

EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS DE LA COBERTURA VEGETAL Y SU INFLUENCIA
EN EL MICRO CLIMA EN TRES ZONAS URBANAS DE VILLAVICENCIO-META



PALACIOS GARCIA LUIS FERNANDO
VELASQUEZ LASSO KEVIN ALEXANDER



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIETNAL
VILLAVICENCIO
2020

EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS DE LA COBERTURA VEGETAL Y SU INFLUENCIA
EN EL MICRO CLIMA EN TRES ZONAS URBANAS DE VILLAVICENCIO-META

PALACIOS GARCIA LUIS FERNANDO
VELASQUEZ LASSO KEVIN ALEXANDER

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

Asesor
LEYDY JOHANNA ARBOLEDA MONTES
GEÓLOGA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO
2020

Autoridades Académicas

P. JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, O.P.

Rector General

P. EDUARD GÓNZALEZ GIL, O.P.

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ANTONIO BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. RODRIGO GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TABÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YESICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano Facultad de Ingeniería Ambiental

Este trabajo realizado por nosotros se lo dedicamos a nuestros padres y familiares quienes fueron los motores y principal apoyo para lograr la finalización del mismo. A demás hacemos una dedicatoria especial para Wilson Alexander Velásquez Ortiz Q.E.P.D

Agradecemos infinitamente a nuestros padres quienes nos impulsan día a día ser mejores personas y sobre todo al esfuerzo que cada uno de ellos puso para que nosotros lográramos este propósito, reconocemos a todos los docentes que con su granito de arena cumplieron una gran labor en este proceso que culminamos, cada docente fue parte de la evolución de nosotros como profesionales y como personas, solo palabras de agradecimiento para la docente Leydy Arboleda por la paciencia y dedicación que nos prestó durante el acompañamiento del desarrollo del trabajo, algunos de nuestros compañeros y amigos que nos dejan a cada uno de nosotros una gran lección de vida.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
Capítulo I	11
Planteamiento del problema.....	11
Objetivos.....	13
Objetivo general	13
Objetivos específicos	13
Justificación	14
Alcance	16
Capítulo II.....	20
Marco teórico	20
Marco conceptual	26
Marco legal.....	28
Capítulo III.....	30
Metodología	30
Fase 1	31
Fase 2	36
Fase 3	36
Fase 4	37
Resultados y análisis de resultados	39
Punto la Esmeralda.....	44
Punto Cofrem	46
Punto Catumare.....	47
Discusión de resultados	57
Recomendaciones	59
Referencias bibliográficas	60
Anexo.....	64

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 Marco Legal, por Palacios L, 2020	29
Tabla 2 Estaciones meteorológicas, por Palacios L, 2020	37
Tabla 3 Coberturas vs años Punto La Esmeralda, por Palacios L, 2020	45
Tabla 4 Cobertura vs años Punto Cofrem, por Palacios L, 2020	47
Tabla 5 Cobertura vs años Punto Catumare, por Palacios L, 2020	48
Tabla 6 Clasificación de las coberturas por año, área y porcentaje, por Palacios L, 2020	49
Tabla 7 Temperaturas por año y temporada del año, por Palacios L, 2020	51
Tabla 8 temperatura y área de vegetación por año, por Palacios L, 2020	55

Lista de gráficas

	Pág.
Gráfica 1 Área de cobertura vs años Punto La Esmeralda, por Palacios L, 2020.....	46
Gráfica 2 Área de cobertura vs años Punto Cofrem, por Palacios L, 2020.....	47
Gráfica 3 Área de cobertura vs años Punto Catumare, por Palacios L, 2020	48
Gráfica 4 Cambio de cobertura vegetal multianual, Palacios L, 2020	49
Gráfica 5 Porcentaje de área 2003 vs 2014, por Palacios L, 2020	51
Gráfica 6 Temperaturas de estudio, por Palacios L, 2020	52
Gráfica 7 Área vs temperatura Agosto, por Palacios L, 2020.....	54
Gráfica 8 Área vs temperatura Febrero, por Palacios L, 2020.....	54

Lista de mapas

pág.

Mapa 1 Estación meteorológica PTAP La Esmeralda, adaptado de ARCGIS, 2020 17

Mapa 2 Estación meteorológica Cofrem, adaptado de ARCGIS, 2020 18

Mapa 3 Estación meteorológica Catumare, adaptado por ARCGIS, 2020 18

Mapa 4 Clasificación de la cobertura vegetal 2019, por Palacios L, 2020 40

Lista de imágenes

	Pág.
Imágen 1 Estación meteorológica PTAP La Esmeralda, por: Palacios L, 2020	19
Imágen 2 Estación meteorológica Cofrem, por: Palacios L, 2020.....	19
Imágen 3 Estación meteorológica Catumare, por: Palacios L, 2020	19
Imágen 4 Villavicencio RGB combinación 4-3-2, adaptado por ENVI 4.7	32
Imágen 5 Villavicencio RGB combinación 6-3-2, adaptado de ENVI 4.7.....	33
Imágen 6 Villavicencio RGB combinación 7-4-3, adaptado por ENVI 4.7	34
Imágen 7 Villavicencio RGB combinación 5-6-2, adaptado por ENVI 4.7	35

Tabla de Anexos

	Pág.
Anexo 1.....	64
Anexo 2... ..	65
Anexo 3... ..	66
Anexo 4... ..	67
Anexo 5... ..	68
Anexo 6... ..	69
Anexo 7... ..	70
Anexo 8... ..	71
Anexo 9... ..	72
Anexo 10... ..	73
Anexo 11... ..	74
Anexo 12... ..	75
Anexo 13... ..	76
Anexo 14... ..	77
Anexo 15... ..	78
Anexo 16... ..	79
Anexo 17... ..	80

Resumen

El presente trabajo de auxiliatura de investigación se realizó con el objetivo de evaluar los cambios de la cobertura vegetal y su influencia en el microclima en tres sectores urbanos del municipio de Villavicencio para determinar que el crecimiento urbanístico contribuye en el aumento de la temperatura, por medio del diseño de 15 mapas que determinan el cambio de los tipos de cobertura vegetal para hacer una comparación con datos metrológico (temperatura).

En los resultados obtenidos se pudo identificar que a mayor zona urbana la temperatura tiende aumentar; en el año 1991 el pico de temperatura fue de 26,96 °C en comparación del año 2019 la mayor temperatura registrada fue de 29,64 °C como también se compararon las áreas ocupadas por las coberturas donde en el año 1991 el porcentaje de área ocupado por las zonas urbanas fue de 35,9% con un área de 13,51 Ha y en el 2019 el porcentaje ocupado fue de 69,9% con 26,33 Ha lo que indica que hubo un crecimiento de las zonas urbanas ocasionando un incremento de la temperatura donde estas dos variables tienen un aumento directamente proporcional.

Por medio de este trabajo de grado se entrega una serie de datos que sirven para tomar futuras decisiones en los planes de ordenamiento territorial (POT) y no afectar las zonas de cobertura vegetal que son importantes a la hora de mantener una sensación térmica más baja, de igual forma para la protección de estas zonas y darle un mejor manejo a los sectores en donde se pueda seguir expandiendo las actividades humanas.

Palabras Clave: Cambio climático, uso del suelo, sistemas de información geográfica y zonas urbanas

Abstract

This research assistant work was carried out with the objective of evaluating the changes of vegetable cover and its influence on the microclimate in three urban sectors of Villavicencio municipality, in order to determine that urban growth contributes to the increase of temperature, through the design of 15 maps that determine the change of vegetable cover types to make a comparison with metrological data (temperature).

In the results obtained, it was possible to identify that the greater the urban area, the temperature tends to increase; In 1991, the temperature peak was 26.96 °C compared to 2019, the highest temperature registered was 29.64 °C. Also, the areas occupied by the covers were compared, where in 1991 the percentage of the area occupied by urban zones was 35.9% with an area of 13.51 Ha and in 2019 the percentage occupied was 69.9% with 26.33 Ha, which indicates that there was an increase in urban zones, causing an increase in temperature, where these two variables have a directly proportional increase.

This study provides a series of data that can be used to make future decisions in land use plans (POT) and not affect the areas of vegetation coverage that are important in maintaining a lower wind chill, as well as to protect these areas and provide better management to sectors where human activities can continue to expand.

Key Words: Climate change, land use, geographic information systems and urban areas.

Introducción

Villavicencio – Meta es uno de los municipios colombianos ubicado en la cordillera oriental que cruza al país, al paso del tiempo se han presentados cambios en el clima resultado de las alteraciones por parte de la actividad humana por factores como el crecimiento poblacional.

En el mundo, hasta el año 2018, según datos del Banco Mundial, se registró que el 55,27% del total de la población mundial se concentraba en las zonas urbanas y está en continua expansión (UNIDAS, 2018), llevando consigo el crecimiento de las ciudades y provocar cambios significativos en la planificación del uso de la tierra. Estos cambios provenientes de las actividades antrópicas tienen la posibilidad de modificar los entornos naturales mediante la sustitución de la cubierta vegetal por diferentes tipos de superficies como calles, aceras, edificios, entre otros, que contribuyen a la reducción de la vegetación de manera significativa (CONRADO, FERNÁNDEZ, & ÁLVAREZ, 2015) Las regiones con áreas naturales y con una vegetación más grande presentan menos oscilaciones de temperatura, demostrando que los cambios realizados en la vegetación de una región pueden generar cambios en el comportamiento del suelo y el clima. Además de causar cambios tasas de evaporación y evapotranspiración, tasas de infiltración, esorrentía superficial y permeabilidad al aire y al agua (SILCA, XAVIER, & ALVAREZ, 2015) La ausencia de cobertura tiene un impacto directo en el confort térmico, de lo contrario, las zonas con mayor cobertura vegetal pueden tener temperaturas inferiores a de 1 grado centígrado en relación con las zonas de menor cobertura vegetal, como el caso de las zonas urbanas. Así, la presencia de una cubierta vegetal concentrada permite el establecimiento de mejores condiciones para aumentar el contenido de la humedad del suelo, que puede interferir directamente con el microclima de la región. Se observa que los tipos de material utilizados en la construcción de las zonas urbanas, tienen una mayor capacidad para absorber el calor que los materiales encontrados en las zonas rurales y puede tener efectos en el clima, como la formación de islas del calor urbano, causando que el aire en el área urbana esté a una temperatura más alto que las zonas periféricas. (ALBERTO & PEREZ, 2012) Este fenómeno se debe a las propiedades térmicas de los materiales utilizados en la construcción de las zonas urbanas que facilitan la absorción de las ondas de radiación de las ondas solares corto y largo, así como el calor generado por las actividades antropogénicas, del tráfico vehicular masivo o incluso de los edificios. Además, los grandes edificios urbanos, como

los edificios, tienen la capacidad de reducir la velocidad del viento, cambiando así su dirección, lo que puede reducir considerablemente la evapotranspiración porque el viento facilita el proceso de salida de agua. (Olarte, 2015)

En el siguiente trabajo se analizó la relación que tiene la temperatura como variable meteorológica con el crecimiento poblacional en tres puntos del municipio de Villavicencio para lograr entender la influencia que tiene el aumento de la actividad humana en el cambio climático y la elevación anual de temperatura, a partir de los resultados obtenidos se pueden iniciar procedimientos de cuidado de las zonas correspondientes a zonas naturales y zonas de conservación, de igual forma para las zonas de amplia vegetación y tener una mejor planificación en futuros planes de ordenamiento territorial donde se organice de una mejor manera pensando en que de una u otra forma el crecimiento poblacional no se detendrá y no afecte las zonas anteriormente nombradas, debido a que por lo general la mayoría de construcciones dentro de la ciudad han desbancado parte de zonas de protección ambiental para ser utilizadas en construcciones, edificaciones, entre otras.

Al usar como punto de inicio el año 1994 nos da un amplio bagaje de datos para poder determinar y analizar de una mejor manera el crecimiento urbano que ha sufrido Villavicencio al pasar el tiempo terminando el estudio en el año 2019.

Es por ello, que se deben realizar estudios con la técnica de teledetección, para estar al tanto del posible cambio climático que puede generar la disminución de capa vegetal en la ciudad, y así tomar decisiones, hacia donde debe crecer nuestra ciudad, generando una afectación mínima al micro clima de Villavicencio, en especial en su zona urbana.

Capítulo I

Planteamiento del problema

¿El crecimiento de las zonas urbanas ocasiona variaciones de temperatura en el municipio de Villavicencio a lo largo de los años?

El incremento de la temperatura, la variación de precipitación o los mismos cambios en la producción agrícola son unas de las cuantas problemáticas que se dan a raíz de las alteraciones del clima en Villavicencio, Colombia y América latina como lo afirma un estudio realizado a nivel mundial donde destaca el aumento de la temperatura superior a 1°C en las zonas del norte y centro de Asia, África occidental, América del Sur y partes de América del Norte (Corfee-Morlot, 2014); de igual forma, uno de los factores que altera la climatología de Villavicencio es la modificación de la cobertura vegetal (EESA eduspace, 2014). En la capital del departamento del Meta Villavicencio, se viene evidenciando una serie de cambios climatológicos que son muy variados al cabo del paso del tiempo como según lo establece un estudio realizado por el IDEAM, alrededor de unos 25 años atrás, el mesoclima de Villavicencio tiene un alto porcentaje de variabilidad y justo acá es donde nace uno de las mayores problemáticas debido a que a partir del cambio del clima se desencadenan una cadena de inconvenientes, tanto sociales, como agrícolas (Mayorga, 2011). Uno de los posibles hechos del aumento de la temperatura en la ciudad se da a partir del cambio en la cobertura vegetal del territorio, ya que al presentarse una variación de la cobertura del suelo existe una alteración en el clima. En temas socio ambientales, es todo un hecho el cambio en la temperatura y que cada vez tiende aumentar gradualmente al paso de los años tal cual como lo estableció el IDEAM expresando que según los indicadores de temperatura máxima y mínima, los días y las noches son más calientes en extensas áreas del país, sobresaliendo la zona costera de la región Caribe, los departamentos de Santander, Antioquia y los piedemontes Llanero y

Amazónico (Benavides, 2011), además según estudios realizados por entidades como Instituto

Goddard de Estudios Espaciales de la NASA, el Centro Hadley para Cambio Climático del Reino Unido, la Agencia Meteorológica del Japón, así como el Centro Nacional de Datos Climáticos de la NOAA afirmaron que análisis muestran que la temperatura superficial de la Tierra se ha

incrementado en más de 0.8°C (1.4°F) durante los últimos 100 años (IANAS, 2012). El incremento de 1,6 grados en la temperatura va a generar cambios dramáticos en el entorno ambiental del departamento, lo cual impactará en la economía, la producción y la convivencia hacia el año 2040 (IANAS, 2012). De igual forma, en el sector agrícola también se esperan inconvenientes que disminuirá la producción bovina y todo lo aledaño al sector ganadero, en el caso del ganado, según el estudio, bajará la producción de leche y de calidad de carne porque los índices de estrés del animal van a subir para adaptarse a las nuevas temperaturas y a los altos niveles de humedad registrados (HERRERA, 2016) . Actualmente, en la ciudad de Villavicencio, donde se realizó el estudio, la percepción de temperatura ha variado a través de los años, gracias al aumento de población y por ende, a las diferentes construcciones que se han realizado en nuestra ciudad, donde para ello se ha tenido que retirar cobertura vegetal para darle paso a estas construcciones, la formulación de este proyecto, es con el ánimo de tener información ya sea para iniciar procesos de recuperación de cobertura vegetal, o para ayudar a desarrollar nuestra ciudad en el ámbito urbano, donde la afectación del micro clima sea el mínimo, y así combatir el cambio climático en nuestra ciudad.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la influencia de los cambios de cobertura del suelo en el microclima de tres zonas urbanas en el municipio de Villavicencio (Meta), a partir del uso de sensoramiento remoto y datos climatológicos, entre 1994 y 2019 teniendo en cuenta la temporada de lluvias y sequía.

Objetivos específicos

- Diseñar los respectivos mapas para el uso de la tierra y la cobertura de la tierra a través de la teledetección y descarga de imágenes satelitales desde 1994 con intervalos de 5 años en las estaciones.
- Comparar y verificar la ocurrencia de cambios en la cobertura del suelo en diferentes intervalos de tiempo, con las variables climatológicas correspondientes al periodo de tiempo seleccionado.
- Identificar la influencia de los cambios en la cobertura de la tierra en el clima de las áreas establecidas.

Justificación

Nuestro planeta viene enfrentado a diario un cambio climático, gracias a la evolución de nuestra ciudad, donde la cobertura vegetal se retira, para darle paso a las diferentes construcciones que se deben hacer para el desarrollo de estas grandes urbes, es por eso que la cobertura vegetal, juega un papel importante dentro del marco de todos los ecosistemas que existen. La relación naturaleza y sociedad tiene un especial interés para la ciencia geográfica, debido a que constituye una función integradora del espacio, donde se combinan un conjunto de componentes, a través de los cuales se pueden establecer los equilibrios existentes entre el hombre y la naturaleza. (Maciel, 2016) A partir de lo anterior se han presentado distintas formas o herramientas que brindan el servicio del uso de la teledetección, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han convertido en una buena herramienta de evaluación y de toma de decisiones en este tipo de estudios, pues su principal característica es la capacidad de manejar información espacial (Maciel, 2016). La Teledetección de recursos se define **“el proceso de análisis de la energía reflejada por los objetos”** la cual se basa en un sistema de adquisición de datos a distancia sobre la biósfera, que está basado en las propiedades de la radiación electromagnética y en su interacción con los materiales de la superficie terrestre (Romero, 2006). Esta técnica aporta información valiosa al medio ambiente, entre sus ventajas destaca su alta periodicidad temporal por lo que facilita el seguimiento de variables ambientales y así obtener información de grandes superficies de un territorio en poco tiempo. A nivel mundial, hasta 2018, según datos del Banco Mundial, se registró que el 55,27% del total de la población mundial se concentraba en zonas urbanas y esta continua expansión, provocó el crecimiento de las ciudades y provocó cambios significativos en los planes de ordenación territorial (UNIDAS, 2018). Estos cambios derivados de la actividad antrópica tienen el potencial de modificar los ambientes naturales mediante la sustitución de la cubierta vegetal por diferentes tipos de superficies como calles, aceras, edificios, entre otros, que contribuyen de manera significativa a la reducción de la vegetación; las regiones que presentan áreas naturales y con mayor vegetación presentan oscilaciones de temperatura más bajas, lo que demuestra que los cambios en la vegetación de una región pueden generar cambios en el comportamiento del suelo y el clima, así como causar cambios en las tasas de evaporación y evapotranspiración, tasas de infiltración, escorrentía superficial y permeabilidad al aire y al agua. (CONRADO, FERNÁNDEZ,

& ÁLVAREZ, 2015)

La falta de cobertura tiene un impacto directo en el confort térmico, por el contrario, as zonas con mayor cobertura vegetal pueden tener temperaturas inferiores a 1 grado centígrado en relación con las zonas con menor cobertura vegetal, como las zonas urbanas. Así, la presencia de una cubierta vegetal concentrada permite establecer mejores condiciones para aumentar el contenido de humedad del suelo, lo que puede interferir directamente con el microclima de la región. (Castillo, 2013)

En Villavicencio hace algunos años el impacto del cambio climático ha variado la disminución de la suficiencia climática en los municipios de La Macarena, Uribe, Villavicencio, y Acacias, en un rango de 5.8% -76.4% (Cormacarena, 2018)

El cambio de la cobertura vegetal no es muy tenido en cuenta a la hora de hablar del cambio climático, y no se tiene como una variable principal, con resultados y análisis de datos estadísticos y juntándolos con las imágenes satelitales se podrá observar el cambio que se ha venido teniendo en nuestro clima en los último 25 años, esto se debe a que los asentamientos de personas hace 25 años estaban un poco más dispersos en nuestra ciudad, actualmente y gracias al desarrollo comercial, agrícola y urbano, que ha tenido no solo Villavicencio, sino también el departamento del Meta, ha obligado a la ciudad a aumentar su crecimiento en infraestructura vial y habitacional para responder, las diferentes necesidades que conllevan el progreso económico de nuestra ciudad, las afectaciones a la cobertura vegetal han sido considerables, lo cual puede inferir en el cambio climático.

Alcance

En el capital del departamento del Meta la cual es Villavicencio se realizara el análisis del cambio del clima a partir de las modificaciones que ha tenido la cobertura vegetal al paso del tiempo, las coordenadas geográficas del municipio son 04°09 N 73°38 O, posee temperaturas promedio de 28 a 30 grados centígrados, y tiene una altitud media de 467 m.s.n.m y que cuenta con ocho comunas de las cuales se usaran las ubicaciones de tres de ellas para realizar el análisis de estas zonas para poder abarcar la mayoría de espacio que se encuentre dentro de estas comunas. (VILLAVICENCIO, 2020)

El presente trabajo de auxiliatura de investigación pretende dar un punto de vista sobre una posible variable que influye en el cambio climático en el municipio de Villavicencio, con lo cual a partir del uso de imágenes satelitales se podrán observar el cambio y la alteración que ha tenido la cobertura vegetal a 100m a la redonda de cada estación desde hace 25 años, desde 1994 hasta el año 2019. A partir de estas imágenes y con los cambios que ha tenido la cobertura vegetal se analizará cómo ha afectado el cambio climático que se ha ido cambiando al paso de los años y que dentro de las variables principales por las cuales ocurren estos cambios no está presente el uso del suelo ni la cobertura vegetal.

Para el desarrollo de este proyecto se establecerán tres puntos claves dentro del municipio de Villavicencio, en donde en cada punto se encuentran una estación meteorológica las cuales servirán como referencia para realizar el análisis del crecimiento urbano y uso de la cobertura del suelo.

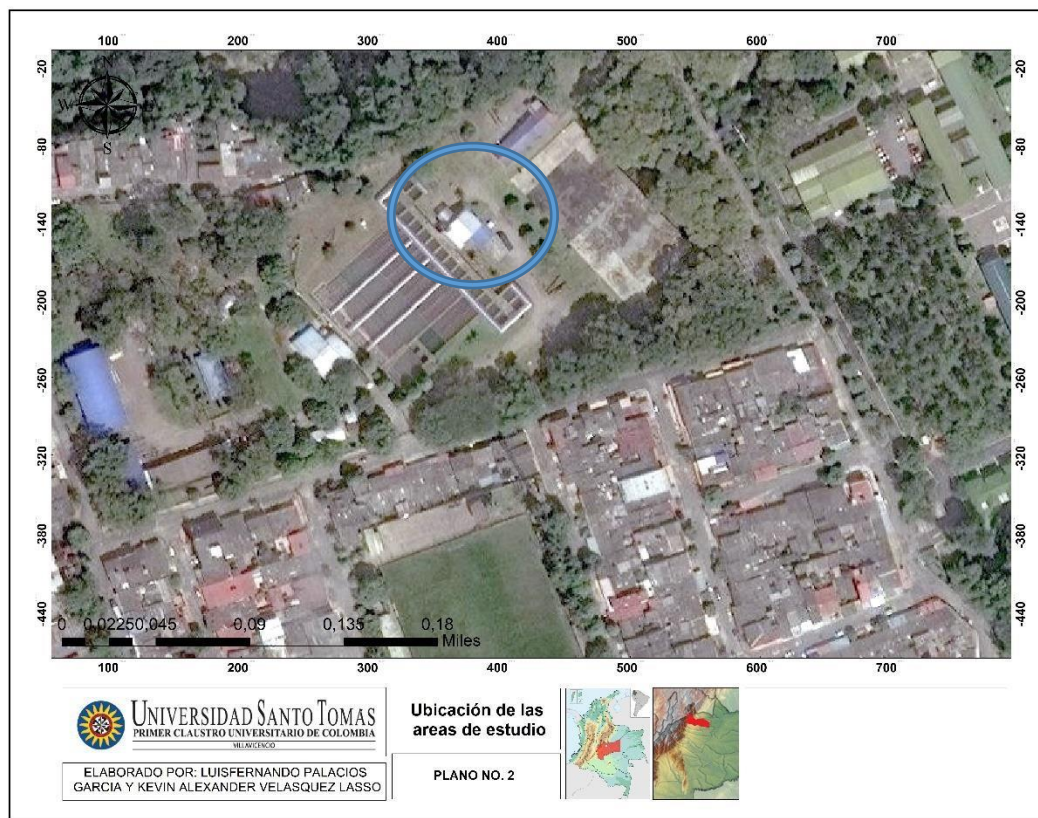
Los tres puntos son:

La primera estación meteorológica se encuentra en la planta de tratamiento de agua potable La esmeralda ubicada en el barrio la grama de la comuna 1 del municipio con coordenadas geográficas 4°09'46"N – 73°37'15", en esta PTAT se encuentra una de las más modernas estaciones meteorológicas que se han instalado. La imagen correspondiente al sector se puede apreciar en el mapa 1 donde dentro del círculo azul se encuentra ubicada la estación meteorológica.

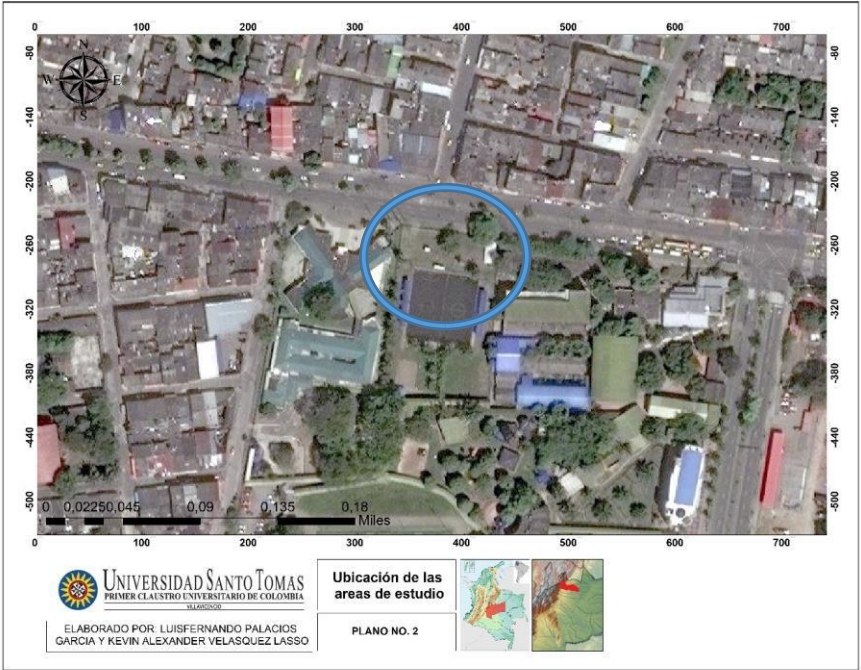
La segunda estación meteorológica se encuentra ubicada en la zona central, comuna 5 de Villavicencio en el barrio Jordán con más exactitud el colegio Cofrem sede principal Villavicencio con coordenadas geográficas 4°08'49"N – 73°38'53". La imagen correspondiente al sector se

puede apreciar en el mapa 2 que de la misma forma dentro del círculo azul se encuentra ubicada la estación.

Por último, la tercera estación que servirá como referencia para la ubicación de las imágenes está ubicada en la comuna 8 de Villavicencio entre la estación de servicio ESSO y la universidad Santo Tomas Villavicencio donde se encuentra una estación meteorológica para medir la contaminación atmosférica de la zona con coordenadas geográficas $4^{\circ}06'29''\text{N} - 73^{\circ}39'22''$. La imagen correspondiente al sector se puede apreciar en el mapa 3. Con el uso de estas tres estaciones como referencia se pretende cubrir la mayor parte del territorio municipal usando desde la comuna 1,5 y 8.



Mapa 1 Estación meteorológica PTAP La Esmeralda, adaptado de ARCGIS, 2020



Mapa 2 Estación meteorológica Cofrem, adaptado de ARCGIS, 2020



Mapa 3 Estación meteorológica Catumare, adaptado por ARCGIS, 2020



Imagen 1 Estación meteorológica PTAP La Esmeralda, por: Palacios L, 2020



Imagen 2 Estación meteorológica Cofrem, por: Palacios L, 2020



Imagen 3 Estación meteorológica Catumare, por: Palacios L, 2020

Capítulo II

Marco teórico

Desde la revolución industrial la temperatura de la tierra ha incrementado de una manera acelerada, y nuestro municipio no es la excepción, claro que de una manera totalmente diferente, en Villavicencio ha ocurrido el fenómeno del progreso, que viene acompañado con más infraestructura vial, urbanismo, industria, automotores y todos estos necesitan necesariamente el retiro de capa vegetal, para dar paso al desarrollo que actualmente tenemos en nuestro municipio

El clima a lo largo del tiempo ha sufrido una serie de evoluciones en su definición principal, de la que algunos conceptos afirman que es: "El conjunto de todas las infinitas propiedades estadísticas de la atmósfera y su entorno, definiéndose los elementos climáticos individuales como promedios u otras estadísticas a lo largo de intervalos de tiempo que se extienden indefinidamente hacia el futuro o indefinidamente hacia el pasado, o ambos, y que también tiene relación con el estudio de los modelos climáticos ideales, confirmando esta definición como óptima (Dymnikov & Gritsoun, 2001).

La urbanización es algo inminente, algo que no tiene vuelta atrás, la población humana ha comenzado a vivir en las grandes ciudades. En 1960 el porcentaje de personas que vivían en zonas urbanas era del 34%, mientras que en 2018 el porcentaje era del 55%, lo que indica que ha habido un aumento de casi el 20% en el porcentaje total de la población urbana en sólo 58 años (Mundial, 2018), por esta razón los climas urbanos se han convertido en centros de población muy importantes hoy en día. Los autores. Los centros urbanos serán tan importantes en el futuro, mencionando que la conversión de un paisaje rural a urbano implica cambios, como diferentes equilibrios en los entornos y sistemas, como los cambios en el aire y el aumento de la demanda constante de energía (Agency, 2018). La contribución de las ciudades al cambio climático mundial es significativa, por lo que es importante comprender las interacciones entre el medio urbano y el clima mundial, y aunque el tamaño de las zonas urbanas en relación con la superficie terrestre no es "tan grande" (3%), consume aproximadamente el 78% de la energía total del planeta (Jamei & Tapper, 2019). El último autor también menciona que el rápido crecimiento de los centros urbanos tiene un gran efecto en la calidad de vida de las personas, trayendo consigo problemas de salud.

Por otro lado, los materiales utilizados en las obras en las zonas urbanas retienen el calor con mayor capacidad, produciendo posteriormente islas de calor, debido a la reducción de la cobertura vegetal, empeorando la situación del microclima en la ciudad. Esta afirmación coincide con el estudio de Cleugh y Grimmond (2012) que mencionan que el desarrollo urbano modifica totalmente la hidrología del paisaje, lo que lleva a un aumento de la temperatura del aire. (Jamei & Tapper, 2019)

El paisaje natural puede ser transformado por la construcción de nuevos edificios, que tienen el potencial de crear nuevas condiciones ambientales, siendo esto definido como un microclima urbano (Cordero, 2014). En una zona boscosa, el microclima tiene diferentes variables, como la temperatura y la humedad, lo que se refleja en los cambios en función de las diferentes variables que pueden afectarlo. El microclima está determinado por la estructura que conforma la zona de bosque y estas zonas en su composición también dependen de diversas condiciones que llevan a la existencia de un gran número de tipos de bosque que se ven afectados, dependiendo de las condiciones climáticas que se desarrollen (Duval & Campo, 2016). A través de variables como la evapotranspiración y el balance hídrico, se pueden determinar las características de varios microclimas. Los cambios de temperatura y humedad en las zonas con vegetación se deben al efecto de la evapotranspiración, que es el proceso de evaporación del agua proveniente de las plantas y el suelo. También hay microclimas artificiales creados en las ciudades como consecuencia de los gases producidos, la contaminación y el calor, principalmente. (Duval & Campo, 2016)

Hoy en día, un gran porcentaje de la información que se maneja en diversas áreas está georeferenciada. Los sistemas de información geográfica son herramientas que nos permiten trabajar con información georeferenciada. Un SIG nos permite leer, editar y gestionar datos en general; permite el análisis de datos y genera resultados que pueden ir desde mapas hasta diversos informes gráficos. Según Olaya (2014), un SIG es un conjunto de software y hardware diseñado específicamente para la adquisición, mantenimiento y uso de datos cartográficos. (Imarpe, 2013)

La teledetección permite observaciones de diferentes posiciones y apoya a varias ciencias para estudiar el espacio que nos rodea. Se utiliza en aplicaciones industriales, agrícolas, ambientales, catastrales, militares y de uso de la tierra. Entre las diferentes definiciones que existen para la teledetección podemos encontrar que la teledetección es la ciencia y el arte de obtener información útil (espacial, espectral y temporal) de un objeto, área o fenómeno mediante el análisis e

interpretación de datos de imágenes adquiridos por un equipo que no está en contacto físico con el objeto, área o fenómeno que se está investigando. (Romero, 2006)

Otro tema muy importante es el uso de las imágenes satélites LANDSAT 8, 7, 4-5 para el análisis de las imágenes de la cobertura vegetal. En 1972 inicio la misión de Landsat, dicho satélite contaba con sensores para medir la reflectancia en la parte visible de la luz (azul, verde y rojo). En años posteriores iniciaron las misiones Landsat 2 y 3 con sensores muy similares a Landsat 1. (Enegi, 2010) En 1982 inicio la misión 4, con sensores que miden la reflectancia en la parte visible de la luz y en el infrarrojo cercano. En 1984 inició la misión número 5, cuya duración fue la más larga de este programa (hasta 2013), este satélite contaba con sensores para medir la reflectancia tanto en la parte visible de la luz, como en el infrarrojo cercano, de onda corta e infrarrojo térmico y con resolución espacial de 30m. La misión 6 fracaso debido a problemas técnicos. (Enegi, 2010) En 1999 inicio la misión Landsat 7, que a diferencia de Landsat 5, incluye el producto “pancromático”, que consiste en una combinación de las bandas de la parte visible de la luz para crear una banda con mayor resolución espacial (15m), este satélite cuenta con otra banda que mide la reflectancia en el infrarrojo de onda corta para estimación de nubes. (Enegi, 2010)

El satélite Landsat 8 fue lanzado en 2013 y continua en operación hasta la fecha, realiza orbitas completas alrededor de la tierra cada 98.9 minutos, el ciclo completo de orbitas se realiza en 16 días (resolución temporal). Landsat 8 es un satélite equipado con dos sensores, el reproductor de imágenes de tierra operacional OLI y sensor de infrarrojo térmico. (Hernandez M. A., 2019)

Los sensores OLI y TIRS obtienen datos en forma conjunta para proporcionar imágenes de la superficie terrestre, incluyendo las regiones costeras, hielo polar, las islas y zonas continentales. Aunque este satélite está diseñado para el estudio de procesos terrestres y limitado en resolución espectral y temporal para aplicaciones oceánicas, su alta resolución espacial (30m) lo hace ideal para aplicaciones en cuerpos de agua pequeños. Estudios recientes han demostrado el amplio potencial de las imágenes Landsat en lagos y ambientes costeros (bahías y ensenadas); basados en las correlaciones existentes entre la reflectancia de las bandas y las diversas propiedades del agua, como son: la transparencia a partir del disco Secchi (SDT). (Hernandez M. A., 2019)

El tamaño aproximado de una escena es de 170 km de norte a sur por 183 km de este a oeste. La resolución espacial de las bandas del sensor OLI es de 30 metros, con excepción de la banda pancromática la cual cuenta con resolución espacial es de 15 metros. Las dos bandas térmicas del

sensor TIRS 10 y 11 son tomadas con 100 metros de resolución, y remuestreadas a los 30 metros. (Hernandez R. J., 2018)

En cada pixel de las imágenes Landsat se registra un promedio de la radiación captada en esa área, estos valores se traducen en brillantes del pixel. Dicha información puede ser utilizada para identificar los materiales presentes en el cuerpo de agua ya que todos los elementos disueltos o suspendidos en el agua transforman de forma diferente la radiación electromagnética que reciben del sol, dando un nivel de respuesta específico en términos del porcentaje de radiación reflejada, absorbida y transmitida. (Hernandez R. J., 2018)

Investigaciones recientes han demostrado que las imágenes de los satélites Landsat pueden ser utilizadas para la estimación de parámetros ambientales de calidad del agua o verificación de la vegetación de zonas, siempre que dichos parámetros tengan relación lineal o no lineal con las propiedades ópticas del agua y la reflectancia de las mismas en diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético de la luz, resolviendo así la problemática de observación de cuerpos de agua reducidos, tanto continentales como conteros, ya que ofrecen una resolución espacial de 30 metros. (Hernandez M. A., 2019)

La combinación de bandas satelitales son una de las potencialidades de la teledetección aplicadas al estudio del medio que nos rodea, es la capacidad de discriminar diferentes cubiertas vegetales, usos de suelo, masas de agua, o la detección de fenómenos naturales o provocados por la actividad humana. (Fernandez, 2011) Esto puede analizarse gracias a la existencia de las diferentes bandas multispectrales con las que cuentan los satélites de hoy día. Los datos captados por los satélites de Teledetección se registran en diferentes bandas del espectro electromagnético. Lo que genera una imagen monocroma que podemos visualizar en escala de grises con una paleta de 256 tonos. Por lo que cada pixel de la imagen puede contener un valor que oscila entre el negro (valor 0) y el blanco (valor 256). (Fernandez, 2011) Podremos distribuir las bandas de las imágenes de satélite a través de tres canales: rojo, verde y azul. El paso de cada banda por estos canales dotará de diferentes tonalidades los elementos dependiendo de la respuesta de los mismos frente a las longitudes de onda. (Fernandez, 2011)

La existencia de sensores situados en plataformas espaciales dio origen a la teledetección. La teledetección es empelada como complemento a estudios orientados al medio ambiente en las distintas áreas de la ciencia: oceanografía, recursos pesqueros, estudios costeros, contaminación,

hidrogeología, geología, estimación de cosechas, control de plagas, producción agrícola, usos de suelo, planificación urbana, entre otros. (Fernandez, 2011)

La descripción del análisis visual de imágenes se realiza en composiciones RGB, manteniendo inalterados los niveles digitales suministrados por el sensor y las composiciones RGB de operaciones realizadas entre bandas del sensor. (Fernandez, 2011)

El análisis visual de imágenes RGB es un análisis visual de imágenes empleando tres bandas del sensor, coincidiendo con la capacidad de los monitores, empleando informática y monitores RGB, los monitores poseen un total de tres cañones RGB (rojo/verde/azul) con los que, por combinación de estos tres colores básicos, se construyen del resto de los colores. Empleando estos tres cañones tenemos la posibilidad de enviar en cada uno de ellos una de las bandas del sensor, combinándose en nuestra pantalla dando distintos colores y tonos; Estos colores y tonos se emplean para analizar visualmente la imagen, combinando las bandas, de manera que se da un primer acercamiento al contenido de la imagen, las combinaciones de colores se emplean para discriminar la geología de la imagen, usos de suelo, morfología urbana, entre otros. (Fernandez, 2011)

Existen series de combinaciones satelitales que cada una de ellas representa una información:

- RGB 321, Bandas –3, 2, 1

Esta combinación es la que más se aproxima a los colores reales. Es ideal para realzar información del agua: turbidez, corrientes y sedimentos en suspensión. (Enegi, 2010). Las bandas visibles dan respuesta a la luz que ha penetrado más profundamente, y por tanto sirven para discriminar el agua poco profunda y sirven para distinguir aguas turbias, corrientes, batimetría y zonas con sedimentos, (Fernandez, 2011).

El azul oscuro indica aguas profundas; El azul claro indica aguas de media profundidad; La vegetación se muestra en tonalidades verdes. El suelo aparece en tonos marrones y tostados; El suelo desnudo y la roca aparecen en tonos amarillentos y plateados.

- RGB 432, Bandas – 4, 3, 2.

La banda 4 (infrarrojo cercano) es útil para identificar los límites entre el suelo y el agua, también es sensible a la clorofila, permitiendo que se observen variaciones de la vegetación, que aparecen en tonos rojo, (ENEI, 2010).

Los cuerpos de agua con sedimentos en suspensión aparecen en tonos azul claro y los que poseen pocos sedimentos en suspensión en azul oscuro; Las áreas urbanas y el suelo expuesto aparecen en tonos azules. El río y el lago se observan en color azul oscuro, el suelo desnudo en azul claro, la vegetación densa en color rojo mientras que la vegetación menos densas y/o vegetación en temprano estado de crecimiento se observan en color rosa. (Fernandez, 2011)

- RGB 543, Bandas – 5, 4, 3

Esta combinación con dos bandas en la región del infrarrojo muestra una mayor diferenciación entre el suelo y el agua, (Enegi, 2010).

La vegetación se muestra en diversas tonalidades de verde y rosa, que varían en función del tipo y de las condiciones de ubicación; Las áreas urbanas y el suelo expuesto se presentan en tonos rosados; El agua, independiente de la cantidad de sedimentos en suspensión, aparece en negro.

No es fácil identificar los cuerpos de agua con sedimentos debido a estos se muestran de un solo tono, se observa unas corrientes en color azul bajo que probablemente son escurrimientos pequeños o suelos con humedad los cuales no se alcanzan a notar en las imágenes anteriores. (Fernandez, 2011)

- RGB 453, Bandas – 4, 5, 3

Esta combinación, con una banda en la región visible y dos en la del infrarrojo, utiliza las mismas bandas de la combinación 3, 4 y 5; sin embargo, asociadas a colores diferentes, permitiendo una diferenciación de la vegetación en tonos marrones, verdes y amarillos. Las áreas urbanas y los suelos expuestos aparecen en tonos de azul claro, mientras que las áreas inundadas y el agua aparecen en tonos azul oscuros, (Enegi, 2010).

Según (Fernandez, 2011), esta mezcla realza las diferencias de humedad en el suelo y es usada para el análisis de humedad en el suelo y vegetación. En la Figura 5 se realza con detalle (al igual que la imagen anterior) los límites entre el agua y la tierra, el suelo desnudo se observa en un color azul bajo.

- RGB 742, Bandas – 7, 4, 2

La Vegetación se muestra en tonos de verde porque la banda 4 está en el color verde. La banda 7 es sensible al contenido de humedad y especialmente lo detecta en los minerales hidratados como arcillas, las diferencias de esto se ven en tonos de rojo a naranja, (Franzosi, 2010).

Las áreas urbanas aparecen en tonos magentas; Las praderas en verde claro; De verde oliva a verde brillante indica áreas forestales (en general los bosques de coníferas son más oscuros que los de caducifolias).

- RGB 753, Bandas – 7, 5, 3

Esta combinación se usa comúnmente en geología, (Fernández-Coppel & Herrero Llorente, 2001).

Según (Franzosi, 2010): Superficies calientes (incendios, calderas volcánicas) se muestran en tonos de rojo o amarillo; El Agua se muestra en azul oscuro a negro; Vegetación en tonos de verdes (época de crecimiento – en época de poca vegetación Debiera usarse la combinación 742); Áreas desforestadas recientemente en azules brillantes.

- RGB 753, Bandas – 7, 5, 4

Esta combinación implica ninguna banda visible. Proporciona la mejor penetración atmosférica. Líneas costeras, y las orillas están bien definidos. Se puede utilizar para encontrar características de textura y humedad de los suelos. La vegetación aparece en color azul. Si el usuario prefiere la vegetación verde, debe usar una combinación 7 4 5. Esta combinación de bandas puede ser útil para estudios geológicos. (Fernandez, 2011)

Podemos notar que el agua se muestra en color negro por lo que podemos concluir que solo puede proporcionar información del terreno y de la vegetación.

Marco conceptual

El suelo y su cubierta vegetal son unos de los recursos naturales más importantes, ya que es el soporte vital, y genera una dependencia directa o indirecta de los seres vivos, porque es el fundamento para el desarrollo de la vida y para la producción y nutrición de los ecosistemas, ganadería, agricultura, entre otros, la falta de esta cubierta vegetal, puede generar cambios climáticos, por ejemplo en zonas urbanas, donde esta capa vegetal es escasa, ya que se ha retirado para realizar construcciones, dando como resultado un posible aumento en la temperatura en estas zonas, donde el paisaje predominante son los contruidos por el hombre.

En este proyecto se utilizó la teledetección que es un modo de obtener información acerca de objetos tomando y analizando datos sin que los instrumentos empleados para adquirir los datos estén en contacto directo con el objeto. Por ejemplo, si tomas una foto de tu casa y ves que en la foto la casa se compone de tejado, paredes y ventanas, todos de distintos colores, eso sería teledetección. (EESA eduspace, 2014)

La cobertura vegetal puede ser definida como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomásas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivos. (Romero, 2006) En nuestro estudio se tomaron como referencia tres estaciones meteorológicas, que son Catumare, Esmeralda y Cofrem, estas estaciones arrojaron datos de temperatura que al ser comparadas con la pérdida de capa vegetal vemos que están estrechamente relacionadas, con el objetivo del estudio de este proyecto.

La climatología nos habla sobre la atmósfera y los fenómenos que tienen lugar en ella juegan un papel de gran relevancia en relación a la vida en el planeta. Por ello el hombre se ha preocupado desde la antigüedad por su estudio. Existen dos formas distintas y complementarias de enfrentarse al conocimiento de la atmósfera. (UM geograf, 2000)

El área Funcional de Sensoramiento Remoto (AFSR) se encarga de realizar investigaciones y aplicaciones a través del uso de la Tecnología Satelital, utilizando herramientas de Procesamiento Digital de Imágenes (PDI) y Sistemas de Información Geográfica (SIG). (IMARPE, 2013) Estas imágenes fueron suministradas por USGS EARTH EXPLORER, donde solo se realizó el estudio de la ciudad de Villavicencio, teniendo en cuenta donde estaban las estaciones meteorológicas, para así alimentar los mapas donde se muestran el cambio, a través de los años de temperatura y de capa vegetal de nuestra ciudad.

El mesoclima abarca las modificaciones locales que sufren los macroclimas a través de la alteración de varios de sus elementos, es decir, el efecto del clima local debido a las influencias meteorológicas sobre un área relativamente extensa que puede oscilar entre pocos kilómetros cuadrados y 100 kilómetros cuadrados. (PCE Inst. Iberica, 2013), para nuestro estudio, se tuvo en cuenta la pérdida gradual de capa vegetal, en el transcurso de los años 1994 a 2019, y como influencia esto, en un posible aumento de temperatura en la ciudad de Villavicencio.

El microclima es el clima que reina en las inmediaciones de un ecosistema o un individuo.

Puede modificarse por efecto de otros ecosistemas, tipos de plantas, fuentes de agua, entre otros. Clima a que están sometidos en realidad los vegetales de los diferentes estratos que constituyen una comunidad. (Vasquez, 2014)

Conjunto de condiciones climáticas existentes en un área pequeña, definida con precisión, o en sus inmediaciones.

El uso del mapeo toma fuerza como herramienta para visualizar, en el territorio, las distintas problemáticas que atraviesa esa sociedad. (PCE Inst. Iberica, 2013)

En cuanto a la estación meteorológica se dice que es el lugar donde se realizan mediciones y observaciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos utilizando los instrumentos adecuados para así poder establecer el comportamiento atmosférico. (PCE Inst. Iberica, 2013), en la ciudad de Villavicencio existen varias estaciones meteorológicas, sin embargo, para nuestro estudio utilizamos las estaciones de Catumare, Esmeralda y COFREM.

De igual forma los Ambientes naturales son el terreno que no ha sido alterado por el ser humano; es decir, que se presenta tal como fue creado por la naturaleza. Dado que la presencia del hombre siempre, de una forma u otra, termina modificando el entorno, la noción suele usarse para nombrar a una región de particular importancia por sus características naturales. (Gardey, 2015)

Marco legal

La Carta Constitucional define el carácter social del Estado y en este marco reconoce la protección del medio ambiente como principio fundamental y derecho colectivo. Allí se establecen y sintetizan los elementos claves que hoy orientan el manejo ambiental del país: protección del ambiente; compromiso con la sostenibilidad y la eficiencia económica; control fiscal; participación ciudadana y respeto por la cultura. (Nacional, 2019)

Tabla 1 Marco Legal

AÑO	TIPO	DESCRIPCIÓN
1974	Decreto Ley 2811	El ambiente es patrimonio común, el estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo. Regula el manejo de los recursos naturales, la defensa del ambiente y sus elementos. Artículo 303 Para la preservación del paisaje corresponde a la administración: a) Determinar las zonas o lugares en los cuales se prohibirá la construcción de obras; b) Prohibir la tala o la siembra o la alteración de la configuración de lugares de paisaje que merezca protección; c) Fijar límites de altura o determinar estilos para preservar la uniformidad estética o histórica.
1978	Decreto 1715	Reglamenta la protección del paisaje. Prohíbe la alteración de elementos del paisaje.
1997	Ley 388	Promueve el ordenamiento del territorio, el uso equitativo y racional del suelo, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural, la prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo y la ejecución de acciones urbanísticas eficientes.
1991	Constitución política de Colombia	Artículo 80. Dicta como deber del estado la planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Artículo 95. Establece como deber de las personas, la protección de los recursos culturales y naturales del país, y de velar por la conservación de un ambiente sano.

Nota: Normatividad que rige a nivel nacional los cambios de la cobertura en Colombia por Palacios L, 2020

Capítulo III

Metodología

En el caso de estudio planteado anteriormente, se utilizará un sistema de información geográfica (SIG) y uso de Sensoramiento remoto, para realizar la verificación de coberturas vegetales en el área de estudio la cual se trata de un área a la redonda de 100m de cada estación, en el cual se usarán datos por medio del uso de herramientas como procesamiento digital de imágenes satelitales, del sensor conocido como LANDSAT con una escala de trabajo 1:50000 debido al nivel de detalle que esta proporciona, necesaria para la clasificación de coberturas vegetales. Con estas imágenes se realizarán mapas bases de acuerdo a cada año de estudio considerado (1994-1999-2004-2009-2014-2019), luego de tener la información necesaria, se procederá a realizar una clasificación supervisada; en la cual se tienen 2 fases de trabajo, las cuales son: entrenamiento y asignación.

Primero se realizará un reconocimiento general del área de estudio, para poder distinguir y clasificar por medio de formas y colores de alguna clase de cobertura vegetal, en la cual se entrenarán los conjuntos de píxeles de cada clase encontrada, a lo que el SIG realizará una descripción numérica de bandas que distinguirán a los grupos de píxeles de cada grupo separado de coberturas vegetales. Luego en la etapa 2, se asignarán nombres por cada tipo de patrón observado en la clasificación anterior, donde se van a trabajar 4 patrones de conjuntos de píxeles que se van a dividir en BOSQUES, RIOS, PASTOS y ZONA URBANA lo cual generará una clasificación de la imagen, mediante el uso de algoritmos. El algoritmo a utilizar es el de máxima verosimilitud (Maximum Likelihood Algorithm), el cual asume una distribución normal de los datos, también conocida como distribución Gaussiana, lo cual permite describir cada clasificación de cobertura como una función de probabilidad, a partir de vectores de media y matrices varianza, co-varianza, luego se pretende realizar una precisión de la clasificación realizada, ya que ninguna clasificación tiene 100% de precisión, en la cual se construyen matrices donde se verificará en campo si coincide o no con lo visto en el mapa, lo cual nos brindará un dato de fiabilidad, después se agruparán los datos en tablas para así realizar el análisis de estos, por medio de gráficas como diagramas tipo lineal

Este proyecto fue dividido en 4 fases, 3 de ellas requeridas esencialmente para cumplir cada objetivo propuesto anteriormente y uno adicional para realizar el informe de resultados de este ejercicio académico.

Fase 1:

Se realizó la descarga de imágenes satelitales del satélite LANDSAT con un área de estudio a escala 1:50000 por medio de la plataforma virtual USGS “science for a changing world” <https://earthexplorer.usgs.gov/>, una vez obtenidas las imágenes se inició el uso de sistemas de información geográfica para poder realizar la delimitación del área de estudio; en cuanto a las descargas se solicitaron imágenes satelitales de los años 1994-1999-2004-2009-2014-2019 a una escala 1:50000 respectivamente en los meses de época de lluvia y época seca, ósea en los meses de febrero y agosto respectivamente. Con cada una de las imágenes se procedió a realizar cada uno de los mapas de estudio de corresponder a cada una de las imágenes solicitadas.

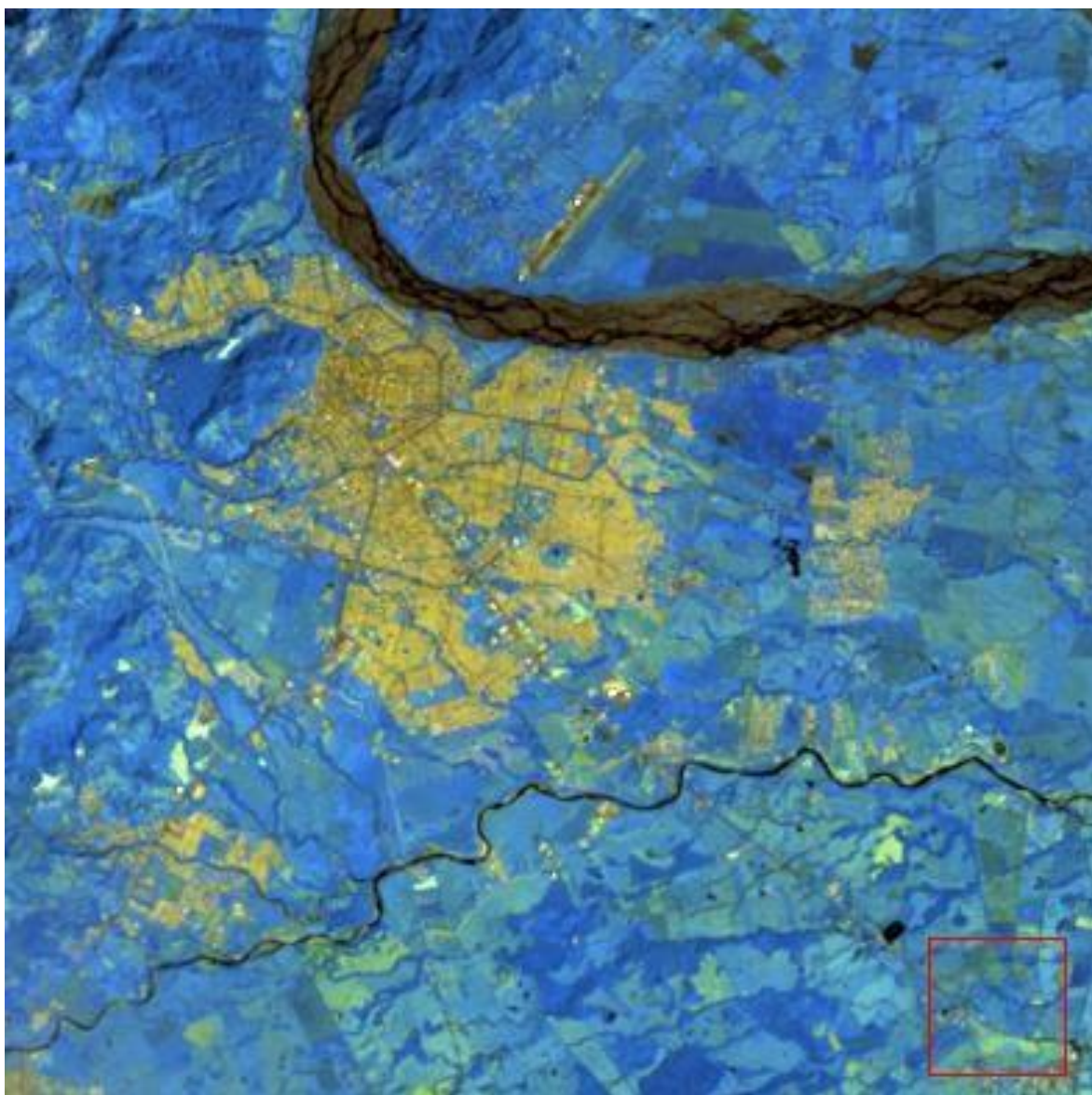
Uno de los programas a trabajar tiene como nombre ENVI 4.7; las imágenes satelitales se piden formalmente por una plataforma pública de la NASA llamada “USGS science for a changing world” donde por medio de una serie de procedimientos como selección del satélite que en este caso es “LANDSAT 8” además de la fecha requerida y la ubicación exacta que se necesita por medio de coordenadas. Una vez solicitadas las imágenes y su respectiva espera de llegada, las imágenes llegan en un paquete de confirmación al correo con que se realizó el registro a la plataforma USGS, dentro del paquete se pueden observar alrededor de 6 a 8 imágenes a color blanco y negro. Una vez las imágenes están en el computador personal de trabajo se iniciará el uso de la herramienta ENVI 4.7 para poder visualizar de forma correcta las imágenes llevando a cabo el siguiente procedimiento, cuando ENVI 4.7 este abierto se busca la opción “file” luego “open image file” y automáticamente se abrirá el archivo del pc donde se debe buscar la carpeta donde quedo guardado el paquete con las imágenes solicitadas por año y se debe ir seleccionado y abriendo cada una de las imágenes que llevaran por nombre automático “ND1” hasta “ND7” donde se debe repetir el proceso de apertura con cada una de ellas para tener el total de las imágenes cargadas y proceder a observarlas de buena manera. Luego de tener las imágenes dentro del ENVI 4.7 de forma automática aparecerá un recuadro que lleva por nombre “available bands list” que es una lista donde estará cada una de las imágenes satelitales; dentro de ese mismo recuadro se debe buscar una opción para seleccionar que tiene por nombre “RGB color” que al

seleccionarla habilitará la una opción de chek list en cada una de las imágenes, una vez se termine este proceso se debe observar la siguiente tabla donde se encuentra expresa cada una de las combinaciones para poder identificar las diferentes características de la imagen satelital del año que se quiere trabajar y analizar.

Con esta serie de combinaciones se puede ver cada tipo de banda que nos ofrece el paquete de imágenes compartido por USGS; las combinaciones que se van a utilizar son color natural, falso color (urbano), vegetación saludable y tierra/agua; cada una de estas para poder seleccionar los pixeles necesarios para completar los cuatro patrones que se necesitan para analizar las imágenes.



Imágen 4 Villavicencio RGB combinación 4-3-2, adaptado por ENVI 4.7



Imágen 5 Villaviciencio RGB combinación 6-3-2, adaptado de ENVI 4.7



Imágen 6 Villavicencio RGB combinación 7-4-3, adaptado por ENVI 4.7



Imagen 7 Villavicencio RGB combinación 5-6-2, adaptado por ENVI 4.7

El siguiente paso es la selección de los píxeles, para ello y retomando el último paso anterior donde se pueden visualizar las imágenes inicia una nueva secuencia de pasos, se procedió abrir la opción “Basic Tools” y buscar la herramienta “Region of interest” y finalmente “RIO Tool”. Esta última opción genera automáticamente un cuadro donde se podrán ver varias herramientas como lo son “New Region” que sirve para crear un nuevo patrón y donde se encontraran opciones para iniciar con la selección de los 2500 píxeles que necesita cada región o patrón para poder relación toda la imagen, de la misma forma se debe crear una nueva región en “New Region” para terminar con cada uno de los patrones a completar.

Se realizó la etapa uno de la herramienta de clasificación supervisada, que tiene por nombre

“entrenamiento”, con la cual se realizó un reconocimiento de área de estudio lo que permite distinguir y clasificar por medio de formas y colores los diferentes tipos de cobertura vegetal que se encontraron dentro de las imágenes satelitales de cada uno de los años de estudio, luego se realizó la etapa dos de la herramienta de clasificación supervisada, que tiene por nombre “asignación”, la cual asigna nombres a los tipos de patrón que fueron reconocidos en la primera etapa de la herramienta para así poder visualizar cada uno de los patrones asignados y su capacidad total dentro de las imágenes.

Se generó una clasificación nueva de la imagen satelital por medio del uso de algoritmos, en el cual será usado el algoritmo de máxima verosimilitud (maximum likelihood algorithm), la cual su función es que asume los datos como una distribución normal, también conocida como distribución Gaussiano cual permite describir cada clasificación de cobertura como una función de probabilidad, una vez se finalizó este proceso se agruparon los datos finales obtenidos en tablas para un mejor y fácil análisis de los datos por medio de la realización de herramientas graficas como por ejemplo graficas de lineal.

Fase 2:

Se agruparon las tablas de datos recolectados en la etapa anterior y las herramientas gráficas como diagramas lineales por año para facilitar el posterior análisis. Por medio de superposiciones de gráficas y datos, se midió el porcentaje de cambio de cobertura vegetal presente en cada una de las 3 zonas de estudio y en cada año de estudio respectivo.

Se agruparon los resultados finales por medio de nuevas tablas, en cada año y el cambio de cobertura en cada uno de estos.

Fase 3:

Se descargaron datos climáticos de la región de los años en el que el estudio es realizado, para ello se realizó la solicitud al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM de un parámetro que en este caso fue la temperatura media de tres estaciones antiguas de Villavicencio las cuales se pueden ver en la siguiente tabla.

Tabla 2 Estaciones meteorológicas, por Palacios L, 2020

Código Estación	Nombre Estación	Latitud	Longitud	Altitud
35035020	AEROPUERTO VANGUARDIA	4,16191944	-73,6175778	422
35025110	LA LIBERTAD - AUT	4,0573611	-73,4679167	336
35035070	UNILLANOS	4,0767222	-73,582000	340

Nota: Características de las estaciones meteorológicas usadas por Palacios L, 2020

El propósito de pedir datos meteorológicos de otras estaciones que no son las que se van a trabajar para este trabajo de análisis es porque son estaciones nuevas y no tienen datos muy antiguos y para el desarrollo del análisis se necesitan datos desde 1994, por lo tanto con los datos adquiridos se procedió hacer una interpolación de la temperatura por medio de un mapa de isotermas utilizando la herramienta ARCGIS-ARCMAP.

Para realizar el procedimiento anteriormente nombrado, se usó la herramienta ARCGIS, para los mapas bases se usaron las imágenes satelitales (Bandas Landsat 8) que usamos para realizar los mapas para el análisis de la cobertura vegetal, usando la capa de todas las estaciones meteorológicas de Colombia descargadas y un shape file creado a partir de las tres estaciones meteorológicas de la anterior tabla; una vez las tres capas estén ubicadas en el layer se hace uso de dos herramientas que el programa nos brinda, (Interpolate – IDW, KRIGIN) y (Countour – Mask) para poder tener una imagen completa de que temperaturas aproximadas se tomaban en los años a estudiar en cada una de las estaciones en la que se trabajó. Una vez terminados los mapas que sirvieron como análisis de datos se procedió a agrupar los datos climáticos de la región de los años en los que se realizó el estudio

Se realizó una correlación de los valores climáticos con los resultados finales de cambio de cobertura para posteriormente hacer una relación con porcentajes el cambio de cobertura vegetal versus el cambio de variables climáticas (temperatura) en la región y se agrupó la nueva información en tablas y herramientas gráficas

Fase 4:

Se realizó un análisis con los datos obtenidos de cada uno de los años para poder obtener un mejor entendimiento y comprensión, luego se procedió a agrupar esos datos en grupos significativos los

cuales representan un valor o cambio importante, ya sean modificaciones muy grandes o afectaciones en el microclima de la ciudad.

Se realizó el informe completo de los resultados explicando en cada uno de los años el cambio de la cobertura vegetal en porcentajes y su impacto, los cuales serán determinados por medio de un análisis de comparación de datos que tuvo finalmente este en la variable climática analizada por medio de correlaciones y para concluir se realizó un listado con los datos más concluyentes en la parte final del informe.

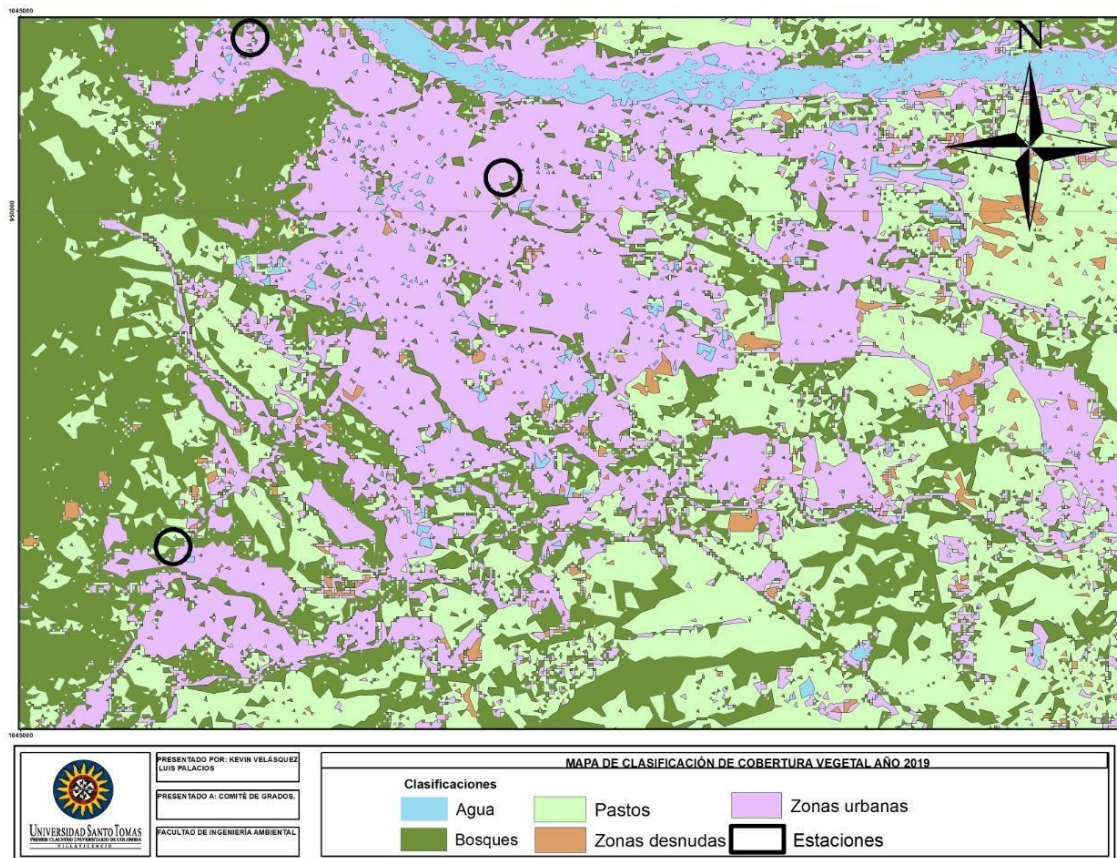
Resultados y análisis de resultados

Diseñar los respectivos mapas para el uso de la tierra y la cobertura de la tierra a través de la teledetección y descarga de imágenes satelitales desde 1994 con intervalos de 5 años en las estaciones: lluviosa y seca.

Para darle cumplimiento al primero de los objetivos propuestos para el desarrollo del trabajo es de suma importancia saber que se necesitaron imágenes satelitales obtenidas y facilitadas por la USGS quienes son el servicio geológico estadounidense, por medio de un corto procedimiento mencionado en la metodología del presente, para el análisis de cada año se solicitaron 2 imágenes por año que corresponden a dos diferentes temporadas como lo son la temporada seca y la temporada de lluvias. Para los años 2019 – 2014 – 1999 la elección y petición de las imágenes fue un total éxito puesto que el satélite LANDSAT que pertenece a la USGS contaba con una buena calidad de imágenes para esos años en la zona de estudio, para el año 2009 no se consiguió ninguna imagen favorable para la elaboración de los mapas debido a la nubosidad reflejada en algunas de las imágenes y el satélite no contaba con imágenes claras para la zona de estudio, se intentó reemplazar este año con años anteriores o continuos pero dentro de los años 2006 a 2010 no se encontraron imágenes que facilitaran el análisis y el estudio del cambio de la cobertura vegetal en la ciudad de Villavicencio, algunos de los erros en las imágenes que se encontraban disponibles eran gran acumulación de nubes o una división lineal formada por el satélite automáticamente como se puede apreciar en (anexo 17), por lo tanto para la etapa de estudio correspondiente al año 2009 no se generaron resultados de estudio; para el año 2004 tampoco se encontró una buena imagen que facilitara el estudio, pero se usaron imágenes del año anterior correspondiente (2003) para la elaboración de los mapas para ese periodo de tiempo; por último, el año 1994 tampoco se encontraron imágenes legibles para el desarrollo de la dinámica del proceso de análisis respectivo, por lo cual se usaron imágenes del año 1991 para la elaboración de los mapas de este periodo a estudiar.

A continuación, se podrán observar uno de los mapas donde se encuentra la división y clasificación supervisada de las clases estudiadas y analizadas como lo son la vegetación y la zona urbana los demás mapas del resto de los años se podrán encontrar en los anexos, cada uno de los mapas contiene la división por color que representa una clase cada una respectivamente,

en los mapas se puede observar cómo se encuentra distribuida la zona urbana dentro del casco urbano y cuáles son las zonas verdes además de las demás coberturas encontradas.



Mapa 4 Clasificación de la cobertura vegetal 2019, por Palacios L, 2020

Comparar y verificar la ocurrencia de cambios en la cobertura del suelo en diferentes intervalos de tiempo, con las variables climatológicas correspondientes al periodo de tiempo seleccionado.

A continuación se encuentra cada uno de los resultados encontrados a partir de las imágenes satelitales de cada uno de los años con relación a la temperatura presentada en los dos meses de estudio, tiempo seco y tiempo lluvia, Febrero para temporada seca y Agosto para temporada de lluvia; demostrando una superficie de calor sobre la imagen de la ubicación de Villavicencio. Las características se pueden evidenciar en todos los mapas son las siguientes, las estaciones meteorológicas usadas para el estudio se verán reflejadas en la ubicación puntual de cada una de ellas por un punto de color azul el cual representa su ubicación exacta, un degrade de temperaturas que ilustra la división de temperaturas tomadas en las estaciones meteorológicas de Villavicencio,

cada uno de los mapas se puede apreciar al final del documento donde se encuentran los anexos que corresponden a cada uno de los mapas desarrollados para el análisis y los resultados obtenidos a partir de la página 72.

El mapa de febrero de 1991 (Anexo 7) corresponde a las temperaturas en la temporada seca del año 1991, en este mapa de temperaturas con relación al uso de la cobertura vegetal se logró observar que el mayor registro de temperatura se posicionó en un punto central del casco urbano muy cercano a donde se encuentra la estación meteorológica COFREM con un registro de 27,2 °C y las temperaturas más bajas se posicionan en los alrededores de la ciudad fuera de cualquier zona urbana cercana como se puede visualizar.

El siguiente (anexo 8) corresponde al mapa de temperaturas con relación al uso de la cobertura vegetal del mes de agosto correspondiente a la temporada de lluvias del año 1991, en este mapa se pudo observar que las temperaturas bajas predominan gran parte de la zona urbana dejando de lado la zona de mayor temperatura en la parte superior de la ciudad donde se encuentra ubicada la estación meteorológica PTAP La Esmeralda, dentro de la ciudad las temperaturas obedecen a un rango medio entre 24,2 °C y 24,4 °C respectivamente.

En el mapa de temperaturas del mes de Febrero de 1999 Villavicencio (anexo 9), inicialmente se pudo ver que el casco urbano de Villavicencio creció porcentualmente y las mayores temperaturas se establecen dentro de la ciudad con 28,8 °C, además se pudo visualizar un punto clave del mapa donde se encuentra ubicada la estación meteorológica de Catumare donde también hay punto de temperatura de 28,7 °C en el cual se presenta un crecimiento por parte de la población en cuestión de la ampliación de zona urbana. En los alrededores de la ciudad se apuntan datos de temperaturas bajos entre 28 y 28,2 °C respectivamente.

En el mapa de temperaturas en el mes de Agosto de 1999 (anexo 10) que corresponde a la temporada de lluvias se pudo observar que el pico de temperatura se encuentra en la zona central de Villavicencio cerca de la estación meteorológica de Cofrem donde se tomaron datos cercanos a 25 °C y nuevamente las temperaturas bajas se establecieron en los alrededores de la ciudad, muy diferente a lo sucedido en la temporada seca del mismo año.

Para la temporada seca del año 2004 el mapa de temperaturas (anexo 11), se observan dos puntos muy importantes, el inevitable crecimiento de la zona urbana de Villavicencio y los picos

altos de temperatura en la zona centro de la ciudad y en una de las comunas donde más crecimiento existió al pasar de los años la cual es la comuna ocho donde se encuentran barrios como Porfía, Montecarlo, Catumare, entre otros; allí se registraron datos de temperatura de 28,8 °C y en las zonas con menores rangos de temperatura se encuentran las zonas de los alrededores de la ciudad, uno de ellos es el punto de la estación meteorológica PTAP La Esmeralda.

En el Mapa de temperatura en el mes de Agosto de 2004 (anexo 12) los mayores picos de temperatura se encuentran de nuevo en las zonas donde se evidencio un crecimiento del casco urbano de la comuna 8 y de igual forma en el centro de la ciudad con temperaturas cercanas a los 25,7 °C; los rangos de temperatura baja corresponden a los alrededores de la ciudad donde no hay gran presencia de asentamientos urbanos ni grandes aglomeraciones de construcciones con temperaturas entre los 25,4 °C y los 25,5 °C, cabe resaltar que la diferencia de temperaturas y datos obtenidos en este periodo de tiempo es muy cercana y no presenta gran diferencia como en las anteriores tomas.

El mapa que corresponde al (anexo 13) representa el mapa de temperaturas del mes de febrero del año 2014 que pertenece a la temporada seca se sigue evidenciando un crecimiento en la zona urbana en gran parte de la ciudad, no solamente en la comuna 8 si no en gran parte del municipio, los datos de temperatura que sobresalen por su pico para esta época son de 29,2 °C con dos puntos clave dentro del casco urbano como índices altos de temperatura, por otro lado los rangos de menor temperatura para esta época se establecieron alrededor de 28,7 °C en zonas alejadas de la zona urbana de Villavicencio

Para la temporada de lluvia del año 2014 el mapa de temperaturas que la representa esta en él (anexo 14) allí se encuentra que el punto con mayor registro de temperatura está en la zona de la comuna 8 de Villavicencio donde se presenta gran crecimiento de la zona urbana por la construcción y ampliación de viviendas. El pico de temperatura se estableció en 25,8 °C, en comparación con la temporada seca del mismo año donde en la zona centro del poblado se registró el pico de temperatura y donde para el mes de agosto correspondiente a la temporada de lluvia se registraron temperaturas entre 25,4 °C y 25,6°C; las temperaturas más bajas se registraron nuevamente lejos del corregimiento urbano con temperaturas aproximadas de 25 °C.

La temporada seca del año 2019 representada por el mapa de temperaturas (anexo 15) fue la temporada que registró la mayor temperatura a lo largo del estudio realizado con una temperatura de 29,87 °C en dos puntos de la ciudad los cuales fueron el centro de la ciudad y la comuna 8 de

la ciudad donde se encuentran dos de las estaciones de estudio como lo son la estación meteorológica de Catumare y la de Cofrem, para esta misma temporada la temperatura más baja se estableció en 29,1 °C fuera del casco urbano, además en el punto de la estación meteorológica PTAP La Esmeralda la temperatura registra un punto de 29,3 °C que se encuentra dentro del rango en una parte media.

Por último se encuentra el mapa de temperaturas del mes de agosto de 2019 (anexo 16) el cual demuestra la temporada de lluvias donde las altas temperaturas se tomaron por completo la ciudad en comparación de la temporada seca donde en la zona de la estación meteorológica PTAP La Esmeralda se evidenciaron temperaturas no tan cercanas al pico que se registró en esa toma. La temperatura máxima registrada en esta temporada fue de 25,5 °C hasta 25,7 °C pues toda la ciudad y zona urbana se encontró dentro de este rango de temperatura, por otro lado el bajo de temperatura se estableció en 25,2 °C fuera de la ciudad.

Dos de las variables que se estudiaron indican que al pasar de los años tienden a aumentar de forma regulada pero muy notoria ya que se puede observar en el caso de la expansión zonal urbana por parte de la comunidad y sentir en cuanto a el aumento de la temperatura, todo lo contrario con la variable que corresponde al área de la cobertura vegetal que al pasar de los años tiende a disminuir gradualmente lo que es un punto desfavorable si se trata de remedir o contrarrestar el aumento de la temperatura pues la vegetación ayuda a disminuir la intensidad de las oleadas de calor y puede ser nuestra mejor defensa ante estos fenómenos ya que la vegetación utilizan la radiación para la fotosíntesis y también bajan las temperaturas por medio de la transpiración según lo afirma (Manrique, 2016); la transpiración es uno de los efecto con los que cuenta la vegetación para disminuir la sensación de calor y de cierta forma equilibrar el aumento de la temperatura, consiste en que las plantas al realizar la transpiración enfrían las hojas que, al igual que nosotros, requieren temperaturas óptimas para realizar sus procesos metabólicos, Durante la transpiración, las raíces de las plantas extraen agua del suelo, lo transportan hasta sus hojas y la transpiran por pequeños poros llamados estomas, por los que también toman el CO₂ para la fotosíntesis. (Manrique, 2016), pues existen estudios que afirman que hay datos erróneos de predicciones de temperatura en Europa por no tener en cuenta el efecto de transpiración de la vegetación. (Kala J., 2016)

A demás existen tipos de plantas que cuentan con un poder superior a otras en tanto al contribuir con el confort térmico en contra del impacto de calor dentro de la ciudad dado que esas especies

de plantas representan una alternativa pasiva y natural, las cuales poseen biológicamente altas propiedades de aislamiento térmico y regulación del viento. (Vera, 2015).

La sombra que es brindada y producida por los árboles y la vegetación en general es uno de los efectos relacionados con la radiación solar, más evidentes, sin embargo existen otros que, aunque no se aprecian fácilmente, son igualmente importantes, como la absorción, emisión y transmisión de radiación infrarroja que no podemos ver, tal cual como lo afirma (Torre, 1999).

La presencia de vegetación en las ciudades, altera el balance energético del clima a escala local, provocando variaciones en la radiación solar que llega a la superficie, en la velocidad y dirección del viento, en la temperatura ambiente y en la humedad del aire. Estos efectos, aunque limitados, contribuyen, en gran medida, a mejorar la sensación de confort en los espacios exteriores urbanos, así como a amortiguar el impacto de los elementos climáticos sobre los edificios. (Torre, 1999) La temporada seca del año 2019 fue donde se presentó el punto máximo de temperatura registrado durante todo el estudio, punto que reafirma la hipótesis que dice que al pasar el tiempo la temperatura aumenta progresivamente.

La vegetación es uno de los factores principales que puede regular las condiciones terminar de una ciudad o asentamiento urbano y que ayuda a controlar el microclima; cada vez que la vegetación disminuye su porcentaje en área la temperatura de la zona aumenta

Las coberturas se identificaron por medio del proceso de clasificación supervisada, en el que se observa el área y porcentaje de zona urbana y vegetación en los 3 puntos de estudio determinados.

A continuación se encuentran una serie de tablas de datos y gráficas que relacionan el área de los diferentes tipos de cobertura estudiados usando la hectárea como medida, los datos se dividieron en 4 grupos, 3 de ellos representan los datos obtenidos de cada uno de los puntos donde se encuentran las estaciones meteorológicas y por último la reunión de las tres tomas de datos.

Punto la Esmeralda

La primera tabla con la que nos encontramos reúne los datos obtenidos durante los 5 años de estudio y dividida por los tipos de cobertura analizados, los tipos de cobertura como agua y nubes no representa gran porcentaje de área ya que para los puntos de estudios no se encuentran fuentes de área cercanas y en esos sectores la imagen era limpia y sin impedimento de visualización por

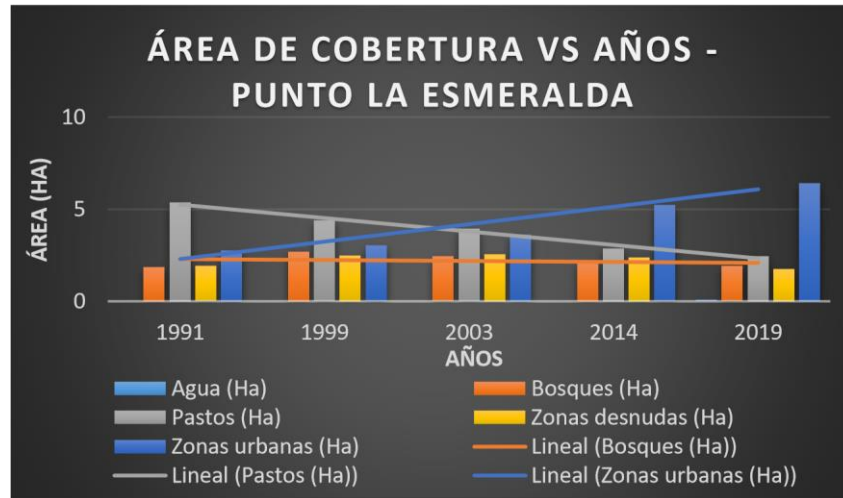
parte de las nubes, las cuatro coberturas que predominan los mapas son bosque, pastos, zonas desnudas y zonas urbanas donde las zonas urbanas al pasar de los años va ocupando una mayor área en la zona demostrando un crecimiento y una línea de tendencia ascendente, todo lo contrario con los bosques y los pastos que tomando como punto de referencia el año 1991 tiende a disminuir su ocupación en área hasta el año 2019 donde finaliza el estudio, tal cual como se puede observar en la gráfica 1 donde las líneas de tendencia son descendentes.

Para el año 1991 los pastos y bosques superaban en área a las zonas urbanas en un alto porcentaje puesto que en Villavicencio aún no se observaba un crecimiento por parte de la población, durante los años 1999 y 2003 los porcentajes de las anteriores tres coberturas nombradas se tornaban a ser muy similares, para las últimas dos tomas de análisis de datos las zonas urbanas se toman el área en un alto porcentaje. Esto debido al crecimiento de las actividades humanas.

Tabla 3 Coberturas vs años Punto La Esmeralda

Coberturas\Años	1991	1999	2003	2014	2019
Agua (Ha)	0	0	0,00	0	0,06
Bosques (Ha)	1,86	2,68	2,43	2,09	1,90
Pastos (Ha)	5,36	4,38	3,93	2,87	2,45
Zonas desnudas (Ha)	1,91	2,47	2,56	2,38	1,74
Zonas urbanas (Ha)	2,75	3,02	3,63	5,21	6,40
Nubes (Ha)	0,67	0	0	0	0

Nota: Tipos de coberturas vegetales estudiadas vs los años en los que se realizó el estudio analítico por Palacios L, 2020



Gráfica 1 Área de cobertura vs años Punto La Esmeralda, por Palacios L, 2020

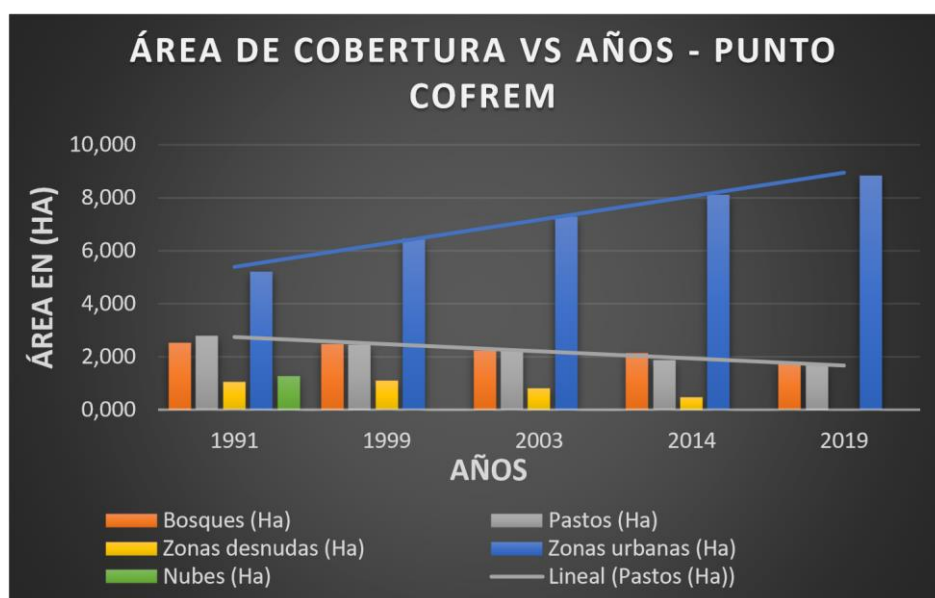
Punto Cofrem

En el segundo punto de estudio se observó que durante todos los años las zonas urbanas ocupan la mayor área de esta zona, las líneas de tendencia para este punto se enfocaron en los pastos y zonas urbanas donde ni siquiera desde el punto de partida se tocan ni se cruzan demostrando así que en este sector la capacidad de cobertura vegetal es muy poco y aun así al pasar del tiempo tiende a descender, totalmente lo contrario con las zonas urbanas que desde el año 1991 tiene un alto porcentaje de apoderamiento del territorio, en este lugar, Villavicencio tomó gran fuerza en la construcción de nuevos barrios y nuevas vías por lo que el crecimiento es acorde a los resultados obtenidos. De igual forma que el anterior punto de estudio las coberturas agua y nubes no tienen gran relevancias puesto que en el sector no se encuentran grandes fuentes de agua y las nubes en la imagen permitían una buena visualización del sitio. Para el año 2019 las zonas urbanas ocupan un área de 8.82 Ha como toma máxima de datos de área.

Tabla 4 Cobertura vs años Punto Cofrem

Coberturas\Años	1991	1999	2003	2014	2019
Agua (Ha)	0	0	0,00	0	0,242
Bosques (Ha)	2,520	2,48	2,23	2,13	1,76
Pastos (Ha)	2,78	2,45	2,22	1,86	1,730
Zonas desnudas (Ha)	1,03	1,08	0,81	0,46	0,00
Zonas urbanas (Ha)	5,20	6,45	7,29	8,10	8,820
Nubes (Ha)	1,26	0	0	0	0

Nota: Tipos de coberturas vegetales estudiadas vs los años en los que se realizó el estudio analítico por Palacios L, 2020



Gráfica 2 Área de cobertura vs años Punto Cofrem, por Palacios L, 2020

Punto Catumare

Para este punto de estudio inicialmente se debe dejar en claro que la ciudad de Villavicencio para el año 1999 presentó uno de los mayores crecimientos de actividad humana en ese sector por la construcción de nuevos barrios de tipo interés social y esparcimiento social en la ciudad.

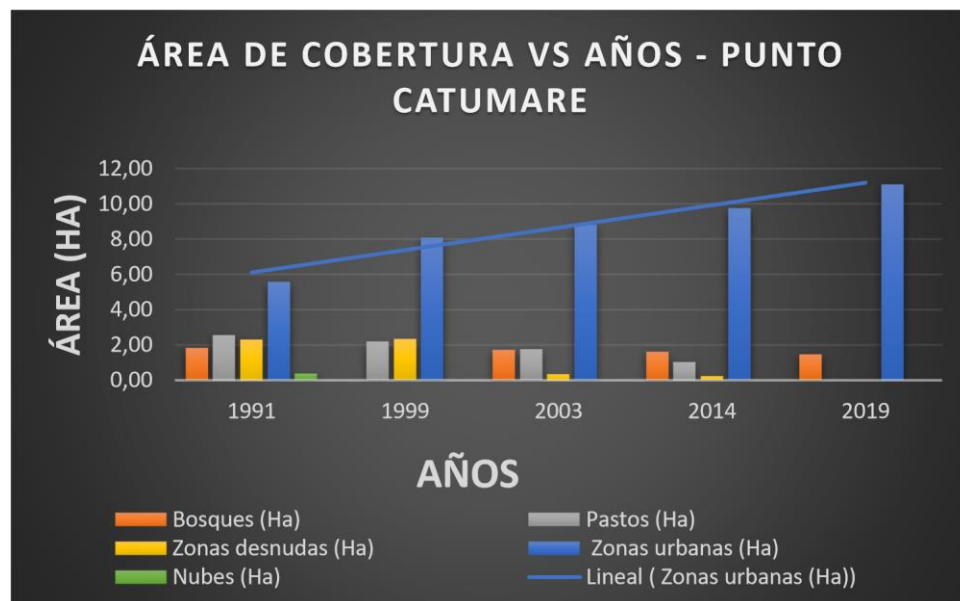
Un punto importante para resaltar es que para el año 2019 solo se registraron dos tipos de cobertura las cuales fueron bosques y zonas urbanas dejando a un lado las demás, las zonas urbanas se tomaron el sector con una ocupación en área de 11,11 Ha, presentando un alto aumento de este tipo de zonas compara con el año 1991 punto de partida donde el área en Ha fue de 5,56. Los pastos al igual que los bosques presentaron una tendencia descendente hasta el final del estudio, en el año 1999 no se presentó registro de zonas boscosas ya que al realizar el procedimiento de localización de zonas el sistema de información geográfica los tomó como

pastos. Las coberturas de agua y nubes no reflejaron gran impacto porcentual para esta zona igual que los dos anteriores sectores, las imágenes era de este lugar para todos los años de estudio fueron limpias y sin mayor nubosidad, tampoco se encuentran reservas de agua cercanas.

Tabla 5 Cobertura vs años Punto Catumare

Coberturas\Años	1991	1999	2003	2014	2019
Agua (Ha)	0	0	0,00	0	0,000
Bosques (Ha)	1,80	0,00	1,70	1,58	1,45
Pastos (Ha)	2,56	2,17	1,73	1,02	0,000
Zonas desnudas (Ha)	2,30	2,31	0,33	0,21	0,00
Zonas urbanas (Ha)	5,56	8,07	8,80	9,75	11,11
Nubes (Ha)	0,34	0	0	0	0

Nota: Tipos de coberturas vegetales estudiadas vs los años en los que se realizó el estudio analítico por Palacios L, 2020

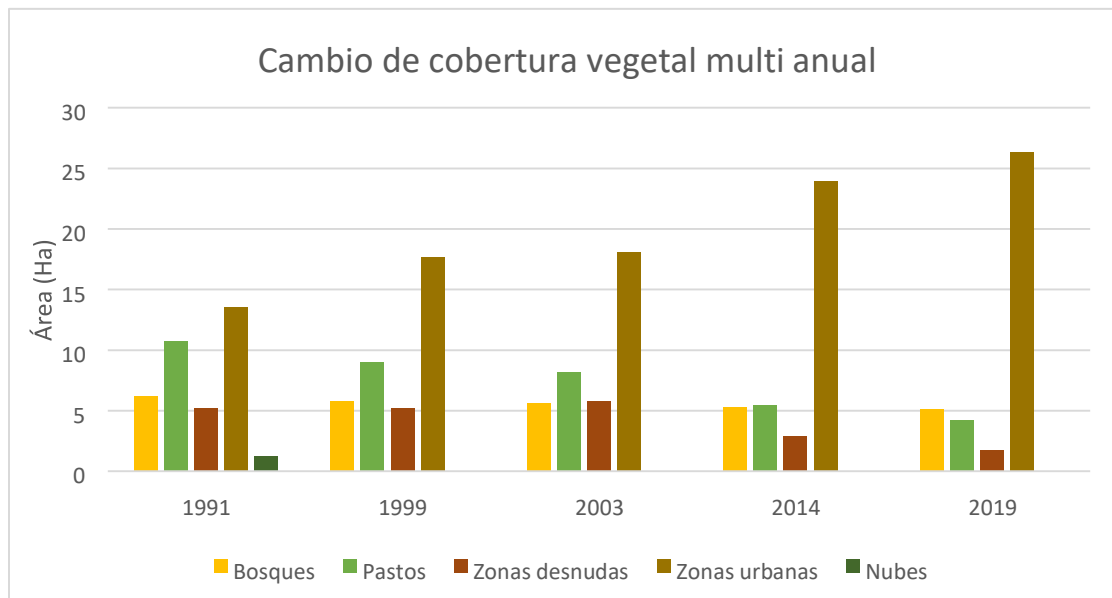


Gráfica 3 Área de cobertura vs años Punto Catumare, por Palacios L, 2020

Tabla 6 Clasificación de las coberturas por año, área y porcentaje

Cobertura	Clasificación 1991		Clasificación 1999		Clasificación 2003		Clasificación 2014		Clasificación 2019	
	Área Ha	%	Área Ha	%	Área Ha	%	Área Ha	%	Área Ha	%
Agua	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,8
Bosques	6,2	16,4	5,8	15,4	5,6	14,82	5,3	14,0	5,1	13,6
Pastos	10,7	28,4	9,0	23,9	8,2	21,78	5,5	14,5	4,2	11,1
Zonas desnudas	5,24	13,9	5,22	14	5,8	15,41	2,91	7,7	1,74	4,62
Zonas urbanas	13,51	35,9	17,64	47	18,07	47,99	23,95	64	26,33	69,9
Nubes	2,03	5,39	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Nota: Clasificación por año de las coberturas vegetales estudiadas por Palacios L, 2020



Gráfica 4 Cambio de cobertura vegetal multianual, Palacios L, 2020

La clasificación supervisada de estas coberturas (Bosques, pastos, zonas desnudas y zonas urbanas), en un estudio multitemporal da la posibilidad de determinar el porcentaje de área de cada una de las clases seleccionadas para el estudio, y así poder analizar los cambios que se fueron dando con el paso del tiempo, de acuerdo con nuestra área de estudio. Comenzando con el primer año de estudio (1991), en este se presentan los siguientes valores, los bosques representan un 16,4% del área total de estudio, los pastos representan un 28,4%, las zonas desnudas un 13,9% y

las zonas urbanas un 35,9%, además solo en este año se presentó un poco de nubosidad lo cual representó el 5,39% del área total de estudio.

En el siguiente año de estudio (1999), se observa un aumento bastante significativo en el porcentaje de zonas urbanas respecto al anterior año de estudio (1991), ya que este pasa de 35,9% a un 47%, y también se ve una disminución en los porcentajes de área de bosques y de pastos, donde los bosques pasaron de un 16,4% a un 15,4%, y los pastos sufrieron una pérdida más significativa ya que pasó de poseer un 28,4% de porcentaje de área y en el año 1999 disminuyó a 23,9% y por otro lado las zonas desnudas permanecieron estables ya que pasó de un 13,9% a tan solo un 14%.

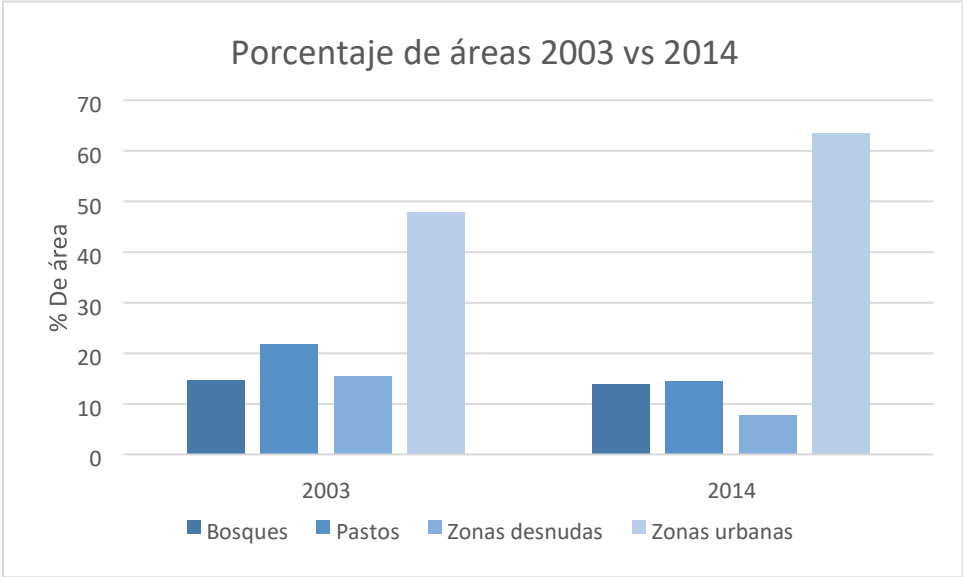
En el año 2003, también se encontró un incremento respecto al año anterior en el porcentaje de área urbana de 1% mientras en los bosques se presentó una disminución nuevamente de 0.6% de cobertura, y en los pastos una disminución de un 2,2% de área, las zonas desnudas en este intervalo de tiempo presentaron un aumento de un 1,4%, este último caso puede ser debido a la reducción de área de pastos y pasen a ser áreas sin cobertura vegetal.

En el intervalo de 2003 y 2014 (el cual fue el más largo de todo el estudio), hubo un aumento bastante significativo de porcentaje de área de zonas urbanas ya que estos pasaron de 47,99% a un 64%, en este año los bosques no sufrieron pérdidas considerables ya que el porcentaje de área paso de un 14,82% a 14%, solo presentaron una pérdida de 0,8%, por otro lado los pastos presentaron una pérdida muy grande en este intervalo, ya que pasó de tener un porcentaje de área de 21,78% a 14,5%, es decir que perdió 7,3% de porcentaje de área de pastos, además en este intervalo también se presentó por primera vez una reducción significativa de áreas desnudas, una pérdida del 7,7% de porcentaje de área.

En el último intervalo del trabajo (2014-2019), igual se presentó un aumento en el porcentaje de área de zonas urbanas, ya que pasó de un 64% a un 69,9%, los bosques casi no sufrieron pérdidas en este intervalo, ya que solo perdieron un 0,4% de porcentaje de área, mientras que el porcentaje de área de pastos sufrió una disminución de 3,4% y las zonas desnudas igual sufrieron una pérdida 3,1% de porcentaje de área.

De esta tabla también se puede deducir que el intervalo de tiempo que presentó más pérdida de cobertura vegetal fue el comprendido entre los años 2003 y 2014, ya que en estos años se

presentó una pérdida de 7,7% de pastos y 0,9% de bosques, no sólo eso sino que el área de las zonas desnudas también presentó una disminución de 7,7% y en este intervalo de tiempo también se presentó el aumento más considerable de porcentaje de áreas urbanas, el cual fue 15,6%.



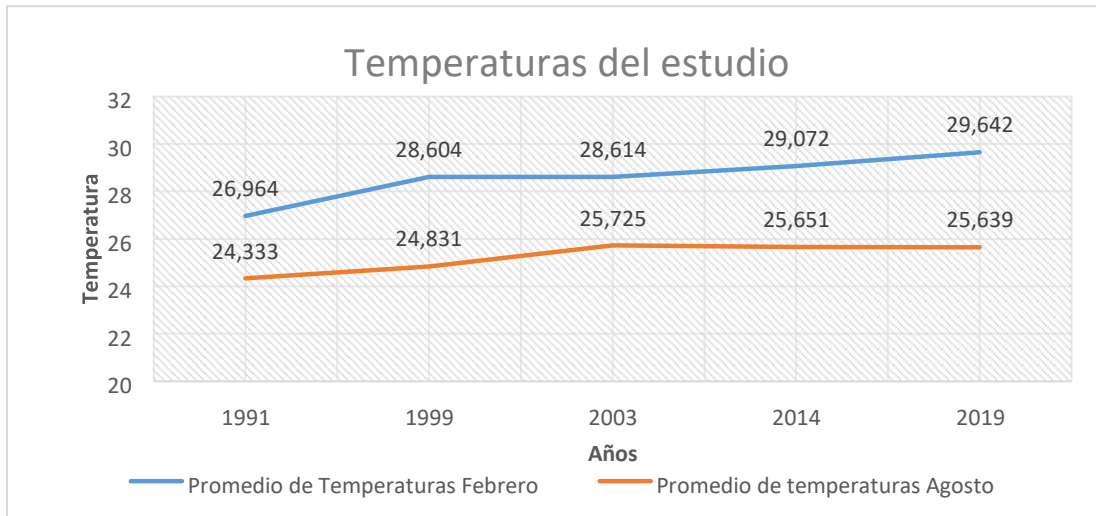
Gráfica 5 Porcentaje de área 2003 vs 2014, por Palacios L, 2020

Ahora, respecto a las temperaturas y cambios de temperatura multianual en el área de estudio se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla 7 Temperaturas por año y temporada del año

Temperaturas	1991	1999	2003	2014	2019
	°C	°C	°C	°C	°C
Temperatura Agosto	24,33	24,83	25,72	25,56	25,63
Temperatura Febrero	26,96	28,6	28,61	29,07	29,64

Nota: Temperaturas registrada para los meses de Agosto y Febrero durante los años de estudio por Palacios L, 2020



Gráfica 6 Temperaturas de estudio, por Palacios L, 2020

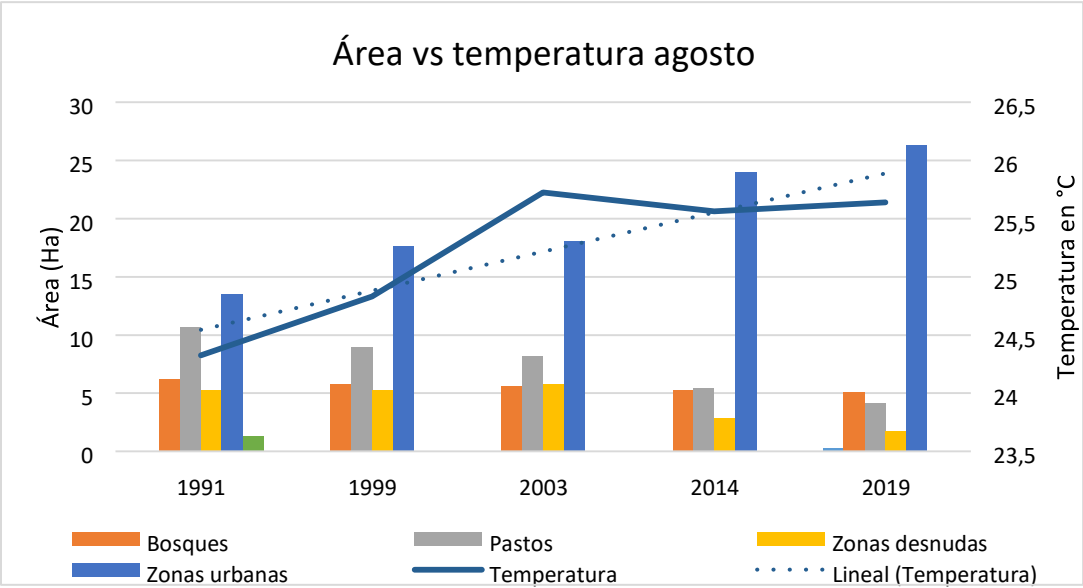
Con estos datos se puede observar un incremento de la temperatura en el área de estudio respecto al año 1991 y 2019, en las temperaturas de febrero aproximadamente $2,67^{\circ}\text{C}$, lo cual tiene bastante sentido según datos científicos, como el reporte anual del clima de 2019 de la NASA, que habla de un incremento por década de $0,07^{\circ}\text{C}$. (NOAA, 2019)

En la tabla anterior de temperaturas Grafica 4, se puede observar que en 1991, se presentó una temperatura promedio de $24,33^{\circ}\text{C}$ en el área de estudio, en el mes de agosto, en este se tienen temperaturas más bajas con respecto a las de febrero $26,96^{\circ}\text{C}$ debido a que en el mes de agosto se presentan más precipitaciones que en el mes de febrero, así que por eso se eligieron estos 2 meses, uno para comparar las temperaturas en mes seco y otro en un mes muy lluvioso. En el año 1999, en el mes de agosto se presentó una temperatura de $24,83^{\circ}\text{C}$, es decir que se presentó un aumento de $0,5^{\circ}\text{C}$ en este lapso de tiempo en el mes lluvioso, mientras que en el mes seco (Febrero), se presentó una temperatura de $28,6^{\circ}\text{C}$, es decir que hubo un aumento de $1,54^{\circ}\text{C}$, lo que parece como un aumento bastante fuerte, considerando que según datos de la NASA (NOAA, 2019). Se estaría presentando un aumento de $0,07^{\circ}\text{C}$ por década. En el mes de 2003, se presentó una temperatura de $25,72^{\circ}\text{C}$ en el mes de agosto, lo que representa un aumento de aproximadamente 1 grado entre los años 1999-2003, en esta temporada de lluvias, mientras que en el mes seco (Febrero), el año 2003 presentó una temperatura de $28,61^{\circ}\text{C}$, con respecto al año anterior de estudio, casi no hubo aumento, ya que solo aumentó un $0,1^{\circ}\text{C}$, que no es representativo. En el año 2014, el mes de agosto presentó una temperatura de $25,56^{\circ}\text{C}$, es decir que en temporada de lluvias, entre el año

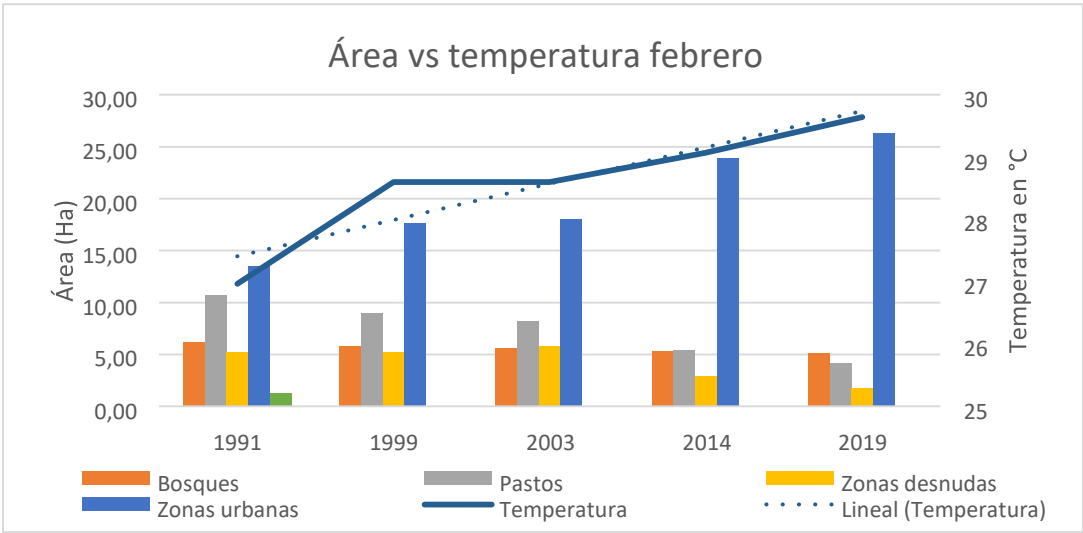
2003 y 2014, hubo una reducción de la temperatura, esto puede deberse a varios factores, entre estos el más probable es el aumento de las precipitaciones en este año, lo que redujo considerablemente la temperatura en este mes, debido a que en el mes de temporada seca (Febrero), se presentó una temperatura de $29,07^{\circ}\text{C}$, lo que significó un aumento de $0,5^{\circ}\text{C}$, con respecto a 2003, lo que demuestra que la temperatura va en constante aumento, y aunque en el mes de febrero existió una disminución, de temperatura, se debe a otros factores climáticos. En el año 2019, en el mes de agosto, se presentó una temperatura de $25,63^{\circ}\text{C}$, igualmente continuó en aumento con respecto al año anterior, pero, el aumento fue mínimo, ya que solo representó un $0,6^{\circ}\text{C}$, mientras que en el mes seco, se presentó una temperatura de $29,64^{\circ}\text{C}$, continuó en aumento respecto al año anterior, con un incremento de $0,56^{\circ}\text{C}$. De esto anterior se puede deducir que con respecto pasa el tiempo, la temperatura en los meses donde las precipitaciones sean más bajas, presenta un incremento bastante amplio, ya que tuvo un aumento desde $26,96^{\circ}\text{C}$ en 1991 hasta $29,64^{\circ}\text{C}$ en 2019, lo que significa un aumento de $2,64^{\circ}\text{C}$ en casi 3 décadas, lo que tiene bastante relación con el reporte anual del clima de la nasa (NOAA, 2019) el cual indica un aumento en la temperatura anual global de aproximadamente $0,07^{\circ}\text{C}$.

Identificar la influencia de los cambios en la cobertura de la tierra en el clima de las áreas establecidas.

Para identificar la influencia de los cambios de cobertura vegetal en la temperatura de la zona de estudio, se realizaron las siguientes gráficas, donde se puede observar las temperaturas en el mes de lluvia (Agosto) y las temperaturas en el mes de sequía (Febrero), también se aprecia una relación directa entre el aumento del porcentaje de área de zonas urbanas y ambas temperaturas, esto se puede observar gracias a la línea de tendencia (tiende a aumentar), y como en las zonas de área de estudio, en la gráfica de temperaturas de agosto aumentó desde 24°C hasta $25,5^{\circ}\text{C}$ El cual es un aumento bastante significativo para este periodo tan corto de tiempo, y en la segunda gráfica se observa un aumento desde 27°C hasta casi 30°C lo cual es aún más significativo que en la anterior, ya que tuvo un aumento de casi 3°C . Según la hipótesis que se planteó en la introducción, las zonas con mayor cobertura vegetal tienden a tener temperaturas más bajas, mientras que las zonas con menor cobertura vegetal tienden a tener más temperaturas (Perez, 2012) y eso es exactamente lo que estos gráficos están representando.



Gráfica 7 Área vs temperatura Agosto, por Palacios L, 2020



Gráfica 8 Área vs temperatura Febrero, por Palacios L, 2020

(Coeficiente de correlación de Pearson).

Coeficiente de correlación lineal de Pearson.

A parte de esto se utilizó una herramienta estadística conocida como coeficiente de correlación lineal de Pearson, que es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente. (Etxeberria, 1999)

Donde la fórmula para calcularlo es la siguiente

$$\rho_{XY} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y} =$$

Donde:

- σ_{XY} = Es la covarianza de (X, Y)
- σ_X = Es la desviación estandar de la variable X
- σ_Y = Es la desviación estandar de la variable Y

Para este estudio, el resultado del número de Pearson fue hallado usando la siguiente tabla de datos.

Tabla 8 temperatura y área de vegetación por año

Año	1991	1999	2003	2014	2019
Pastos	10,70	9,00	8,20	5,45	4,180
Temperatura Febrero	26,965	28,597875	28,597875	29,07225	29,64275

Nota: Registro de temperatura y área de pastos que se registraron para los años de estudio por Palacios L, 2020

Al calcular el coeficiente de Pearson con los datos anteriores, el resultado es de -0,912246333, lo cual, se puede interpretar como que existe una correlación negativa entre los datos, esto quiere decir que las variables (Temperatura y porcentaje de área de pastos), se relacionan de manera inversa en ese caso se puede ver en la tabla como la temperatura va aumentando cada año, mientras que el área de los pastos se va reduciendo. Entre más cerca se encuentre este número a -1, demuestra que la correlación es más fuerte. Como este se aproxima bastante, -0,9 se puede deducir

que la correlación negativa que tiene la pérdida de cobertura vegetal tiene influencia en el aumento de la temperatura del área.

Discusión de resultados

Apoyándonos en una de las hipótesis establecidas dentro del estudio donde se afirma que el esparcimiento o crecimiento de la población tratándose del tema infraestructura es un componente esencial para analizar si este influye directa o indirectamente en el aumento de la temperatura de las zonas pobladas o donde se evidencia gran pérdida de la cobertura vegetal; de igual forma el enorme deterioro de la cobertura vegetal es uno de los factores más relevantes ocasionado por elevado uso del campo para la construcción y expansión de la comunidad de Villavicencio.

Un punto a tener muy en cuenta es que los porcentajes de área hallados de zona urbana y cobertura vegetal tomando como punto de partida el año 1991 tienden a tener una relación inversa obedeciendo tal cual como se esperaba y se estableció gracias a la hipótesis inicial donde entre mayor sea el campo de zona urbana ocupada en la cobertura vegetal mayor será la temperatura al pasar del tiempo, desde el inicio del estudio se logró observar que la capital metense sufrió un gran crecimiento en su extensión urbana y con el paso del tiempo la temperatura aumento casi 3 °C en sus dos temporadas, en el año 1991 el punto máximo de temperatura fue de 26,96 °C en comparación del año 2019 la mayor temperatura registrada fue de 29,64 °C. En comparación con zonas aledañas de Villavicencio como el sector donde se encuentra ubicada la Universidad de los Llanos, los datos de temperatura siempre están 1 °C debajo de lo normal que se registra en la ciudad, producto de las características del lugar donde se encuentra ubicada la entidad anteriormente nombrada, donde las zonas como pastos y bosques predominan.

Para los años 1999 y 2019 fue donde ocurrió el registro más brusco de temperatura y crecimiento urbano con comparación de los demás años donde en el 2003 y 2014 se logra observar un cambio no tan exagerado con los anteriores nombrados

Los valores que se obtuvieron de acuerdo con el cambio de cobertura vegetal generan preocupación por la pérdida considerable de esta, en el año 2019 se registró un 69.9 % de área ocupada por las zonas urbanas, en comparación con el inicio del estudio donde en el año 1991 alcanzaba un 35 % debido a que en ese entonces no se observaba gran aumento en la tasa de expansión urbana, existe la necesidad de no solo desarrollar más estudios respecto a estos cambios de cobertura, sino además de desarrollar estrategias para disminuir o detener estas pérdidas.

Además, de acuerdo con los datos obtenidos, es posible que la pérdida de cobertura vegetal siga en aumento en los años futuros, lo cual puede generar problemas socio ambiental, debido a que este hallazgo fue hecho en zonas urbanas.

Recomendaciones

Los temas de cambio de cobertura vegetal y cambio en la temperatura al ser asociados tiene un gran impacto que no es tenido muy en cuenta como uno de los componentes del cambio climático y aumento de la temperatura anual mundial, implementar estudios relacionados ayudaría bastante para la comprensión de estas dos variables y encontrar soluciones a corto o mediano plazo.

Destinar mayores recursos para las administraciones de las estaciones meteorológicas quienes son las encargadas de tener los datos climatológicos con el fin de poder tener una recepción de datos más completa y exacta; con ellos se pueden iniciar estudios más detallados año por año o mes por mes, así mismo la implementación de más estaciones meteorológicas para una mejor distribución de ellas en la ciudad en puntos estratégicos.

Tener muy en cuenta los resultados obtenidos pues una vez más se establece que a mayor crecimiento población existe un aumento en la temperatura de los centros poblados, con ello se puede tener una mejor distribución poblaciones y mejorar los indicadores del aumento en la temperatura.

Referencias bibliográficas

- Agency, I. E. (2018). *IEA: World Energy Outlook Spanish Translation* . Obtenido de <<https://webstore.iea.org/download/summary/190?filename=spanish-weo-2018es.pdf%0Ahttps://www.iea.org/weo/>>.
- Alberto, C., & Perez, F. (2012). *Islas de calor urbano en Tampico, México. Impacto del microclima a la calidad del hábitat*. Nova Scientia. Retrieved from. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052015000100024
- Benavides, H. (2011). *Evidencias de cambio climático en colombia con base en información estadística*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Retrieved from. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Evidencias+de+Cambio+Clim%C3%A1tico+en+Colombia+con+base+en+informaci%C3%B3n+estad%C3%ADstica.pdf/1170efb4-65f7-4a12-8903-b3614351423f>
- Conrado, Y. C., Fernandez, E., & Álvarez, A. (2015). *Influencia de la forma urbana en el microclima térmico de Sagua la Grande Influence of Urban Form in the Thermal Microclimate of Sagua la Grande*. Arquitectura y urbanismo. Retrieved from. <https://go.gale.com/ps/anonymous?id=GALE%7CA536256086&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=0258591X&p=IFME&sw=w>
- Cordero Ordoñez, X. (Agosto de 2014). *Microclima Y Confort Térmico Urbano*. . Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/23637/XimenaCordero_TFM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Corfee-Morlot, F. A.-D. (2014). *Urban Areas* . Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Retrived from. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- Cormacarena. (2018). *fichas técnicas de determinantes ambientales*. Villavicencio.
- Duval, S., & Campo, M. (2016). *Variaciones microclimáticas en el interior y exterior del bosque de caldén (Prosopis caldenia), Argentina Variações microclimáticas no interior e exterior da Floresta de Caldén (Prosopis caldenia), Argentina Microclimate Variation*. Argentina.

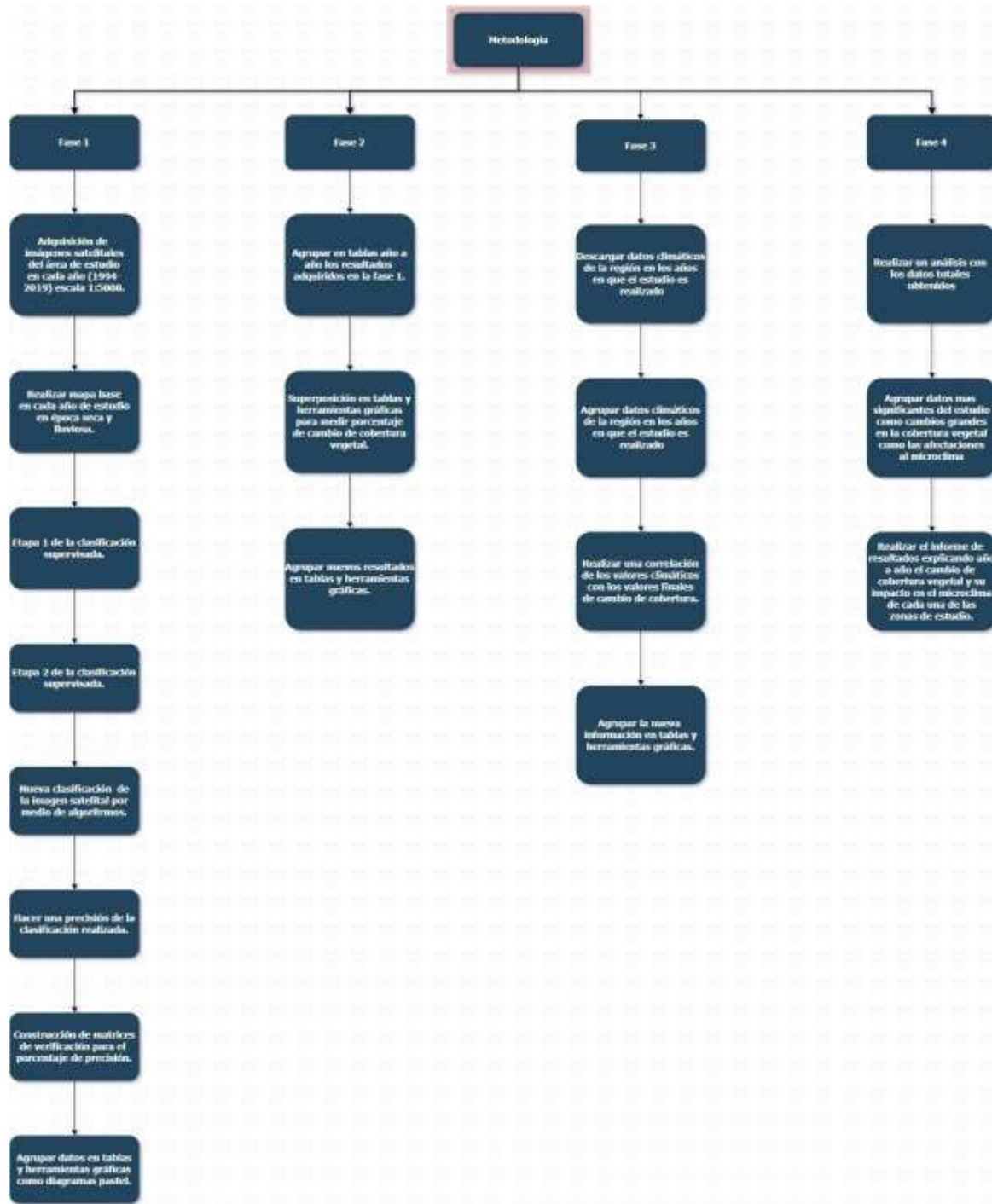
- Retrieved from. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/42372>
- Dymnikov, V. P., & Gritsoun, A. S. (2001). *Climate model attractors: chaos, quasiregularity and sensitivity to small perturbations of external forcing. Nonlinear Processes in Geophysics*. Retrieved from. https://www.researchgate.net/publication/26429174_Climate_model_attractors_Chaos_quasiregularity_and_sensitivity_to_small_perturbations_of_external_forcing/link/55b4fb7a08ae092e96558138/download
- Esa eduspace. (2014). (European Space Agency) Recuperado el Octubre de 2019, de http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/SEMO1U3FEXF_0.html
- Enegi. (2010). *Aspectos técnicos de las imágenes landsat*. Dirección general de geografía y medio ambiente. Retrieved from https://www.inegi.org.mx/temas/imagenes/imgLANDSAT/doc/Aspectos_tecnicos_landsat.pdf
- Ettxeberria, J. (1999). *Coeficiente de correlación lineal de pearson*. Esperides, Salamanca. Retrieved from <https://personal.us.es/vararey/adatos2/correlacion.pdf>
- Fernandez, I. A. (2011). *Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ satélite Landsat*. Valladolid: Universidad de Valladolid, Departamento de Ingeniería Agrícola. Retrieved from. https://www.academia.edu/6708074/An%C3%A1lisis_Visual_de_Im%C3%A1genes_Obttenidas_del_Sensor_ETM_Sat%C3%A9lite_Landsat
- Fernando Aragón-Durand (México), J. C.-M. (2014). *Urban Areas*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Franzosi, C. (2010). *Aplicaciones del sensor Landsat*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- Gardey, J. P. (2015). *Definición de ambiente natural*. Colombia.
- Hernandez, M. A. (2019). *Detección remota de proliferaciones algales de Baja California Sur, Mexico*. La Paz, Baja California: Centro de investigaciones biológicas del noreste S.C. Retrieved from. <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/2931>
- Hernandez, R. J. (2018). *Estimación de parámetros ambientales a partir de imágenes satelitales Landsat 8 y mediciones in situ, en Bahía de la Paz*. La Paz, Baja California: Centro de investigaciones biológicas del noreste. Retrieved from.

- <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/2734>
- Herrera, H. (13 de Diciembre de 2016). Vienen efectos severos por el cambio climático en todo el Meta. *EL TIEMPO*, pág. 3. Retrieved from. <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/cambio-climatico-en-el-meta-35485>
- Ianas. (2012). *Cambio climáticos. evidencia, impactos y opiniones*. Consejo Nacional de Investigación de las Academias Nacionales.
- Imarpe, I. d. (2013). *Instituto del mar del peru - imarpe*. Recuperado el Octubre de 2019, de http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index.php?id_seccion=I017003030000000000000000
- J., P., & Perlaza, C. (2006). *Teledeteccion y estudio de la vegetacion*. Obtenido de http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad2/td_ndvi.htm
- Jamei, E., & Tapper, N. (2019). *WSUD and Urban Heat Island Effect Mitigation*. [s.l.]. Elsevier Inc.
- Castillo, G. A. (2013). *Pérdida de la cobertura vegetal y de oxígeno en la media montaña del trópico andino, caso cuenca urbana san luis (manizales)*. Manizales: Universidad de Caldas.
- Kala J., D. K.-P.-K. (2016). *Impact of the representation of stomatal conductance on model projections of heatwave intensity*. Scientific Reports.
- Maciel, M. H. (2016). *Cambio de cobertura vegetal en la región*. Guadalajara: Centro de Estudios Meteorológicos de la Costa CEMCO, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. .
- Manrique, C. R. (2016). *Oleadas de calor y el efecto de la vegetación en Yucatán*. Yucatan, Mexico: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
- Mayorga, R. (2011). *EVIDENCIAS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA CON BASE EN INFORMACIÓN ESTADÍSTICA*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.
- Mundial, B. (2018). Recuperado el 22 de Noviembre de 2019 <https://www.bancomundial.org/>
- Nacional, C. P. (2019). *Marco normativo ambiental*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/marconormativoambiental/colombia>
- NOAA. (2019). *Global Climate Report - Annual 2019*. National Center for Environmental Information.
- Olarte, C. B. (2015). *La morfología urbana y su relación con el uso estancial del espacio público*

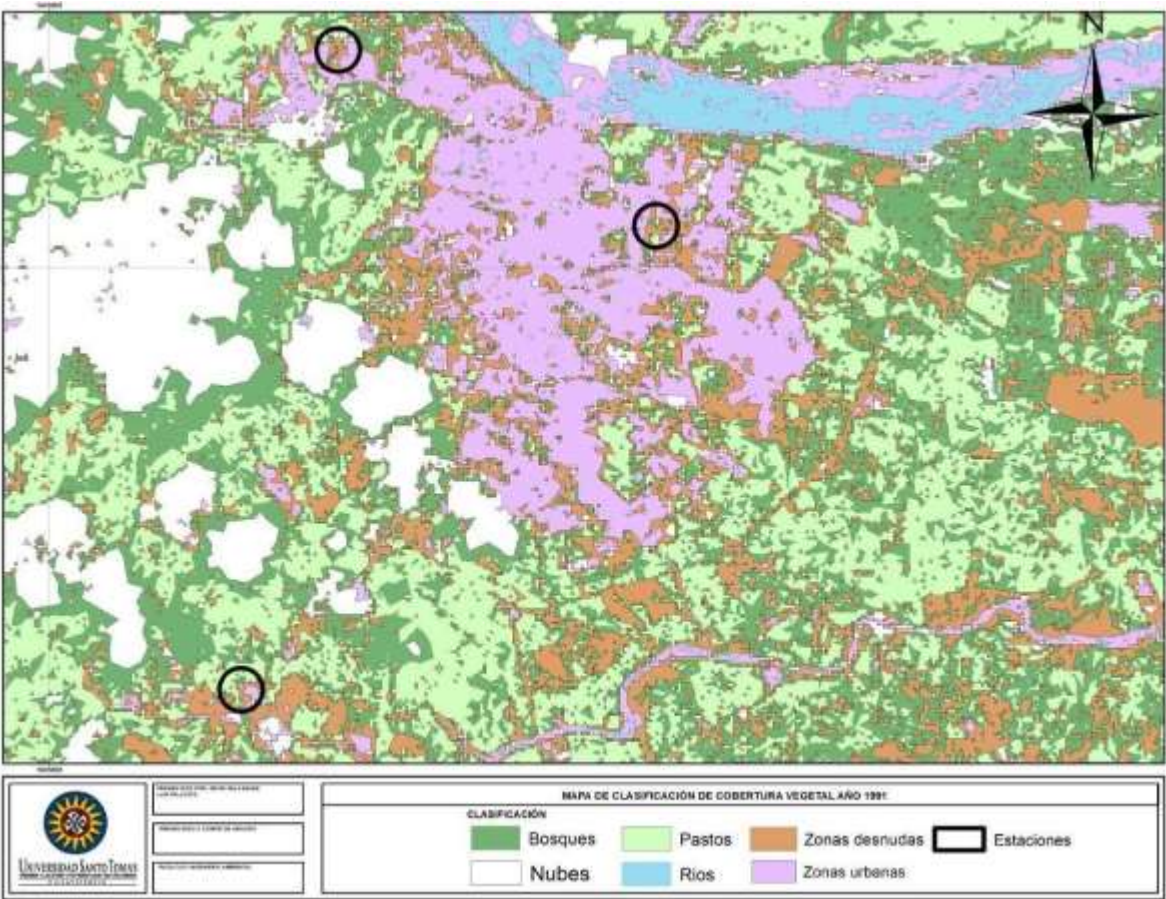
- abierto en territorios con vientos fuertes y climas fríos.* Punta Arenas, Chile: Universidad politécnica de Madrid.
- PCE Inst. Iberica. (2013). Recuperado el Octubre de 2019, de <https://www.pceiberica.es/medidor-detalles-tecnicos/que-estacion-meteorologica.htm>
- Romero, F. S. (2006). *La Teledetección satelital y los sistemas de protección.* Bogotá: Universidad Sergio Arboleda Bogotá.
- Salinas, W. E., & Treviño, E. J. (2001). *Impacto de la deforestación en el microclima en la subcuenta del río Corono.* México: Investigaciones geográficas.
- Silva, B. A., Xavier, T. C., & Alvarez, C. E. (2015). *A influência da vegetação no conforto térmico para a condição microclimática de Vitória (ES).* Cidades Verdes.
- Torre, J. M. (1999). *La vegetación como instrumento para el control microclimático.* Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya.
- UM geograf. (26 de febrero de 2000). Recuperado el octubre de 2019, de <https://www.um.es/geograf/clima/tema01.html>
- Unidas, N. (AGOSTO de 2018). *Banco Mundial.* Recuperado el 22 de noviembre de 2019, de <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS>
- Vasquez, M. (14 de Mayo de 2014). *Región de la Orinoquia - Suelos de la Orinoquia.* Obtenido de <https://es.slideshare.net/monicav93/region-de-la-orinoquia>
- Vera, K. L. (2015). *Implementación de vegetación para el confort térmico y la eficiencia energética, en la vivienda social de cali.* cali, colombia: universidad icesi facultad de ingeniería .
- Villavicencio, A. M. (9 de Septiembre de 2020). *Alcaldía de Villavicencio - Meta.* Obtenido de <http://www.villavicencio.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>

Anexos

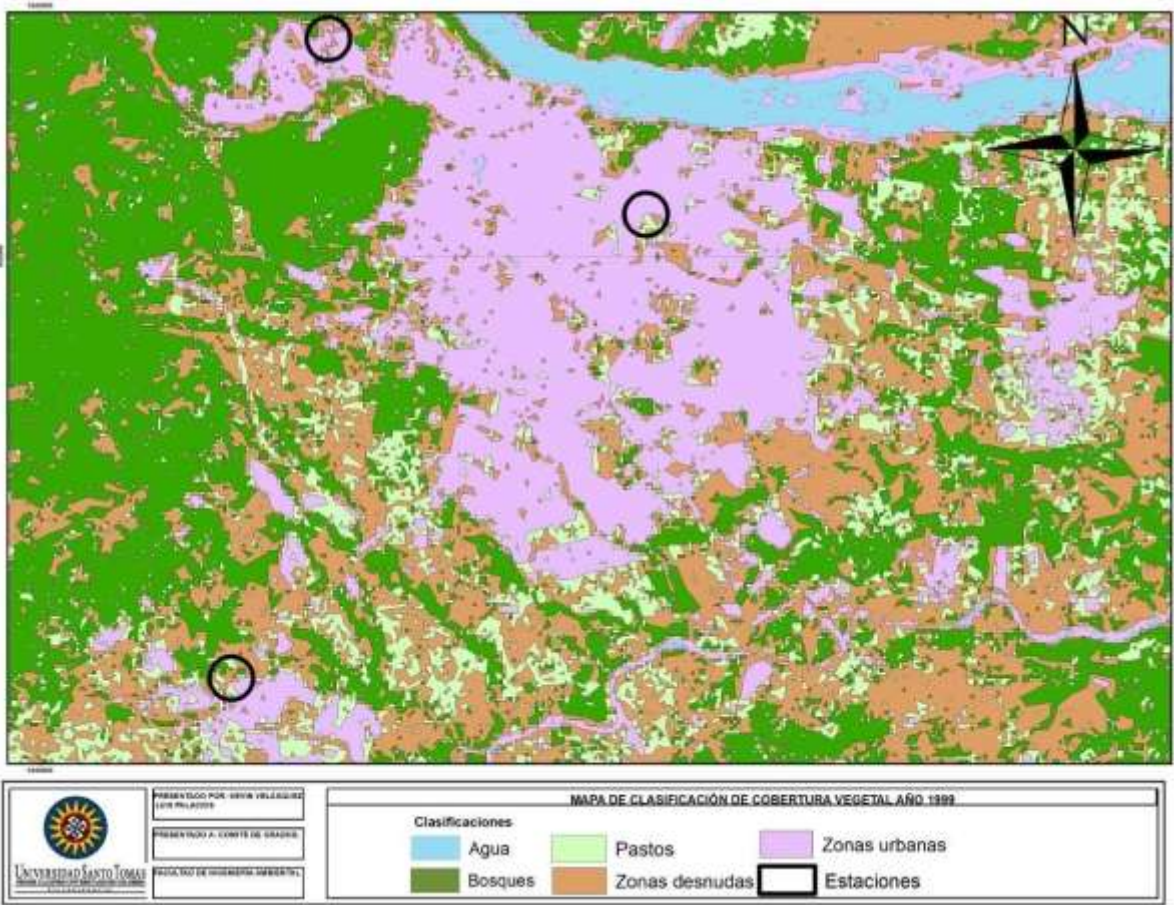
Anexo 1. Esquema metodológico para el análisis de la cobertura vegetal en tres zonas urbanas de Villavicencio.



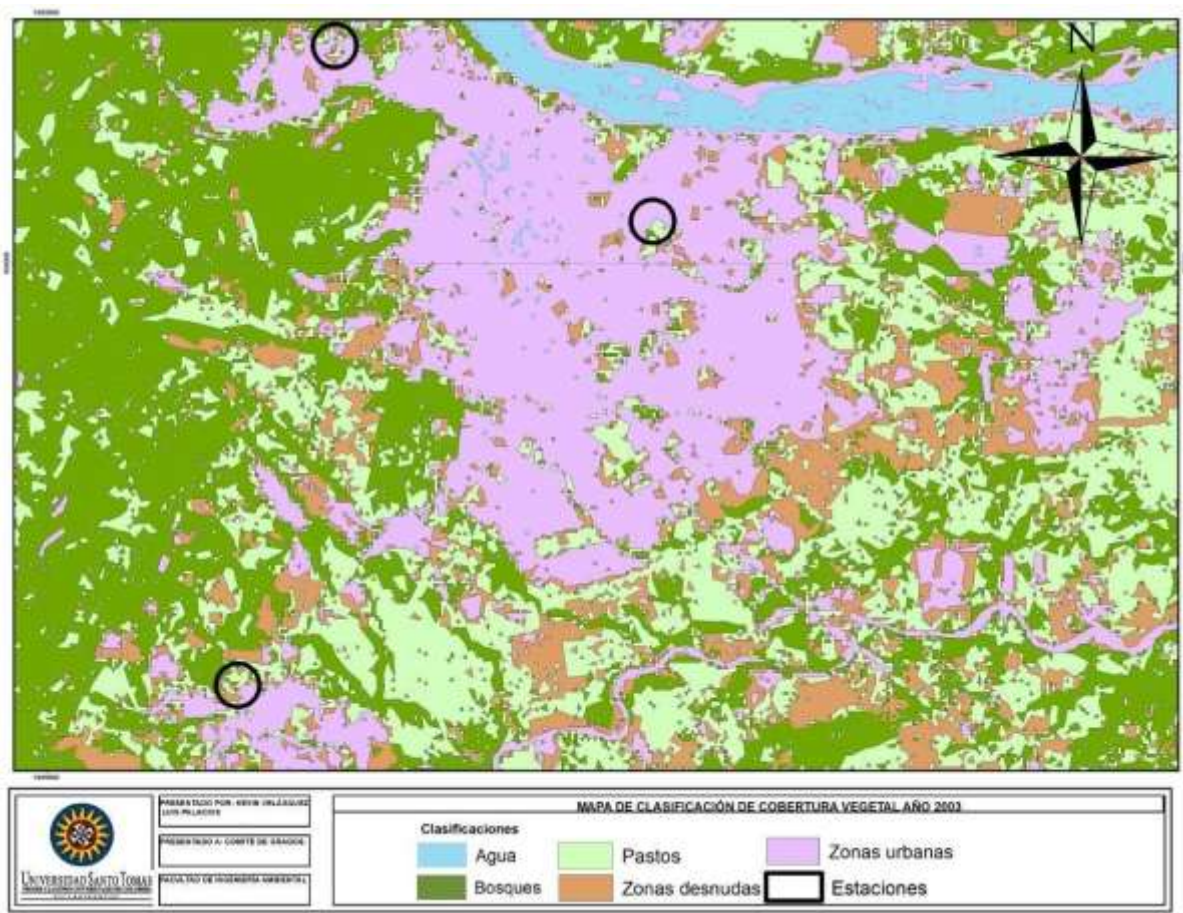
Anexo 2 Mapa del uso de la cobertura vegetal del año 1991 en el municipio de Villavicencio Meta.



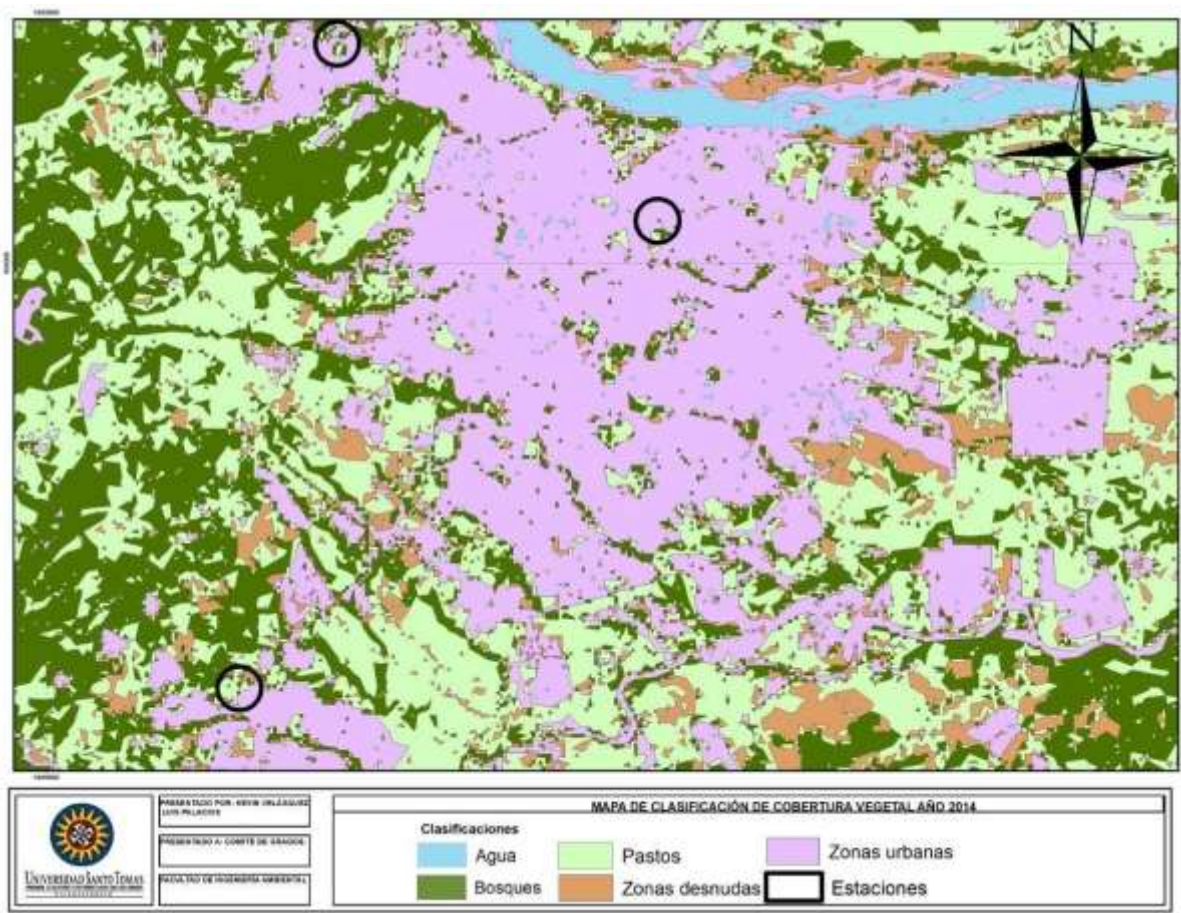
Anexo 3. Mapa del uso de la cobertura vegetal del año 1999 en el municipio de Villavicencio Meta.



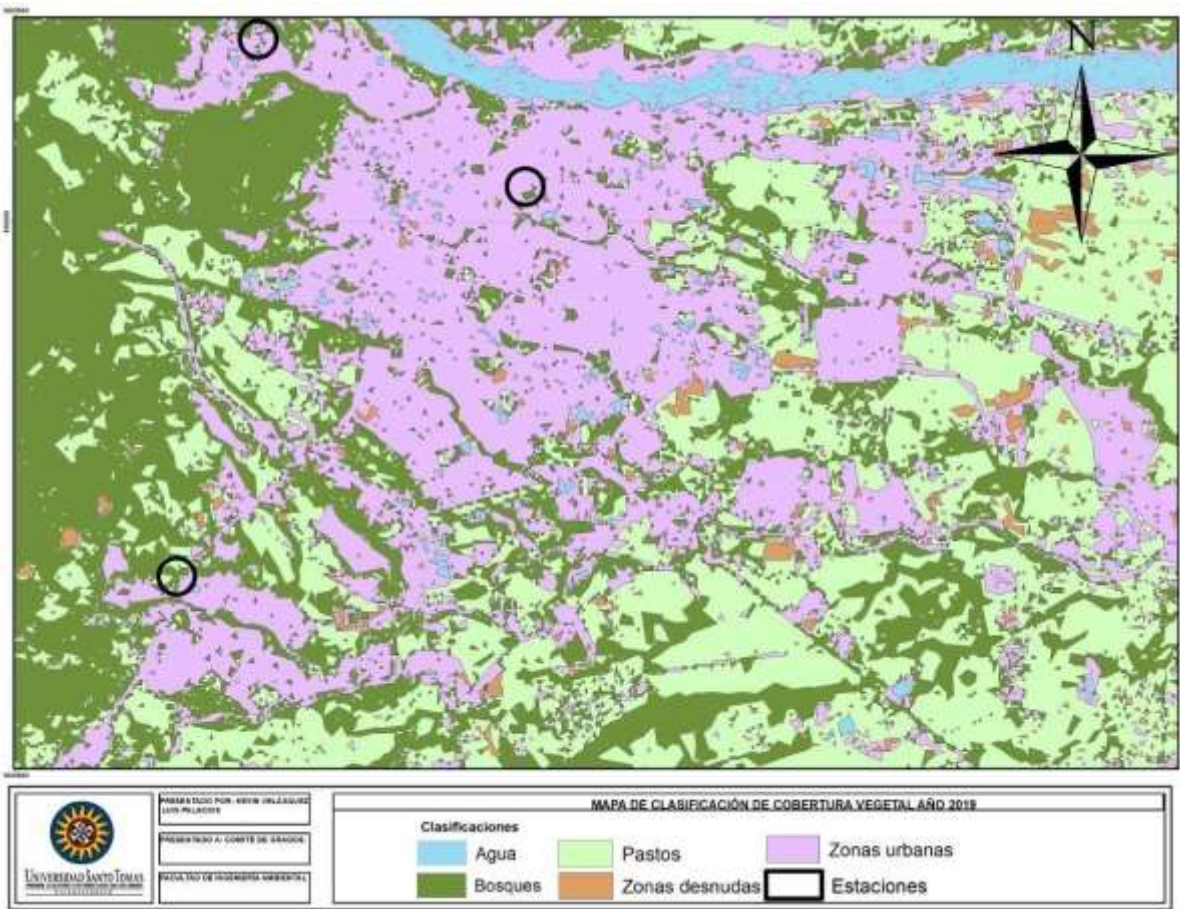
Anexo 4 Mapa del uso de la cobertura vegetal del año 2003 en el municipio de Villavicencio Meta.



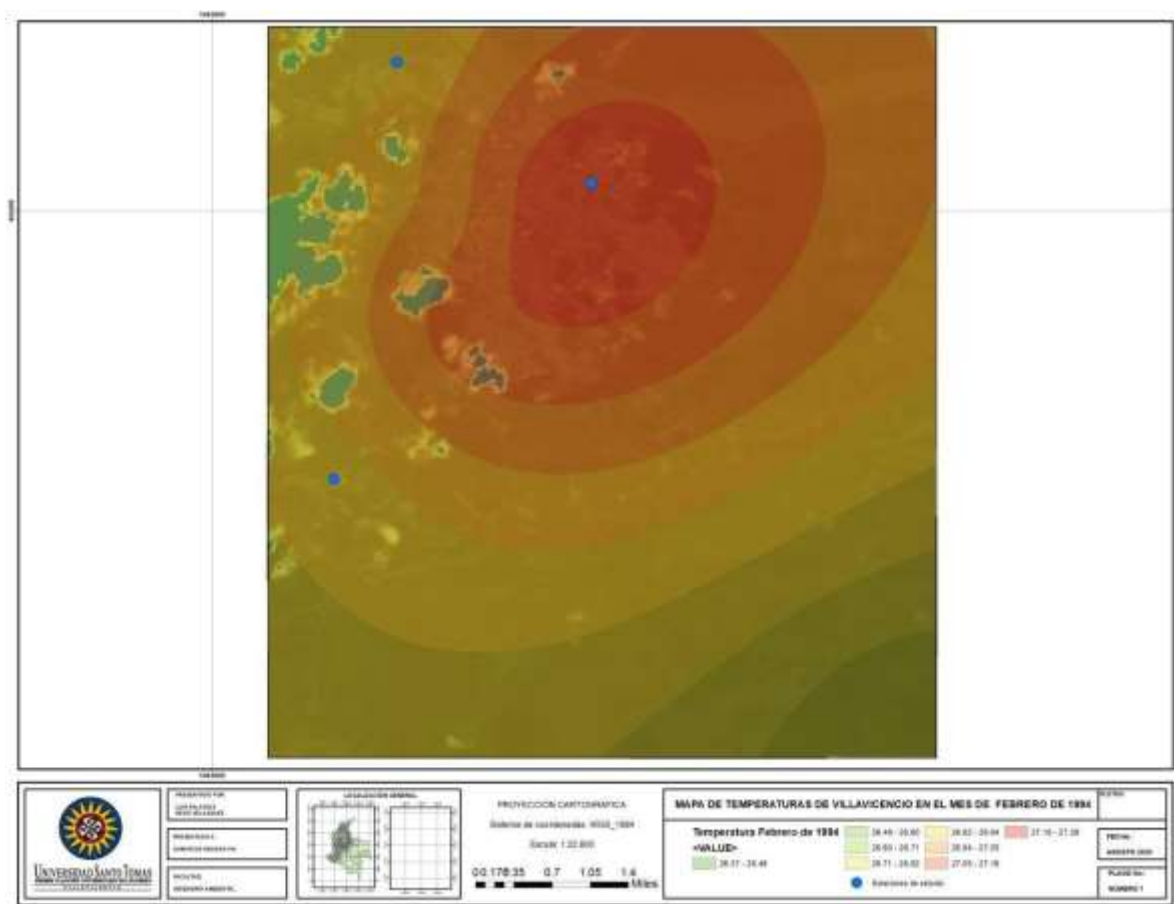
Anexo 5 Mapa del uso de la cobertura vegetal del año 2014 en el municipio de Villavicencio Meta.

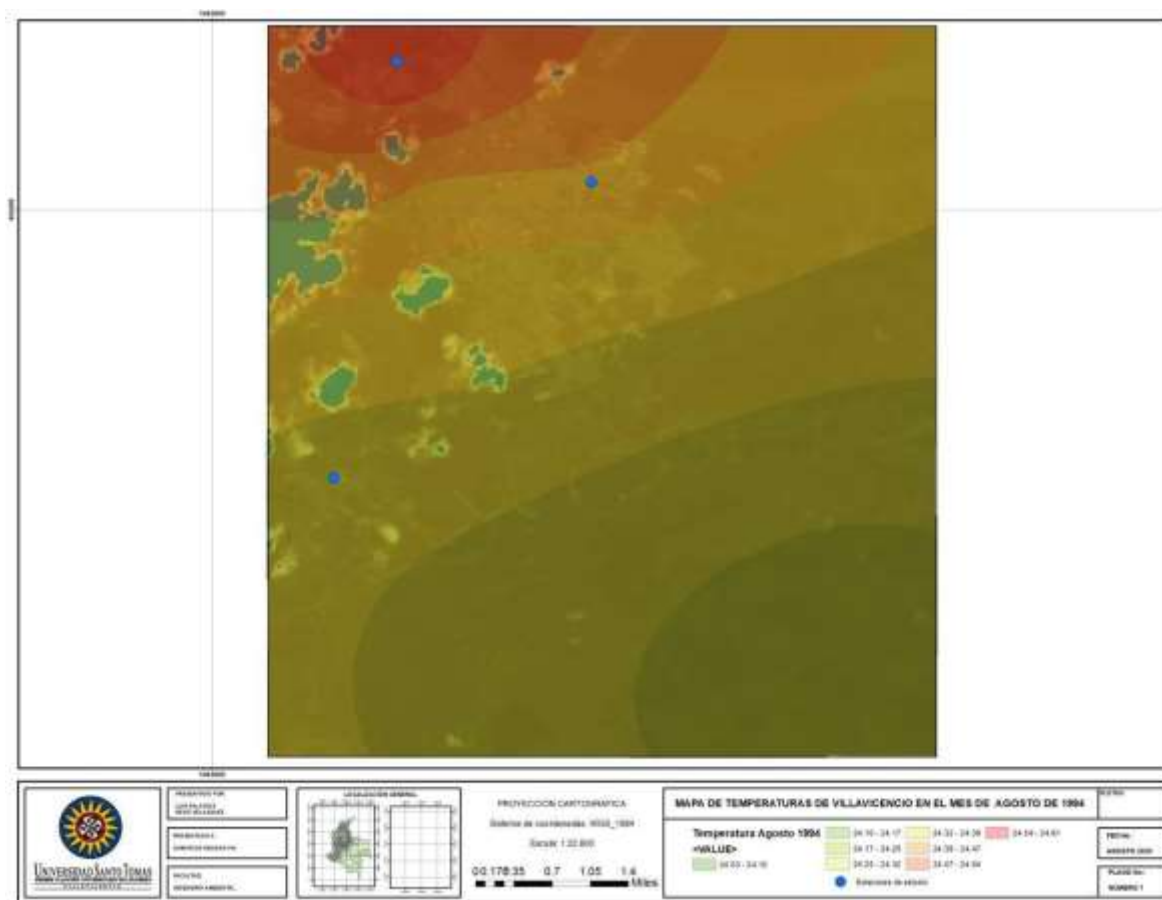


Anexo 6 Mapa del uso de la cobertura vegetal del año 2019 en el municipio de Villavicencio Meta.

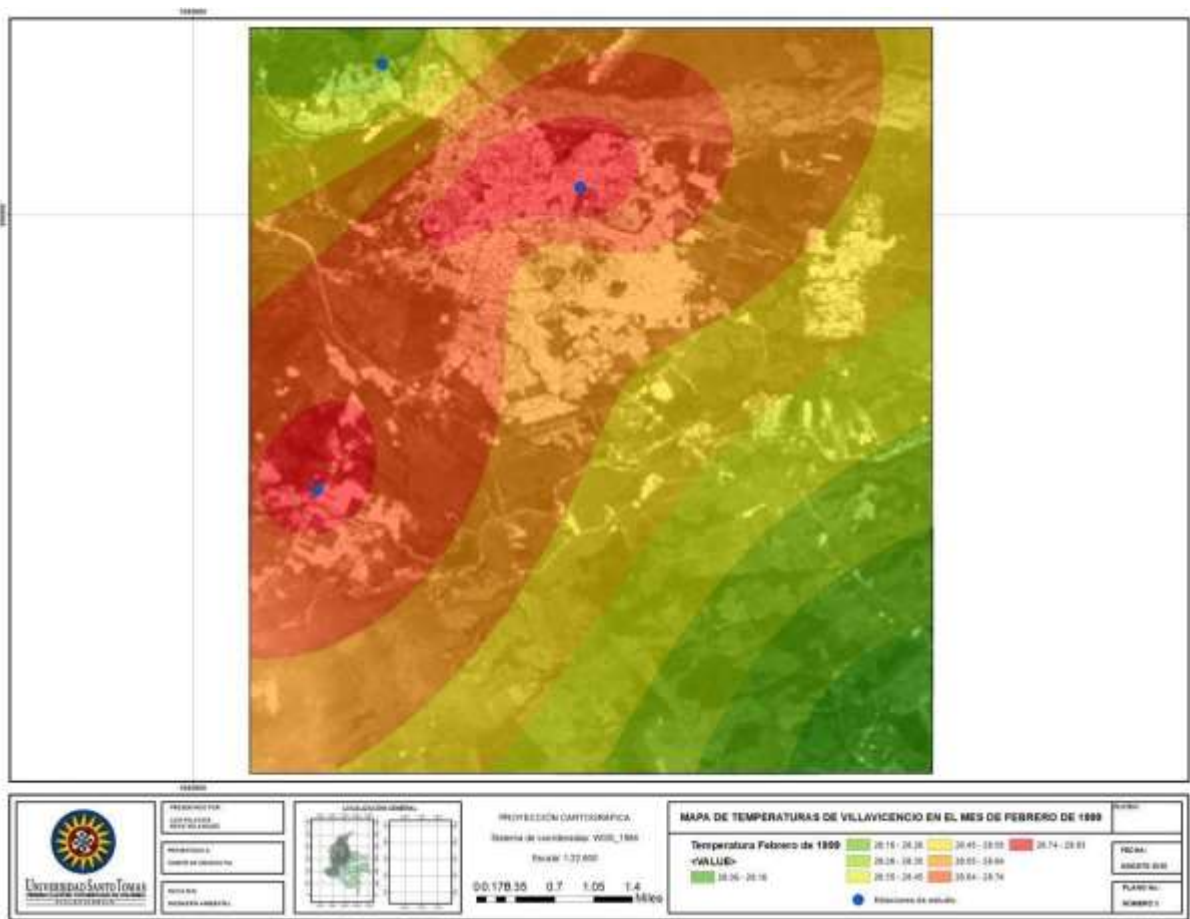


Anexo 7 Mapa de Temperaturas del mes de Febrero del año 1991 correspondiente a la temporada seca.

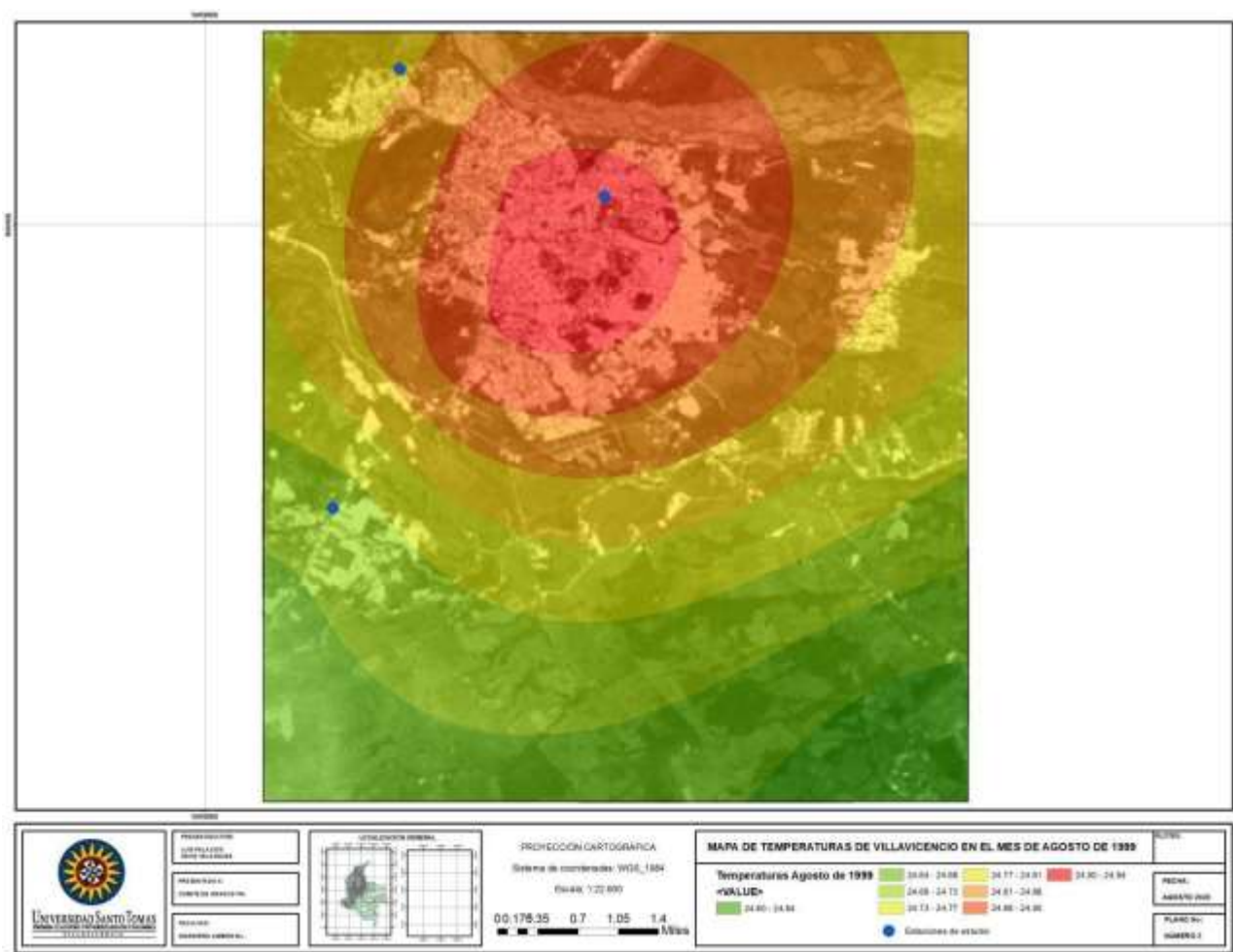




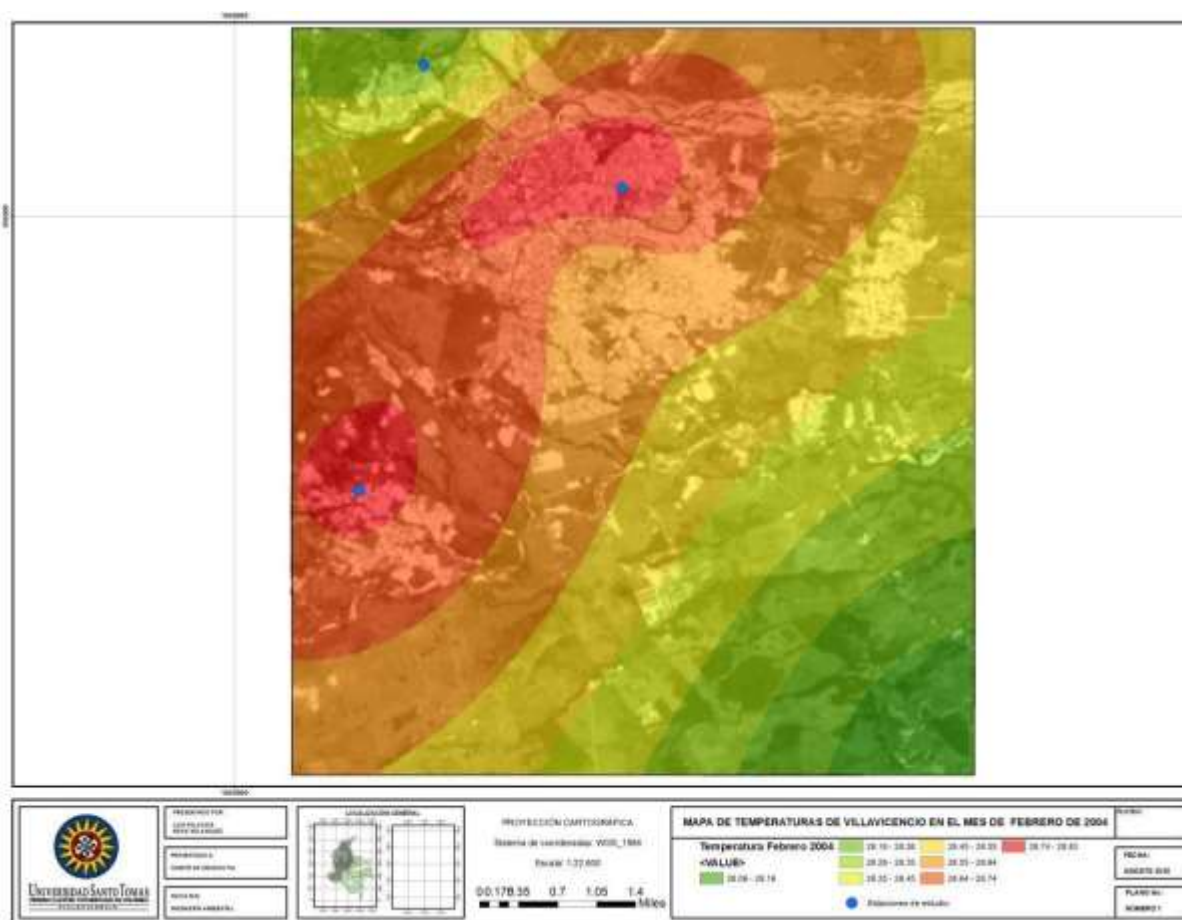
Anexo 9 Mapa de Temperaturas del mes de Febrero del año 1999 correspondiente a la temporada seca.



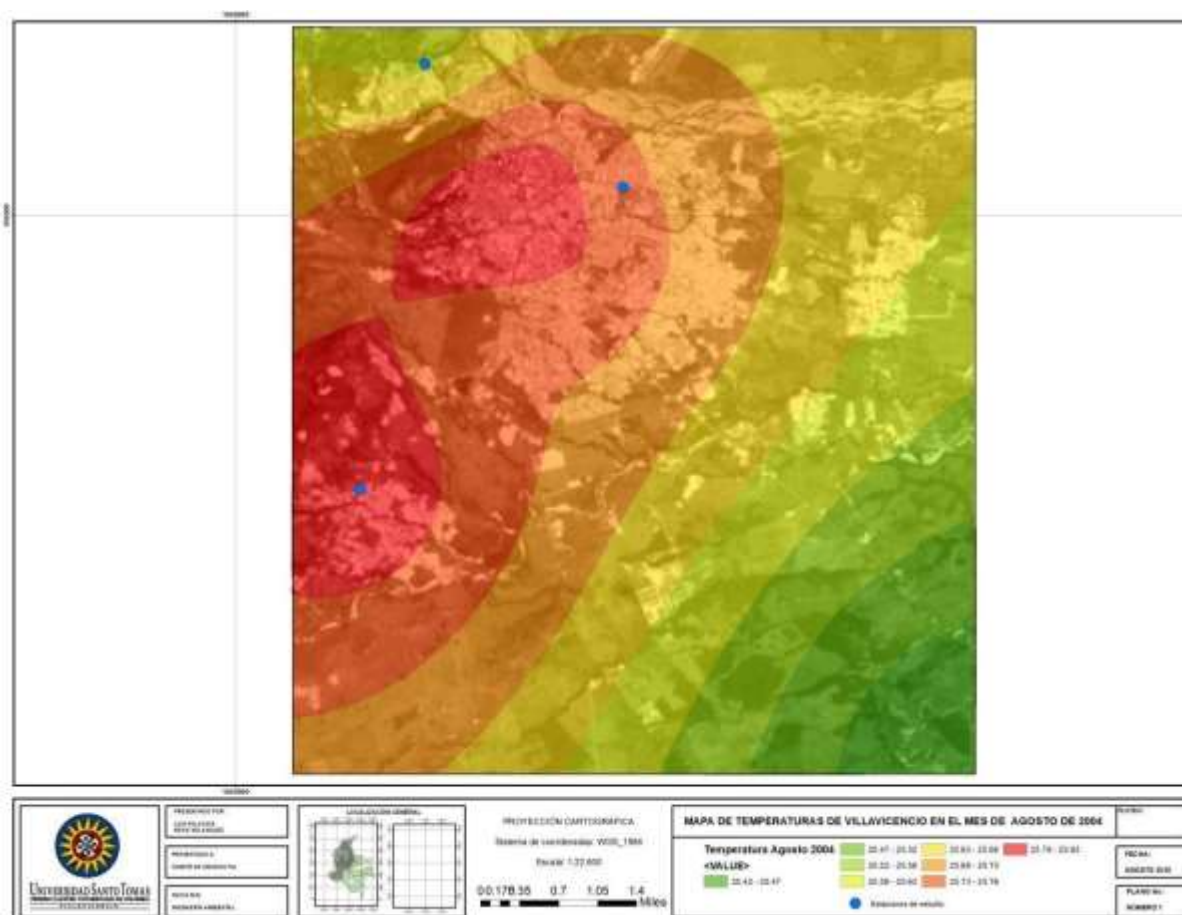
Anexo 10 Mapa de Temperaturas del mes de Agosto del año 1999 correspondiente a la temporada de lluvias.



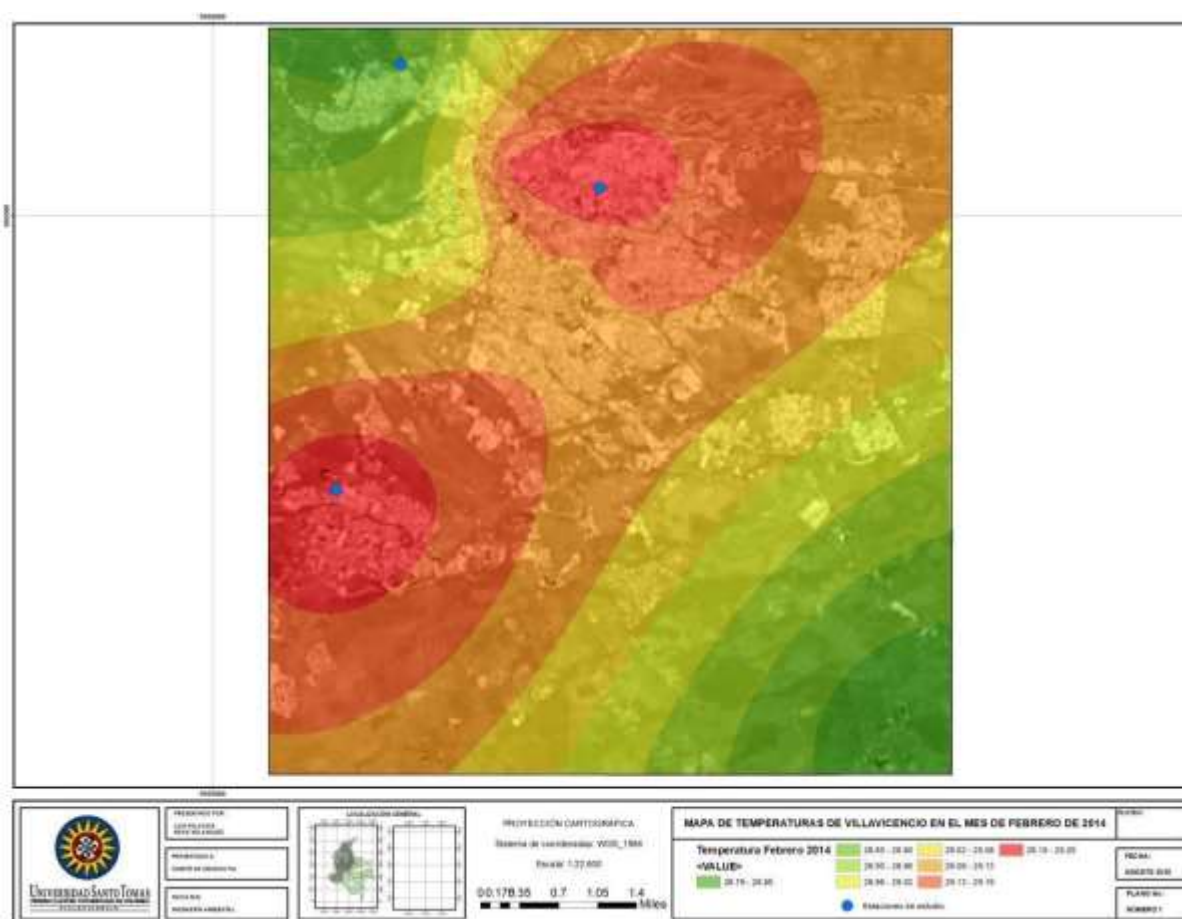
Anexo 11 Mapa de Temperaturas del mes de Febrero del año 2003 correspondiente a la temporada seca.



Anexo 12 Mapa de Temperaturas del mes de Agosto del año 2003 correspondiente a la temporada de lluvias.



Anexo 13 Mapa de Temperaturas del mes de Febrero del año 2014 correspondiente a la temporada seca.



MAPA DE TEMPERATURAS DE VILLAVICENCIO EN EL MES DE AGOSTO DE 2014

Temperaturas Agosto 2014

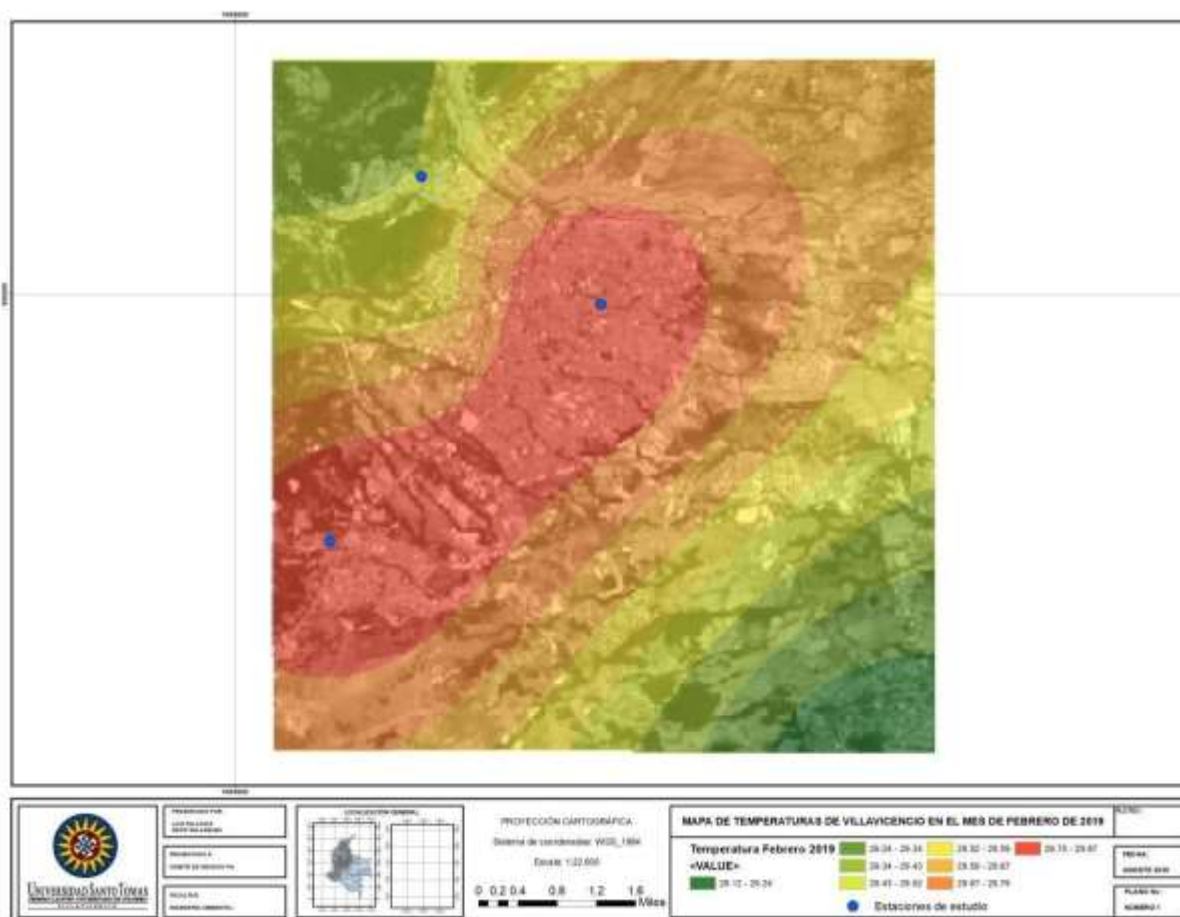
Temperatura (°C)	Color
22.00 - 23.15	Verde
23.15 - 23.21	Verde claro
23.21 - 23.31	Verde medio
23.31 - 23.48	Verde oscuro
23.48 - 23.58	Amarillo
23.58 - 23.68	Naranja
23.68 - 23.78	Rojo

● Puntos de medición

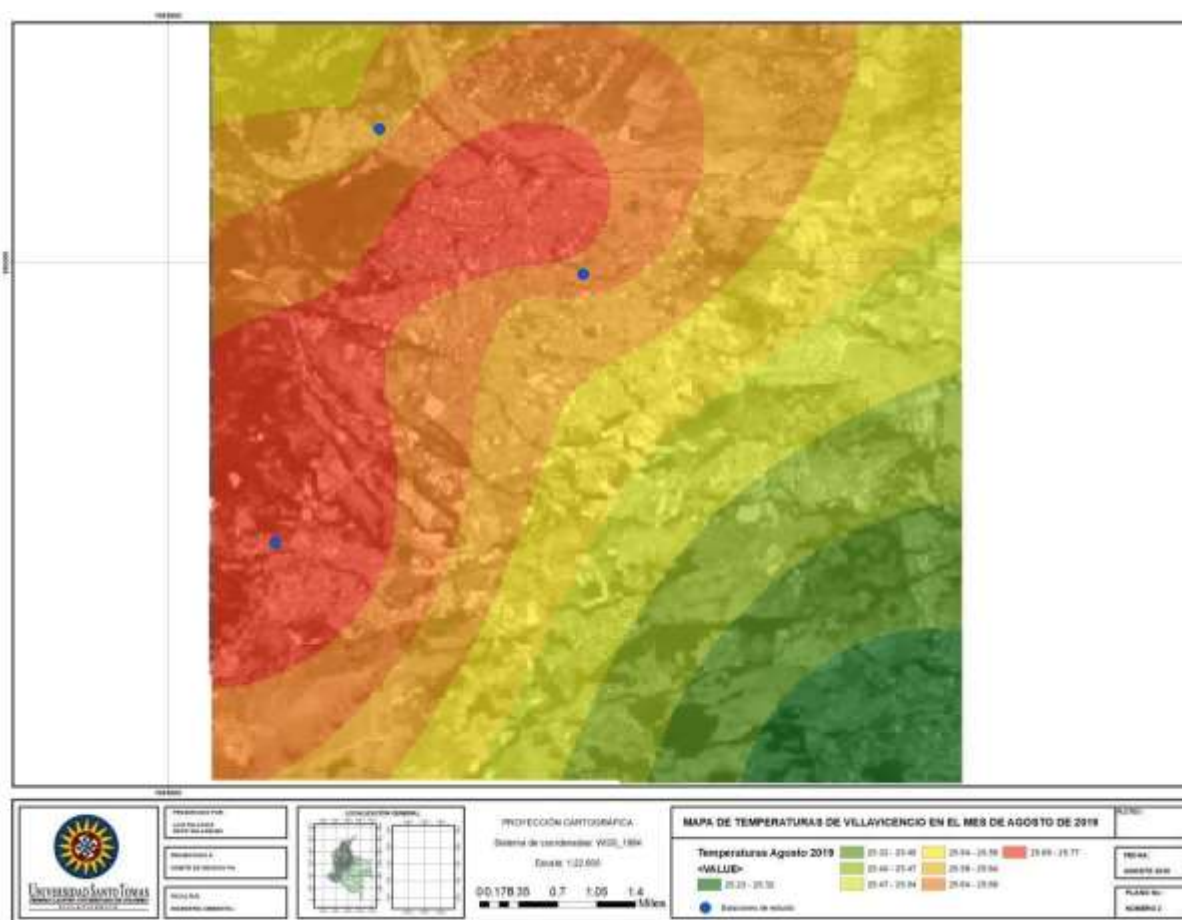
0 0.7 1.05 1.4 Kilómetros

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

Anexo 15 Mapa de Temperaturas del mes de Febrero del año 2019 correspondiente a la temporada seca.



Anexo 16 Mapa de Temperaturas del mes de Agosto del año 2019 correspondiente a la temporada de lluvias.



Anexo 17 Imagen satelital del año 2009 con defectos por parte del satélite LANDSAT