la exposición de calor; esta se estima a partir de exposición a altas temperaturas, humedades, esfuerzos extenuantes o disipaciones insuficientes de calor. Según la ISO 7243 (2006) la temperatura de globo es la temperatura medida

en el centro de un globo negro mate delgado; las características de dicho globo deben ser de la siguiente manera: (coeficiente de emisión medio de 0,95, rango de medición de 20-120°C, precisión de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ hasta 50°C y $\pm 1^{\circ}\text{C}$ hasta 120°C y un diámetro de 0,15 m) (p.3).

Temperatura media radiante: Temperatura uniforme que habría de tener un recinto que se comportase como un cuerpo negro, para que existiese el mismo intercambio radiante que se produce en la realidad. Es una temperatura que toma referida a la superficie sobre la que se calcula la de la persona, esta variable es importante ya que ayuda a medir de qué manera perciben las personas la temperatura que irradian las superficies cercanas a ellas (Gonzalez, 2011).

Temperatura superficial: Es la temperatura modulada por la cobertura vegetal y el contenido de agua en el suelo, en este orden de ideas, si la vegetación se sustituye puede afectar aspectos del balance de radiación como el albedo y la absorción de la radiación solar, así como el intercambio de calor y humedad de la superficie y la atmósfera; la transformación de la cobertura superficial hace parte de los procesos de cambio global y pueden repercutir de manera negativa sobre las características biofísicas de la superficie y su interacción sobre la atmosfera (Carvajal & Pabón, 2014).

Velocidad del aire: “El aire en movimiento elimina el vapor de agua de la superficie previniendo la creación de una atmósfera saturada” (Ricra, 2019, p.12); asimismo, a mayor temperatura y humedad del aire, se produce sensación de calor; por el contrario, el movimiento del aire produce frío; por tanto, se estima que por cada 0.3 m/s de velocidad del aire equivale a un descenso de 1°C en la sensación térmica (Serra & Coch, 1999 citado en Rojas, 2013, p.58).

7. Metodología

La metodología del proyecto se dividió en tres fases: diagnóstico, toma de datos y tratamiento de datos. Inicialmente la fase diagnóstica se encargó de identificar y determinar el estado actual de las coberturas superficiales en las tres zonas de estudio, en la toma de datos se realizó el monitoreo en campo y tabulación de variables ambientales, finalmente en el tratamiento de datos se analizó la información con ayuda del software SPSS Statistics 22, Excel y ArcGIS 10.2.2.

7.1. Fase 1: Diagnóstico

Teniendo en cuenta un radio de 200 metros en cada zona de estudio se elaboró un diagnóstico detallado de la cobertura superficial, empleando técnicas de fotointerpretación y recolección de datos en campo (Stewart & Oke, 2012).

- Con ayuda del GPSmap 64-s se tomó las coordenadas exactas de las estaciones del SVCAV (GARMIN, 2014). Posteriormente, se ingresaron al programa ArcGIS10.2.2 y se estableció un radio de 200 m por medio de la herramienta *buffer* o como se denomina normalmente, área de influencia (Biere & Cuhna, 2010, pág. 11).
- Por medio del basemap del software previamente mencionado, se identificaron los tipos de cobertura superficial presentes en las zonas de estudio, usando como base la clasificación de coberturas de las Zonas Climáticas Locales (ZCL); para ello, se crearon cinco shape file (shp), cada uno correspondiente a un tipo de cobertura superficial, los cuales se editaron mediante polígonos en el mapa base, con el fin de calcular el área de cada tipo de cobertura superficial presente. Los tipos de cobertura identificados son: pavimento, árboles dispersos, suelo desnudo o matorral, edificaciones y árboles denso (Stewart & Oke, 2012).
- A partir de los porcentajes de área calculados anteriormente, se establecieron los rangos de cobertura permeable e impermeable en cada zona de estudio, tomando como impermeable la suma de las coberturas pavimento y edificaciones, y como permeables los árboles dispersos, suelo desnudo o matorral y árboles densos (Roca, et al., 2016).

- De acuerdo a el porcentaje de área permeable o impermeable presente en cada estación, se determinó la zona climática local correspondiente a cada zona de estudio (Stewart & Oke, 2012).
- Se corroboró en campo la información del tipo de cobertura superficial presente en las tres zonas de estudio (Arboleda & Bustamante, 2019).

Nota: Haciendo uso de la metodología Zonas Climáticas locales se logró obtener los resultados esperados, debido a que es un estudio de microclima urbano, se requiere de escalas con mayor detalle y menor cantidad de área; asimismo los tipos de cobertura superficial identificados con ayuda de imágenes satelitales se ajustan a los tipos de cobertura presenten en dicha metodología; ya que son pequeños porcentajes de área clasificados de forma permeable o impermeables en un área de influencia.

7.2. Fase 2. Toma de datos

Usando el método de investigación cuantitativo, se midieron las variables ambientales temperatura del aire T_a ($^{\circ}\text{C}$), temperatura de globo T_g ($^{\circ}\text{C}$), temperatura superficial T_s ($^{\circ}\text{C}$) y velocidad del viento v (m/s); durante 15 días de noviembre del año 2020 (5 días por estación), con el fin de establecer su variación y comparar las zonas de estudio (Gusson & Duarte, 2016). Los datos se obtuvieron de la siguiente forma:

- A partir de los tipos de cobertura superficial identificados en el objetivo 1 (pavimento, arboles dispersos, suelo desnudo o matorral, edificaciones y árboles densos), se seleccionaron cinco puntos estratégicos representativos de cada tipo de cobertura, para los cuales se realizó la medición de 10:00 am a 03:00 pm, debido a que esta la franja horaria de mayor radiación solar en la ciudad (Nieto, et al., 2017).

Nota: Para disminuir el error, se realizaron tres mediciones en cada punto por franja horaria.

Tabla 2, Factores para la medición y cálculo de variables

Nombre de la variable	Sigla	Unidad	Método/Instrumentos	Precisión
Temperatura del aire	T_a	$^{\circ}\text{C}$	Higrómetro PCE-WB 20SD	$\pm 0,8$ $^{\circ}\text{C}$

Tabla 2, Continuación

Temperatura de globo	Tg	°C	Higrómetro PCE-WB 20SD	$\pm 0,6$ °C
Temperatura superficial	Ts	°C	Termómetro de infrarrojo	± 2 °C
Velocidad del viento	v	m/s	Anemómetro	± 3 m/s
Temperatura media radiante	TMR	°C	Ecuación para el cálculo de TMR	----

Nota*: Variables utilizadas con su respectivo método de medición, adaptado de fichas técnicas de instrumentos de medición.

- A la altura de peatón (1,20cm) se midieron las variables Ta , Tg y v , empleando un Higrómetro PCE-WB 20SD para las dos primeras, y el anemómetro PCE-THA 10 para la última variable respectivamente; la Ts fue medida con el medidor de temperatura sin contacto PCE-777N, apuntando dicho instrumento a la superficie a medir (PCE-Instruments, 2020).
- Para el cálculo de la temperatura media radiante fue necesario usar las variables ambientales Tg , Ta y v ; empleando la fórmula usada en la metodología de Sen y Nag (2019):

Ecuación 1, Ecuación para el cálculo de temperatura media radiante

$$TMR = (1 + 0,22V^{0,5})(Tg - Ta) + Ta$$

Nota*: Adaptado de (Sen & Nag, 2019)

Donde:

TMR : Temperatura media radiante

v : Velocidad del viento

Tg : Temperatura de globo

Ta : Temperatura del aire

- Con el fin de comparar el comportamiento de las temperaturas entre zonas de estudio, se elaboraron gráficos de las variables de interés (Ts , Ta , TMR), en los que se identificó la variación de estas en cada estación, teniendo en cuenta la franja horaria y el tipo de cobertura (Gusson & Duarte, 2016).

Nota: Pese a tener cinco variables ambientales, cabe resaltar que las variables de interés fueron la T_a , T_s y TMR , ya que con estas se analizó la temperatura alrededor, emitida y percibida por los cuerpos.

7.3. Fase 3. Tratamiento de datos

Se analizó la relación existente entre la cobertura superficial y el comportamiento de las T_s , T_g , T_a , y TMR mediante análisis estadísticos de correlación de Spearman (no paramétrico), ANOVA y análisis ambiental.

- Con el fin de correlacionar las variables T_s , T_g y T_a en cada zona de estudio, se usó el software SPSS Statistics 22, en la pestaña *análisis* se introdujo los valores para el análisis de correlación Spearman no paramétricos, donde se obtuvo factor de Spearman (p) y gráficos que muestran la distribución y el comportamiento entre variables. En la tabla 3 se observa la interpretación para cada factor Spearman determinado.

Nota: Debido a que la TMR se estimó a partir de la T_a , T_g y v , no fue conveniente realizar la correlación de Spearman con dicha variable, ya que esta es dependiente y su resultado sería positiva perfecta; por tal motivo y con el fin de ampliar el análisis de temperaturas se incluyó en dicha correlación la variable discreta T_g .

Tabla 3, Interpretación del valor del índice de correlación Spearman

Factor Spearman (p)	Índice de correlación	Comportamiento
1	Correlación positiva perfecta	Una variable aumenta y la otra también aumenta de manera perfecta
$0 < p < 1$	Refleja que se da una correlación positiva	Una variable aumenta y la otra también aumenta, pero no de manera perfecta; es solo una tendencia.
0	No hay correlación	En este caso no hay una relación lineal
$-1 < p < 0$	Indica que existe una correlación negativa	Una variable aumenta y la otra disminuye, pero no de manera perfecta; es solo una tendencia.

Tabla 3, Continuación

-1	Correlación negativa perfecta	Una variable aumenta y la otra disminuye de manera perfecta
----	-------------------------------	---

Nota*: Adaptado de (Laguna, 2014)

- A fin de identificar la similitud o diferencia entre las zonas de estudio (Cofrem, Catumare y La Esmeralda), se realizó un promedio de los 5 días de medición en cada estación, para obtener un dato de las temperaturas (*Ta*, *Ts* y *TMR*) por punto en cada franja horaria; seguidamente se ingresaron dichos datos en el Software SPSS Statistics 22 en la pestaña *analizar*, posteriormente se escogió la opción *comparar medias* para realizar el análisis de varianza ANOVA de un factor (p). Teniendo en cuenta la significancia o el ANOVA de un factor (p) ejecutado anteriormente, si este da un valor mayor a 0,05 existe similitud entre las variables o en este caso las áreas de estudio; si por el contrario dicho dato es menor a 0,05 significa que existe una diferencia entre las medias de las variables, razón por la cual, se procedió a hacer la prueba de Tukey, la cual determinó cuales son los grupos similares o diferentes (Driscoll, 1996).

Tabla 4: Interpretación del análisis de covarianza ANOVA de un factor

Factor ANOVA (p)	Significado
<0,05	No hay similitud
0,05 < p < 1	Existe similitud

Nota*: Adaptado de (Driscoll, 1996)

- Con la cartografía base de las zonas de estudio y los datos de TMR estimados anteriormente, se elaboró un mapa temático donde se diferencian los rangos de temperatura en cada zona de estudio, identificando claramente mediante paleta de colores las zonas donde es mayor y menor la temperatura (Sen & Nag, 2019). Para esto se exportaron los datos de TMR en los Shape file de los tipos de cobertura ya establecidos, luego se asignó la simbología y un único rango para las tres zonas de estudio con el fin de compararlas entre sí y distinguir sus comportamientos.

Es importante resaltar que se realizaron modificaciones en el cronograma del proyecto; debido a la reciente emergencia sanitaria que originó el Coronavirus Covid-19 el gobierno nacional estableció el Decreto 1076 del 28 de julio de 2020, por el cual ordenó “*el aislamiento preventivo obligatorio de todas las personas habitantes de la Republica de Colombia, a partir de los ceros horas (00:00am) del 01 de agosto del 2020, hasta las horas (00:00am) del día 1 de septiembre del 2020* (Mininterior, 2020). Motivo por el cual se retrasó la fase metodológica de tomas de datos del proyecto, realizando dicha actividad en noviembre del 2020 en época lluviosa (Sanchez & Reyes, 2020, p.53).

8. Resultados y análisis

8.1. Fase 1: Diagnóstico de la cobertura superficial

Se observó que cada zona bajo estudio tiene un área de 12,5 Ha, las cuales presentaron coberturas urbanas de uso residencial, industrial y de los sectores público y privado, con superficies permeables e impermeables representados en las coberturas pavimento, árboles dispersos, suelo desnudo/matorral, edificaciones y árboles densos; dentro de las cuales en el suelo impermeable se encuentran las coberturas el pavimento y las edificaciones, por contraparte el suelo permeable son las coberturas árboles dispersos, suelo desnudo/matorral, y árboles densos; teniendo en cuenta la metodología de Stewart y Oke (2012), en la tabla 5 se realizó la descripción de cada una de estas.

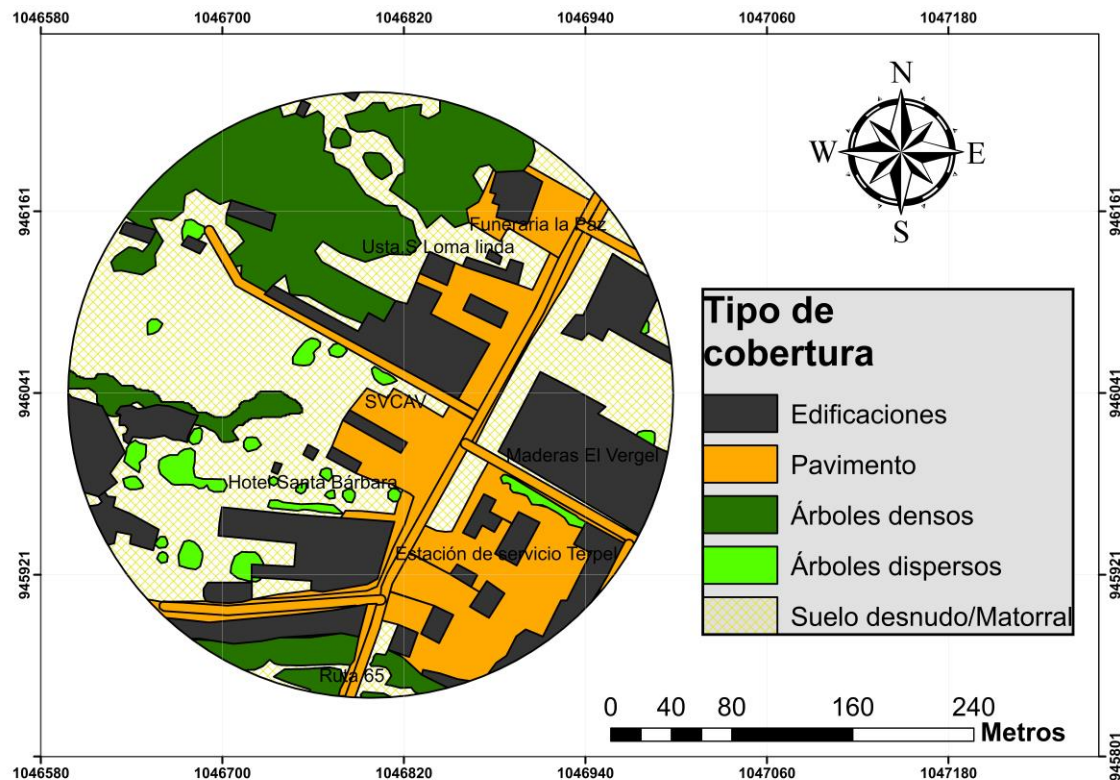
Tabla 5, Descripción de los tipos de cobertura superficial presentes en las zonas de estudio

Cobertura superficial	Descripción
Pavimento	Paisaje con cubierta pavimentada. Pocos o ningún árbol o plantas. Función de la zona es desierto natural (roca) o transporte urbano
Árboles Dispersos	Paisaje ligeramente arbolado de árboles deciduos y/o siempre verdes. Cubierta de la tierra en su mayoría permeable (plantas bajas). La función de zona es bosque natural, cultivo de árboles o parque urbano.
Suelo desnudo o matorral	Disposición abierta de arbustos y árboles leñosos cortos. Cubierta de la tierra en su mayoría permeables). La función de zona es el matorral natural o la agricultura
Edificaciones	Mezcla densa de edificios de poca altura (1-3 pisos). Pocos o ningún árbol. Cubierta de tierra mayormente pavimentado. Piedra, ladrillo, azulejo y materiales de construcción de hormigón
Árboles Densos	Paisaje muy arbolado, de árboles caducos y/o siempre verdes. Cubierta de la tierra en su mayoría permeable (plantas bajas). La función de zona es bosque natural, cultivo de árboles o parque urbano.

Nota*: Adaptado de (Stewart & Oke, 2012)

- **Estación Catumare**

Figura 2, Mapa de la clasificación del tipo de cobertura superficial en la estación Catumare



La “figura 2”, mostró la distribución de los tipos de cobertura superficial en la zona Catumare; las edificaciones con un área total de 22,5% son de uso privado (industrial y doméstico); se encontró la empresa industrial Maderas el Vergel, la Universidad Santo Tomás Sede Loma Linda, la funeraria La Paz, tres estaciones de servicio de combustible (2 Terpel y 1 Esso Mobil), y el hotel Santa Bárbara Country; además, en el uso doméstico ubicado en la zona oriental del mapa, se encontró una pequeña área urbanizada del barrio Catumare. El pavimento con un área de 21,8%, es de uso público y privado, ya que se representó en las vías de acceso de la zona, tales como: calles del barrio Catumare, la vía nacional ruta 65 que comunica los municipios de Villavicencio-Acacías, y las estaciones del servicio de combustible previamente mencionadas. Los árboles densos localizados en los extremos norte y sur, y una pequeña parte centro occidental del mapa ocuparon un 18,7% de área, en el norte y centro siendo área privada de la Universidad Santo Tomás y la funeraria la paz; en el sur se ubicó dentro de la ronda hídrica del caño Italia ubicado en el barrio playa Rica. Los árboles dispersos ocuparon un 2,9% del área, ubicados en la zona

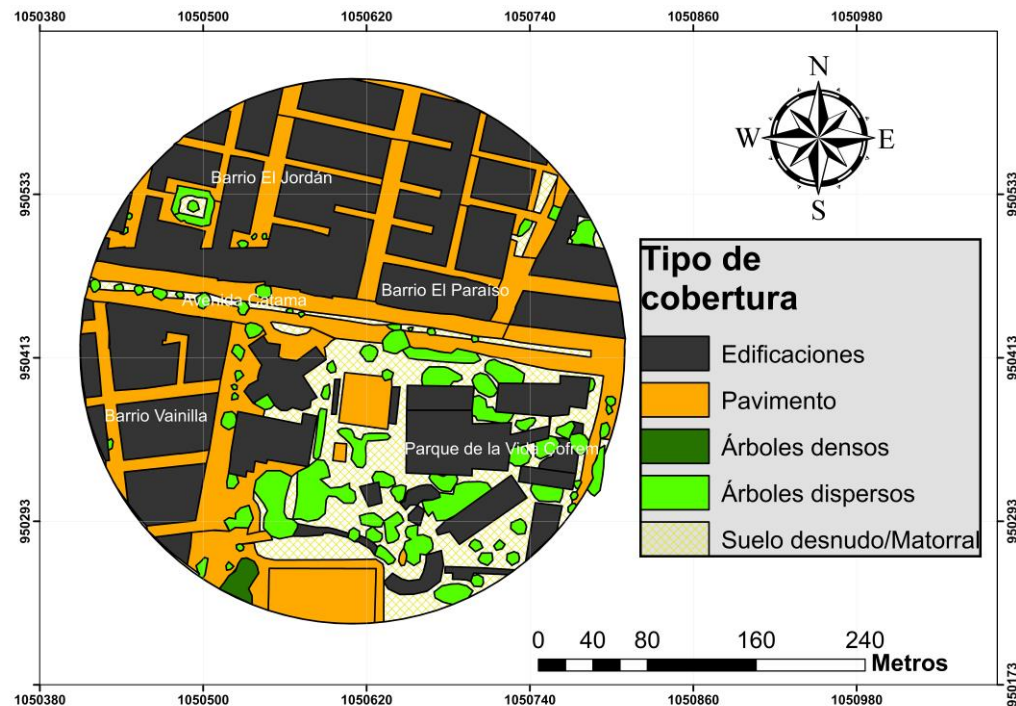
central del mapa se encontraron en superficies privadas aledañas a las estaciones de servicio de combustible y la empresa industrial Maderas el Vergel. El suelo desnudo/matorral, se encontró dispersa en toda la zona, con un área de 34,1%, correspondiente a lotes y parqueaderos de los barrios Catumare y Playa Rica. A partir de los porcentajes de cobertura superficial presentes en la estación Catumare se estableció como zona climática local 6.

Descripción: ZCL 6. Tipología: Zona que conjugó un 55,7% de área de cobertura permeable y 44,3% de área de cobertura impermeable, donde el tipo de cobertura superficial con mayor abundancia fue el suelo desnudo/matorral y se halló dentro de los suelos permeables. La ZCL 6 “Abierto de poca altura” está compuesta por construcciones de uno a tres pisos de diversos materiales de construcción (hormigón, piedras, ladrillos, tejas y metal), alto tráfico vehicular y abundante cobertura verde (plantas bajas y árboles) (Colunga, et al., 2015).

Según el estudio realizado en Nagpur- India, la zona climática local 6 se ubicó dentro de las áreas construidas con mayor cobertura vegetal urbana, además se localizó hacia la periferia de la ciudad, donde predominaron actividades industriales y urbanas medianamente densas, sin embargo, la presencia de coberturas impermeables reduce en gran medida el aumento de temperatura que dichas actividades pueden generar (Rajashree, et al., 2019). Condiciones similares se encontraron en la estación Catumare, ya que presentó altas densidades de movimiento vehicular, infraestructura de industrias y urbanización; la predominancia de suelos desnudos, generando un efecto de regulación de la temperatura en las zonas permeables y por ende en la zona climática en general (Luján, et al., 2016).

- **Estación Cofrem**

Figura 3, Mapa de la clasificación del tipo de cobertura superficial en la estación Cofrem



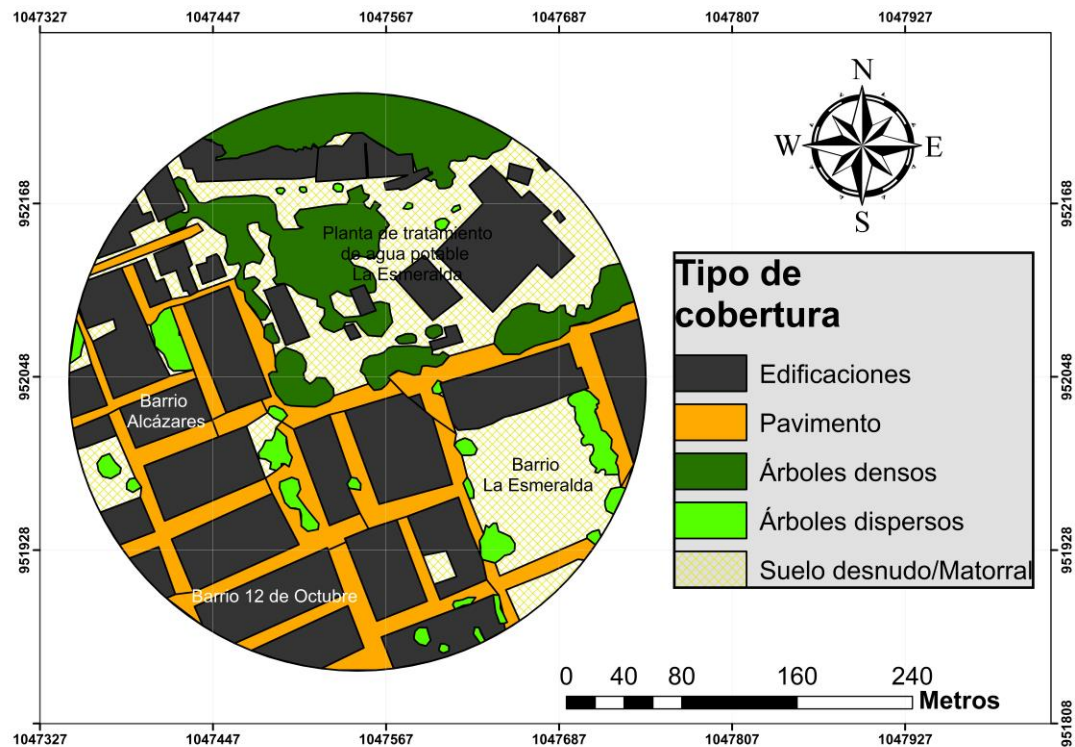
La “figura 3” expuso la distribución de las coberturas superficiales en la estación Cofrem, donde se observó que las edificaciones están localizadas al norte en el barrio El Paraíso, al occidente en el barrio Vainilla, al noroccidente el barrio Jordán y al centro oriente las instalaciones del Parque de la Vida Cofrem; con un área de 46,4%, esta cobertura es de uso privado y corresponde a una zona altamente construida. El pavimento con un área de 30,5% es de uso público y privado; se encontró inmerso en las vías de acceso de los barrios mencionados anteriormente, la Avenida principal Catama, y el parqueadero y cancha deportiva del Parque de la Vida Cofrem; dicha cobertura es densamente transitada ya que se ubicó dentro de una zona comercial y educativa de la ciudad. Los árboles densos, ubicados al sur del mapa dentro del Parque de la Vida Cofrem, correspondieron al 0,4% del área, esta cobertura es la menos representativa dentro de la zona. Los árboles dispersos y el suelo desnudo/matorral presentaron áreas de 10,3% y 12,7% respectivamente; se encontraron distribuidos dentro del parque de la vida Cofrem y una pequeña parte del barrio el Paraíso. A partir de los porcentajes de cobertura superficial presentes en la estación Cofrem se estableció como zona climática local 3.

Descripción: ZCL 3. Tipología: La cobertura impermeable predominó con un 76,9%, dejando la superficie permeable con un 23,1% del área; la densa edificación fue el tipo de cobertura superficial con mayor % de área (46,4), por el contrario, los árboles densos fueron los de menor representación con un porcentaje de área de 0,4%; esta es la zona de estudio con menor altura, situada sobre los 430 msnm. La ZCL 3 compacto de baja altura, es una mezcla de edificios de poca altura con menos de tres pisos y diversos materiales de construcción (hormigón, cemento, grama sintética, piedra, tejas y ladrillos). El pavimento y los adoquines cubren la mayor parte de las calles con algunos árboles dispersos. Se ubica dentro del núcleo urbano (densidad media) (Colunga, et al., 2015).

Según estudios realizados en la ciudad de Mendoza, la zona climática local 3 o compacto de baja altura, se encuentra en cabeceras departamentales y sus entornos inmediatos, se caracteriza por ser centro administrativo, financiero y comercial de la zona (Colli, et al., 2020); caso similar es la estación Cofrem, la cual presentó usos del suelo y porcentajes de áreas impermeables característicos de este tipo de zona climática local. De acuerdo a lo anterior, se dedujo que las zonas con mayores coberturas impermeables son producto del crecimiento urbano y la alta demanda de equipamiento para la sociedad; generando posibles efectos sobre el clima local (Paolini, 2012).

- **Estación La Esmeralda**

Figura 4, Mapa de la clasificación del tipo de cobertura superficial en la estación La Esmeralda



En la “figura 4”, se observó la clasificación de las coberturas superficiales en la estación La Esmeralda; con un área de 40,4%, las edificaciones se identificaron de uso privado y se localizaron al centro norte en las instalaciones de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio (EAAV), en la zona central el barrio la Esmeralda, en la zona oriental el barrio Alcázares y en la zona occidental el barrio 12 de octubre. El pavimento con un área de 17,6% se representó de uso público en las calles de dichos barrios. Los árboles densos ubicados al norte del mapa, ocuparon un 14,6% del área y se ubicaron dentro de la (EAAV) como suelo de uso privado. Los árboles dispersos con un área de 3,5% se distribuyeron desde la zona centro hasta el sur del mapa, en los barrios la Esmeralda y Alcázares son coberturas de uso privado ya que se encuentran dentro del área doméstica y en el barrio 12 de octubre cobertura de uso público por la presencia de dos parques urbanos. El suelo desnudo/matorral con un porcentaje de área de 23,8% se localizó en la zona nor-oriental del mapa, siendo de uso privado correspondió a una cancha de fútbol del barrio Alcázares y gran parte del suelo desnudo de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de

Villavicencio. A partir de los porcentajes de cobertura superficial presentes en la estación La Esmeralda se estableció como zona climática local 5.

Descripción: ZCL 5. Tipología: Se identificó un 58% de área impermeable y un 42% de área permeable, pese a tener menor porcentaje de área permeable, esta es la zona de estudio más alta con 547 msnm, lo cual genera una disminución del impacto que causa la presencia de cobertura impermeable en el cambio de la temperatura; además, es una zona con reducida densidad de infraestructura y tránsito vehicular. La ZCL 5 Abierto de Media Altura constó de edificios de media altura separados, abundó la cobertura verde (plantas bajas y árboles); los materiales de construcción son concreto, ladrillo, metal y roca (Colli, et al., 2020).

Según el estudio realizado por Lorena Paz en la ciudad de Melipilla, la ZCL 6 se caracteriza por tener bajas densidades en el equipamiento urbano y alturas variables en su infraestructura; lo cual, implica que el rango de temperaturas disminuya como efecto del suelo permeable y la altitud del lugar; además, esta zona se reduce a unas cuantas manzanas, pero con gran extensión (Guajardo, 2019,p.97). Característica similar que se presenta en la estación La Esmeralda, con edificaciones de media altura separadas y gran área entre las manzanas que la componen; además, al tener un uso del suelo residencial doméstico, se presentó bajo tráfico vehicular por la ausencia de industrias y vías principales, generando mejores condiciones ambientales en la zona.

En la “tabla 6”, se demostró el porcentaje de área de los tipos de cobertura superficial presente en las tres zonas de estudio.

Tabla 6, Porcentaje de área por cada tipo de cobertura

Tipo de cobertura	% de área estaciones SVCAV		
	Catumare	Cofrem	La Esmeralda
Edificaciones	22,5	46,4	40,4
Pavimentado	21,8	30,5	17,6
Tierra desnuda/matorral	34,1	12,7	23,8
Árboles dispersos	2,9	10,3	3,6
Árboles densos	18,7	0,4	14,6

Tabla 7, Valores de las propiedades geométricas y de cobertura superficial para zonas climáticas locales

Propiedades geométricas de cobertura superficial	Catumare	Cofrem	La Esmeralda
Fracción superficie impermeable (%)	44,3	76,9	58
Tabla 7, Continuación			
Fracción superficie permeable (%)	55,7	23,1	42
Zona climática local (ZCL)	6 abierto de Poca Altura	3 compacto de Poca Altura	5 abierto de Media Altura

Nota*: Adaptado de (Stewart & Oke, 2012)

La evaluación se basó en considerar la misma área para las tres zonas de estudio, para las cuales se encontró que en la estación Catumare o ZCL 6, se identificó por tener gran porcentaje en suelo desnudo y árboles densos, conservando las características naturales del arbolado urbano; sin embargo, es un área con presencia de industrias y alto tráfico vehicular pesado, generando aumento en el área de suelo desnudos por la presencia de parqueaderos para las maquinarias.

En la estación Cofrem o ZCL 3 es la que cuenta con mayor porcentaje de área en los tipos de cobertura superficial: edificaciones, árboles dispersos y pavimento; lo que representa una zona con mucha actividad antropogénica (tránsito vehicular y urbanización); asimismo, es la zona con menor porcentaje de área en arboles densos y suelo desnudo/matorral.

La estación La Esmeralda o ZCL 5 tuvo menor porcentaje de pavimento, por lo tanto, menor cantidad de vías a comparación de las otras zonas de estudio, aunque el porcentaje de área de edificaciones es alto, la tierra desnuda o matorral y los árboles densos son significativos en dicha zona, es decir, la cobertura permeable no presentó mayores afectaciones.

A partir de las Zonas climáticas locales fue posible realizar el diagnóstico de la cobertura superficial en las tres zonas de estudio, identificando que las áreas de estudio Catumare, Cofrem y La Esmeralda corresponden a las ZCL 6, 3 y 5 respectivamente; incluyendo diferentes patrones de uso del suelo, la estación Catumare fue la de mayor densidad de infraestructura y menor presencia

de áreas verdes, motivo por el cual es el área de riesgo por aumento de temperaturas, la estación Catumare se determinó como una zona en crecimiento, la presencia de cobertura superficial impermeable es de gran ayuda para la regulación de la temperatura, sin embargo su alto movimiento vehicular puede alterar el comportamiento de las temperaturas; y finalmente la estación La Esmeralda se identificó como una zona antigua de la ciudad, donde existe una estabilidad por el uso de su suelo, la presencia de cobertura impermeable y la altura (Rajashree, et al., 2021).

8.2. Fase 2: Toma de datos de las variables ambientales

Figura 5, Ejecución de la toma de datos



Nota*: Medición de variables en campo en la estación La Esmeralda y estación Cofrem durante la franja horaria de 12 m – 1 pm

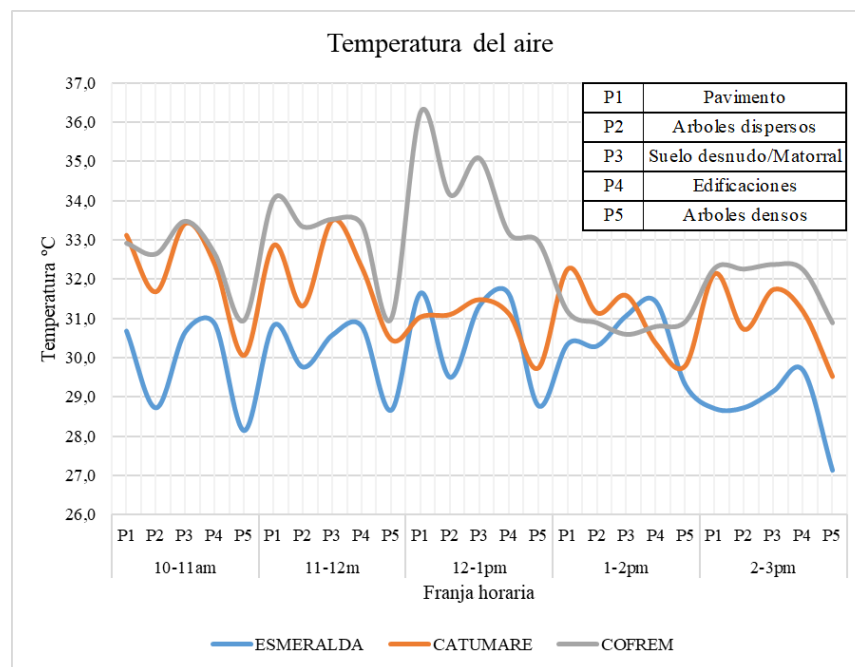
Durante la fase toma de datos, los tipos de tiempos fueron muy variados; en la estación La Esmeralda hubo diversos días con precipitaciones a partir de las 02:00pm, mientras que en las estaciones Catumare y Cofrem no se evidenciaron estos eventos. De acuerdo a la cercanía con la

Cordillera Oriental, las estaciones Catumare y La Esmeralda contaron con presencia de nubes, marcando una diferencia clara con respecto a la estación Cofrem, debido a que esta se encuentra sobre el piedemonte de la cordillera (Alcaldía de Villavicencio, 2015).

La identificación de las variables ambientales se realizó mediante el método de investigación cuantitativo (toma de datos en campo para las variables T_a , T_g , T_s , v y estimación o cálculo de TMR), lo anterior con el objetivo de realizar un análisis completo de variación de temperaturas. La temperatura media radiante se estableció con ayuda de dos variables adicionales que enriquecen la exactitud en el dato, tales como temperatura de globo y velocidad del viento, ver ecuación 1. Adicionalmente se tomó como base los datos de temperatura suministrados por las estaciones del SVCAV correspondientes a los mismos días y franjas horarias en que se realizó esta fase metodológica.

Temperatura del aire (T_a)

Figura 6, Gráfico de la variación de la temperatura del aire



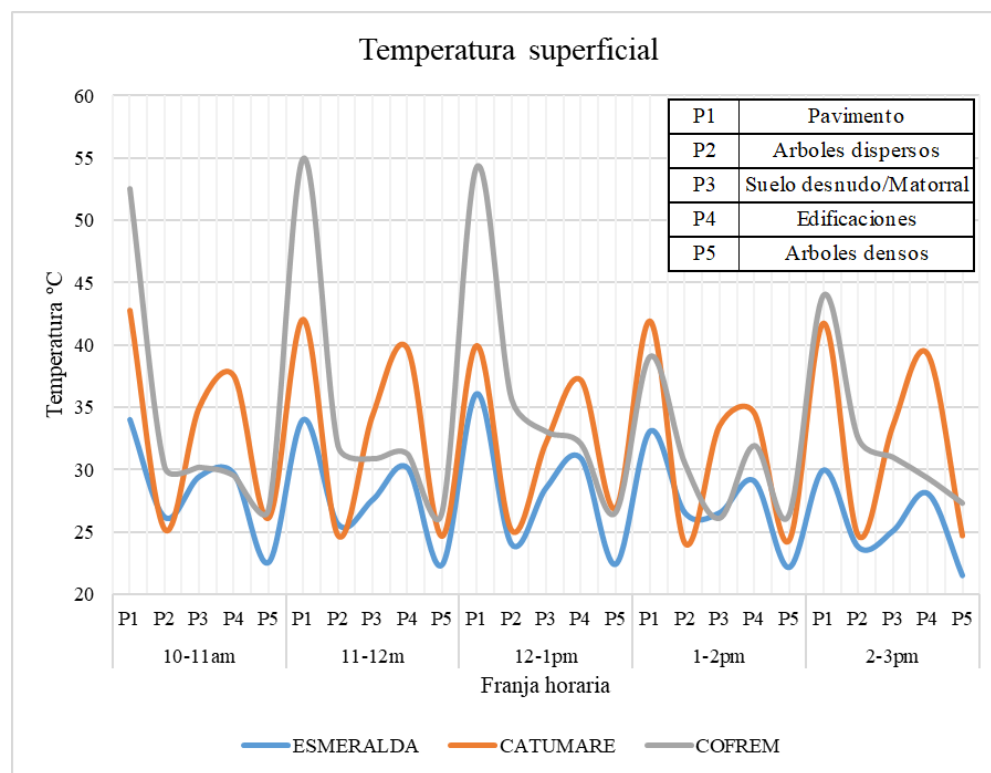
Nota*: Comparación entre zonas de estudio respecto a la temperatura del aire y la cobertura superficial en toda la franja de medición.

En la “figura 6” se demostró el comportamiento de la Temperatura del aire T_a (°C) en las tres zonas de estudio, teniendo en cuenta el tipo de cobertura superficial y la franja horaria de medición; la estación Cofrem presentó el mayor rango de temperatura, con valores máximos de 36,2 °C en la franja horaria de 12:00pm a 01:00pm en la cobertura de pavimento y valores mínimos de 30,6 °C en la franja horaria de 01:00pm a 02:00pm en la cobertura suelo desnudo/matorral; la estación Catumare fue el dato medio de las tres estaciones, con un valor máximo de 33,5 °C en la cobertura de suelo desnudo/matorral de 11:00am a 12:00pm y mínimo de 29,5 °C en árboles densos de 02:00pm a 03:00pm. El rango mínimo se presentó en la estación La Esmeralda, con valores de temperaturas máximos de 31,7°C de 12:00pm a 01:00pm en pavimento y mínimos de 27,1°C de 02:00pm a 03:00pm en los árboles densos.

Según estudios realizados en Santiago de Chile, la temperatura del aire en las ciudades, respecto al entorno rural puede elevarse de 2 a 8°C; la intensidad de calor aumenta en el transcurso del día, partiendo desde la salida del sol hasta un máximo que se registra unas pocas horas después de la puesta del sol y las horas previas a la madrugada (Romero, et al., 2010). En este caso, se comparó el área urbana de la Ciudad de Villavicencio, específicamente el área contigua 200m a las estaciones Catumare, Cofrem y La Esmeralda; dichas áreas tuvieron características de cobertura superficial que determinaron ser un motivo que aumente la temperatura; en este orden de ideas, la cobertura pavimento (permeable) es la que absorbe y retiene más energía en forma de calor (Correa, et al., 2003); la estación Cofrem (ZCL 3) fue representativa de este tipo de cobertura superficial, además, teniendo en cuenta los valores máximos de temperatura del aire, las características de la ubicación sobre planicie de la ciudad, la radiación solar directa, y la franja horaria de mayor radiación, dicha zona se elevó 4,5°C con respecto a la temperatura máxima en el mismo tipo de cobertura de la estación La Esmeralda (ZCL 5); de acuerdo a lo anterior, se pudo evidenciar que la estación La Esmeralda a pesar de tener alto porcentaje de área impermeable, las temperaturas del aire no logran alcanzar picos de temperatura tan altos como los de la estación Cofrem o Catumare, ya que esta es afectada por diferentes patrones físicos naturales como velocidad del viento, sombras artificiales o naturales y arborización, condiciones que actúan de forma positiva para esta estación (Nieto, et al., 2019).

Temperatura Superficial

Figura 7, Gráfico de la variación de la temperatura superficial



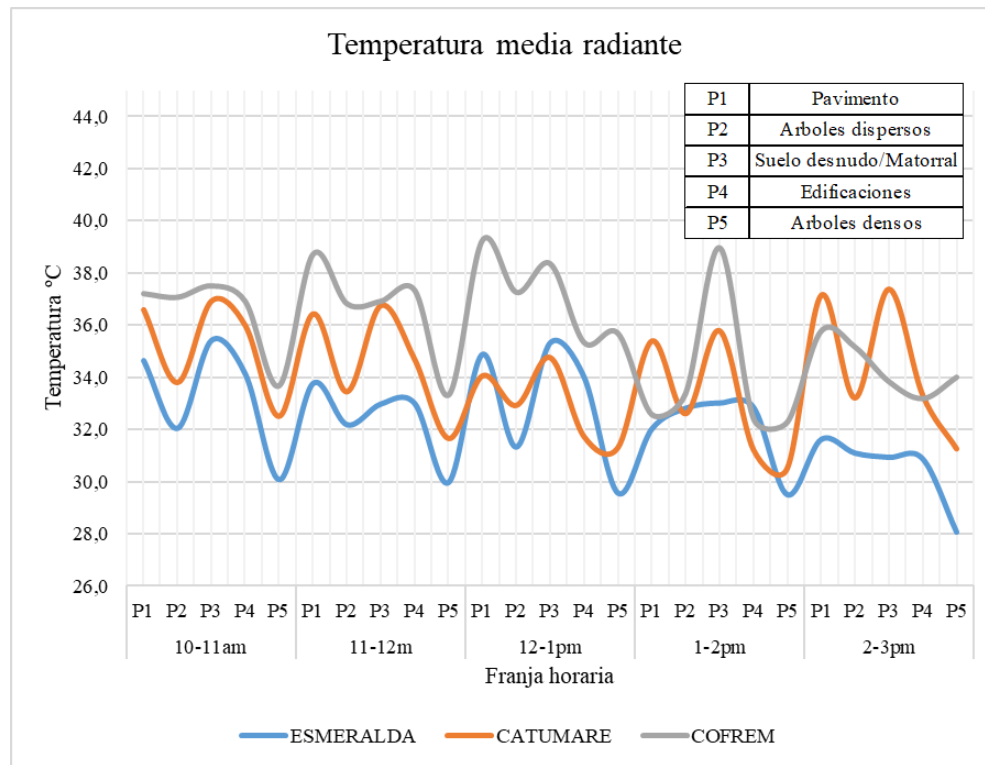
Nota*: Comparación entre zonas de estudio respecto a la temperatura superficial y la cobertura superficial en toda la franja de medición.

La temperatura superficial T_s (°C), tuvo los picos más altos en la estación Cofrem, con valores máximos de 55°C en el Pavimento de 11:00am a 12:00pm y valores mínimos de 26,1°C en el suelo desnudo de 01:00pm a 02:00pm; seguido por la estación Catumare con temperatura máxima 42,7°C en el pavimento de 10:00am a 11:00am y temperatura mínima de 24,1°C es los árboles dispersos de 01:00pm a 02:00pm y en último lugar los picos más bajo de temperatura se encontraron en la estación La Esmeralda con máximos de 36,1°C en el pavimento a medio día y mínimos de 21,5°C en los árboles dispersos de 2:00pm a 03:00pm.

Según el estudio realizado por Sarricolea & Romero (2010), la temperatura superficial es mayor en el perímetro urbano en época de verano, y menor en zona rural en la época de invierno; los factores que explican mejor la distribución de las temperaturas corresponden a la humedad, reflectividad del suelo, densidad poblacional y áreas verdes; mientras que en invierno los factores más representativos de las temperaturas son la reflectividad del suelo y densidad poblacional (Sarricolea & Romero, 2010). Este estudio realizó la toma de datos en época lluviosa, y tuvo similitud en cuanto a al aumento de temperatura en la zona con alta densidad poblacional. De acuerdo a la síntesis diagnóstica Plan de ordenamiento territorial de Villavicencio (2015), la relación habitante por kilómetro cuadrado es de 6.933 habitantes por kilómetro cuadrado en área urbana, registrándose mayores concentraciones en las comunas 4 y 5; se encontraron los barrios El Paraíso, Jordán y Vainilla, pertenecientes a al área de la estación Cofrem. La temperatura superficial máxima de esta zona superó 12,3°C la temperatura máxima de la estación Catumare, asimismo la estación Catumare se elevó 6,6°C con respecto a la estación La Esmeralda; todas en el mismo tipo de cobertura superficial (pavimento).

Temperatura Media Radiante

Figura 8, Gráfico de la variación de la temperatura media radiante por franja horaria en cada tipo de cobertura superficial



Nota*: Comparación entre zonas de estudio respecto a la temperatura media radiante y la cobertura superficial en toda la franja de medición

Las TMR presentó el pico más alto en la estación Cofrem, con una temperatura máxima de 39,2°C en la cobertura pavimento de 12:00pm a 01:00pm, y una temperatura mínima de 32,3°C en la cobertura árboles densos de 01:00pm a 02:00pm; la estación Catumare tomó el segundo lugar con temperatura máxima de 37,4°C en la cobertura suelo desnudo de 02:00pm a 03:00pm y temperatura mínima de 30,5°C en la cobertura suelo desnudo de 01:00pm a 02:00pm. Finalmente, la estación La Esmeralda con presentó una temperatura máxima de 35,4°C en el suelo desnudo a las 10:00am y una temperatura mínima de 28,1°C en los árboles densos de 02:00pm a 03:00pm.

Mencionando algunos detalles importantes, podemos visualizar que la estación Cofrem, denominada como ZCL 3 Compacto de Baja Altura, fue impactado con el grado de temperaturas

más alto, alcanzando niveles máximos de 36,2 °C en la T_a , 55°C en la T_s y 39,2°C en la TMR. Climáticamente resultó ser la ZCL más calurosa durante el tiempo de medición, destacándose por la superficie densamente construida, alto porcentaje de área impermeable y poca presencia de superficies verdes horizontales y verticales que humidifiquen el aire; Según (Roca, et al., 2016) la zona climática compacta de baja altura se caracteriza por canales viales que tienen pocas áreas verdes, prevalecen las áreas verticales y horizontales impermeables bajo efecto del sol, propiciando la absorción y reflexión de calor. En la siguiente tabla se presentó a modo de síntesis los datos más relevantes de las temperaturas obtenidas en cada zona de estudio.

Tabla 8, Temperaturas máximas y mínimas

Zona de estudio	Tipo de cobertura	Tmax °C	Tipo de cobertura	Tmin °C
Temperatura del aire				
La Esmeralda	Pavimento	31,6	Árboles densos	27,1
Catumare	Suelo desnudo/matorral	33,5	Árboles densos	29,5
Cofrem	Pavimento	36,2	Suelo desnudo/matorral	30,6
Temperatura superficial				
La Esmeralda	Pavimento	36,1	Árboles densos	21,5
Catumare	Pavimento	42,7	Árboles dispersos	24,1
Cofrem	Pavimento	55	Suelo desnudo/matorral	26,1
Temperatura media radiante				
La Esmeralda	Suelo desnudo/matorral	35,4	Árboles densos	28,1
Catumare	Suelo desnudo/matorral	37,4	Árboles densos	30,5
Cofrem	Pavimento	39,2	Árboles densos	32,3

Nota*: Temperaturas máximas y mínimas registradas en grados Celsius en los diferentes tipos de cobertura superficial en las tres zonas de estudio

8.3. Fase 3: Tratamiento de datos

Correlación de Spearman

En el análisis de Spearman se utilizaron los datos de las temperaturas aire, superficial y de globo (T_a , T_s y T_g), enfrentando dichas temperaturas para obtener tres parejas de correlación para cada una de las zonas de estudio; determinando relaciones positivas fuertes y débiles. En la tabla 8, se presentan los resultados obtenidos al ejecutar la correlación de Spearman; la T_a y T_g son las variables que presentan una relación positiva fuerte en las tres zonas de estudio; con valores de 93%, 81% y 95%.

La estación de La Esmeralda presenta los índices más altos de relación entre variables de temperatura, con 95%, 64% y 69% para las parejas (T_a - T_g , T_a - T_s , T_g - T_s) respectivamente.

Tabla 9, Índice de correlación de Spearman entre variables para cada zona de estudio

Zonas de estudio	Correlación Spearman entre variables		
	T_a-T_g	T_a-T_s	T_g-T_s
Catumare	93%	56%	64%
Cofrem	81%	57%	45%
La Esmeralda	95%	64%	69%

Según los datos obtenidos en la correlación de Spearman, la relación existente entre temperaturas es positiva en todas las estaciones, pero únicamente se obtuvo un índice de correlación positiva fuerte entre las variables T_a y T_g para las tres estaciones; es decir, a medida que aumenta la T_a aumenta la T_g , siguiendo una tendencia en los datos de cada temperatura, pero no de forma lineal; teniendo en cuenta que la temperatura de globo medida al interior de los espacios es considerada la temperatura del interior, los coeficiente de correlación Spearman en las tres zonas arrojaron un porcentaje alto, debido a que ambas temperaturas tienen en cuenta las condiciones en las que se miden los datos, ya sea en interiores o al aire libre (González & Bravo, 2009).

La correlación para la temperatura del aire y temperatura superficial; arrojó datos de 56%, 57% y 64% para las zonas Catumare, Cofrem y La Esmeralda respectivamente; lo cual indicó

una relación positiva fuerte, esta distribución es dada por la incidencia de factores ambientales, tales como, la radiación solar, nubosidad, velocidad del viento y vegetación; que según, estudios realizados para estas variables, se ha comprobado que la diferencia entre ambas temperaturas disminuyen cuando la radiación solar es menor y la velocidad del viento es mayor, además, estas diferencias también disminuyen a mayor proporción de cobertura vegetal y sin estrés hídrico (Nicolós, et al.,2010).

Las variables temperatura de globo y temperatura superficial, son las que menor relación tiene en la estación Cofrem a comparación de los índices de correlación en las otras zonas de estudio, en ese sentido y, de acuerdo a la distribución de sus datos, se mostró una relación positiva débil; indicando que pese a que los diferentes tipos de temperaturas se comportan de forma directamente proporcional, cada temperatura se diferencia teniendo en cuenta su posición en el entorno; en este caso, la temperatura superficial es la que se encuentra inmediata sobre la superficie de los objetos, mientras que la temperatura de globo está asociada a la temperatura que perciben los individuos (Nicol, et al.,1999).

La correlación de Spearman permitió diferenciar las zonas de estudio; la estación La Esmeralda fue la que presentó mayor correlación entre sus variables; sin embargo, las estaciones Catumare y Cofrem presentaron una correlación positiva donde no se denota una fuerza en la relación de sus variables; este comportamiento sucede por condiciones ambientales que presentan dichas áreas, ya sea por las actividades antrópicas o naturales (Luján, et al., 2016).

Análisis de la varianza de un factor (ANOVA)

Se realizó un análisis de varianza ANOVA para comprobar si existía diferencia entre las estaciones del SVCAV con respecto a las tres variables de interés (T_a , T_s y TMR). Teniendo en cuenta el valor de significancia ($p = 0,05$), se afirma una hipótesis nula (H_0) indicando similitud entre el promedio de los grupos analizados; no obstante, si el dato ($p < 0,05$) se acepta la hipótesis alternativa (H_a), demostrando que existen diferencias significativas entre zonas de estudio (Dagnino, 2014,p.3); en la tabla 9 se tabuló el factor ANOVA. Se obtuvieron valores de p de (0,000035, 0,00786 y 0,000269) para la (T_a , T_s y TMR) respectivamente; se determinó que todas

las zonas de estudio (Catumare, Cofrem y La Esmeralda) demostraron promedios de temperaturas diferentes, es decir, los valores de p estuvieron por debajo del valor de significancia (0,05), siendo la temperatura del aire el dato más bajo, representando mayor divergencia entre las zonas de estudio. La temperatura superficial tuvo el dato mayor con respecto a las otras temperaturas, sin embargo, el análisis de varianza, no determinó similitudes entre las estaciones; al igual, que la temperatura media radiante.

Tabla 10, Análisis Anova de temperaturas T_a , T_s y TMR en las zonas de estudio

Variables	Anova (p)
Temperatura del aire	0,000035
Temperatura superficial	0,007806
Temperatura media radiante	0,000269

Nota*: Factores anova calculados en las tres zonas de estudio.

Considerando los datos obtenidos en la prueba ANOVA, fue necesario realizar la prueba Tukey para identificar la similitud o diferencia de las variables entre dos estaciones (Catumare-Cofrem, Catumare- La Esmeralda y Cofrem- La esmeralda). Para realizar dicha prueba se utilizaron los datos promedios de las temperaturas (T_a , T_s , TMR) por franja horaria y se compararon entre las parejas de estaciones mencionadas previamente.

Prueba Tukey

En la “tabla 11”, se determinó que las estaciones Cofrem y la Esmeralda son diferentes, debido a que las temperaturas en la mayoría de las franjas horarias arrojaron un valor de significancia menor a 0,05, a excepción del rango de tiempo de 01:00pm a 02:00pm con porcentajes de similitud bajos, también se logró observar que las estaciones Catumare y Cofrem son similares porque las temperaturas en la mayoría de las franjas horarias tuvieron una relación de similitud con una significancia mayor a 0,05. La relación de las estaciones Catumare y La

Esmeralda fueron similares en las temperaturas de la franja horaria de 12:00pm a 02:00pm, aunque de 10am a 11am también hubo similitud en la Ts y TMR, la Ta fue diferente con un valor de significancia de 0,0022686. Por lo anterior se pudo deducir que las estaciones con mayor diferencia en la media de sus temperaturas fueron La Esmeralda con las temperaturas menores y Cofrem representando las temperaturas más altas, mientras la estación Catumare tuvo similitudes con todas las estaciones, teniendo datos medios a comparación de las otras zonas de estudio.

Tabla 11, Prueba post hoc Tukey entre zonas de estudio en relación a las temperaturas

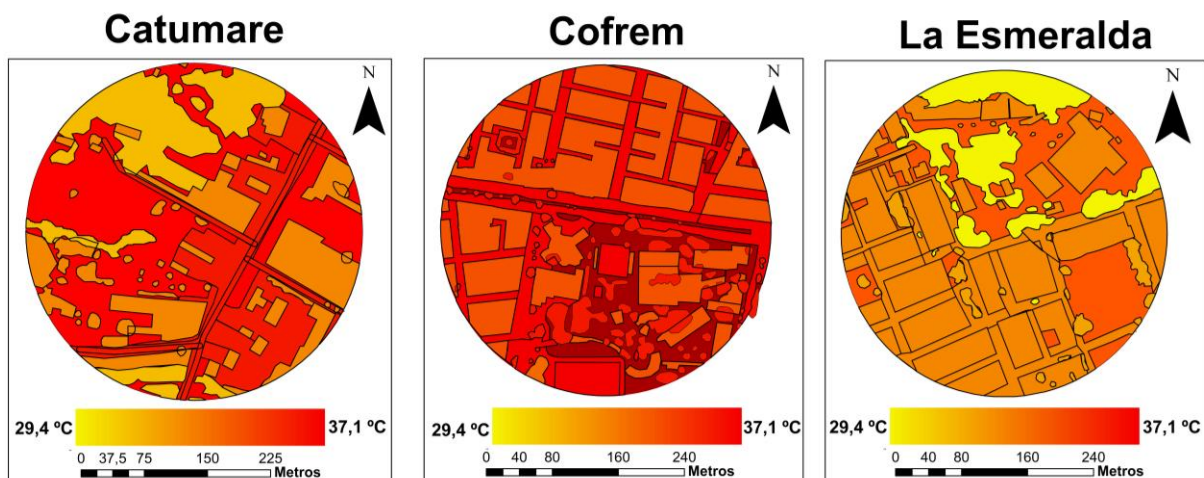
Franja horaria	Estaciones	Temperatura del aire		Temperatura superficial		Temperatura media radiante	
		Sig.	Relación	Sig.	Relación	Sig.	Relación
10-11am	Catumare Cofrem	0,821412	Similitud	0,967331	Similitud	0,389169	Similitud
	Catumare Esmeralda	0,0022686	Divergente	0,07925	Similitud	0,152812	Similitud
	Cofrem Esmeralda	0,000311	Divergente	0,044873	Divergente	0,005800	Divergente
11-12m	Catumare Cofrem	0,209762	Similitud	0,6783	Similitud	0,057061	Similitud
	Catumare Esmeralda	0,002595	Divergente	0,091355	Similitud	0,027363	Divergente
	Cofrem Esmeralda	0,000006	Divergente	0,011154	Divergente	0,000013	Divergente
12-1pm	Catumare Cofrem	0,000030	Divergente	0,226111	Similitud	0,000343	Divergente
	Catumare Esmeralda	0,896817	Similitud	0,265644	Similitud	0,998718	Similitud
	Cofrem Esmeralda	0,000005	Divergente	0,005200	Divergente	0,000405	Divergente
1-2pm	Catumare Cofrem	0,978753	Similitud	0,888315	Similitud	0,869319	Similitud
	Catumare Esmeralda	0,758621	Similitud	0,075959	Similitud	0,731644	Similitud
	Cofrem Esmeralda	0,865655	Similitud	0,194708	Similitud	0,422575	Similitud
2-3pm	Catumare Cofrem	0,43248	Similitud	0,999723	Similitud	0,998494	Similitud

Tabla 11, Continuación

Catumare Esmeralda	0,007281	Divergente	0,002342	Divergente	0,003614	Divergente
Cofrem Esmeralda	0,000124	Divergente	0,002182	Divergente	0,004238	Divergente

El comportamiento dado entre variables promedio de temperatura y zonas de estudio, dependió del tiempo y las condiciones de las zonas climática locales, de acuerdo a lo anterior, en la franja horaria de 01:00pm a 02:00pm dichos factores modificaron su comportamiento hasta el punto de generar similitud en zonas diferentes; en este orden de ideas, la nubosidad disminuyó, permitiendo una mayor radiación solar en la estación La Esmeralda, generando un aumento de temperatura hasta el punto de asemejarse a las otras zonas de estudio (Catumare y Cofrem). De acuerdo a lo anterior, las temperaturas máximas presentan, con respecto a las mínimas, mejores correlaciones con la nubosidad, según estudios realizados por (Sanchez, et al., 2008), la variación de las temperaturas parece estar ligados a modificaciones en los balances radiativos derivados de cambios en la radiación solar incidente, nubosidad y redistribución de la tipología nubosa.

Figura 9, Mapa de la distribución de la TMR en las zonas de estudio



En la “figura 9”, se representó el mapa de la temperatura media radiante en las tres zonas de estudio, donde se evidenció el comportamiento de esta temperatura con un rango general para las tres zonas, es decir, la estación de la Esmeralda tuvo valores de temperatura desde el dato mínimo (29,4°C) hasta (33,5°C), la estación Catumare tuvo valores desde (31,4°C) hasta (36,3°C) y por último la estación Cofrem con temperaturas entre los (33,8°C) y (37,1°C); este mapa corrobora la diferencia notoria entre zonas de estudio. Este análisis se realizó con la *TMR*, puesto que, para su cálculo se utilizaron variables de interés para la investigación, tales como, (T_a , T_g y v). Asimismo, en Argentina, se realizó un análisis de imágenes satelitales de la urbanización el Gran San Miguel en Tucumán, donde se evaluaron cambios en los patrones de temperatura debido al tipo de cobertura superficial existente en dicha ciudad (Oltra, et al., 2010). En esta investigación se evidenció un comportamiento similar; la estación Cofrem siendo la de mayor superficie impermeable obtuvo rangos superiores de temperatura, mientras que la estación de Catumare mantuvo datos medios, siendo esta la estación con mayor cobertura permeable; por otro lado, la estación La Esmeralda presentó valores bajos por su tipo de cobertura superficial (árboles densos de gran altura, bajo porcentaje de vías y mayor altitud) con respecto a las demás zonas; de modo que, la implementación de mapas en el análisis de temperaturas, es de gran importancia para entender el comportamiento de estas en diferentes zonas dependiendo de su cobertura superficial; y así, aportar en la toma de decisiones en cuanto a la gestión ambiental en las ciudades.

El análisis de varianza (ANOVA), la prueba de Tukey y el grafico 11, fueron primordial para entender las diferencias de temperaturas medias entre zonas de estudio, también, cabe resaltar que la temperatura no varía únicamente por la hora o el lugar de medición, se deben tener en cuenta factores ambientales y antropogénicos a los que se someten día a día las diferentes superficies (Yepes & Silveira, 2011).

9. Impacto social y humanístico

La auxiliatura de investigación, proporciona información importante que puede ser utilizada en la planeación del territorio en cuanto a los cambios de cobertura superficial a causa del crecimiento de las urbes, asimismo genera un impacto en la conciencia de las entidades encargadas del ordenamiento territorial en cuanto a la importancia de la presencia de arbolado urbano y coberturas verdes. Por otro lado, brinda información pública a la comunidad, dentro de la cual determina que en la zona aledaña a la estación Cofrem, ubicada en los límites de las comunas 3 y 4 existe una saturación de cobertura impermeable y por ende una mayor absorción de radiación y aumento de temperatura, motivo por el cual se debe gestionar la presencia cobertura permeable para que se genere regulación de temperatura y disminuyan los altos picos observados.

Asimismo, es de gran importancia mencionar que en la estación Catumare ubicada en la comuna 8 se presenta un porcentaje considerable de cobertura superficial permeable, sin embargo, el alto movimiento vehicular, industrial y doméstico genera una saturación en la temperatura, motivo por el cual se recomienda potencializar la presencia de arbolado ya que estos son los que regulan el balance energético del clima a escala local; reduciendo el estrés térmico para la comunidad.

Finalmente, en la zona aledaña a la estación La Esmeralda las coberturas impermeables predominaron, no obstante, la diferencia con la cobertura permeable fue baja, además la altura y cercanía a la cordillera oriental proporcionó las temperaturas menores dentro de este estudio. De acuerdo a lo anterior, la investigación realizada ayuda a comprender la importancia de coberturas permeables especialmente de arbolado urbano dentro de las ciudades, ya que se pueden presentar diversas condiciones dentro de las zonas, pero si no se presentan dichas superficies, la calidad de vida va a ser limitada por el aumento de temperatura.

10. Conclusiones

- ✓ Con la implementación del software ArcGIS 10.2.2 y trabajo de campo, se logró identificar las características de la cobertura superficial en cada zona de estudio; las cuales fueron clasificadas en 2 grupos (coberturas permeables e impermeables) y 5 subgrupos denominados de la siguiente manera: edificaciones, pavimento, suelo desnudo/matorral, árboles dispersos y árboles densos. Se obtuvieron coberturas impermeables con mayor porcentaje dentro de Cofrem y La Esmeralda con 76,9% y 58% respectivamente; por otro lado, en la estación Catumare predominó el tipo de cobertura permeable que corresponde a un 55,7% de su área total. En cuanto a la clasificación de subgrupos de cobertura superficial, se observó que la cobertura de tipo suelo desnudo/matorral posee una mayor extensión en la estación de Catumare con un 34,1%; mientras que las estaciones de Cofrem y La Esmeralda mantienen coberturas mayores en sus edificaciones con 46,4% y 40,4% correspondientemente. Además, el porcentaje de cobertura permeable e impermeable total entre las tres zonas de estudio fue de 40,3% y 59,7%; valores representativos de la predominancia de la cobertura superficial impermeable en suelos urbanos.
- ✓ La elaboración de gráficos fue primordial para lograr establecer el comportamiento de las temperaturas (T_a , TMR y T_s) por franja horaria en las diferentes zonas de estudio. Las temperaturas aumentaron mayormente en la franja horaria de 12pm a 1pm en suelos impermeables; estando 10,7°C por encima de las temperaturas tomadas en coberturas permeables en las 3 estaciones. Por otro lado, los valores mínimos de temperatura, se representaron en su mayoría en las zonas donde es mayor el arbolado urbano disperso y denso, con valores de temperatura entre 21,5°C hasta 32,3 °C. De acuerdo a lo anterior, se deduce que este comportamiento en las temperaturas en las superficies impermeables, es característico y representativo en vías y edificaciones en perímetros urbanos; así mismo, las coberturas verdes tienen la particularidad de regular las temperaturas.
- ✓ A partir del análisis de varianza ANOVA y la prueba Tukey, se determinó, que las tres zonas objeto de estudio presentaron diferencias significativas entre sus valores medios de

temperaturas; siendo la temperatura del aire la variable en donde mayor diferencia presentan las zonas de estudio con un valor $p = 0,000035$, seguida por la temperatura media radiante con valor $p = 0,000269$ y por último la temperatura superficial con $p = 0,0078$; de acuerdo a lo anterior, se deduce que la T_a es la variable que mayor inestabilidad tiene con respecto de las demás, entre zonas de estudio; sin embargo, se obtuvieron similitudes de las tres variables entre zonas en la franja horaria de 1:00pm a 2:00pm, siendo la hora donde se registraron mayores temperaturas; por otro lado, la estación La Esmeralda mantuvo diferencias significativas en las demás horas de medición, siendo la zona más divergente dentro del análisis. Finalmente, se concluye que las zonas de estudio presentan diferencias entre variables de temperatura debido al tipo de cobertura superficial que poseen y al uso del suelo que ha sido destinado cada área; si por el contrario se implementaran mayores coberturas permeables que impermeables, se tendrían temperaturas más bajas en cada zona en general, puesto que las temperaturas más bajas se registraron en superficies permeables.

11. Referencias bibliográficas

- Alcaldía de Villavicencio. (2015). Síntesis diagnóstico Plan de ordenamiento territorial de Villavicencio. <http://www.villavicencio.gov.co/Conectividad/RendiciondeCuentas/RendiciondeCuentas%20de%20Cuentas%202012-2015%20-%20Infancia,%20Adolescencia%20y%20Juventud.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. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/22664>
- Arnold, J., DeAngelo, B., Doherty, S., Easterling, D., Hall, T., Hayhoe, K., & Hoffman, F. (2017). Our Globally Changing Climate. Global Change Research Program, USA. https://science2017.globalchange.gov/downloads/CSSR_Ch1_Our_Globally_Changing_Climate.pdf
- Biere, R., & Cuhna, M. (2010). Metodología de análisis de rutas optimas en entornos patrimoniales con gvSIG. Catalunya: Universitat Politècnica de Catalunya. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/9953/BIERE_PATRAC_GV_SIG_DEF.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Calderón, K. D. (2019). Distribución de la infraestructura verde y su capacidad de regulación térmica en Bogotá,. (F. d.-P. Forestal, Ed.) *Colombia Forestal*, 22(2), 18. doi:<https://doi.org/10.14483/2256201X.14304>
- Carvajal, A., & Pabón, J. D. (2014). Temperatura de la superficie terrestre en diferentes tipos de cobertura de la Región Andina Colombiana. *Sociedade & Natureza*, 26, 18. doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1982-451320140107>
- Ciat & Cormacarena. (2017). Plan regional integral de cambio climatico en la Orinoquia. (CIAT, Cormacarena, Ecopetrol, & Corporinoquia, Edits.), Centro internacional de agricultura tropical. <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2857-la-orinoquia-ya-cuenta-con-un-plan-regional-integral-de-cambio-climatico>

- Colli, M. F., Correa, É. N., & Martínez, C. F. (2020). Application of the wudapt method in the city of Mendoza-Argentina to define local climate zones. *Urbano* No°42(42), 18-31. doi:<https://doi.org/10.22320/07183607.2020.23.42.02>
- Colunga, M., Cambron, V. H., Suzan, H., Guevara, A., & Luna, H. (2015). The role of urban vegetation in temperature and heat island effects in Querétaro city, Mexico. *Centro de ciencias de la atmosfera*, 218.<https://pdf.sciencedirectassets.com/312385/1-s2.0-S0187623615X73127/1-s2.0-S018762361730005X/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEA0aCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIFoK1knZLbmbnoKsmOvjntxCkIYjijOYRwfNcXbNDYWSAiEA6gS9tr0OVk5233hGpJYil7P6pLTE80crNIhEj4qS2SEq>
- Cormacarena. (2013). Resolucion 0968. Referencia para la elaboracion del plan de ornato, 14. <http://cormacarena.gov.co/descargarpdf.php?libro=1010>
- Corrales, D. A., Cabrera Montenegro, E., Castellanos Quiroz, H. O., Corredor, L. P., Cruz, A., Garcia, C., . . . Ruiz Linares, J. (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra. (N. J. Ardila, & U. Gonzalo Murcia, Edits.) IDEAM, 72. http://siatac.co/c/document_library/get_file?uuid=a64629ad-2dbe-4e1e-a561-fc16b8037522&groupId=762
- Correa, E. N., Flores Larsen, S., & Lesino, G. (2003). Isla de calor Urbana: Efecto de los pavimentos. *Avances en energias Renovables y medio ambiente*, 7(2), 6. <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2003/2003-t011-a005.pdf>
- Dagnino, J. (2014). Analisis de varianza. *Rev Chil Anest*, 306-310. Obtenido de <http://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.07.pdf>
- Driscoll, W. C. (1996). Robustness of the ANOVA and Tukey-Kramer Statistical Tests. Department of Industrial and Systems Engineerin Youngstown State University, 31, 265 - 268. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0360835296001271>
- Etter, A., McAlpine , C., Wilson, K., Phinn, S., & Possingham, H. (Junio de 2006). Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. (Elsevier, Ed.) *Scienc*

- direct, 114, 17.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880905005505>
- Ferrelli, F., Bustos, M. L., & Piccolo, M. C. (2016). Modificaciones en la distribución espacial de la temperatura y la humedad relativa como resultado del crecimiento urbano: el caso de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *Revista de climatología*, 12. <http://hdl.handle.net/11336/27401>
- Fia, U. (2015). Universidad Santo Tomas sede Villavicencio. Obtenido de Grupo de Investigación Gestión Ambiental USTA Villavicencio: ustavillavicencio.edu.co/index.php/ingenieria-ambiental-grupos-de-investigacion
- Garcia, F. J. (2019). Planeamiento urbanistico y cambio climatico: la infraestructura verde como estrategia de adaptacion. (I. J. Herrera, Ed.) FASTER, San Francisco de sales(122), 102.
- Garmin. (2014). GPSMAP 64-S Manual del usuario. Taiwán: Garmin. Obtenido de www.garmin.com/support
- Gonzalez, A. S. (2011). Determinacion de las condiciones de operacion para el bienestar termico de una oficina con techo frio y cerramiento acristalado. Escuela Universitaria de Arquitectura Tecnica. Madrid, España: Universidad Politecnica de Madrid. http://oa.upm.es/6547/2/Tesis_master_alberto_sanchez_gonzalez.pdf
- González, E., & Bravo, G. (2009). Sobre el confort térmico: temperaturas neutrales en el trópico húmedo. *Redalyc*, 4(1), 33-38. https://www.researchgate.net/profile/Eduardo_Gonzalez-Cruz/publication/282817968_Covers_and_roof_ponds_for_improving_the_roof_pond_passive_cooling_system_in_hot_and_dry_climate_an_exploratory_experimental_study/links/561d5a4908aec7945a253156.pdf
- Guajardo, L. P. (2019). Incidencia del Plan Regulador Comunal en la formación de Zonas Climáticas Locales. Caso de Ciudad de Melipilla. Universidad de Chile facultad de arquitectura y urbanismo. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/170733>.
- Gusson, C., & Duarte, D. (2016). Effects of Built Density and Urban Morphology on Urban Microclimate - Calibration of the Model ENVI-met V4 for the Subtropical Sao Paulo, Brazil. *ELSEVIER*, 169, 9. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.001>

- Ideam. (2014). Radiación Solar. (M. d. Colombia, Editor) Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>
- Laguna, C. (2014). Correlación y regresión lineal. Instituto Aragonés de Ciencias de la Salud. Obtenido de <http://www.ics-aragon.com/cursos/salud-publica/2014/pdf/M2T04.pdf>
- Luján Bustos, M., Ferrelli, F., & Piccolo, M. (2016). El rol del arbolado urbano sobre la temperatura invernal de la villa balnearia de Pehuen Co (Argentina). *Revista universitaria de geografía*, 25(1), 17. Recuperado el Abril de 2020 de 28, de <https://www.redalyc.org/pdf/3832/383246150004.pdf>
- Mayorga, A. Y. (21 de Marzo de 2012). Climate change: management strategies racing against time. (U. d. llanos, Ed.) Scielo, 16. <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v16n1/v16n1a09.pdf>
- Mininterior. (2020). Decreto numero 1076 de 2020. Decreto 1076 Por el cual se imparten instrucciones en virtud de la emergencia sanitaria generada por a pandemia del Coronavirus COVID-19, y el mantenimiento del orden público, 37. Bogota D.C, Colombia: Ministerio del Interior. Obtenido de <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%201076%20DEL%2028%20DE%20JULIO%20DE%202020.pdf>
- Niclós, R., Estrela, M., Valiente, J., & Barberá, M. (2010). Análisis de correlaciones entre la temperatura del aire y la temperatura de las superficies vegetadas medida con radiometría térmica. (U. M.-U. Mediterráneo, Ed.) *Revista de Teledetección*, 8. http://www.aet.org.es/revistas/revista34/Numero34_05.pdf
- Nicol, J., Raja, I., Allaudin, A., & Jamy, J. (Agosto de 1999). Climatic variations in comfortable temperatures: the Pakistan projects. *Energy and buildings*, 30(3), 261-279. doi:[https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(99\)00011-0](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(99)00011-0)
- Nieto Rodríguez, C., Redondo Sánchez, D. F., & Valderrama Morales, F. (2017). Diagnóstico de la incidencia de la radiación solar presente en las instalaciones de la sede principal de la universidad cooperativa de colombia sede Villavicencio. Universidad Cooperativa de Colombia.https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/4417/1/2017_diagnostico_incidencia_radiacion.pdf

- Nieto, k., Potes, L., Celedon, S., & León, J. (2019). Microclima y Confort Térmico Urbano. *Modulo arquitectura CUC*, 3(1), 49-88. <http://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/5834/Microclima%20y%20Confort%20T%c3%a9rmico%20Urbano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Oltra-Carrió, R., Sobrino, J. A., Gutiérrez-Angonese, & Gioia, A. (2010). Estudio del crecimiento urbano, de la estructura de la vegetación y de la temperatura de la superficie del Gran San Miguel de Tucumán, Argentina. *Revista de Teledetección*. ISSN: 1988-8740, 69-76. Obtenido de http://cursosihlla.bdh.org.ar/PDI2019/Bibliografia/2010_Oltra-Carri%C3%B3-Ts.pdf
- Paolini, L. (2012). Análisis de la respuesta de la temperatura de superficie al crecimiento urbano utilizando series temporales Modis. *Revista de Teledetección* 38, 28-35, 8. http://www.aet.org.es/revistas/revista38/Numero38_03.pdf
- Parsons, K. (2006). Heat Stress Standard ISO 7243 and its Global Application. https://www.jstage.jst.go.jp/article/indhealth/44/3/44_3_368/_article/-char/ja/.
- Pce-Instruments. (2020). Especificaciones técnicas del Higrómetro Pce-wb 20sd. 3. Santiago, Chile: PCE Ibérica S.L. Obtenido de www.pce-instruments.com/chile
- Pce-Instruments. (2020). Medidor de temperatura sin contacto PCE-777N pequeño y compacto con puntero láser. 2. Santiago, Chile. Obtenido de www.pce-instruments.com/chile
- Philpot, L. M., Ramar, P., Roellin, D. L., Sharma, P., & Ebbert, J. O. (2021). Changes in Social Relationships during an Initial “Stay-at-Home” Phase of the COVID-19 Pandemic: A Longitudinal Survey Study in the U.S. *Social Science & Medicine*, 32. doi:<https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2021.113779>
- Rajashree , K., Anurag , B., & Abhay , A. (2019). Investigating Local Climate Zones for Outdoor Thermal Comfort Assessment in an Indian City. *Geographica Pannonica*, 23, 318-328. doi:10.5937/gp23-24251
- Rajashree, K., Aveek, G., & Varun, K. (2021). Estimating summertime heat stress in a tropical Indian city using Local Climate Zone (LCZ) framework. *Urban Climate*, 36, 20. <https://pdf.sciencedirectassets.com/282307/1-s2.0-S2212095520X0006X/1-s2.0->

S2212095521000146/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEC4aCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIQDw20RyZccNhJqG6iuxZ9FI9dnp4qnLfPkexW36bJI81gIgSNLdb56c5f8FbqS2gbUINontvsncqvjYi7aDPSVqoeIq

- Ricra, R. (2019). Efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado por convección en las propiedades funcionales y el color de laharina de papa amarilla tumbay (*Solanum goniocalyx*). Universidad Nacional José María Arguedas Facultad de Ingeniería. http://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/123456789/484/Rossel_Tesis_Bachiller_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Roca, G., Puliafito, S., Allende, D., Ruggieri, F., & Pascua, R. (2016). “Modelado urbano a microescala: contribución al confort urbano de ecosistemas áridos”. Grupo de Estudios de la Atmósfera y el Ambiente (GEAA). Mendoza, Argentina: Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente. <https://core.ac.uk/download/pdf/153388375.pdf>
- Rojas, G. M. (2013). La vegetación tropical en el confort climático urbano: aplicado a Santo Domingo, República Dominicana en comparación con el clima mediterráneo, Barcelona, España. Universidad Politécnica de Cataluña Departamento de Construcciones Arquitectónicas. <https://www.aie.webs.upc.edu/maema/wp-content/uploads/2016/07/TESINA-Rojas-Gilkauris-red.pdf>
- Romero, H., Salgado, M., & Smith, P. (2010). Cambios climáticos y climas urbanos: Relaciones entre zonas termales y condiciones socioeconómicas de la población de Santiago de Chile. *Revista INVI*, 25(70), 151-179., 29. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-83582010000300005>
- Sanchez, A., Sigo, J., Calbo, J., Martín, J., Brunet, M., Aguilar, E., & Brunett, M. (2008). Efectos de la nubosidad e insolación en las temperaturas recientes de España. (A. E. Climatología, Ed.) *Cambio climático regional y sus impactos*.(6), 11. https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/8593/1/0028_VI-2008-SANCHEZ_SIGRO.pdf

- Sanchez, K., & Reyes, M. (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. Trabajo de grado. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/32105/2020mariareyes.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Sarricolea, P., & Romero, H. (2010). Análisis de los factores condicionantes sobre las temperaturas de emisión superficial en el área metropolitana de Valparaíso, Chile. *Ace: Architecture, City and Environment*, 20. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/9346/ACE_14_SA_15.pdf?sequence=7&isAllowed=y
- Sen, J., & Nag, P. K. (2019). Effectiveness of human-thermal indices: Spatio-temporal trend of human warmth in tropical India. *ScienceDirect*, 27. doi:doi.org/10.1016/j.uclim.2018.11.009
- Stewart, I., & Oke, T. (2012). Local Climate Zones for urban temperature studies. *American meteorological society*, 22. doi:10.1175/BAMS-D-11-00019.1
- Yepes, A., & Silveira, M. (2011). Respuestas de las plantas ante los factores ambientales del cambio climático global. *Colombia forestal*, 14(2), 21. <https://www.redalyc.org/pdf/4239/423939616005.pdf>

12. Anexos

Anexo 1, Datos de los cinco días de toma corregidos en la zona de estudio Catumare

Hora	PM	TA (°C)	TG (°C)	TS (°C)	VEL (m/s)	TMR (°C)	Día
10-11 AM	P1	29,4	31,5	31,4	0,4	31,8	1
10-11 AM	P2	28,1	29,3	24,9	0,2	29,4	
10-11 AM	P3	29,5	31,7	34,8	1,4	32,3	
10-11 AM	P4	29,6	31,1	26,1	1,2	31,5	
10-11 AM	P5	29,7	30,7	24,4	0,6	30,9	
11-12M	P1	28,2	28,2	28	0,0	28,2	
11-12M	P2	29,9	29,9	24	0,3	29,9	
11-12M	P3	30,2	31,9	34,2	2,0	32,4	
11-12M	P4	29,7	30,7	25,8	0,5	30,9	
11-12M	P5	29,9	31,3	24,5	2,3	31,8	
12-01PM	P1	28,9	29,2	29,9	0,0	29,2	
12-01PM	P2	28,2	28,9	22,9	0,2	29,0	
12-01PM	P3	27,8	30	31,1	0,1	30,2	
12-01PM	P4	29	30,8	27,1	0,1	30,9	
12-01PM	P5	29,1	30,7	25,3	0,3	30,9	
01-02PM	P1	27,7	28,7	26,5	0,4	28,8	
01-02PM	P2	27,7	28,6	23,3	0,0	28,6	
01-02PM	P3	28,5	29,5	31,3	0,7	29,7	
01-02PM	P4	29,1	29,6	28	0,2	29,6	
01-02PM	P5	29,3	29,4	24,8	0,3	29,4	
02PM-03PM	P1	30,4	33,2	38,2	0,3	33,6	
02PM-03PM	P2	29	31,3	25,1	0,0	31,3	
02PM-03PM	P3	31,1	35,4	38,8	1,5	36,6	
02PM-03PM	P4	31,2	35,9	32,6	0,9	36,9	
02PM-03PM	P5	30	33,7	25,8	1,7	34,8	
10-11 AM	P1	32,4	33,7	34,3	0,3	33,8	2
10-11 AM	P2	28,5	29,7	23,6	0,2	29,8	
10-11 AM	P3	31,5	36,1	41,4	1,4	37,3	
10-11 AM	P4	31,9	35,5	34,3	0,5	36,0	
10-11 AM	P5	30	32,8	26,4	0,2	33,1	
11-12M	P1	31,5	33,7	34,3	0,2	33,9	
11-12M	P2	28,5	29,6	23,6	0,1	29,7	
11-12M	P3	31,5	36,1	41,4	0,6	36,9	
11-12M	P4	31,9	35,5	34,3	1,1	36,3	
11-12M	P5	30	33	26,4	2,8	34,1	
12-01PM	P1	25,5	25,8	26,2	0,5	25,8	

Anexo 1, Continuación

12-01PM	P2	25,1	26,1	22,9	0,4	26,2	3
12-01PM	P3	26,5	27,7	29,8	0,8	27,9	
12-01PM	P4	26,7	29,1	26,8	1,2	29,7	
12-01PM	P5	26,7	28,9	25,1	1,3	29,5	
01-02PM	P1	27,9	28,7	27,1	2,0	29,0	
01-02PM	P2	27,5	28,8	24,2	0,9	29,1	
01-02PM	P3	28	29,4	30	2,3	29,9	
01-02PM	P4	28,1	28,6	26,9	1,1	28,7	
01-02PM	P5	27,3	28,4	24,8	1,9	28,7	
02PM-03PM	P1	26,7	26,7	29,1	0,7	26,7	
02PM-03PM	P2	26,9	28,5	24,5	1,0	28,9	
02PM-03PM	P3	29,4	31,7	32,4	2,6	32,5	
02PM-03PM	P4	29,3	33,2	28,1	1,6	34,3	
02PM-03PM	P5	28,9	30,8	27,3	1,7	31,3	
10-11 AM	P1	30,8	34,3	31,9	0,8	35,0	3
10-11 AM	P2	30,2	31,2	26	0,7	31,4	
10-11 AM	P3	34,4	36,5	42,3	1,8	37,1	
10-11 AM	P4	35,7	39,4	35,6	0,7	40,1	
10-11 AM	P5	31,5	34,6	25,7	0,8	35,2	
11-12M	P1	34,2	35,5	45,4	0,3	35,6	
11-12M	P2	31,7	32,6	25	0,3	32,7	
11-12M	P3	32,3	34,2	38,3	2,0	34,8	
11-12M	P4	33,5	37	33,4	0,2	37,4	
11-12M	P5	30,9	32,8	24,2	0,1	33,0	
12-01PM	P1	32,6	35,2	48,5	0,0	35,2	
12-01PM	P2	31,2	33,7	37,5	1,2	34,3	
12-01PM	P3	31,3	32,4	43,2	0,9	32,6	
12-01PM	P4	31,6	34,7	31,1	1,4	35,5	
12-01PM	P5	31,8	33	26,2	1,7	33,3	
01-02PM	P1	30,2	29,9	33,6	0,4	29,9	
01-02PM	P2	30,4	30,7	24,8	0,3	30,7	
01-02PM	P3	36,6	41,6	49,3	0,6	42,5	
01-02PM	P4	32,8	37,3	37,5	0,6	38,0	
01-02PM	P5	31,8	33,6	21,5	0,6	33,9	
02PM-03PM	P1	30,3	30,7	33,9	0,1	30,7	
02PM-03PM	P2	29,5	29,5	23,3	0,5	29,5	
02PM-03PM	P3	30,4	31,3	38,2	0,2	31,4	
02PM-03PM	P4	29,6	30,8	29	0,5	31,0	
02PM-03PM	P5	29,1	29,9	23,3	1,2	30,1	

Anexo 1, Continuación

10-11 AM	P1	31,8	34,3	42,5	0,4	34,7	4
10-11 AM	P2	31,5	35	29,1	1,2	35,8	
10-11 AM	P3	33,5	37,8	48	1,5	39,0	
10-11 AM	P4	33,2	37,8	40,3	0,5	38,5	
10-11 AM	P5	34,4	35,7	25,7	1,2	36,0	
11-12M	P1	33,4	37,5	42,5	0,5	38,2	
11-12M	P2	31,2	33,5	26,6	0,5	33,8	
11-12M	P3	33,2	37,1	48,7	1,7	38,2	
11-12M	P4	34,8	38,5	39,8	0,5	39,1	
11-12M	P5	33,6	35,2	26,3	2,8	35,8	
12-01PM	P1	35,6	36,5	31,2	0,9	36,7	
12-01PM	P2	32,8	33,4	25	0,3	33,5	
12-01PM	P3	34,6	38,7	47	0,9	39,6	
12-01PM	P4	35,5	40,2	39,7	1,3	41,4	
12-01PM	P5	34,6	35,9	25,7	1,4	36,2	
01-02PM	P1	33,8	34,1	40,6	0,1	34,1	
01-02PM	P2	32,9	33,2	25,1	0,2	33,2	
01-02PM	P3	35,8	39,4	51,1	1,3	40,3	
01-02PM	P4	35	44,5	40,5	1,3	46,9	
01-02PM	P5	34,8	36,3	26,6	0,6	36,5	
02PM-03PM	P1	34,6	38,5	47,9	0,0	38,5	
02PM-03PM	P2	31,8	32,6	27,3	0,3	32,7	
02PM-03PM	P3	35,5	41,2	51,7	0,7	42,2	
02PM-03PM	P4	35,2	46,8	46,6	0,6	48,8	
02PM-03PM	P5	33,5	35,7	25,7	0,9	36,2	
10-11 AM	P1	37,5	44	47,3	0,0	44,0	5
10-11 AM	P2	32	35,7	26,9	0,3	36,1	
10-11 AM	P3	36,7	37,1	47,2	2,0	37,2	
10-11 AM	P4	36,7	38,2	38,6	0,5	38,4	
10-11 AM	P5	32,8	33,3	23,8	2,3	33,5	
11-12M	P1	34,2	37,3	48,3	0,4	37,7	
11-12M	P2	31	32,1	24	0,0	32,1	
11-12M	P3	37,1	39,2	47,5	0,7	39,6	
11-12M	P4	37,6	39,9	38,5	0,2	40,1	
11-12M	P5	32,2	32,6	22,1	0,3	32,7	
12-01PM	P1	33	31,6	50	0,3	31,4	
12-01PM	P2	31,4	33,4	26,1	0,2	33,6	
12-01PM	P3	35	39	48,5	1,4	40,1	
12-01PM	P4	34,6	36,2	36,1	0,5	36,4	

Anexo 1, Continuación

12-01PM	P5	33,3	34,5	23,3	0,2	34,6
01-02PM	P1	32,2	34,1	44,8	0,2	34,3
01-02PM	P2	30,5	30,8	24	0,7	30,9
01-02PM	P3	32,4	34,1	47,7	0,8	34,4
01-02PM	P4	32,9	35,5	34,6	0,8	36,0
01-02PM	P5	32,5	34,1	22,7	1,1	34,5
02PM-03PM	P1	33,9	36,3	47,1	0,4	36,6
02PM-03PM	P2	30,4	33,3	23,2	0,2	33,6
02PM-03PM	P3	34,3	41,2	47,5	1,4	43,0
02PM-03PM	P4	33,4	35,3	31,3	1,1	35,7
02PM-03PM	P5	32,1	33,5	21,3	0,9	33,8

Anexo 2, Datos de los cinco días de toma corregidos en la zona de estudio Cofrem

Hora	PM	TA (°C)	TG (°C)	TS (°C)	VEL (m/s)	TMR (°C)	Día
10-11 AM	P1	31,2	34,6	27,3	0,8	35,3	1
10-11 AM	P2	33,9	37,9	55,8	0,2	38,3	
10-11 AM	P3	33,3	37,9	31,0	0,3	38,5	
10-11 AM	P4	35,1	39,6	31,3	0,5	40,3	
10-11 AM	P5	32,6	35,7	30,7	0,5	36,1	
11-12M	P1	30,9	32,8	27,1	0,8	33,2	
11-12M	P2	34,0	36,0	60,6	0,1	36,1	
11-12M	P3	34,5	37,8	30,4	0,0	37,8	
11-12M	P4	33,8	37,0	30,6	0,0	37,0	
11-12M	P5	33,3	36,4	31,3	0,1	36,6	
12-01PM	P1	33,3	34,4	27,2	2,9	34,9	
12-01PM	P2	38,1	40,7	62,2	0,5	41,1	
12-01PM	P3	33,0	35,2	33,9	0,3	35,5	
12-01PM	P4	35,6	38,7	32,7	0,4	39,1	
12-01PM	P5	34,1	36,6	33,9	0,2	36,9	
01-02PM	P1	31,3	32,2	26,5	2,4	32,5	
01-02PM	P2	32,0	32,4	38,5	0,6	32,5	
01-02PM	P3	31,3	32,3	33,5	0,6	32,5	
01-02PM	P4	31,3	32,0	27,9	0,2	32,1	
01-02PM	P5	31,3	33,0	32,6	0,0	33,0	
02PM-03PM	P1	32,1	34,2	29,3	1,9	34,9	
02PM-03PM	P2	34,2	37,0	49,8	0,2	37,3	
02PM-03PM	P3	34,6	32,3	33,5	0,1	32,1	
02PM-03PM	P4	34,2	35,6	31,5	0,1	35,8	

Anexo 2, Continuación

02PM-03PM	P5	33,5	34,5	34,9	0,0	34,5	2
10-11 AM	P1	30,6	32,8	27,4	1,6	33,4	
10-11 AM	P2	33,2	38,5	57,3	0,6	39,4	
10-11 AM	P3	33,6	36,2	30,1	0,6	36,6	
10-11 AM	P4	36,0	41,0	30,3	0,0	41,2	
10-11 AM	P5	32,6	35,1	30,7	0,0	35,1	
11-12M	P1	31,2	32,8	26,4	0,4	33,0	
11-12M	P2	35,9	42,0	60,0	1,4	43,6	
11-12M	P3	33,7	40,0	31,7	0,4	40,9	
11-12M	P4	36,0	39,8	31,3	0,4	40,3	
11-12M	P5	32,8	36,1	31,5	0,4	36,6	
12-01PM	P1	33,7	36,4	28,2	1,6	37,2	
12-01PM	P2	38,6	43,2	63,9	1,1	44,2	
12-01PM	P3	33,3	34,9	29,6	0,9	35,2	
12-01PM	P4	34,7	38,0	30,0	0,2	38,3	
12-01PM	P5	33,6	36,3	35,4	0,1	36,5	
01-02PM	P1	31,1	32,2	29,0	1,5	32,5	
01-02PM	P2	31,2	33,0	39,9	0,5	33,3	
01-02PM	P3	31,0	32,6	33,3	0,1	32,7	
01-02PM	P4	30,6	31,8	25,5	0,1	31,9	
01-02PM	P5	31,7	34,5	34,0	0,4	34,9	
02PM-03PM	P1	32,3	36,7	29,4	1,4	37,8	
02PM-03PM	P2	34,3	40,7	54,8	0,1	41,1	
02PM-03PM	P3	33,8	37,3	31,3	0,0	37,3	
02PM-03PM	P4	33,7	35,6	30,5	0,0	35,6	
02PM-03PM	P5	33,8	38,4	36,3	0,4	39,0	
10-11 AM	P1	32,1	33,0	27,7	1,4	33,2	3
10-11 AM	P2	32,8	35,9	51,6	0,4	36,4	
10-11 AM	P3	32,0	34,7	26,5	0,4	35,1	
10-11 AM	P4	31,3	32,4	28,8	0,0	32,4	
10-11 AM	P5	33,6	38,2	30,6	0,4	38,8	
11-12M	P1	31,1	33,7	27,5	0,1	33,8	
11-12M	P2	34,0	37,9	54,2	0,1	38,1	
11-12M	P3	32,3	33,6	31,2	0,4	33,8	
11-12M	P4	32,2	32,9	30,3	0,2	33,0	
11-12M	P5	33,8	36,6	35,3	0,2	36,9	
12-01PM	P1	32,1	35,3	24,2	2,1	36,3	
12-01PM	P2	33,9	35,9	46,4	0,0	35,9	
12-01PM	P3	32,5	32,9	32,7	0,6	33,0	

Anexo 2, Continuación

12-01PM	P4	34,5	36,8	36,2	0,1	36,9	4
12-01PM	P5	33,8	36,9	36,2	0,1	37,1	
01-02PM	P1	30,4	31,4	24,4	2,4	31,7	
01-02PM	P2	30,1	31,1	35,1	0,5	31,3	
01-02PM	P3	29,8	30,8	32,1	0,9	31,0	
01-02PM	P4	29,3	30,3	24,0	0,6	30,5	
01-02PM	P5	29,4	30,4	26,4	0,1	30,5	
02PM-03PM	P1	28,5	30,3	24,9	0,5	30,6	
02PM-03PM	P2	29,2	30,6	32,7	0,3	30,8	
02PM-03PM	P3	29,3	30,1	24,8	1,8	30,4	
02PM-03PM	P4	29,7	30,6	32,0	0,8	30,8	
02PM-03PM	P5	29,3	30,5	25,7	0,0	30,5	
10-11 AM	P1	29,9	32,5	24,9	0,2	32,8	
10-11 AM	P2	31,7	34,7	45,4	0,2	35,0	
10-11 AM	P3	31,7	36,6	30,4	0,5	37,4	
10-11 AM	P4	31,5	35,7	30,3	0,1	35,9	4
10-11 AM	P5	31,7	37,2	28,8	0,3	37,9	
11-12M	P1	30,8	32,8	25,4	1,3	33,3	
11-12M	P2	32,2	36,6	45,0	0,4	37,2	
11-12M	P3	33,0	36,4	31,8	0,2	36,8	
11-12M	P4	32,2	36,6	31,3	0,2	37,0	
11-12M	P5	33,5	37,0	29,5	0,0	37,0	
12-01PM	P1	32,7	34,3	26,6	0,0	34,3	
12-01PM	P2	34,4	35,6	44,6	0,3	35,7	
12-01PM	P3	33,9	37,1	32,1	0,0	37,1	
12-01PM	P4	35,5	38,6	33,3	0,3	39,0	
12-01PM	P5	35,1	37,9	37,2	0,6	38,4	
01-02PM	P1	31,0	32,3	25,5	0,4	32,5	
01-02PM	P2	31,4	33,2	42,9	0,0	33,2	
01-02PM	P3	31,1	33,2	28,8	0,4	33,5	
01-02PM	P4	31,2	58,6	27,0	0,0	59,7	4
01-02PM	P5	31,2	35,0	28,9	0,0	35,0	
02PM-03PM	P1	30,7	32,4	25,7	1,7	32,9	
02PM-03PM	P2	31,5	33,4	38,6	0,1	33,5	
02PM-03PM	P3	31,2	32,5	27,7	1,1	32,8	
02PM-03PM	P4	31,9	33,0	30,0	0,0	33,0	4
02PM-03PM	P5	32,5	35,8	33,1	1,0	36,5	
10-11 AM	P1	31,0	33,2	26,8	0,2	33,4	
10-11 AM	P2	32,9	36,8	52,5	0,0	36,8	4

Anexo 2, Continuación

10-11 AM	P3	32,7	36,4	29,5	0,3	36,8
10-11 AM	P4	33,5	37,2	30,2	0,2	37,5
10-11 AM	P5	32,6	36,6	30,2	0,6	37,2
11-12M	P1	31,0	33,0	26,6	0,0	33,1
11-12M	P2	34,0	38,1	55,0	0,3	38,6
11-12M	P3	33,4	37,0	31,3	0,1	37,2
11-12M	P4	33,5	36,6	30,9	0,5	37,0
11-12M	P5	33,3	36,5	31,9	0,2	36,8
12-01PM	P1	33,0	35,1	26,6	0,5	35,5
12-01PM	P2	36,3	38,8	54,3	0,6	39,3
12-01PM	P3	33,2	35,0	32,1	0,9	35,4
12-01PM	P4	35,1	38,0	33,0	0,4	38,4
12-01PM	P5	34,1	36,9	35,7	0,4	37,3
01-02PM	P1	30,9	32,0	26,3	0,2	32,1
01-02PM	P2	31,2	32,4	39,1	0,0	32,5
01-02PM	P3	30,8	32,2	31,9	0,4	32,4
01-02PM	P4	30,6	38,2	26,1	0,3	39,0
01-02PM	P5	30,9	33,2	30,5	0,0	33,2
02PM-03PM	P1	30,9	33,4	27,3	0,7	33,9
02PM-03PM	P2	32,3	35,4	44,0	0,5	35,9
02PM-03PM	P3	32,2	33,1	29,3	0,1	33,1
02PM-03PM	P4	32,4	33,7	31,0	0,0	33,7
02PM-03PM	P5	32,3	34,8	32,5	0,9	35,3

5**Anexo 3, Datos de los cinco días corregidos en la zona de estudio La Esmeralda**

Hora	PM	TA (°C)	TG (°C)	TS (°C)	VEL (m/s)	TMR (°C)	Día
10-11 AM	P1	35,5	42,5	32,4	0,6	43,7	1
10-11 AM	P2	30,1	31,4	24,6	0,5	31,6	
10-11 AM	P3	32,1	35,2	31,3	0,2	35,5	
10-11 AM	P4	31,1	32,7	27,6	0,1	32,8	
10-11 AM	P5	30,2	30,3	22,4	0,0	30,3	
11-12M	P1	32,3	38,9	38,9	0,4	39,8	
11-12M	P2	30,8	32,2	24,1	0,0	32,2	
11-12M	P3	31,2	34,2	28,5	0,2	34,5	
11-12M	P4	31,1	33,2	31,9	0,4	33,5	
11-12M	P5	29,8	30,4	23,4	0,0	30,4	
12-01PM	P1	31,7	34,4	36,1	0,2	34,7	

Anexo 3, Continuación

12-01PM	P2	29,5	31,1	24,1	0,0	31,1
12-01PM	P3	31,3	35,0	28,6	0,2	35,3
12-01PM	P4	31,6	33,8	30,9	0,0	33,8
12-01PM	P5	28,8	29,5	22,4	0,1	29,6
01-02PM	P1	33,9	37	36,4	0,2	37,3
01-02PM	P2	35,2	39,9	33,2	0,6	40,7
01-02PM	P3	37,1	41,1	28,2	0,1	41,3
01-02PM	P4	40,5	42	31,8	0,0	42,0
01-02PM	P5	34,2	33,8	21,2	0,0	33,8
02PM-03PM	P1	33,4	40,3	33,5	0,1	40,7
02PM-03PM	P2	33,6	37,5	25,5	0,0	37,5
02PM-03PM	P3	35,7	39,2	28,8	0,1	39,4
02PM-03PM	P4	39,8	41	34,5	0,2	41,1
02PM-03PM	P5	30,1	31,7	22,2	0,0	31,7
10-11 AM	P1	27,7	30,2	32,7	0,4	30,6
10-11 AM	P2	27,5	30,5	24,5	0,2	30,8
10-11 AM	P3	28,5	30,1	24,6	0,3	30,3
10-11 AM	P4	29	31,1	25,7	0,1	31,3
10-11 AM	P5	28	30,3	23,1	0,3	30,6
11-12M	P1	32,1	32,5	32,4	0,3	32,6
11-12M	P2	30,4	34,7	25,7	0,0	34,7
11-12M	P3	30,6	32,1	25,8	0,0	32,1
11-12M	P4	29,2	30,7	26,6	0,2	30,8
11-12M	P5	28	29,4	22,3	0,0	29,4
12-01PM	P1	36,1	43,6	43,3	0,8	45,1
12-01PM	P2	30,9	32,5	23,5	1,0	32,9
12-01PM	P3	31,8	34,2	26,7	0,0	34,2
12-01PM	P4	31,4	32,6	29,8	0,5	32,8
12-01PM	P5	29,2	28,8	22,3	0,0	28,8
01-02PM	P1	28,6	30,1	32,3	1,0	30,4
01-02PM	P2	26,6	27,3	23,1	0,1	27,4
01-02PM	P3	27,4	27,6	22,2	0,0	27,6
01-02PM	P4	27,2	27,4	25,9	0,0	27,4
01-02PM	P5	26,6	26,3	20,6	0,5	26,3
02PM-03PM	P1	27	26,9	28	0,0	26,9
02PM-03PM	P2	26,9	27,2	22,4	0,0	27,2
02PM-03PM	P3	26,7	27	22,8	0,1	27,0

2

Anexo 3, Continuación

02PM-03PM	P4	26,5	27,3	25,8	0,1	27,4	
02PM-03PM	P5	26,5	27	22	0,1	27,0	
10-11 AM	P1	33,3	36,9	38,6	0,4	37,4	3
10-11 AM	P2	31,3	35,7	29,1	0,5	36,4	
10-11 AM	P3	31,2	38,2	30,6	0,4	39,1	
10-11 AM	P4	34,5	39,6	35,6	0,3	40,2	
10-11 AM	P5	30,7	32,7	23	0,1	32,9	
11-12M	P1	32,8	35,7	37,4	0,7	36,2	
11-12M	P2	30,2	33,1	26,2	0,3	33,4	
11-12M	P3	32,6	35,1	30,8	0,0	35,1	
11-12M	P4	34,7	38,8	37,2	0,2	39,2	
11-12M	P5	30,9	32,7	24,2	0,0	32,7	
12-01PM	P1	33,3	34,3	41,7	0,8	34,5	
12-01PM	P2	30,9	32,7	25,4	0,5	33,0	
12-01PM	P3	33,7	34,6	28,3	0,0	34,6	
12-01PM	P4	34,3	37,6	37,4	0,2	37,9	
12-01PM	P5	31,2	33,6	25,7	0,0	33,6	
01-02PM	P1	27,3	26,3	26,2	0,3	26,2	
01-02PM	P2	29,9	32,2	24	0,1	32,3	
01-02PM	P3	27,4	28,5	26,3	0,3	28,6	
01-02PM	P4	26,4	27	26,8	0,5	27,1	
01-02PM	P5	26,4	26,3	22,5	0,0	26,3	
02PM-03PM	P1	29,3	31,5	31,5	0,3	31,8	4
02PM-03PM	P2	29	31,4	23,1	0,1	31,6	
02PM-03PM	P3	26,1	28,3	25,5	0,2	28,5	
02PM-03PM	P4	27,3	29,4	28,7	0,0	29,4	
02PM-03PM	P5	25,8	26,4	22	0,0	26,4	
10-11 AM	P1	25,7	27,3	27,7	0,0	27,3	
10-11 AM	P2	24,3	27,3	24,3	0,0	27,3	
10-11 AM	P3	29,1	30,4	27,3	0,1	30,5	
10-11 AM	P4	29,3	31,3	27,1	0,0	31,3	
10-11 AM	P5	24,7	25,8	20,1	0,1	25,9	
11-12M	P1	25,6	27,8	27,5	0,0	27,8	
11-12M	P2	27,6	28,6	24,5	0,0	28,6	
11-12M	P3	28,6	31,2	27,4	0,1	31,4	
11-12M	P4	29,7	31,5	26,7	0,0	31,5	
11-12M	P5	25,3	27,1	21,9	0,1	27,2	

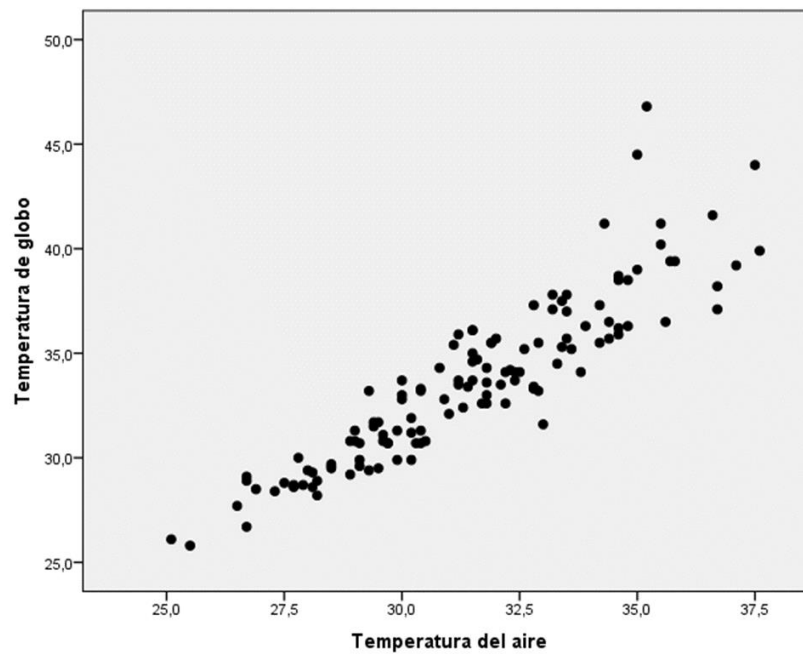
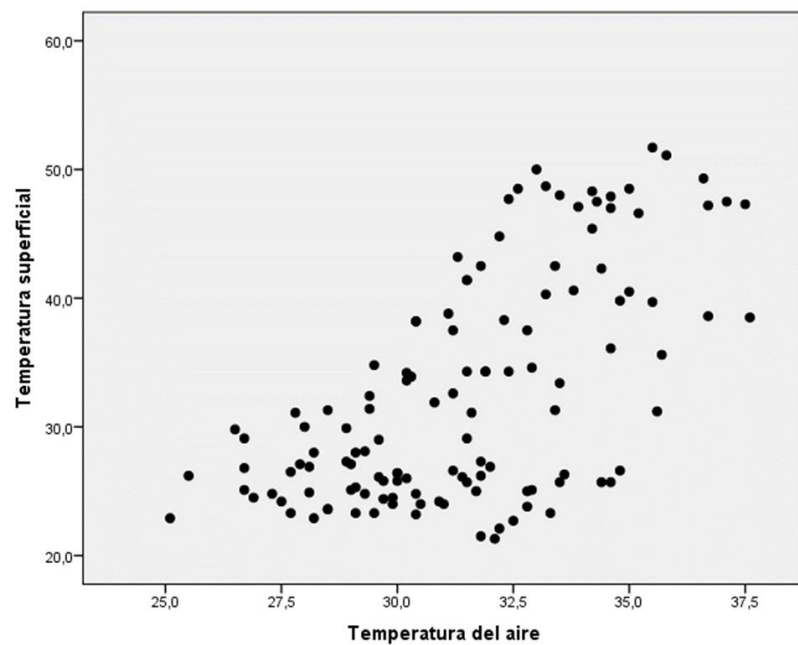
Anexo 3, Continuación

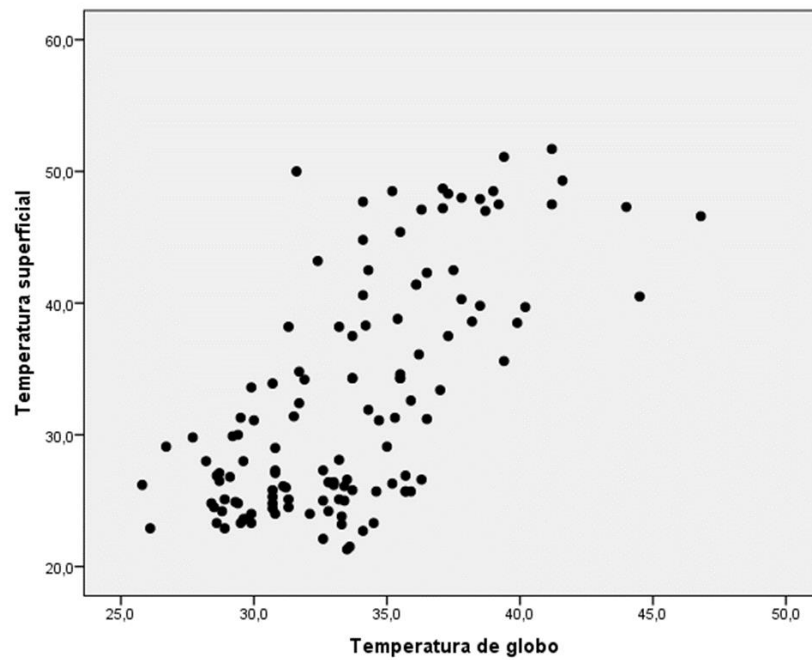
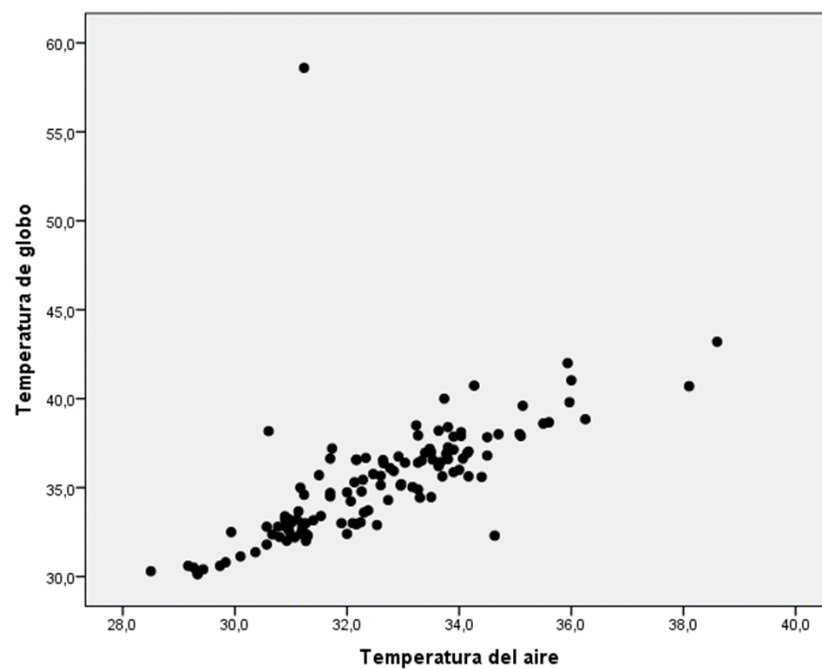
12-01PM	P1	26,5	28,3	27,1	0,5	28,6
12-01PM	P2	27,6	28,2	24,4	0,0	28,2
12-01PM	P3	28	31,1	27,9	0,3	31,5
12-01PM	P4	28,7	30,3	25,3	0,0	30,3
12-01PM	P5	25,6	25,5	20,1	0,1	25,5
01-02PM	P1	30,4	31,8	33,1	0,6	32,0
01-02PM	P2	30,3	32,6	26,6	0,0	32,6
01-02PM	P3	31,1	32,8	26,6	0,1	32,9
01-02PM	P4	31,4	32,7	29,1	0,1	32,8
01-02PM	P5	29,3	29,5	22,2	0,5	29,5
02PM-03PM	P1	28,7	31,3	30,0	0,2	31,5
02PM-03PM	P2	28,7	30,8	23,8	0,6	31,2
02PM-03PM	P3	29,2	30,7	25,1	1,1	31,0
02PM-03PM	P4	29,7	30,7	28,1	0,5	30,9
02PM-03PM	P5	27,1	28,0	21,5	0,0	28,0
10-11 AM	P1	31,2	33,8	38,7	0,6	34,2
10-11 AM	P2	30,4	33,6	28,5	0,2	33,9
10-11 AM	P3	32,4	40,9	33,5	0,1	41,5
10-11 AM	P4	30,4	34,8	32,4	0,0	34,8
10-11 AM	P5	27,1	30,5	24,3	0,2	30,9
11-12M	P1	31,3	32,2	33,9	0,3	32,3
11-12M	P2	29,8	31,6	27,7	0,1	31,7
11-12M	P3	29,9	31,5	25,5	0,1	31,6
11-12M	P4	29,3	29,7	28,4	0,3	29,7
11-12M	P5	29,3	30	20,1	0,1	30,0
12-01PM	P1	30,7	31,5	32,3	0,3	31,6
12-01PM	P2	28,6	31	22,9	0,5	31,4
12-01PM	P3	31,8	40	31,3	0,4	41,1
12-01PM	P4	32,1	34,6	31,2	0,4	35,0
12-01PM	P5	29,1	30,2	21,6	0,0	30,2
01-02PM	P1	31,6	33,8	37,5	0,1	33,9
01-02PM	P2	29,5	31	25,9	0,0	31,0
01-02PM	P3	32,4	34,1	29,5	0,6	34,4
01-02PM	P4	31,6	34,4	31,9	0,8	34,9
01-02PM	P5	30	31,5	24,4	0,9	31,8
02PM-03PM	P1	25,1	26,4	26,9	1,1	26,7
02PM-03PM	P2	25,4	27,2	24,2	0,9	27,6

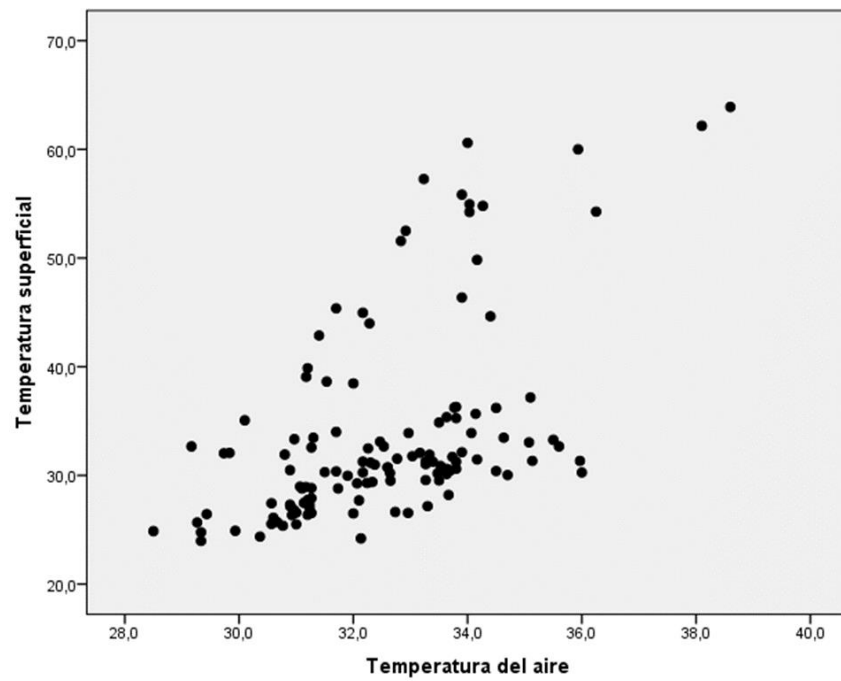
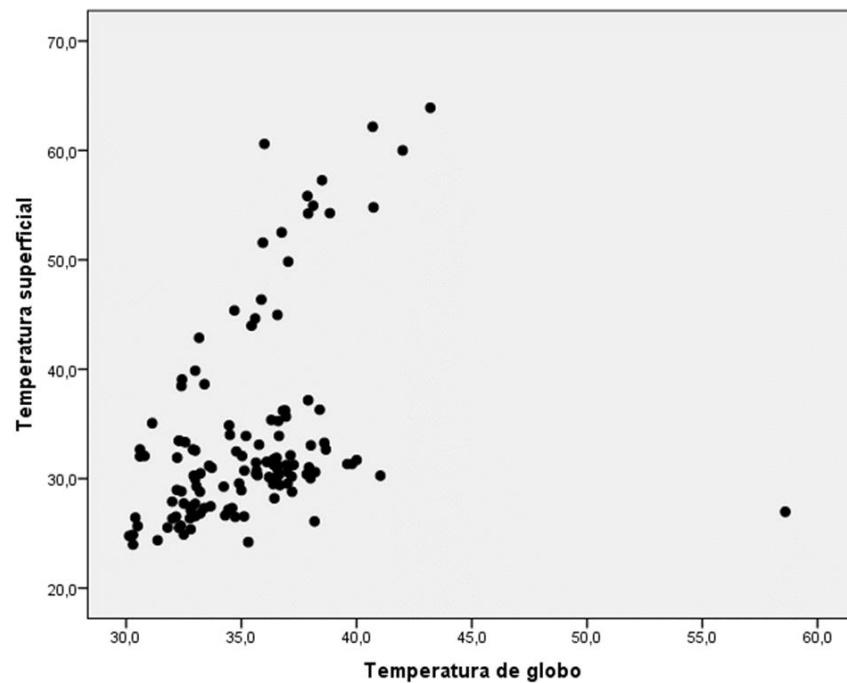
5

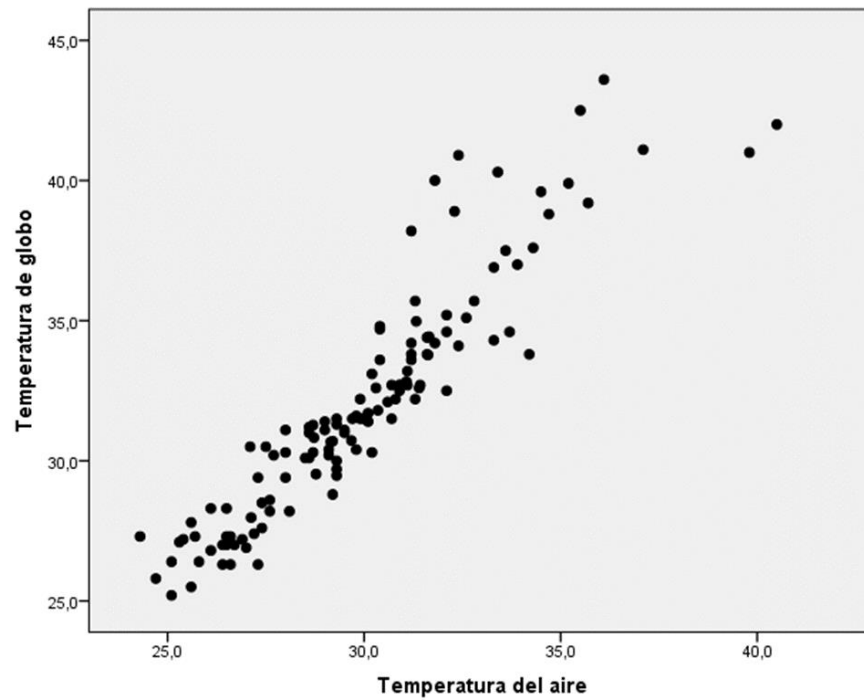
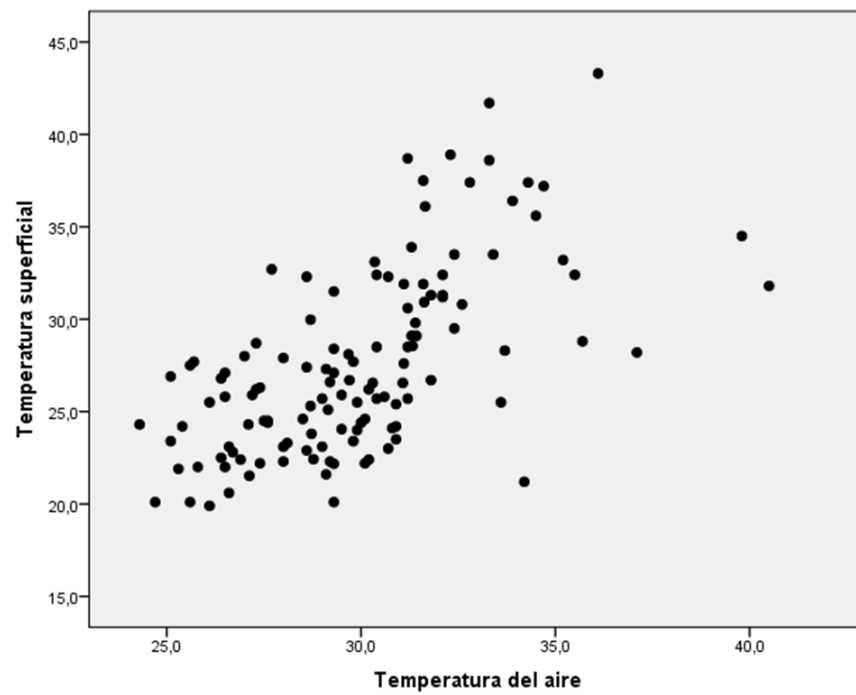
Anexo 3, Continuación

02PM-03PM	P3	28,1	28,2	23,3	1,4	28,2
02PM-03PM	P4	25,1	25,2	23,4	1,0	25,2
02PM-03PM	P5	26,1	26,8	19,9	1,0	27,0

Anexo 4, Gráfico de la relación entre la Ta y Tg en la estación Catumare**Anexo 5, Gráfico de la relación entre la Ta y Ts en la estación Catumare**

Anexo 6, Gráfico de la relación entre la Tg y Ts en la estación Catumare**Anexo 7, Gráfico de relación entre la Ta y Tg en la estación Cofrem**

Anexo 8, Gráfico de la relación entre la Ta y Ts en la estación Cofrem**Anexo 9, Gráfico de la relación entre la Tg y Ts en la estación Cofrem**

Anexo 10, Gráfico de la relación entre la Ta y Tg en la estación La Esmeralda**Anexo 11, Gráfico de la relación entre Ta y Ts en la estación La Esmeralda**

Anexo 12, Gráfico de la relación entre la Tg y Ts en la estación La Esmeralda