

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
COMISIÓN DE TRABAJO DE GRADO**



**EVALUACIÓN DEL EFECTO ISLA DE CALOR EN LOS ESPACIOS
URBANOS DE LA CIUDAD DE CANTAURA, MUNICIPIO FREITES,
ESTADO ANZOÁTEGUI.**

Realizado por:

Serrano R., Meryvic D.

Gallo C., Alexandra Del V.

**Trabajo de Grado Presentado ante la Universidad de Oriente como
requisito para Optar al Título de:**

INGENIERO CIVIL

Cantaura, Marzo de 2020

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
COMISIÓN DE TRABAJO DE GRADO**



**EVALUACIÓN DEL EFECTO ISLA DE CALOR EN LOS ESPACIOS
URBANOS DE LA CIUDAD DE CANTAURA, MUNICIPIO FREITES,
ESTADO ANZOÁTEGUI.**

Revisado por:

**Prof. Laurimar Rojas
Tutor Académico**

Cantaura, Marzo de 2020

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
COMISIÓN DE TRABAJO DE GRADO**



**EVALUACIÓN DEL EFECTO ISLA DE CALOR EN LOS ESPACIOS
URBANOS DE LA CIUDAD DE CANTAURA, MUNICIPIO FREITES,
ESTADO ANZOÁTEGUI.**

Jurado Calificador

El jurado hace constar que asignó a esta tesis la calificación de:

APROBADO

Prof. Laurimar Rojas

Asesor Académico

Prof. Jhonatan Martínez

Jurado Principal

Prof. Elys Rondón

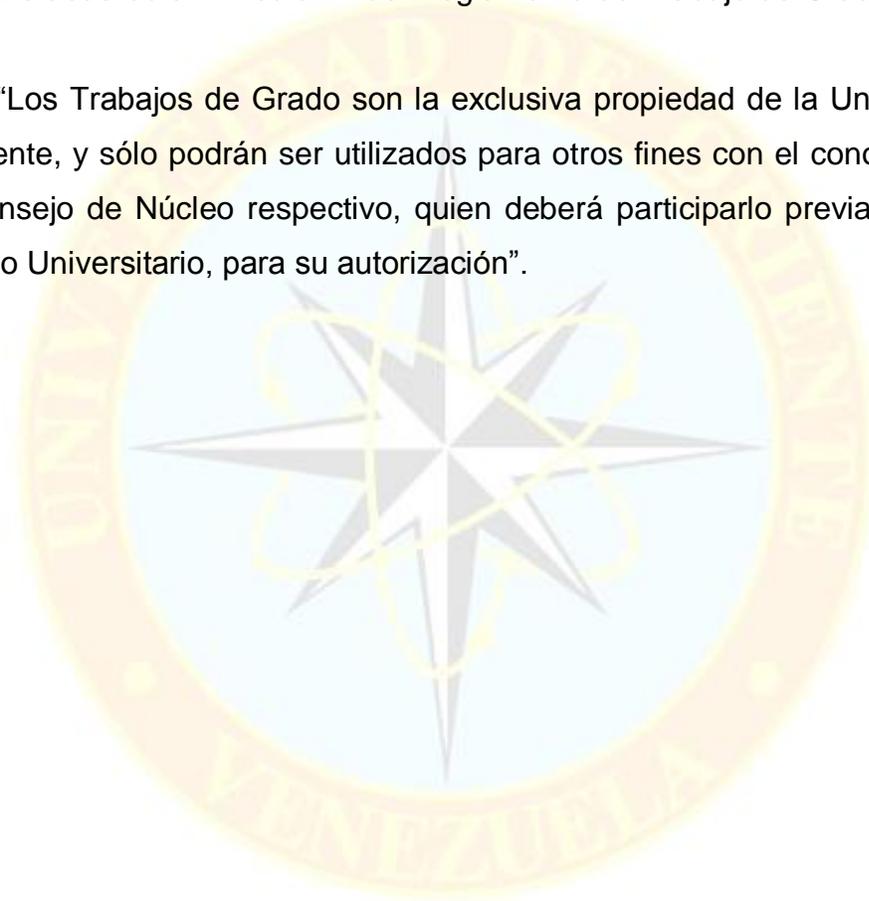
Jurado Principal

Cantaura, Marzo de 2020

RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Los Trabajos de Grado son la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el conocimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización”.



DEDICATORIA

Dedico este resultado de esfuerzo y dedicación a Dios principalmente, por siempre darme las respuestas correctas en el momento indicado, por ser mi guía durante la realización de este proyecto, por llenarme de fe, paciencia y esperanza.

A mis padres, Lennis Castro y Ángel Gallo, por ser los pilares fundamentales en mi vida, por apoyarme e impulsarme siempre a dar lo mejor de mí, por orientarme hacia mi crecimiento tanto personal como profesional y por inculcarme que todo esfuerzo lleva consigo una gran recompensa. A mi hermana Angie Gallo, que aun estando distante siempre ha estado presente, escuchándome y brindándome apoyo incondicional y fortaleza.

A Osmalys Castro y Amanda Castro, por ser un apoyo y grandes ejemplos en mi vida, por darme palabras de aliento en momentos de impaciencia y vulnerabilidad.

Alexandra Del Valle Gallo Castro

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios, a mis padres y hermanos, quienes han sido pilares fundamentales de mi vida, por siempre acompañarme en cada paso que doy, cuidándome y dándome la fortaleza necesaria para continuar y conseguir mis objetivos, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento de mis capacidades. Mis principios, valores y perseverancia se ven reflejados en este trabajo de grado, gracias a ustedes.

Meryvic Daniela Serrano Rodríguez

AGRADECIMIENTOS

Todo aquel que persigue una meta sabe que los caminos difíciles nos conducen hacia caminos brillantes, por esta razón quiero agradecer a Dios, por darme la fuerza necesaria y por ser la luz guía cuando en ocasiones el camino se tornaba largo y oscuro. A la Universidad de Oriente, extensión Cantaura, por abrirme sus puertas para formarme profesionalmente dentro de sus instalaciones.

A mis padres, por confiar en mí, por darme todo el apoyo necesario, por darme palabras de aliento cuando sentí caer, por enseñarme el valor de la resiliencia. A mis hermanos, por impulsarme a seguir adelante, por ser fundamentales en mi vida y en cada paso que he dado.

A mi gordo, Gustavo López por ser mi compañero, mi apoyo incondicional en las buenas y en las malas, por querer que dé siempre lo mejor de mí y sobresalga en cada cosa que haga.

A la profesora Laurimar Rojas, por ser nuestra tutora y por ser parte esencial en el desarrollo de esta investigación. A los profesores Elys Rondón y Jhonatan Martínez, quienes representan al jurado de este trabajo de investigación.

A mis amigos, Víctor Ramírez, Meryvic Serrano y Eugenia Alfaro por estar conmigo durante este recorrido desde principio a fin, por las infinitas horas de estudio y las más divertidas aventuras que hicieron el camino más ligero.

Alexandra Del Valle Gallo Castro

AGRADECIMIENTOS

Primeramente le doy gracias a Dios por permitirme vivir las mejores experiencias dentro de esta etapa universitaria y así convertirme en un profesional de lo que tanto anhelaba. A la Universidad de Oriente, extensión Cantaura, gracias a cada docente quienes con su apoyo y enseñanzas constituyen las bases fundamentales de lo que será mi vida profesional.

Mi gratitud, a la profesora Laurimar Rojas, quien nos ha acompañado y guiado en todo el transcurso de esta investigación, así como los profesores Elys Rondón y JhonatanMartinezpor brindarnos sus conocimientos y apoyo para la realización de este proyecto.

A mis padres, que con su esfuerzo y amor me han apoyado y motivado durante mi formación académica. A mis hermanos, por su gran apoyo incondicional y por creer en mí todo momento.

A mi hijo Alonso, quien se ha encargado de enseñarme con su afecto como superar todas las adversidades que se presentan, fuiste mi motivación más grande para concluir con éxito este proyecto de tesis. A mi compañero de vida Mauricio, que con sus consejos y confianza me recuerda que todo lo que deseo lo puedo lograr fácilmente, porque puedo y lo merezco.

A los amigos que me dejo esta universidad, Alexandra, Víctor y Eugenia, por siempre estar presente en esas largas noches de estudios y de risas. A mi compañera Asmirian por siempre brindarme su ayuda sin dudarlo.

Meryvic Daniela Serrano Rodríguez

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN DEL EFECTO ISLA DE CALOR EN LOS
ESPACIOS URBANOS DE LA CIUDAD DE CANTAURA,
MUNICIPIO FREITES, ESTADO ANZOÁTEGUI.**

Autores: Gallo Alexandra
Meryvic Serrano

Tutor académico: Prof. RojasLaurimar

Año: 2019

RESUMEN

El propósito de esta investigación es la evaluación del efecto isla de calor en los espacios urbanos de la ciudad de Cantaura, Municipio Freites, Estado Anzoátegui, para dar a conocer la frecuencia y formación de cúpulas o domos de calor sobre los espacios urbanos, como consecuencia de la alteración del balance radiativo superficial, por tal motivo, se buscó, además de describir y realizar isotermas para una mejor comprensión de este efecto, proponer estrategias para su prevención y mitigación. Todo esto enmarcado en una investigación de tipo documental, apoyada en un diseño descriptivo. Para su desarrollo, se empleó el uso de imágenes satelitales extraídas a través del Sensor Satelital WeatherSpark; así mismo se utilizó ArcGis 10.5 para el diseño de las isotermas correspondientes. Con los resultados obtenidos, se determinó que a mayor superficie construida, mayor es entonces la alteración de los parámetros climáticos que contribuyen a regular el clima local, además, se visualizaron los sectores más críticos y menos críticos para la implementación de estrategias de mitigación.

Palabras clave: evaluación, islas de calor urbano, espacios urbanos, mitigación, efecto.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vii
RESUMEN	ix
ÍNDICE GENERAL.....	¡Error! Marcador no definido.
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN	15vx
CAPÍTULO I	17
EL PROBLEMA.....	17
1.1. Planteamiento del problema	17
1.2. Objetivos.....	21
1.2.1 Objetivo General.....	21
1.2.2 Objetivos Específicos	21
1.3. Justificación	22
1.4. Alcance de la investigación.....	22
1.5. Descripción del sitio de estudio	23
CAPÍTULO II	24
MARCO TEÓRICO	24
2.1. Antecedentes.....	24
2.2. Bases Teóricas Referenciales	27

2.2.1. El clima urbano	27
2.2.2. Condiciones climáticas.....	28
2.2.3. Generación de la Isla de Calor Urbana (ICU).....	30
2.2.4. Análisis espacio-temporal del fenómeno Isla de Calor Urbana.....	32
2.2.5. Impacto del fenómeno Isla de Calor Urbano (ICU) en la ciudad y su asociación con infraestructuras y elementos del espacio urbano.....	33
2.2.6. Mitigación del efecto de la isla de calor urbano.....	36
CAPÍTULO III	39
MARCO METODOLOGICO	39
3.1.- Tipo de Investigación.....	39
3.2.- Nivel de Investigación.....	39
3.3.- Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	40
3.3.1.- Revisión Documental	40
3.3.2.- Herramientas y Equipos	40
3.4.- Procedimiento Metodológico	41
CAPÍTULO IV.....	44
ANALISIS Y RESULTADOS	44
4.1. Identificar las condiciones climáticas que caracterizan el efecto de la isla de calor en los espacios urbanos de la ciudad de Cantaura, Municipio Freites, Estado Anzoátegui.....	44
4.2. Describir la dinámica espacio-temporal del efecto isla de calor en los espacios urbanos de la ciudad de Cantaura, Municipio Freites, Estado Anzoátegui.....	54

4.3. Realizar Isotermas aplicando ArcGis 10.5 para la comprensión del impacto del efecto isla de calor en la ciudad y su asociación con infraestructuras y elementos del espacio urbano.....	64
4.4. Proponer estrategias de mitigación del problema en los sectores críticos identificados, así como estrategias de prevención para evitar la intensificación del fenómeno en las áreas menos afectadas.	81
4.4.1. Conservación de espacios naturales, reforestación de taludes, rescate y arborización en espacios remanentes de vialidad.	82
4.4.2. Plantación estratégica de árboles	83
4.4.3. Techos verdes (green roof), corredores verdes, fachadas verdes.	83
4.4.4. Techos reflectivos (cool roof).	86
CAPÍTULO V.....	87
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
5.1. Conclusiones	87
5.2. Recomendaciones	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
MANUAL INSTRUCTIVO PARA EL MANEJO DEL “SOFTWARE” ArcGIS 10.5.....	96

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Espacio ocupacional de la tierra en la ciudad de Cantaura.	46
Tabla 2. Condiciones Climáticas de la ciudad en los meses de Enero, Febrero y Marzo.....	55
Tabla 3. Condiciones Climáticas de la ciudad en los meses de Abril, Mayo y Junio.	56
Tabla 4. Condiciones Climáticas de la ciudad en los meses de Julio, Agosto y Septiembre.....	57
Tabla 5. Condiciones Climáticas de la ciudad en los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre.....	58
Tabla 6. Cantaura: Evolución de la superficie construida y la densidad poblacional.....	60
Tabla 7. Descripción detallada de los sectores enumerados.	62
Tabla 8. Sectores de la ciudad de acuerdo a la ocupación del suelo.	63
Tabla 9. Comparativo de densidad	70
Tabla 10. Datos para la formación de isotermas trimestre Enero-Marzo	72
Tabla 11. Datos para la formación de isotermas trimestre Abril-Junio.....	73
Tabla 12. Datos para la formación de isotermas trimestre Julio-Septiembre.....	75
Tabla 13. Datos para la formación de isotermas trimestre Octubre-Diciembre.	76
Tabla 14. Valores promedios de temperatura superficial observada para algunas superficies urbanas.	80
Tabla 15. Beneficios de los tipos de techo verde.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización Área de Estudio.....	23
Figura 2. Esquema de variables controlables y no controlables en la generación de la isla de calor urbano.	31
Figura 3. Tipos de clima diurno.....	45
Figura 4. Temperatura máxima y mínima promedio	47
Figura 5. Categorías de nubosidad.....	48
Figura 6. Precipitación de lluvia mensual promedio	49
Figura 7. Niveles de comodidad de la humedad	50
Figura 8. Velocidad promedio del viento	51
Figura 9. Horas de luz natural y crepúsculo.....	52
Figura 10. Mapa sectorial de Cantaura	62
Figura 11. Mapa sectorial de Cantaura dividido por zonas.	65
Figura 12. Ficha resumen de la Zona 1.	66
Figura 13. Ficha resumen de la zona 2.....	67
Figura 14. Ficha resumen de la zona 3.....	68
Figura 15. Ficha resumen de la zona 4.....	69
Figura 16. Ficha resumen de la zona 5.....	70
Figura 17. Mapa de temperatura.....	71
Figura 18. Isotherma trimestre Enero-Marzo.	73
Figura 19. Isotherma trimestre Abril-Junio.	74
Figura 20. Isotherma trimestre Julio-Septiembre.	75
Figura 21. Isotherma trimestre Octubre-Diciembre.	77

INTRODUCCIÓN

América latina es una de las regiones con mayor crecimiento urbanístico del mundo, en las últimas tres épocas la población ha pasado a vivir en metrópolis, ciudades intermedias y pequeñas, de tal manera que el medio ambiente urbano constituye hoy el principal nido ecológico para la población del continente. Sin embargo, todas las ciudades americanas exhiben altos niveles de segregación socio ambiental de sus habitantes, contaminación de las aguas, aires y suelos, además de una degradación creciente del medio ambiente de los paisajes en que se insertan y desarrollan. Como las ciudades latinoamericanas han adoptado recientemente los mismos modelos de crecimientos basados en una urbanización difusa y extendida, policéntrica y basada especialmente en el uso de automóvil privado como medio de transporte más importante, han aumentado sus superficies construidas creciente y permanentemente, expandiendo sus efectos ambientales adversos sobre terrenos anteriormente agrícolas o cubiertos por paisajes naturales.

Dadas las grandes diferencias existentes en las condiciones socioeconómicas de la población urbana, densidades de ocupación del suelo, características y calidad medioambiental de los paisajes al interior de las ciudades, el proceso de segregación socio ambiental compromete severamente los efectos de las actividades urbanas sobre la salud de los ecosistemas y las poblaciones.

El clima urbano es uno de los componentes más significativos de las diferencias socio ambientales al interior de las ciudades latinoamericanas. Los distintos barrios, cuya localización en áreas de mayor o menor calidad ambiental, depende estrictamente de los ingresos económicos de las

familias, presentan diversos mosaicos de usos y coberturas de los suelos, distintas intensidades de ocupación y diseños urbanos más o menos favorables para la calidad ambiental. Estas áreas urbanas muchas veces en forma espontánea, se ubican en sitios generalmente no aptos para la urbanización, tales como lechos inundables de causas fluviales, laderas de pendientes inclinadas o sitios altamente contaminados, aretes de vegetación y de equipamientos urbanos adecuados.

La presencia y crecimiento de las islas de calor. Se relacionan directamente con la recepción y absorción de mayores cargas de radiación solar directa (Oke, 1995). Las islas de calor urbano son responsables de importantes pérdidas de calidad de vida en las ciudades, destacando el aumento del desconfort térmico que compromete la vida y circulación de las poblaciones, especialmente en verano. Por otro lado, facilitan la formación de contaminantes secundarios y fotoquímicas; además, de que contribuyen a aumentar la presencia de gases invernadero en la medida que se requiere ventilar artificialmente el interior de las edificaciones.

En tal sentido, el presente trabajo de investigación esta desglosado en primer lugar por el capítulo I, donde se describe el área en estudio, el problema de la investigación y los objetivos para abordar la problemática planteada. El capítulo II, enmarca las bases teóricas de la investigación; por consiguiente, en el capítulo III se presenta toda la metodología empleada para sustentar y desarrollar en cuanto a nivel de diseño y técnicas metodológicas el trabajo de investigación. Por su parte, en el capítulo IV se describe y muestra todo el procedimiento del análisis de los resultados según los objetivos del trabajo y por último se presenta el capítulo V enfocado en la conclusión y recomendaciones deducidos una vez finalizada la presente investigación según parámetros y exigencias técnicas de las normas utilizadas.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

El balance térmico de las ciudades es afectado por el incremento de la absorción de la radiación solar, el aumento de calor sensible liberado por las estructuras urbanas, reducción de la vegetación y radiación infrarroja. La problemática de la elevación de la temperatura ha sido caracterizada como “Isla Urbana”, este fenómeno se debe principalmente a la sustitución de los espacios naturales por espacios urbanos y por el incremento de las fuentes artificiales de calor, Oke, T.,(1987). Este efecto se encuentra presente en muchas ciudades, su intensidad varía de comunidad en comunidad de acuerdo a un gran número de variables como las condiciones climáticas del lugar, la topografía, la tipología de los edificios, los patrones constructivos de las urbanizaciones, entre otros.

De esta manera, las características de los materiales usados para la construcción del medio urbano como las calzadas, pavimentos, edificios y/o viviendas, especialmente el albedo solar que es el porcentaje de la radiación que cualquier superficie refleja que incide sobre ella misma, y la emisividad infrarroja, es la propiedad que indica la eficacia con la que la superficie emite la radiación térmica; estas dos características ópticas están controladas por el tipo de suelo, humedad de la superficie y cobertura de vegetación. Por lo tanto, el comportamiento térmico-ambiental de los diferentes materiales usados para la construcción, representa un importante impacto sobre la temperatura, especialmente en la intensidad de la Isla de Calor Urbana.

Aunado a la situación, la ocurrencia de estos eventos de calor, suceden en la mayoría de los casos durante la temporada de verano en las latitudes subtropicales o en la época de sequía en las latitudes tropicales. El aumento de la incidencia de la radiación solar, asociada a las condiciones meteorológicas de la temperatura de sequía o de verano (altas presiones, cielos claros), origina también un aumento del calor superficial, que incrementa el nivel de estrés hídrico de la vegetación, la deshidratación del suelo y la sequedad del aire.

De este modo, por Venezuela encontrarse en una zona intertropical posee un clima cálido y lluvioso en general, y suele variar para cada región según los tipos de pisos térmicos. En ciudades como Maracaibo que posee un clima muy cálido y Caracas con un clima fresco, se han visto afectados por el efecto de la Isla de Calor Urbano, producto del comportamiento térmico-ambiental de los materiales utilizados para la construcción.

En este mismo orden de ideas, en el estado Anzoátegui específicamente en la ciudad de Cantaura la temporada seca suele ser muy caliente y debido al consecuente aumento de las coberturas consideradas como artificiales o impermeables tales como concreto, asfalto, metal, techos de tejas, zinc o acerolite, se consideró esencial la evaluación del efecto de la Isla de Calor en los espacios urbanos de dicha ciudad, lo cual permitió identificar las condiciones climáticas que caracterizan la isla de calor urbano y proponer estrategias de mitigación de este efecto.

Se hace necesario resaltar, que el estudio estuvo enfocado específicamente en cuatro etapas, comenzando por identificar las condiciones climatológicas que caracterizan la Isla de Calor Urbano. En la segunda etapa, se procedió a aplicar la dinámica espacio-temporal del efecto isla de calor; la cual estuvo dividida por trimestres, siendo así Enero-Marzo,

Abril-Junio, Julio-Septiembre, Octubre-Diciembre del año 2019 los meses correspondientes para determinar cambios significativos en la temperatura. Posteriormente en la tercera etapa, se realizaron isotermas aplicando ArcGis 10.5 para la comprensión del impacto del fenómeno en la ciudad y su asociación con infraestructuras y elementos del espacio urbano.

Por lo tanto, en la última etapa se realizó una propuesta estratégica de mitigación del efecto isla de calor en los sectores que poseían altas temperaturas en relación al entorno rural que los rodea, del mismo modo, se realizaron estrategias de prevención para evitar la intensificación del fenómeno en las áreas menos afectadas de la ciudad de Cantaura.

Por otra parte, para el cumplimiento de las etapas se hizo uso de los datos recopilados con el sensor satelital WeatherSpark, considerando el nivel de resolución en la banda térmica para seleccionar los datos correspondientes que permitieron determinar las zonas que presentaron mayor acumulación de calor, una vez obtenida toda la información base, se procedió a vectorizar los resultados utilizando como herramienta el software ArcGis 10.5; con el propósito de entender la dinámica del fenómeno isla de calor urbano en la ciudad de Cantaura.

En resumidas cuentas, la isla urbana es una modificación del microclima que afecta a las condiciones de confort en el espacio exterior y al comportamiento energético de los edificios, y, por tanto, a la calidad de vida de los habitantes, esta investigación tuvo como alcance definido evaluar el efecto isla de calor en los espacios urbanos de la ciudad de Cantaura, Municipio Freites, Estado Anzoátegui, utilizando datos recopilados por WeatherSpark, a través de su banda térmica y haciendo las correcciones pertinentes para describir la dinámica espacio temporal, además de esto, se pretendió identificar las condiciones climáticas de este fenómeno, así como

realizar isotermas que ayudaron a comprenderlo y proponer estrategias que ayudaron a mitigarlo.

Por consiguiente, es importante mencionar que existe un estudio realizado por Román E., et al(2016) en España, en el cual la hipótesis del proyecto es el hecho de que la transformación del suelo para el crecimiento edificatorio de la ciudad de Madrid potencia el efecto de la isla de calor urbana, modificando de manera sustancial el microclima ciudadano. En Venezuela existen estudios respectivos, más no existen indicios acerca de este estudio en la ciudad de Cantaura; por lo que se considera acertado realizar dicho estudio, el cual brinda un aporte a la sociedad acerca de los efectos que se producen debido a ese fenómeno como resultado de distintos factores, incluyendo los materiales de construcción empleados en las infraestructuras y espacios urbanos, lo que permitirá proponer estrategias para su mitigación.

Por último, esta investigación va dirigida como referencia para estudios y diseños futuros de nuevos espacios urbanos para que se tomen en consideración las estrategias para mitigar este fenómeno, permitiendo a la Universidad de Oriente generar aportes significativos en el campo ambiental y urbano.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Evaluar el efecto isla de calor en los espacios urbanos de la ciudad de Cantaura, Municipio Freites, Estado Anzoátegui.

1.2.2 Objetivos Específicos

- › Identificar las condiciones climatológicas que caracterizan el efecto isla de calor en los espacios urbanos de la ciudad de Cantaura, Municipio Freites, Estado Anzoátegui.
- › Describir la dinámica espacio-temporal del efecto isla de calor en los espacios urbanos de la ciudad de Cantaura, Municipio Freites, Estado Anzoátegui.
- › Realizar isotermas aplicando ArcGis 10.5 para la comprensión del impacto del efecto isla de calor en la ciudad y su asociación con infraestructuras y elementos del espacio urbano.
- › Proponer estrategias de mitigación del problema en los sectores críticos identificados, así como estrategias de prevención evitando la intensificación del fenómeno en las áreas menos afectadas.

1.3. Justificación

Los estudios sobre islas térmicas urbanas han adquirido una particular relevancia en la última década, debido a los crecientes impactos de la variabilidad y el cambio climático en los espacios urbanos. Las cada vez más frecuentes olas de calor se acompañan, en estos espacios, de una intensificación en la magnitud y extensión de las islas de calor urbanas, significativas anomalías térmicas superficiales y un aumento en la frecuencia de incendios de vegetación en las áreas periurbanas, que agravan el cuadro de contaminación, de degradación de la calidad ambiental y de vida en las ciudades.

A pesar del creciente nivel de riesgo que para la población radicada en las ciudades supone el impacto de estos fenómenos en todo el planeta, la mayor parte de los estudios realizados sobre la dinámica de las islas térmicas urbanas, han sido desarrollados fundamentalmente en ciudades de países subtropicales, principalmente en Europa, Canadá y Estados Unidos.

El resultado de este trabajo de investigación nos permitió desarrollar estrategias de mitigación y prevención del fenómeno isla de calor; así como también visualizar las zonas más afectadas, partiendo de análisis espacio-temporales mediante la utilización de banda térmica de satélites geoestacionarios de observación terrestres.

1.4. Alcance de la investigación

El alcance de esta investigación se limitó a evaluar el efecto de la isla de calor en los espacios urbanos de la ciudad de Cantaura, Municipio Freites, Estado Anzoátegui, lo que comprendió la utilización de imágenes satelitales, considerando el nivel de resolución de banda térmica, la descripción de la dinámica espacio-temporal y la realización de isotermas

que ayuden a comprender dicho efecto y proponer estrategias que ayuden a mitigarlo.

1.5. Descripción del sitio de estudio

El área de estudio de este trabajo corresponde al espacio urbano de la ciudad de Cantaura, localizada entre las coordenadas $9^{\circ}18'20,6''$ N y $64^{\circ}21'30,3''$ O (Figura 1).



Figura 1. Localización Área de Estudio.
Fuente: Google Maps, elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Se realizó una indagación con el objetivo de obtener información de trabajos de investigación anteriormente ejecutados, tanto a nivel local como nacional, los cuales tienen relación con el tema de estudio.

La mayoría de las investigaciones sobre el fenómeno de las islas térmicas urbanas, se han realizado en países de latitudes subtropicales, como Estados Unidos, Canadá e Inglaterra y en países de la comunidad europea como España, Francia, Portugal, entre otros. Solo en la última década, han comenzado a surgir trabajos sobre ciudades de latitud tropical en el ámbito latinoamericano, como México, Brasil, Venezuela y a nivel global en China, Vietnam e India. Las investigaciones sobre el clima urbano y el fenómeno de islas térmicas urbanas pueden dividirse en varias etapas o enfoques.

En el trabajo de investigación realizado por Oke T., – American Meteorological Society (1976-1982) se describe la naturaleza del fenómeno isla urbana de calor y discute sobre su estructura vertical en las zonas urbanas, estableciendo diferencias entre la respuesta térmica observada y la estructura de la capa límite en los espacios rurales y urbanos. El estudio se realizó en ciudades de latitudes subtropicales y se basó en el modelaje climático de la isla térmica atmosférica, con base a informaciones colectadas por instrumentales hidro-meteorológico y modelos teóricos sobre el balance radiactivo superficial en las áreas urbanas.

Esta investigación sirvió de aporte para ampliar y detallar otros aspectos relativos al dosel urbano y su influencia en el fenómeno de isla térmica, en la Guía para obtener representatividad meteorológica en las zonas urbanas, publicada por la Organización Mundial de Meteorología-OMM (Oke, T, 2006). Así mismo, se tomó como referencia para establecer una relación entre la influencia de la morfología y el dosel urbano en la circulación para determinar la intensidad de la isla térmica, dando a conocer sus condiciones climatológicas a través de un estudio tanto superficial como atmosférico.

Siguiendo, Córdova (2011) estudió la saturación urbana y la ampliación del espacio construido en la ciudad de Caracas, determinando que las olas de calor urbano han provocado sequías extremas e incendios forestales, perturbando la dinámica del medio ambiente y la calidad de vida de las ciudades afectadas. La metodología utilizada fueron técnicas de teledetección para analizar la información térmica y ambiental recogida por satélites de observación terrestre para producir mapas de temperaturas del suelo urbano, uso del suelo e índice de vegetación. El propósito de este estudio se basó en analizar la variación espacial en relación con la temperatura superficial urbana, así mismo sirvió de gran aporte para estudiar y describir la variación espacial de la isla térmica.

En el mismo orden de ideas, Meneses e Iral (2017) desarrollaron un estudio comprendido en un análisis espacio-temporal de variables que inciden en la generación de isla de calor urbana en la localidad de Kennedy, donde se diagnosticó el fenómeno y se logró determinar las variables que inciden en su materialización. Para ello se hizo uso de herramientas de teledetección, sistema de información geográfica (SIG) y estadística. Como resultados se obtuvo mapas de Temperatura Superficial Terrestre (TST), índice de vegetación normalizada (NDVI), albedo superficial, consumo de

energía eléctrica, correlaciones entre contaminantes atmosféricos y urbanísticos con respecto a la temperatura, como los materiales con bajos niveles de albedo a la ausencia de vegetación, contaminación atmosférica, producción directa de calor por combustión y el calor antropogénico emitido por las personas.

Según, Akbari (2005) y el grupo de expertos del laboratorio de Berkeley (Lawrence Berkeley National Laboratory- Berkeley, California) en su trabajo de investigación se evaluó propuestas de mitigación, mediante la modificación de las propiedades físicas de techos y pavimentos aumentando la reflectividad para disminuir la demanda energética en edificaciones por climatización artificial. Basándose en esta información se tomaron en cuenta algunos lineamientos para las propuestas de estrategias de mitigación y de prevención.

Por otra parte, Córdova (2012) realizó una contribución al estudio de la dinámica socio-ambiental de las islas de calor urbano en la ciudad de Caracas donde se identificaron los sectores más críticos en término de las altas temperaturas superficiales observadas, asociando estas respuestas térmicas a la densidad del espacio construido y a la presencia de vegetación intra y peri-urbana. De acuerdo a los resultados obtenidos, en las áreas más críticas se hace necesario el desarrollo de estrategias, que pueden ser de carácter preventivo, como el mantenimiento de corredores vegetales y las áreas verdes existentes en aquellos sectores menos críticos, o combinadas con estrategias de mitigación en los sectores más críticos de la ciudad, como los techos verdes intensivos y extensivos, o estrategias reflectivas, así como la revisión de mecanismos comunitarios para la defensa y conservación de las áreas verdes remanentes.

2.2.Bases Teóricas Referenciales

2.2.1.El clima urbano

Según Gómez, L., (2002), entendemos por clima, a las oscilaciones promedio de los parámetros climáticos (temperatura, precipitación, radiación, humedad) sobre un determinado territorio, región o lugar. El clima de la tierra está fundamentalmente controlado por un equilibrio a largo plazo entre la energía de la tierra y la de su atmosfera. La radiación de onda corta que proviene del sol en forma de luz visible, es absorbida por la atmosfera y la superficie terrestre, una parte de esta energía es utilizada en los procesos climáticos fundamentales como el ciclo hidrológico, las corrientes marinas, y vientos, luego es re-emitida al espacio en forma de radiación de onda larga, infrarroja o calor. De este intercambio fundamental de energía regulado por la atmosfera terrestre dependen los procesos climáticos.

Ritter, M, (2009), expresa que existen elementos modificadores del clima que a nivel local y regional, pueden inducir cambios en los patrones climáticos y determinar regímenes climáticos locales. Estos elementos son: la altitud, la orientación del relieve, la continentalidad y la proximidad a cuerpos o masas de agua.

La latitud determina la inclinación con la que caen los rayos solares sobre la superficie, cuanto más directa es la radiación incidente, mayor es el calentamiento superficial, en consecuencia, las regiones ecuatoriales del planeta, reciben mayor cantidad de energía durante todo el año, ya que los rayos solares inciden perpendicularmente sobre estas regiones.

La altitud determina la formación de un gradiente alto-térmico que varía 0.65° por cada 100mts, el relieve modifica también la insolación y los vientos, afectando la formación de nubes, la distribución de las lluvias y la

conservación de la humedad. La continentalidad y la cercanía a cuerpos o masas de agua, también afectan los patrones de circulación y las lluvias, todos estos factores deben ser tomados en consideración en el análisis e interpretación de fenómenos o patrones climáticos.

El clima sobre las áreas urbanas es fundamentalmente un fenómeno local, que resulta de la interacción de las capas bajas atmosféricas con las superficies urbanas recubiertas por coberturas artificiales e impermeables (concreto, asfalto, piedra, materiales metálicos, vidrio, cerámicos, etc.) asociadas a los elementos típicos de la infraestructura urbana y que sustituyen a la vegetación y al paisaje natural (EPA, 2008).

Estas superficies al igual que el resto de los elementos naturales presentes en las áreas urbanas, están expuestas a la insolación, a la radiación, al calentamiento diurno, la precipitación y la humedad, la respuesta térmica de estas coberturas, dependerá fundamentalmente de las características físicas o propiedades térmicas de estos materiales de construcción: absorptividad, reflectividad, trasmisividad.

2.2.2. Condiciones climáticas

Según Moreno (1993, 1999), el fenómeno de la isla de calor o isla térmica urbana es aquel consistente en la mayor calidez de las ciudades, especialmente de noche, respecto al medio rural o menos urbanizado que los rodea. El centro de las ciudades, donde las construcciones y los edificios forman un conjunto más denso y compacto, suele presentar las temperaturas más elevadas.

Las condiciones climáticas que caracterizan a este fenómeno son varias:

- 1) Un mayor almacenamiento del calor en la ciudad durante el día, debido a las propiedades térmicas y caloríficas de los materiales de construcción urbanos y su devolución a la atmósfera durante la noche. Durante el día estos materiales se van calentando progresivamente, si bien de un modo más lento que el propio suelo desnudo o cubierto de vegetación, y durante la noche, se va enfriando, también muy lentamente, a diferencia de los suelos rurales o con vegetación, que sufren una rápida pérdida de calor por la irradiación nocturna. Por ello, el aire urbano, en contacto con los materiales de construcción, se enfría lentamente durante la noche. Este diferente enfriamiento explica la mayor intensidad nocturna del fenómeno.
- 2) La producción de calor antropogénico procedente de las diferentes actividades y procesos de combustión que se llevan a cabo en las áreas urbanas e industriales (por ejemplo, de la calefacción, transporte, alumbrado, industria, etc.).
- 3) La disminución de la evaporación, debido a la sustitución de la superficie natural originaria por un suelo pavimentado (que presenta unas características diferentes) y a la eficacia de los sistemas de drenaje urbanos (alcantarillados, etc.). Esto propicia, por una parte a que se produzca una rápida escorrentía del agua tras la precipitación, mientras que por otra parte se elimina el agua de la superficie, impidiendo la posibilidad de almacenamiento de ésta en el suelo.
- 4) Una menor pérdida del calor sensible, debido a la reducción de la velocidad del viento. Los edificios, con su amplia variedad de formas y estructuras, se convierten en un elemento perturbador de los flujos aéreos. La rugosidad que ofrecen las edificaciones generan una serie de alteraciones en el viento, entre las cuales destaca la reducción de su velocidad, debido a la mayor resistencia a éste que ofrece la presencia de los edificios, que actúan como parapetos.

- 5) Un aumento de la absorción de radiación solar, debido al efecto de captura que produce la singular geometría que presentan las calles y los edificios, que contribuye a un albedo relativamente bajo. La radiación solar incidente sufre múltiples reflexiones en las fachadas y en el suelo, quedando atrapada entre las calles.
- 6) Una disminución de la pérdida de calor durante la noche por irradiación, debido también a las características geométricas de calles y edificios, que reducen el factor de visión del cielo, dando una menor superficie libre de cielo a la que es devuelta, sin ningún obstáculo, la irradiación nocturna.
- 7) Un aumento de la radiación de onda larga que es absorbida y reemitida hacia el suelo por la contaminada atmósfera urbana. La radiación de onda larga es emitida del suelo hacia la atmósfera, ante el obstáculo que representa la presencia de una capa de contaminantes en la atmósfera urbana, es absorbida una parte de esta radiación por dicha capa, que vuelve a remitir la radiación hacia el suelo. Esto impide el paso de la radiación de onda larga hacia niveles atmosféricos superiores y su pérdida al espacio.

2.2.3. Generación de la Isla de Calor Urbana (ICU).

Rizwan et al., (2008), define que la isla de calor urbana es la respuesta de muchos factores, los cuales pueden ser catalogados como controlables e incontrolables (Figura 2). A su vez estos factores pueden ser clasificados como variables temporales en el tiempo, por ejemplo, la velocidad del viento o la cobertura de las nubes; como variables constantes en el tiempo como lo son las zonas verdes, el material de los edificios y el factor de visión del cielo; y como variables cíclicas la radiación solar o las fuentes de calor antropogénico.

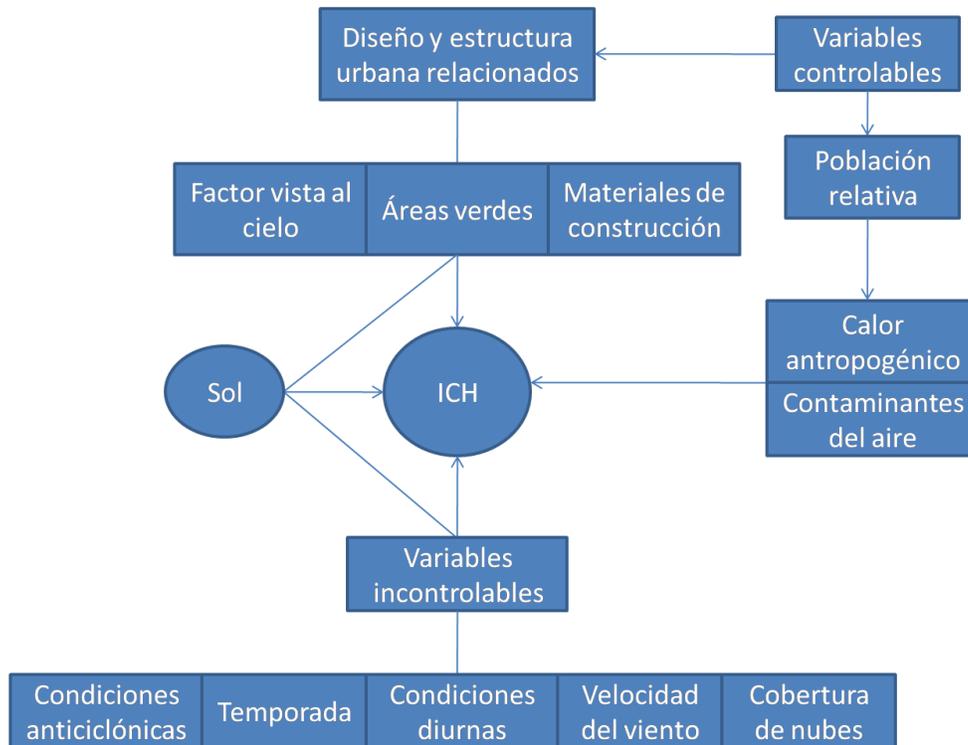


Figura 2. Esquema de variables controlables y no controlables en la generación de la isla de calor urbano.

Fuente: Rizwan et al., 2008.

El calor contenido y generado en las zonas urbanas proviene del sol en forma de radiación solar y de diversas fuentes de calor antropogénicas, como automóviles y sistemas de aire acondicionado. La mayoría de este calor antropogénico es emitido directa e instantáneamente al ambiente. Por otro lado la emisión de calor por radiación solar, es más compleja. Una parte es absorbida por las estructuras urbanas y otra parte es reflejada al medio ambiente.

Las estructuras urbanas: como fachadas, cubiertas, suelo, zonas verdes, entre otras, absorben y almacenan radiación durante el transcurso del día, y esto lo hacen de diferente manera dependiendo de los materiales con lo que están constituidas. Al atardecer, el ambiente comienza a enfriarse

y la energía térmica almacenada en las estructuras es liberada en forma de flujo de calor.

Sin embargo, el efecto de la densidad de población es considerado como otro factor en cuanto a la generación del efecto y ha sido analizado por varios autores los cuales, correlacionaron el número de habitantes con el incremento de la isla de calor urbana y esta, tiene un efecto directo y otro indirecto. El directo está relacionado con el metabolismo de las personas, a mayor número de personas es mayor el calor emitido por las mismas; y el indirecto, que influye de manera más significativa en el efecto de la isla de calor urbana, pues a mayor población se incrementa el número de edificios, vehículos, fábricas, etc. Otros factores que inciden en la misma, pueden ser la falta de vegetación, la contaminación del aire y los altos índices de ozono

2.2.4. Análisis espacio-temporal del fenómeno Isla de Calor Urbana.

Sangines, D. (2013), expresa que el análisis espacio-temporal es un estudio realizado con la finalidad de conocer datos meteorológicos de una región específica. Una de las principales ventajas de poseer datos meteorológicos de diversos puntos para una determinada región, es que se puede realizar un muestreo de la misma y de esta manera encontrar nuevos patrones de comportamiento.

Particularmente, el análisis de las series históricas de temperaturas máximas, permite detectar la evolución y el desplazamiento de un frente cálido en un nivel espacial. Consecuentemente, resulta una excelente herramienta para identificar la aparición y el progreso de las ICU. Identificando las áreas problemáticas, es posible planificar medidas de mitigación para dicho fenómeno de forma más efectiva.

Por lo general, las zonas urbanas donde se ve reflejado este fenómeno poseen temperaturas mayores que en las periferias suburbanas. Dicha diferencia de temperatura oscila entre los 3°C y los 5°C, pero puede alcanzar valores mayores si se presentan ciertas condiciones especiales.

Por otro lado, dado que la aplicación de medidas efectivas de mitigación de este efecto requiere de un conocimiento detallado del comportamiento espacio-temporal de la ICU, poseer información georeferenciada de temperaturas permite desarrollar una metodología para el trazado de isotermas a partir de la combinación de un gran número de estaciones meteorológicas.

2.2.5. Impacto del fenómeno Isla de Calor Urbano (ICU) en la ciudad y su asociación con infraestructuras y elementos del espacio urbano.

Tumini (2015), indica que la isla de calor provoca el aumento de la temperatura en el ambiente urbano con respecto a los entornos rurales, que tiene como primera consecuencia el aumento del consumo energético de los edificios para el enfriamiento en condiciones de verano. El fenómeno de la isla de calor puede producirse tanto de día como de noche, provocando un aumento de temperatura que puede alcanzar los 10°C.

El problema del enfriamiento de los edificios en los climas cálidos es de gran importancia, ya que puede suponer un consumo energético y unas emisiones superiores a los producidos por la calefacción. En las últimas décadas el consumo para la refrigeración se ha incrementado. Por otra parte, hay que tener en cuenta que los sistemas de aire acondicionado usan energía eléctrica, lo que crea importantes problemas en el suministro

energético, además de traducirse en un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, de los contaminantes como dióxidos de sulfuros, monóxido de carbono, los NOx y de las partículas volátiles producidas por las plantas de generación. En los veranos más calurosos se han suscitado repetidos cortes de suministro energético (blackout) debido a la enorme demanda en las horas pico.

En la estimación del aumento de consumo debido a la ICU hay dos efectos importantes a tener en cuenta: el aumento de la potencia para alcanzar las condiciones de confort y el tiempo de uso de los sistemas de refrigeración. En presencia de ICU, la retardada dispersión del calor acumulado en el día, aumentó el tiempo de uso de los sistemas de aire acondicionado, pasando por ejemplo de 8 a 12 horas. El incremento de la temperatura, sobre todo en las horas pico, hace que sean necesarios equipos más potentes y en consecuencia de mayor coste.

El aumento de la temperatura tiene serias consecuencias para la salud del hombre y del medioambiente. Los NOx, producidos en los procesos de combustión a alta temperatura, son un precursor para la formación del ozono troposférico (O₃), un gas tóxico de color azul, principal contaminante de lo que se define como smog fotoquímico. La producción de O₃ se produce bajo la acción de los rayos solares y es mayor en los meses más calurosos y en las horas de mayor soleamiento.

Las condiciones ambientales impuestas a los usuarios de un espacio pueden mejorar o empeorar la experiencia y el uso que se hace del mismo. La mejora de la calidad ambiental y social de una ciudad se puede obtener promoviendo el uso y la revitalización de los espacios exteriores,

fortaleciendo la interacción social entre los ciudadanos mediante espacios adecuados a las interrelaciones.

Jan Gehl (1987) afirma que el bienestar de los espacios depende de la protección ofrecida a las condiciones climáticas negativas y la exposición a las positivas. Asimismo, Ralph Erskine (1988) define los espacios sociales como el lugar para el desarrollo de las actividades espontáneas, fuertemente influenciado por las condiciones climáticas, y Finnish Reima Pietila (1988) habla de la arquitectura y el clima como una “pareja dinámica”.

Diversas investigaciones demuestran la estrecha relación que tiene el microclima urbano con la sensación de bienestar térmico de los usuarios. Aunque se demuestra que las condiciones de confort varían con la función metabólica, el grado de vestimenta y la adaptación psicológica al entorno, las condiciones exteriores afectan significativamente el uso de los espacios urbanos. Temperatura, grado de humedad, exposición a los vientos, luminosidad e intensidad de los rayos solares son los principales factores que condicionan la calidad de los espacios urbanos.

Los espacios demasiado soleados y calurosos están abandonados por los usuarios que buscarán en otros sitios, interiores y dotados de sistemas de refrigeración, para el ocio y el descanso. Por su parte, las calles y plazas vacías, además de perjudicar la calidad urbana, crean problemas a la economía de los comercios que desarrollan sus actividades en la ciudad. Sin embargo, espacios acogedores con la justa proporción entre sombra y sol, temperatura confortable y ventilación adecuada, pueden atraer a los usuarios para volver a ocupar los espacios exteriores.

2.2.6. Mitigación del efecto de la isla de calor urbano.

Así mismo; Tumini (2015), explica que la aplicación de medidas para contrarrestar o mitigar la ICU puede depender de muchos factores, algunos de los cuales se pueden incorporar a las estrategias de planificación, mientras que otros se escapan del control del uso y geometría de los espacios. En general en los procesos de planificación el proyectista tiene que considerar los diferentes factores y promover un desarrollo eco-compatible con el medio, que promueva la eficiencia y el ahorro energético, además de la funcionalidad y la salubridad para los ciudadanos.

La diferencia entre el balance energético de las superficies urbanas y las rurales es el ratio entre el flujo sensible y el latente. Las áreas rurales se caracterizan por la evapotranspiración, siendo la mayoría de las superficies húmedas, permeables y/o cubiertas por vegetación; a diferencia de las ciudades, donde las superficies, en su mayoría impermeables, tienen un flujo de energía latente inferior.

El uso de espacios verdes y árboles es la primera y más efectiva medida que se puede poner en marcha para reducir la isla de calor urbana. La sustitución del manto vegetal por superficies artificiales tiene efectos directos e indirectos sobre la isla de calor urbana. Se definen como efectos directos aquellos relacionados directamente con los edificios y su contexto, debido a la protección solar de fachadas y huecos, la reducción de la absorción y la creación de vientos. Son efectos indirectos aquellos que afectan al entorno urbano principalmente mediante la evapotranspiración, que en general influye en el flujo latente del balance energético del espacio.

La distribución de la temperatura en las áreas urbanas está afectada por el balance de la radiación urbana. La radiación solar incidente en las superficies urbanas es absorbida y transformada en calor sensible. Techos, fachadas de edificios, calles, plazas, etc., representan una importante masa de acumulación de calor, volviendo a emitirlo al ambiente en forma de radiación de onda larga y con un desfase en el tiempo. La intensidad de las ondas depende, además de la porción de superficies visibles al cielo, de las características de los materiales, como el albedo, la emisividad, la inercia térmica, etc.

Debido a su importante presencia en el entorno construido, los materiales de acabado de los suelos tienen una incidencia fundamental en el efecto isla de calor. Por ejemplo, en una trama urbana cuadrada tradicional, la calzada ocupa alrededor del 16% del suelo urbano, aumentando hasta un 23% en tramas rectangulares, típicas de complejos de viviendas sociales. La extensión de la superficie horizontal expuesta a la radiación solar, sumada a la observancia y a la capacidad térmica generalmente alta de los materiales utilizados, tiene un impacto significativo.

La cantidad de calor recibida por los edificios puede ser controlada por medio de la orientación y disposición de los edificios. Así las calles orientadas en sentido Este-Oeste quedan expuestas a los rayos solares a lo largo de todo el día, a diferencia de las orientadas en sentido Norte-Sur.

En las calles estrechas el recíproco sombreado de los edificios reduce la exposición al sol. Sin embargo, esto provoca una disminución del aprovechamiento solar, que puede ser muy beneficioso en invierno y como fuente de iluminación natural. Además, en condiciones de poca ventilación, la

ICU aumenta por las emisiones de calor radiante acumulado por los edificios y las calles.

La orientación de los edificios es importante también para la ventilación de los espacios urbanos. Se considera óptima una disposición de los edificios con un ángulo de 45° respecto a la dirección del viento dominante. Una buena orientación de las calles es por lo tanto fundamental para el diseño de edificios bioclimáticos y el uso de sistemas de refrigeración pasiva.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLOGICO

En todo desarrollo de un proyecto al iniciar la investigación, es necesario seguir un proceso metodológico con el fin de dar respuestas a las interrogantes objeto de investigación de manera ordenada y razonable.

3.1.- Tipo de Investigación

Para el desarrollo de este proyecto se planteó la utilización de una investigación documental, aplicando la metodología del análisis espacio-temporal de la isla térmica, se evaluó el impacto del fenómeno en la ciudad y su asociación con infraestructuras y elementos del espacio urbano, de manera que el resultado sea base para estudios futuros y se tomen en consideración las estrategias para su mitigación.

Según Arias (2006), la investigación documental consiste en el proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis crítica, así como también, interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores, en fuentes documentales, en el cual el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos.

3.2.- Nivel de Investigación

De acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, se da a conocer un diseño de investigación que ayudó a establecer un orden para la realización y el cumplimiento de dichos objetivos en estudio de manera práctica.

Arias (2006), define que la investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo. Con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere.

3.3.- Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Una investigación es científicamente válida al estar sustentada en información verificable, la cual responda lo que se pretende demostrar. A continuación, se detallan las técnicas e instrumentos de recolección de datos empleadas en la elaboración de este trabajo de grado.

3.3.1.- Revisión Documental

Sabino (1993), sostiene que la revisión documental consiste en conocer y explorar todo el conjunto de fuentes que puedan resultarnos de utilidad para la investigación de un tema. Esta técnica permitió profundizar los conocimientos teóricos requeridos para la evaluación del efecto isla de calor. Para tal fin, se consultaron tesis doctorales, publicaciones y guías en Internet.

3.3.2.- Herramientas y Equipos

- › Computador portátil Acer.
- › Dispositivo de almacenamiento masivo (pendrive) Sony de 4 Gigabytes.
- › Impresora Epson Multifuncional.
- › Sensor Satelital WeatherSpark.

- › “Software” ArGis 10.5.
- › Calculadora CASIO fx-570ES PLUS.
- › Artículos de oficina: hojas tipo carta para la impresión de documentos, bolígrafos, lápices, borradores, carpetas de manila, etc.

3.4.- Procedimiento Metodológico

Para la ejecución de este proyecto se utilizó una metodología con el fin de solucionar la problemática existente ya expuesta, el presente estudio se ejecutó en seis (6) etapas, las cuales son:

Etapas I. Revisión bibliográfica y búsqueda de información georeferencial.

En esta etapa se procedió a recabar información relacionada con el tema en estudio. Se examinaron trabajos de investigación en donde se aplican la metodología de análisis espacio-temporal a las ciudades, se exploraron tesis doctorales, se indagó en normas, manuales y fuentes bibliográficas electrónicas que fueron de utilidad para desarrollar de manera efectiva cada uno de los objetivos establecidos y la investigación.

Se buscó información referente al análisis espacio-temporal y cuáles eran los parámetros que se debían tomar en cuenta para su posterior realización, se definieron los procedimientos a seguir para la obtención de datos meteorológicos con el fin de determinar la temperatura en diferentes puntos de la ciudad de Cantaura para identificar en que zonas se presentaba con mayor intensidad la ICU.

Además, de lo anteriormente señalado, también se hicieron visitas a diferentes entes encargados de registrar datos meteorológicos

correspondientes a la ciudad de Cantaura, para así tener un registro de información puntual, entre los cuales podemos mencionar: El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), El Instituto Cartográfico Simón Bolívar.

Etapa II. Identificación de las condiciones climáticas debido al efecto isla de calor en los espacios urbanos de la ciudad de Cantaura, Estado Anzoátegui.

En el desarrollo de esta etapa, se procedió con la información obtenida a identificar las condiciones climáticas que predominaron en la ciudad de Cantaura, Estado Anzoátegui, con la finalidad de conocer los elementos relacionados directamente con la modificación del equilibrio térmico del sistema atmósfera-ciudad.

Etapa III. Descripción de la dinámica espacio-temporal del efecto isla de calor en los espacios urbanos de la ciudad de Cantaura, Estado Anzoátegui, haciendo uso del sensor satelital WeatherSpark.

Al haber determinado las condiciones climáticas de la ciudad de Cantaura y establecido las zonas en las cuales se observaron temperaturas más altas debido al efecto de la ICU; se procedió, con el uso del sensor satelital WeatherSparka recopilar los datos correspondientes con el fin de describir como fue el incremento del efecto y debido a que elementos se produjo con mayor intensidad.

Etapa IV. Realización de isotermas aplicando ArcGis 10.5 para la comprensión del impacto del fenómeno en la ciudad y su asociación con infraestructuras y elementos del espacio urbano.

En esta fase del trabajo de grado, se utilizó un sistema de información geográfica para generar las isotermas lo cual tuvo la función de visualizar el impacto para llevar a cabo el análisis de la identificación, formación y propagación de las ICU. Este sistema está contenido por datos como el tamaño, perímetro y la intensidad del uso de los suelos, y actividades económicas de las personas de la zona.

Etapa V. Propuestas de estrategias de mitigación del problema en los sectores críticos identificados y de prevención para los menos afectados.

Una vez obtenidos los resultados, en esta etapa se procedió a establecer una serie de estrategias fundamentales para la mitigación del clima urbano en las zonas más afectadas. De igual manera, se establecieron estrategias de prevención en las zonas menos afectadas con el fin de disminuir dicho efecto..

Etapa VI. Redacción, Presentación y Defensa del Trabajo de Grado.

En la última etapa se realizó la redacción del informe final del proyecto, partiendo de las normas estipuladas de la Universidad de Oriente (UDO) para la elaboración y presentación de trabajos de grado, tomando en cuenta los resultados obtenidos durante la investigación, el mencionado informe se utilizó como base para la presentación y defensa del proyecto.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1. Identificar las condiciones climáticas que caracterizan el efecto de la isla de calor en los espacios urbanos de la ciudad de Cantaura, Municipio Freites, Estado Anzoátegui.

La ciudad de Cantaura se localiza en la zona centro del estado Anzoátegui, Venezuela y se despliega entre la cordillera de las costa y se empalma con la mesa de Guanipa. Las altitudes en el casco urbano oscilan en la plaza Guevara y Lira entre los 261,64 msnm, en la plaza Bolívar entre los 251,00 msnm, en el grupo escolar Guevara y Lira entre 255,49 msnm, y en la plaza Primero de Mayo entre los 258,53 msnm. El clima de la ciudad de Cantaura corresponde a un clima cálido húmedo a caliente húmedo (Rosales, 2007), de acuerdo al diagrama de zonas bioclimáticas que toma como valores de referencia la temperatura, la altitud y la humedad. (Figura 3).

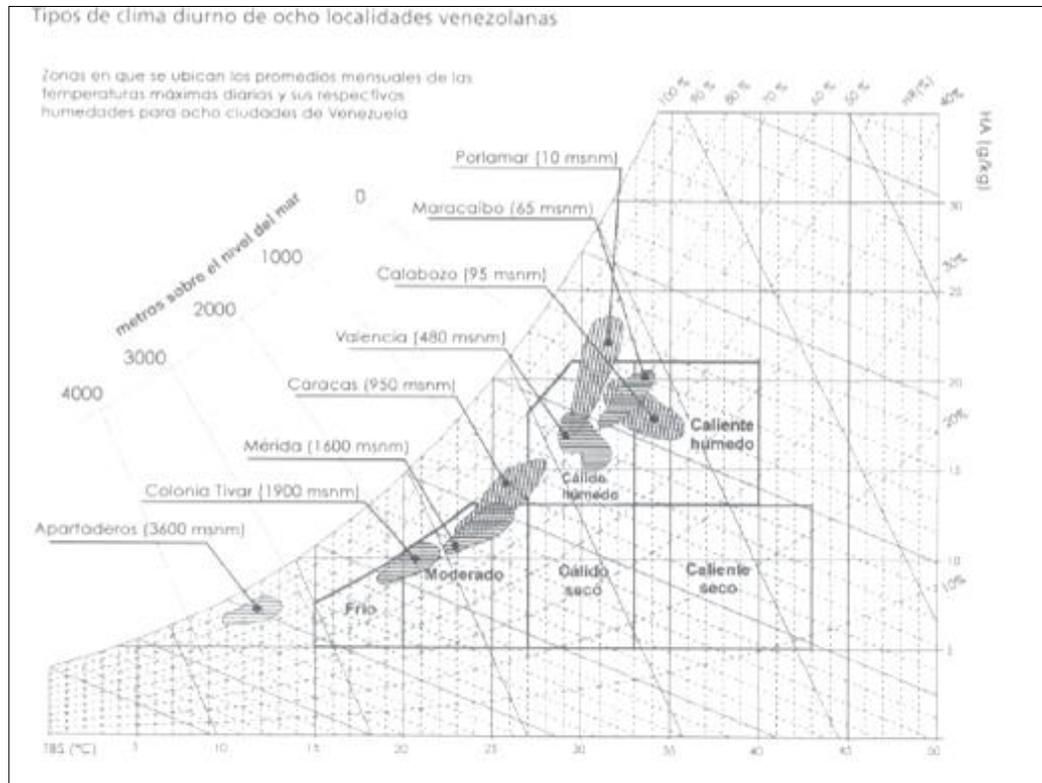


Figura 3. Tipos de clima diurno.

Fuente: Rosales, L, 2007, Revista de Tecnología y construcción.

Los datos climatológicos máximos y mínimos promedios, para la ciudad de Cantaura se deben según las estaciones Aeropuerto Internacional General José Antonio Anzoátegui (63%, 96 kilómetros, norte) y Aeropuerto Internacional José Tadeo Monagas (37%, 141 kilómetros, este). El valor estimado de Cantaura se calcula como un promedio ponderado de las aportaciones individuales de cada estación y Cantaura, de conformidad con la International Standard Atmosphere y con el cambio relativo presente en el re-análisis de la era de satélites MERRA-2 entre las dos ubicaciones.

Todos los datos climatológicos, incluida la precipitación, velocidad y dirección del viento, provienen de MERRA-2 Modern-Era Retrospective Analysis de NASA. Este re-análisis combina una variedad de

medidas de área amplia en un moderno modelo meteorológico mundial para reconstruir la historia del clima. Los datos del uso de la tierra vienen de la base de datos de la superficie terrestre Global LandCover SHARE database publicada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Para fines de este informe, la topografía en un radio de 3 kilómetros de Cantaura, contiene solamente variaciones modestas de altitud, con un cambio máximo de altitud de 64 metros y una altitud promedio sobre el nivel del mar de 239 metros y a efectos de un radio de 16 kilómetros contiene solamente variaciones modestas de altitud (159 metros).

Tabla 1. Espacio ocupacional de la tierra en la ciudad de Cantaura.

Espacio Ocupacional	Porcentaje
Pradera	58%
Árboles	18%
Tierra de Cultivo	12%
Arbustos	11%

Fuente: Elaboración propia

Tomando en consideración el espacio ocupacional de la tierra en la Ciudad de Cantaura en un espacio de 3 kilómetros, se obtuvo un mayor porcentaje de pradera del 58% y una variación del 48% restante comprendida entre arboles, tierra de cultivo y arbustos conformando así los menores valores de espacio ocupacional.

Temperatura

La temporada calurosa dura de 1 a 2 meses, del 27 de febrero al 30 de abril, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 34 °C. El día más caluroso del año es el 28 de marzo, con una temperatura máxima promedio de 35 °C y una temperatura mínima promedio de 22 °C. La temporada fresca dura de 2 a 7 meses, del 10 de junio al 2 de septiembre, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 31 °C. El día más frío del año es el 15 de enero, con una temperatura mínima promedio de 20 °C y máxima promedio de 32 °C.

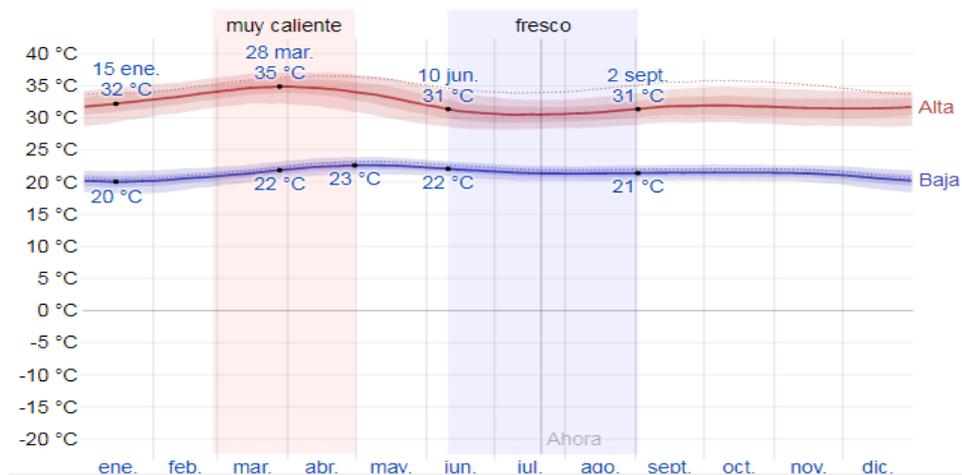


Figura 4. Temperatura máxima y mínima promedio.

Fuente: Base de datos WeatherSpark, Elaboración propia.

Nubes

En Cantaura, el promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes varía considerablemente en el transcurso del año. La parte más despejada del año en Cantaura comienza aproximadamente el 2 de junio; dura de 3 a 7 meses y se termina aproximadamente el 23 de septiembre. El 12 de julio, el día más despejado del año, el cielo está despejado, mayormente despejado

o parcialmente nublado el 44 % del tiempo y nublado o mayormente nublado el 56 % del tiempo.

La parte más nublada del año comienza aproximadamente el 23 de septiembre; dura de 3 a 8 meses y se termina aproximadamente el 2 de junio. El 21 de abril, el día más despejado del año, el cielo está despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 22 % del tiempo.

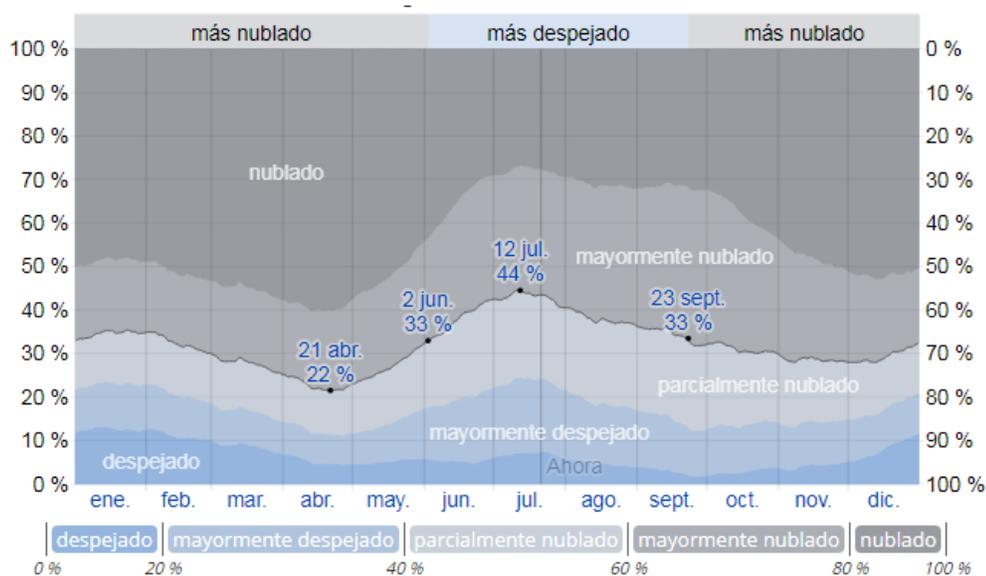


Figura 5. Categorías de nubosidad

Fuente: Base de datos WeatherSpark, Elaboración propia.

Lluvia

Para mostrar la variación durante un mes y no solamente los totales mensuales, se mostró la precipitación de lluvia acumulada durante un período móvil de 31 días centrado alrededor de cada día del año. Cantaura tiene una variación extremada de lluvia mensual por estación. La temporada de lluvia dura de 6 a 9 meses, del 27 de marzo al 14 de enero, con un

intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. La mayoría de la lluvia cae durante los 31 días centrados alrededor del 31 de julio, con una acumulación total promedio de 149 milímetros. El periodo del año sin lluvia dura de 2 a 4 meses, del 14 de enero al 27 de marzo. La fecha aproximada con la menor cantidad de lluvia es el 3 de marzo, con una acumulación total promedio de 7 milímetros.

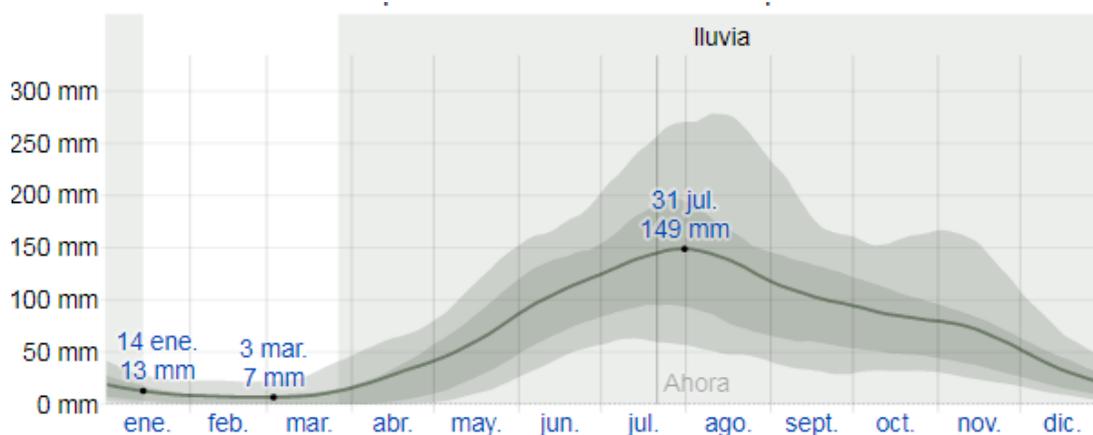


Figura 6. Precipitación de lluvia mensual promedio.

Fuente: Base de datos WeatherSpark, Elaboración propia.

Humedad

A diferencia de la temperatura, que generalmente varía considerablemente entre la noche y el día, el punto de rocío tiende a cambiar más lentamente, así es que aunque la temperatura baje en la noche, en un día húmedo generalmente la noche es húmeda; en Cantaura la humedad percibida varía considerablemente. El período más húmedo del año dura de 2 a 9 meses, del 12 de abril al 18 de enero, y durante ese tiempo el nivel de comodidad es bochornoso, opresivo o insoportable por lo menos durante el 71 % del tiempo. El día más húmedo del año es el 16 de agosto, con

humedad el 99 % del tiempo. El día menos húmedo del año es el 14 de marzo, con condiciones húmedas el 62 % del tiempo.

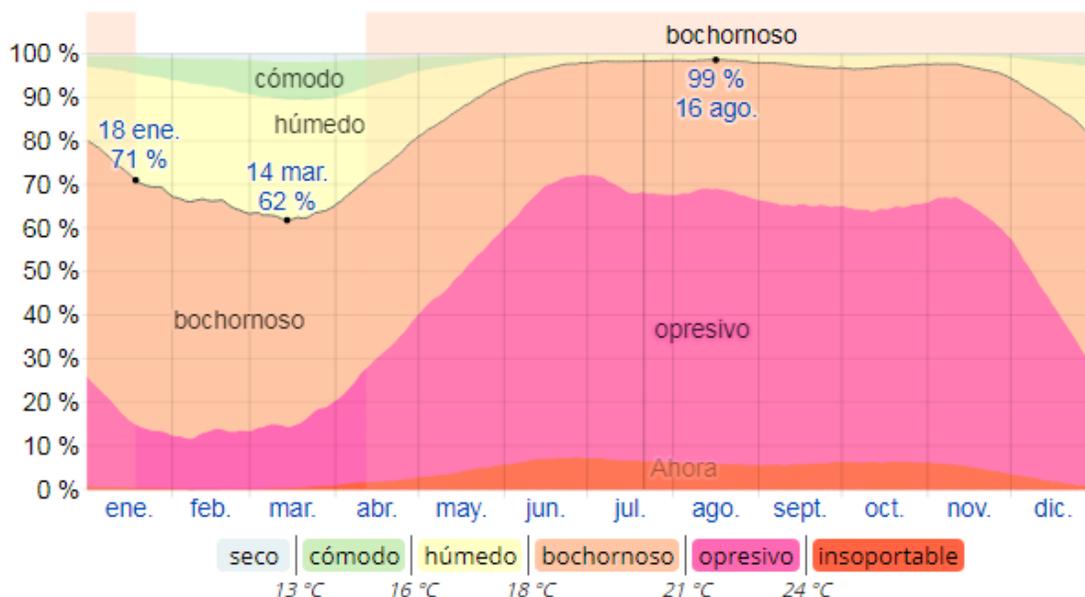


Figura 7. Niveles de comodidad de la humedad

Fuente: Base de datos WeatherSpark, Elaboración propia.

Viento

Esta sección trata sobre el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora.

La velocidad promedio del viento por hora en Cantaura tiene variaciones estacionales considerables en el transcurso del año. La parte más ventosa del año dura de 2 a 6 meses, del 25 de diciembre al 1 de julio, con velocidades promedio del viento de más de 15,2 kilómetros por hora. El día más ventoso del año es el 28 de marzo, con una velocidad promedio del

viento de 18,7 kilómetros por hora. El tiempo más calmado del año dura de 5 a 8 meses, del 1 de julio al 25 de diciembre. El día más calmado del año es el 23 de agosto, con una velocidad promedio del viento de 11,7 kilómetros por hora.

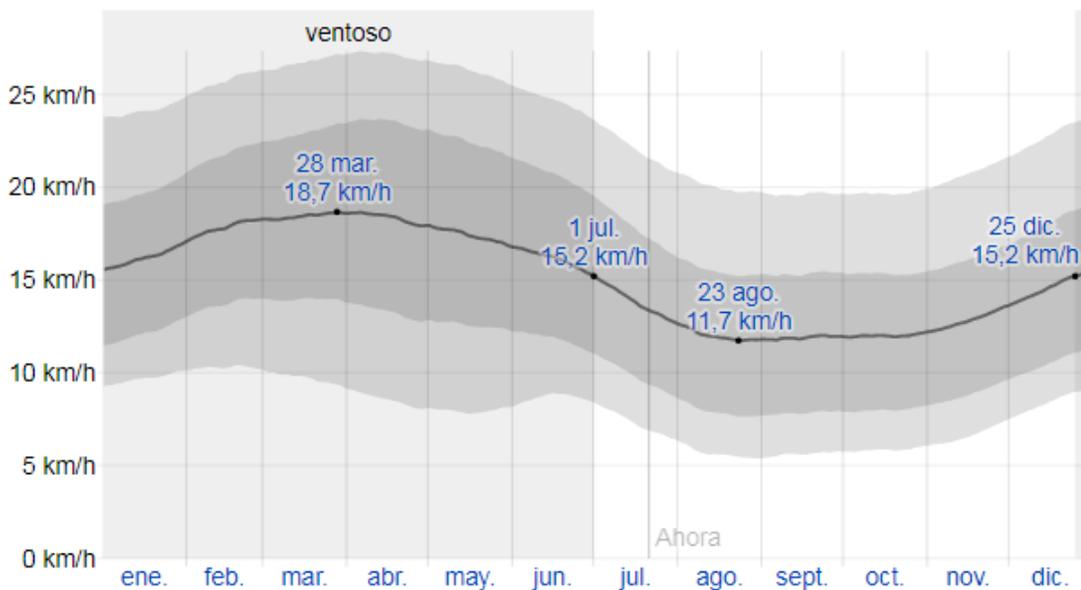


Figura 8. Velocidad promedio del viento
Fuente: Base de datos WeatherSpark, Elaboración propia.

Radiación solar

La duración del día en Cantaura no varía considerablemente durante el año, solamente varía 40 minutos de las 12 horas en todo el año. En 2019, el día más corto es el 22 de diciembre, con 11 horas y 35 minutos de luz natural; el día más largo es el 21 de junio, con 12 horas y 40 minutos de luz natural. La salida del sol más temprana es a las 5:56 el 28 de mayo, y la salida del sol más tardía es 43 minutos más tarde a las 6:39 el 29 de enero. La puesta del sol más temprana es a las 17:52 el 15 de noviembre, y la puesta del sol más tardía es 49 minutos más tarde a las 18:41 el 13 de julio.

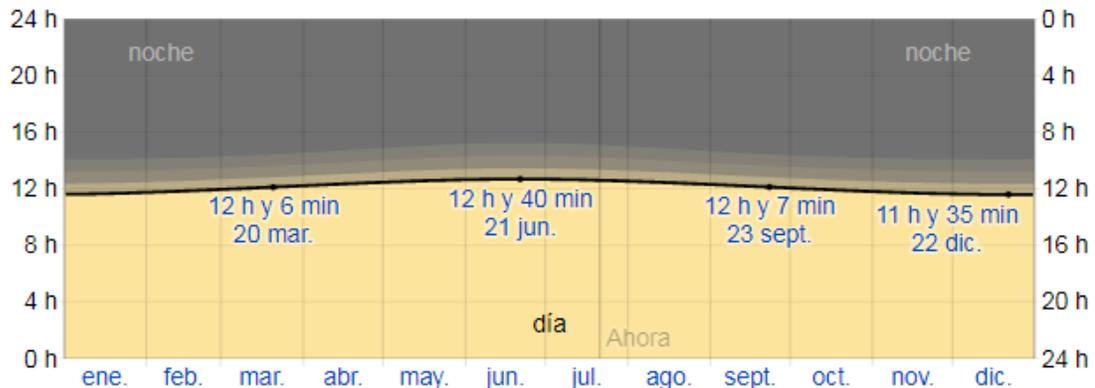


Figura 9. Horas de luz natural y crepúsculo
Fuente: Base de datos WeatherSpark, Elaboración propia.

De manera general se afirmó, que las condiciones ambientales y climáticas durante la estación seca las latitudes tropicales, son las más propicias para la formación del fenómeno de islas térmicas superficiales (Córdova, 2009, EPA, 2008), ya que los factores que contribuyen a mitigar el fenómeno, la nubosidad, la sombra y la evotranspiración vegetal y las precipitaciones se encuentran fuertemente minimizados, en tanto que los factores que acentúan o intensifican el calentamiento superficial, como las horas de insolación, la radiación incidente, la ausencia de nubosidad y la evaporación, se maximizan.

Adicionalmente, la vegetación en los climas de sábana presenta una condición a los efectos de la formación de la isla térmica superficial en la pérdida de la sombra vegetal y de los aportes de humedad atmosféricos por evapotranspiración, aumentando el impacto de la radiación incidente y en consecuencia el calentamiento superficial (Chen et al., 2006, EPA, 2008, Córdova, 2011a). Se requeriría caracterizar mejor el comportamiento vertical de la atmósfera durante los meses de lluvia (Marzo-Enero) y de transición sequía- lluvia (Enero-Marzo) en los que la alta humedad y las temperaturas

ambientales, son proclives a la intensificación de la isla térmica atmosférica (Córdova 2011a).

El periodo de sequia es entonces el periodo crítico a los efectos de la formación de la isla térmica superficial en la ciudad de Cantaura, ya que durante el mismo se registra la mayor cantidad de horas de insolación y en consecuencia, la mayor cantidad de radiación solar incidente de lo cual depende el calentamiento superficial diurno e inversamente la menor cobertura nubosa.

Por ello el periodo de análisis del fenómeno se centro fundamentalmente en la época de sequia con énfasis en los meses de Enero a Marzo, pero analizando también imágenes en el periodo lluvioso de preferencia para el mes de Julio para observar la variabilidad en los patrones térmicos inducidos por los cambios estacionales, en el área urbana de la ciudad de Cantaura.

En este caso, al utilizar la estacionalidad como criterio para seleccionar las imágenes satelitales para los análisis del fenómeno de isla térmica superficial, se observaron dos escenarios contrastados, lo cual permitió determinar en qué sectoresrevalece una alta temperatura superficial, aun bajo condiciones climáticas que favorecen la mitigación del fenómeno durante los meses de lluvia y bajo condiciones inversas, en los meses de sequia.

4.2. Describir la dinámica espacio-temporal del efecto isla de calor en los espacios urbanos de la ciudad de Cantaura, Municipio Freites, Estado Anzoátegui.

Según los resultados obtenidos de las condiciones climáticas de la ciudad de Cantaura y a fin de comparar la dinámica espacio temporal; se observen el primer trimestre comprendido de Enero a Marzo, el mayor incremento de temperatura del año con una nubosidad mayormente despejada o parcialmente nublada; así mismo se determino que este corresponde al período de sequía. Por otra parte, durante ese periodo se mantuvieron porcentajes de menor humedad, promedios de velocidad del viento dentro de los parámetros de temporada más ventosa y una mayor exposición a la radiación solar de 6min.

De acuerdo a los factores observados en este periodo de transición, se evidencio que las horas de radiación solar, la ausencia de nubosidad y de evaporación se maximizan y acentúan o intensifican el calentamiento superficial.

Tabla 2. Condiciones Climáticas de la ciudad en los meses de Enero, Febrero y Marzo.

Condiciones climáticas	Enero		Febrero		Marzo	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	20	33	20	34	21	35
Nubes (%)	33	35	30	35	25	30
Lluvia (mm)	8	19	7	8	7	16
Humedad (%)	68	80	63	67	62	66
Viento (km/h)	15,5	17,0	17,1	18,3	18,3	18,7
Radiación	11h	11h	11h	11h	11h	12h
	36min	44min	44min	57min	57min	06min

Fuente: Elaboración propia

En el periodo de transición correspondiente al segundo trimestre de Abril a Junio, se observó al igual que en el primer trimestre altas temperaturas, un menor porcentaje de nubosidad mayormente despejado o parcialmente nublado, la presencia de lluvias ocasionales, mayor porcentaje de humedad, un alto promedio de velocidad del viento y un mayor tiempo de exposición a la radiación solar. Siendo este último factor incidente del cual depende el calentamiento superficial diurno, sin embargo se observó un mayor porcentaje de humedad, el cual es uno de los factores que contrarresta dicho calentamiento.

Tabla 3. Condiciones Climáticas de la ciudad en los meses de Abril, Mayo y Junio.

Condiciones climáticas	Abril		Mayo		Junio	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	22	35	22	34	22	32
Nubes (%)	22	25	23	32	33	42
Lluvia (mm)	17	42	43	88	89	125
Humedad (%)	66	81	81	94	94	98
Viento (km/h)	17,9	18,6	16,8	17,9	15,2	16,8
Radiación	12h	12h	12h	12h	12h	12h
	13min	27min	28min	38min	38min	40min

Fuente: Elaboración propia

Para el tercer trimestre del año para los meses de Julio a Septiembre, fueron en los que se registraron valores promedios de temperatura, mayor porcentaje de nubosidad, siendo además, los meses en que se presentó la cantidad mayor de acumulación de lluvia y con altos valores en cuanto al porcentaje de humedad. Adicionalmente, se observaron menores velocidades de viento y al igual que en el segundo trimestre, existió una mayor exposición a la radiación solar. Es importante destacar, que en estos se esperó que aumentara la sensación térmica de calor aunque no necesariamente el calentamiento superficial por el aumento de la nubosidad.

Tabla 4. Condiciones Climáticas de la ciudad en los meses de Julio, Agosto y Septiembre.

Condiciones climáticas	Julio		Agosto		Septiembre	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	21	31	21	31	21	32
Nubes (%)	41	44	36	41	32	36
Lluvia (mm)	126	149	117	149	94	116
Humedad (%)	97	98	98	99	97	98
Viento (km/h)	12,6	15,1	11,7	12,6	11,8	11,9
Radiación	12h	12h	12h	12h	12h	12h
	32min	39min	18min	31min	07min	17min

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al último trimestre del año, las temperaturas se mantuvieron constantes con respecto a las del trimestre anterior, por otra parte, disminuyó el porcentaje de nubosidad, se presentaron lluvias ocasionales y se mantuvo un porcentaje de humedad considerable, así como también, las velocidades promedio de viento. Sin embargo, durante el mes de octubre se observó la mayor exposición de radiación solar de todo el año. Durante el mismo, se esperaba que hacia el final del año aumentara la humedad y las temperaturas del aire se mantuvieran constantes.

Tabla 5. Condiciones Climáticas de la ciudad en los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre.

Condiciones climáticas	Octubre		Noviembre		Diciembre	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	21	32	21	32	20	32
Nubes (%)	80	94	52	79	20	33
Lluvia (mm)	80	94	52	79	20	50
Humedad (%)	97	98	94	98	80	94
Viento (km/h)	11,9	12,2	12,2	13,7	13,7	15,5
Radiación	11h	12h	11h	11h	11h	11h
	48min	02min	37min	47min	35min	37min

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, podemos decir que el periodo de sequia fue entonces el periodo crítico a los efectos de la formación de la isla térmica superficial en la ciudad de Cantaura, durante el mismo se registró la mayor cantidad de horas de insolación con los menores valores de humedad registrados en el año, y en consecuencia, una de las mayores cantidad de radiación solar incidente de lo cual depende el calentamiento superficial diurno e inversamente la menor cobertura nubosa.

En este mismo sentido, el espacio urbano construido puede caracterizarse, como un complejo mosaico de superficies y usos asociados, con características físico-naturales y comportamiento térmico diferente, dependiendo de las propiedades físicas (reflectancia, absorptividad, trasmisividad y emisividad) de los elementos que lo componen, vegetación (arbórea, arbustiva, gramíneas), suelos, coberturas asfálticas, coberturas metálicas, concreto, laminas de agua, roca, etc. De forma general se clasifico estas superficies presentes en el mosaico urbano, como espacios naturales o construidos. Los espacios naturales, corresponden en este caso a ambientes

recubiertos por vegetación, bien sea intervenidos o sin intervenir por el desarrollo urbano e integrados o no en el tramo urbano como por ejemplo las áreas naturales protegidas, riberas de ríos y quebradas, los espacios remanentes de la vialidad o áreas con restricciones al desarrollo urbano por la pendiente, terrenos municipales no desarrollados, entre otros.

Los espacios construidos en cambio son, tanto aquellos desarrollados por el urbanismo formal, como los que son incorporados al desarrollo urbano sin un plan de desarrollo formal. El urbanismo formal, incluye no solo el desarrollo de los nuevos espacios habitacionales, sino la planificación de la infraestructura de servicios asociados a los usos nuevos o existentes; las redes viales, los planes de saneamiento ambiental, los espacios educativos, de recreación, entre otros.

El urbanismo informal, ocupa en muchos casos áreas remanentes o con restricciones y por lo general presenta un inadecuado nivel de servicios por lo que suelen presentarse carencias y situaciones socio ambientales complejas. Ambos espacios, naturales y construidos se intercalan en el tramo urbano constituyendo lo reconocido como ciudad.

Por lo tanto, el mosaico urbano resultante de estas interacciones, guarda relación con los patrones térmicos superficiales, y con la formación y extensión de las islas térmicas urbanas, por ello el interés del estudio de estos procesos.

La densidad de población es otro elemento con incidencia directa sobre la isla de calor, asociada tanto al uso residencial como al de las actividades económicas, tal y como describió Sailor (2004), la distribución espacial de la isla de calor a lo largo del día (mañana, tarde y noche) es explicada, en gran medida por los cambios de densidades que tienen lugar en la ciudad. Además, Zhang (2008) confirmó que las zonas donde se

localizan las mayores densidades de población, coinciden con las que registran los máximos térmicos.

Durante las últimas dos décadas, la ciudad de Cantaura ha venido experimentando un proceso de crecimiento poblacional y de consolidación de su casco central a través de buenas prácticas de mantenimiento de sus espacios públicos. Sin embargo, el crecimiento se ha dado de forma desordenada, ocupando la periferia del casco fundacional de la ciudad con crecimientos anárquicos de baja densidad, conformando barrios con deficiencias o ausencias de servicios básicos y equipamientos urbanos, muchas veces localizados en zonas con restricciones ambientales para el desarrollo urbano.

Tabla 6. Cantaura: Evolución de la superficie construida y la densidad poblacional.

Años	Superficie Urbana (Ha)	Habitantes (Hab)	Densidad (Hab/Ha)
2004	800	40.140 aprox.	50
2019	1.023	42.640 aprox.	42

Fuente:Alcaldía de Cantaura, Elaboración propia.

En relación a la estructura urbana, la ciudad de Cantaura fue fundada en 1740, según las leyes de Indias, con una estructura de cuadrícula centrada alrededor de la plaza central, donde se concentran las principales instituciones y actividades. La ciudad se fue expandiendo en sentido Este – Oeste (debido a la forma de meseta en la que está emplazada) hasta la segunda década del siglo XX, cuando se comenzaron a producir cambios por el impacto de la actividad petrolera. En este sentido, el crecimiento urbano de Cantaura mantuvo forma de damero hasta la década de los 80s, sin

embargo, comenzaron a surgir desarrollos anárquicos hacia el norte y sur del emplazamiento original conformando una estructura urbana diferente a la anterior.

Actualmente, la ciudad es de forma irregular, con tendencia alargada en sentido Este – Oeste y presenta una morfología heterogénea con presencia de tejidos desordenados producto de los desarrollos no planificados, donde prevalece la tipología de vivienda basada en una modificación de lo que se conoce como casa de malariología que genera un tejido discontinuo que no permite la adecuada definición del espacio público, en contraste con la tipología de vivienda tradicional, identificada en el emplazamiento original de la ciudad, que genera un borde continuo y permite una mejor definición del espacio.

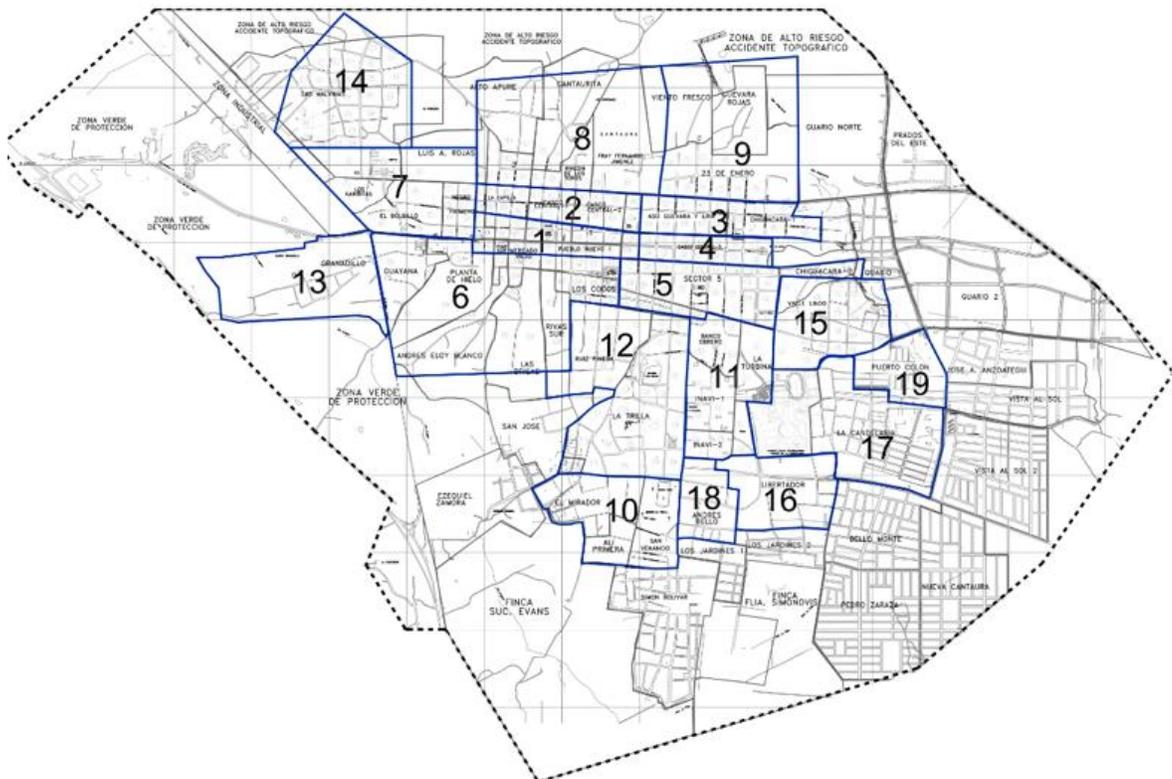


Figura 10. Mapa sectorial de Cantaura.

Fuente: Alcaldía de Cantaura.

Tabla 7. Descripción detallada de los sectores enumerados.

# de Sectores	Sectores
1	Negro Primero, La Capilla, Casco Central-1, Casco Central-2, Planta de Hielo, Piar Sur, Mercado Viejo, Pueblo Nuevo-1.
2	Negro Primero, La Capilla, Casco Central-1, Casco Central-2, Aso Guevara y Lira.
3	Aso Guevara y Lira, Chiguacara-1.
4	Casco Central-3.
5	Sector 5, Los Cocos, Chiguacara-2, Banco Obrero.
6	Guayana, Planta de Hielo, Piar Sur, Mercado Viejo, Los Cocos, Andrés Eloy Blanco, Las Brisas, Rivas Sur, Pueblo Nuevo-1.
7	Las Malvinas, Luis A. Rojas, Los Kariñitas, El Bolsillo, Negro Primero.
8	Luis A. Rojas, La Capilla, Alto Apure, Cantaurita, Rincón de los Toros, Fray Fernando Jiménez, Viento Fresco.
9	23 de Enero, Viento Fresco, Guevara Rojas, Guarío Norte.
10	El Mirador, Alí Primera, San Venancio.
11	Banco Obrero, La Turbina, Inavi-1, Inavi-2, Libertador.
12	Ruiz Pineda, La Trilla, El Mirador, San José.
13	Granadillo.
14	Las Malvinas.
15	La Chiguacara, Valle Lindo, Guarío-1.

16	El Libertador.
17	La Candelaria, Complejo Ferial.
18	Andrés Bello.
19	Puerto Colón.

Fuente: Alcaldía de Cantaura, Elaboración propia.

En relación a la vialidad y el transporte, el sistema vial de la ciudad está estructurado a partir de la Avenida Bolívar, la cual constituye el principal acceso de la ciudad por cuanto se conecta con la Local 004 y la Autopista Barcelona – El Tigre, a través de una prolongación y el distribuidor San Joaquín. Esta avenida es la principal vía arterial de la ciudad, la cual recoge y distribuye la mayor parte de los viajes externos e internos.

Estas diferencias en los patrones de ocupación de la ciudad de Cantaura, determinan que el comportamiento térmico de las superficies que integran el mosaico urbano de la ciudad, poseen una estrecha relación con la densidad del espacio construido y la pérdida creciente de espacios naturales. En efecto, dividimos la ciudad en tres (3) sectores para poder apreciar diferencias en los patrones de ocupación del suelo.

Tabla 8. Sectores de la ciudad de acuerdo a la ocupación del suelo.

Sector	Característica	Descripción
Sector Urbano	Mesa conservada	Corresponde al emplazamiento original de la ciudad, donde se sitúa el casco histórico de la misma.
Sector con Posible Uso Urbano	Mesa ligeramente disectada, sector de lomar y colinas de	Se identifican dos subsectores, uno que se extiende casi de forma continua hacia el sur y este del emplazamiento original de la ciudad y otro que se extiende al Nor-Oeste, en el que se localiza la zona

	topografía suavemente ondulada	industrial.
Sector con Limitantes para el Uso Urbano	Mesa Ligeramente disectada	Se identificaron cinco subsectores, el primero se extiende al sureste del área ocupada, el segundo, se extiende al suroeste de la ciudad en la margen izquierda del río Aragua; el tercero, corresponde a la zona de declive que bordea el emplazamiento original de la ciudad; el cuarto, presente en diversas partes del área en estudio; y finalmente, el quinto sector de medios deposicionales de valles del río Aragua y la quebrada Chiguacara.

Fuente: Elaboración propia con base en el PGAU – Cantaura, 2006.

4.3. Realizar isotermas aplicando ArcGis 10.5 para la comprensión del impacto del efecto isla de calor en la ciudad y su asociación con infraestructuras y elementos del espacio urbano.

Con base a la información presentada en el objetivo anterior, se dividió la ciudad en sectores de características homogéneas, tomando en cuenta criterios como usos del suelo, trama urbana, características del medio físico natural, entre otras. De manera, que al realizar las isotermas se pudiera apreciar de manera más comprensible el impacto del efecto isla de calor en la ciudad y su asociación con las infraestructuras y los materiales constructivos, por lo que se obtuvo principalmente cinco grandes zonas.

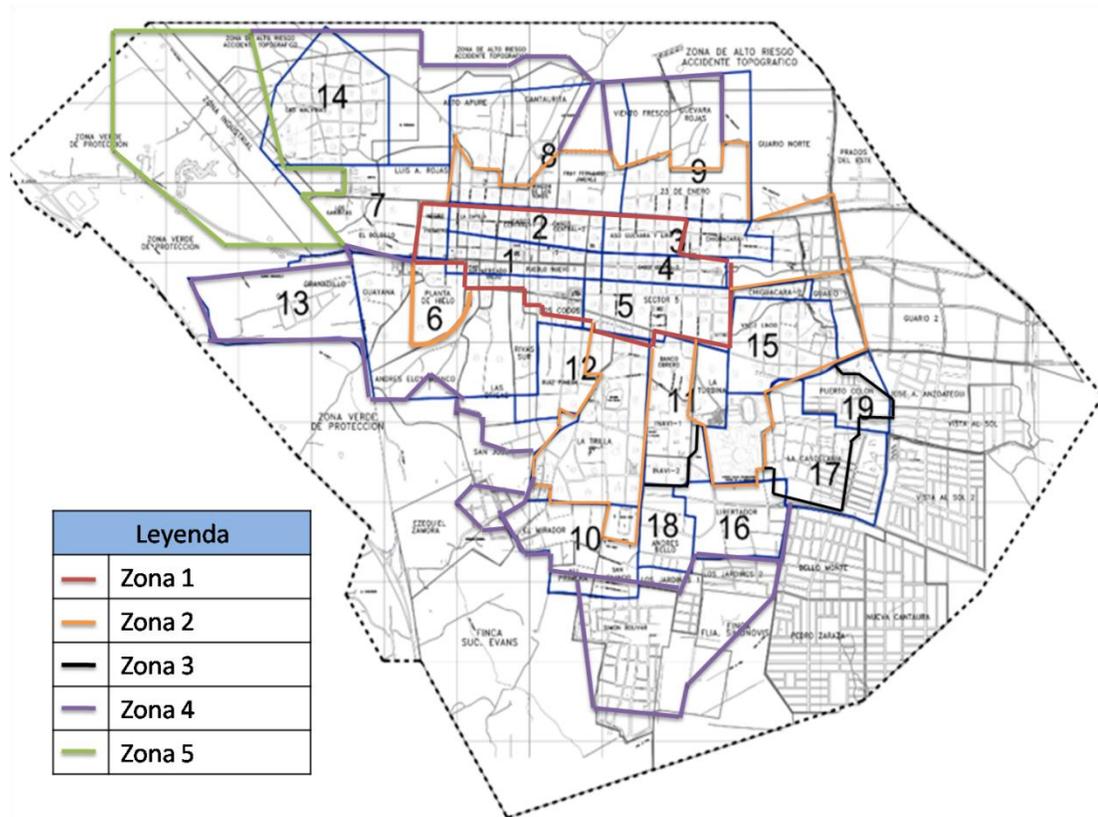


Figura 11. Mapa sectorial de Cantaura dividido por zonas.

Fuente: Alcaldía de Cantaura, Elaboración propia.

La zona 1 es un sector con características de “Sector Urbano” en el que se encuentra emplazado el casco central de la ciudad. Constituye el elemento central que estructura la ciudad en sentido Este – Oeste, con una trama urbana definida por la cuadrícula original de la ciudad. El uso del suelo predominante es el residencial unifamiliar, está constituido por edificaciones continuas con una buena definición de los espacios.

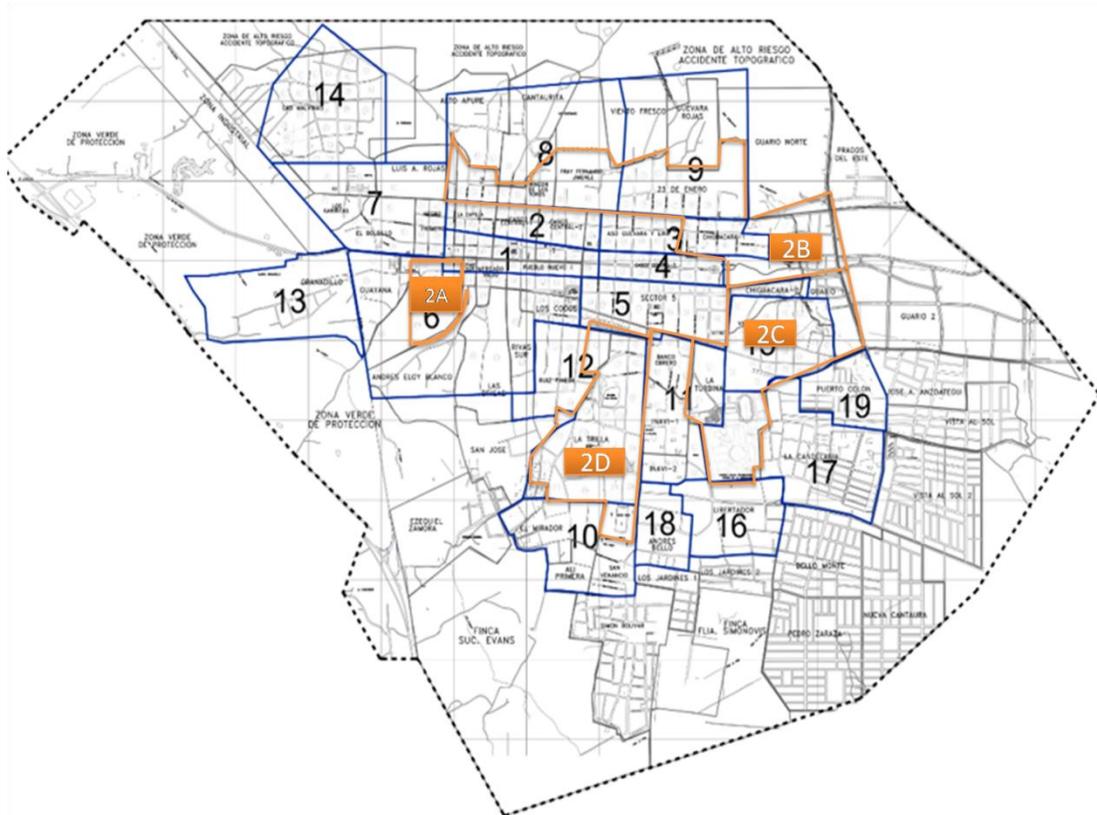


Figura 13. Ficha resumen de la zona 2.

Fuente: Elaboración propia con base en el PGAU – Cantaura, 2006.

Por otra parte, la zona 3 se definió como “sector con posible Uso Urbano”, se encuentra localizado al Sur – Este de la zona 1, conformado por grandes desarrollos de vivienda ejecutados por el gobierno central y local, con tipologías de edificación que corresponden a variaciones de lo que se conoce como “casa de malariología”. Presenta calles más amplias y un tejido urbano menos denso que en el casco central. Los espacios socioculturales-administrativos (plazas) se encuentran en general en regular o mal estado.

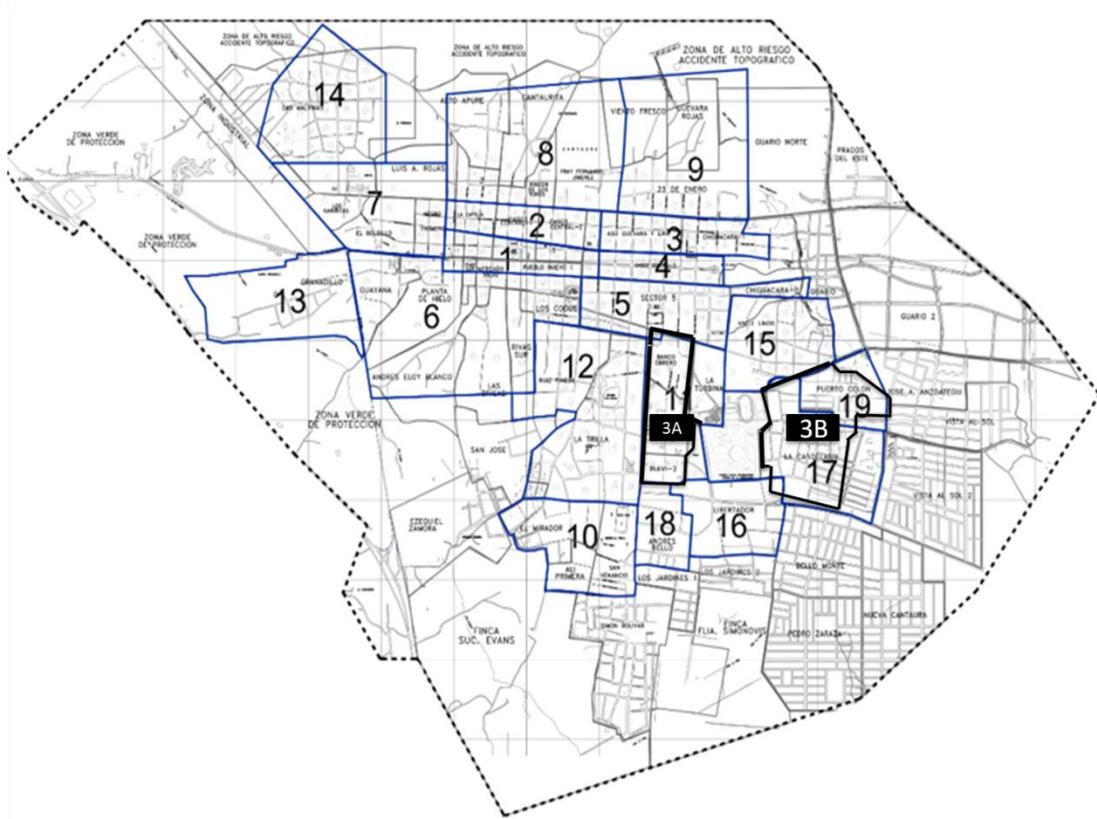


Figura 14. Ficha resumen de la zona 3.

Fuente:Elaboración propia con base en el PGAU – Cantaura, 2006.

En el mismo orden, la zona 4 constituyó el sector más externo de la ciudad. El noroeste del subsector 4D y los sectores 4A Y 4B se han definido como “sectores con posible Uso Urbano”. Los sectores 4C, 4E y el Sureste del subsector 4D se han denominado “sectores con limitantes para el uso urbano”. El uso predominante es el residencial, excepto en el subsector 4D en el que se pueden observar sectores de uso industrial. La trama urbana es menos regular en relación a la tradicional cuadrícula identificada en el casco central, debido a las condiciones topográficas a las cuales deben ajustarse los accesos a dicha zona.

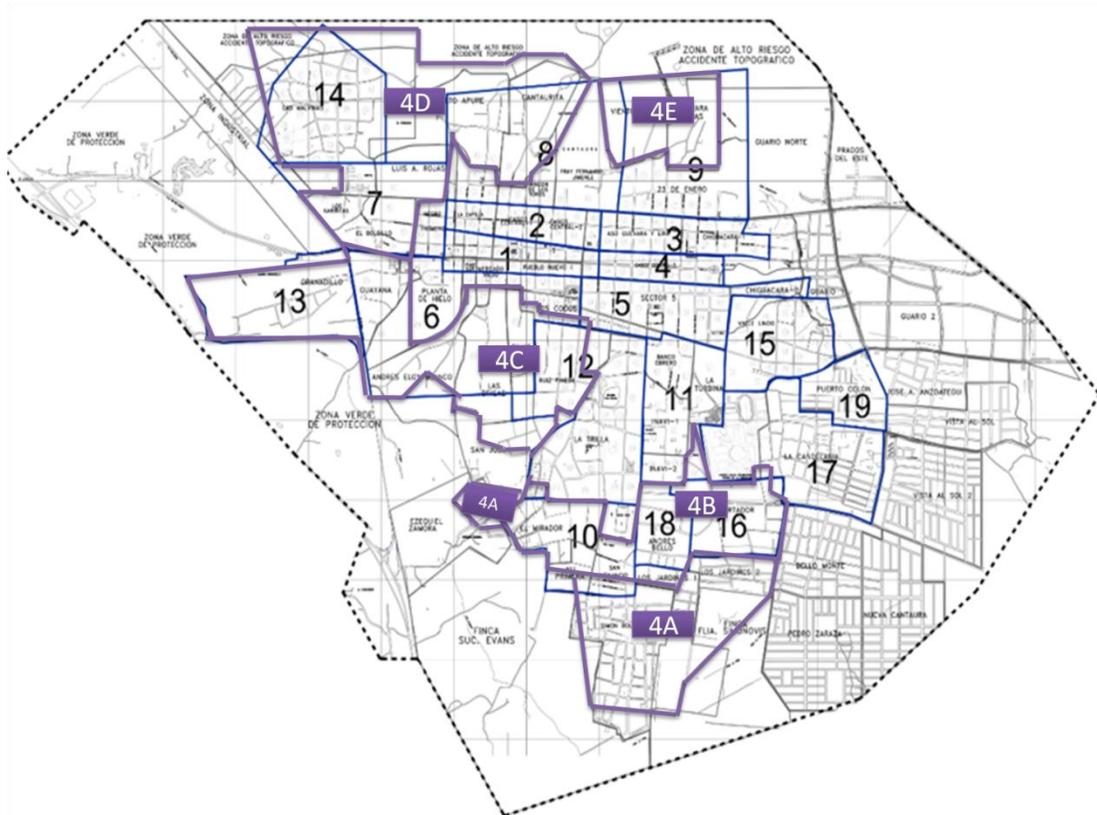


Figura 15. Ficha resumen de la zona 4.

Fuente: Elaboración propia con base en el PGAU – Cantaura, 2006.

La zona 5 corresponde al “sector con limitaciones para el Uso Urbano”, se encuentra ubicado al oeste de la ciudad, presenta limitaciones al uso urbano debido a los procesos erosivos que le ha dado origen a las filas y planicies que conforman este sector. El uso predominante es el industrial, que bordea a las dos principales vías de acceso a la ciudad, se caracteriza por presentar una estructura de parcelas de gran tamaño, en su mayoría vacantes.

Para dar inicio a la formación de isotermas, se hizo necesaria la utilización del software ArcGis 10.5, el cual es un completo sistema de información geográfica que permitió organizar, analizar y distribuir los datos requeridos. Principalmente, se identificaron las coordenadas, altitudes y temperaturas promedio de cada una de las zonas en específico para los trimestres establecidos, siendo estas últimas seleccionadas de acuerdo a las imágenes satelitales y a los factores climáticos obtenidos de WeatherSpark. Seguidamente, esta información fue vaciada en tablas Excel para poder ser cargada al programa.

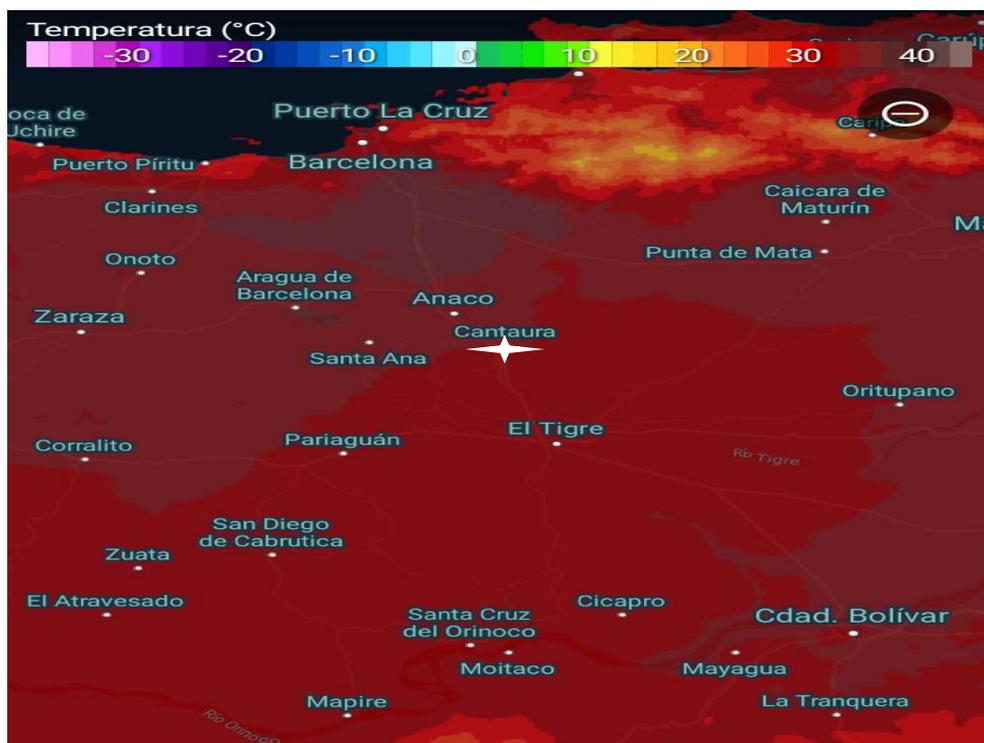


Figura 17. Mapa de temperatura.

Fuente: WeatherSpark.

Basándose teóricamente, podemos decir que el efecto isla de calor se presenta cuando en las ciudades las temperaturas superan los 28°C; de acuerdo a los datos otorgados por la base de datos satelital y las isotermas

realizadas en el programa se evidenció que las temperaturas más altas se observan durante el primer trimestre del año, variando en tanto 6°C la temperatura normal que debería tener la ciudad en sí. Por otra parte, para este mismo periodo vemos que dicho efecto se intensifica con una temperatura promedio de 34°C sobre todo en el casco central representado como zona 1A y en parte de las zonas 2A, 2C y 4D. Mientras que, en las zonas 2B, 2C, 2D, 3A y 5A se observó una temperatura menor entre los 32°C y 33°C.

Tabla 10. Datos para la formación de isotermas trimestre Enero-Marzo.

Id	Fuente	Zona	X	Y	Z	T _{det}
1	WeatherSpark	1ª	-64,358963	9,308777	266	35,5
2	WeatherSpark	2ª	-64,368864	9,305747	257	34,85
3	WeatherSpark	2B	-64,345363	9,309217	231	33,5
4	WeatherSpark	2C	-64,3454	9,304184	233	34,68
5	WeatherSpark	2D	-64,359236	9,297251	254	33
6	WeatherSpark	3ª	-64,353712	9,298326	245	33,5
7	WeatherSpark	3B	-64,343917	9,29486	251	35
8	WeatherSpark	4ª	-64,356204	9,286335	253	34
9	WeatherSpark	4B	-64,349998	9,295927	251	33,25
10	WeatherSpark	4C	-64,368826	9,301495	233	33,75
11	WeatherSpark	4D	-64,374184	9,315795	239	34,5
12	WeatherSpark	4E	-64,353872	9,315252	228	33,5
13	WeatherSpark	5ª	-64,382619	9,315933	221	32,98

Fuente: Elaboración propia

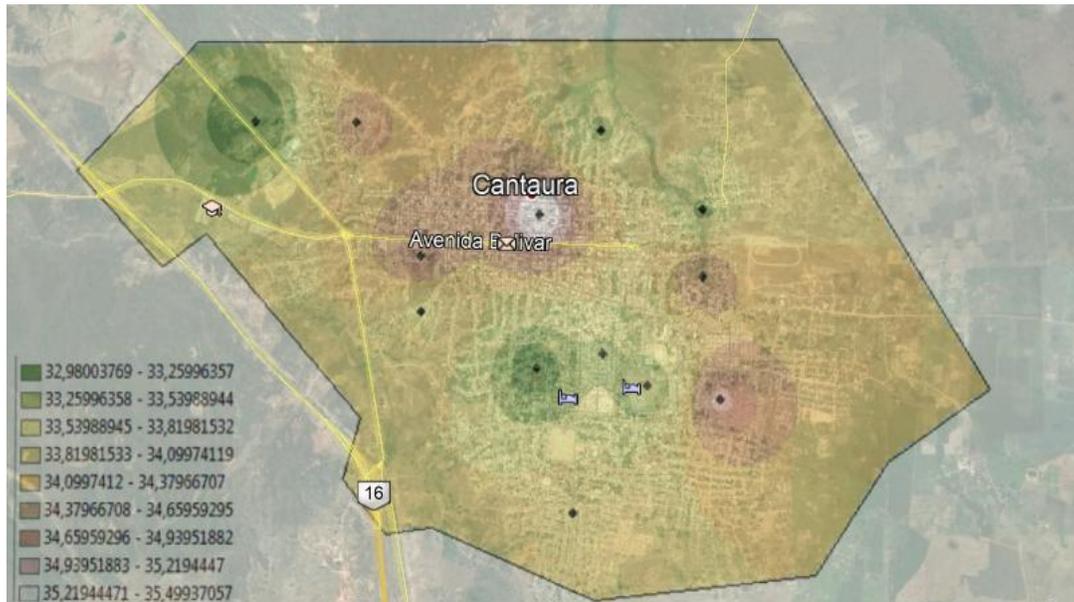


Figura 18. Isoterma trimestre Enero-Marzo.

Fuente: ArcGis 10.5, Elaboración propia.

Para el segundo trimestre comprendido de Abril a Junio, también se observaron altas temperaturas variando en comparación al trimestre anterior 5°C de temperatura. En estos meses, el efecto se observó de manera diferente debido a que mantuvo una gran concentración de las temperaturas máximas en las zonas 1A, 2C, 2D, 3A, 3B, 4A, 4B, AC, AD. Mientras que en los sectores comprendidos entre las zonas 2A, 2B y 5A, se ve un efecto mucho más controlado y con temperaturas menores.

Tabla 11. Datos para la formación de isotermas trimestre Abril-Junio.

Id	Fuente	Zona	X	Y	Z	T _{det}
1	WeatherSpark	1ª	-64,358963	9,308777	266	34,4
2	WeatherSpark	2ª	-64,368864	9,305747	257	32,75
3	WeatherSpark	2B	-64,345363	9,309217	231	32,89
4	WeatherSpark	2C	-64,3454	9,304184	233	33,85
5	WeatherSpark	2D	-64,359236	9,297251	254	33,95
6	WeatherSpark	3ª	-64,353712	9,298326	245	34,2

7	WeatherSpark	3B	-64,343917	9,29486	251	34,25
8	WeatherSpark	4ª	-64,356204	9,286335	253	33,82
9	WeatherSpark	4B	-64,349998	9,295927	251	33,5
10	WeatherSpark	4C	-64,368826	9,301495	233	33,81
11	WeatherSpark	4D	-64,374184	9,315795	239	33,94
12	WeatherSpark	4E	-64,353872	9,315252	228	33,92
13	WeatherSpark	5ª	-64,382619	9,315933	221	32,5

Fuente: Elaboración propia

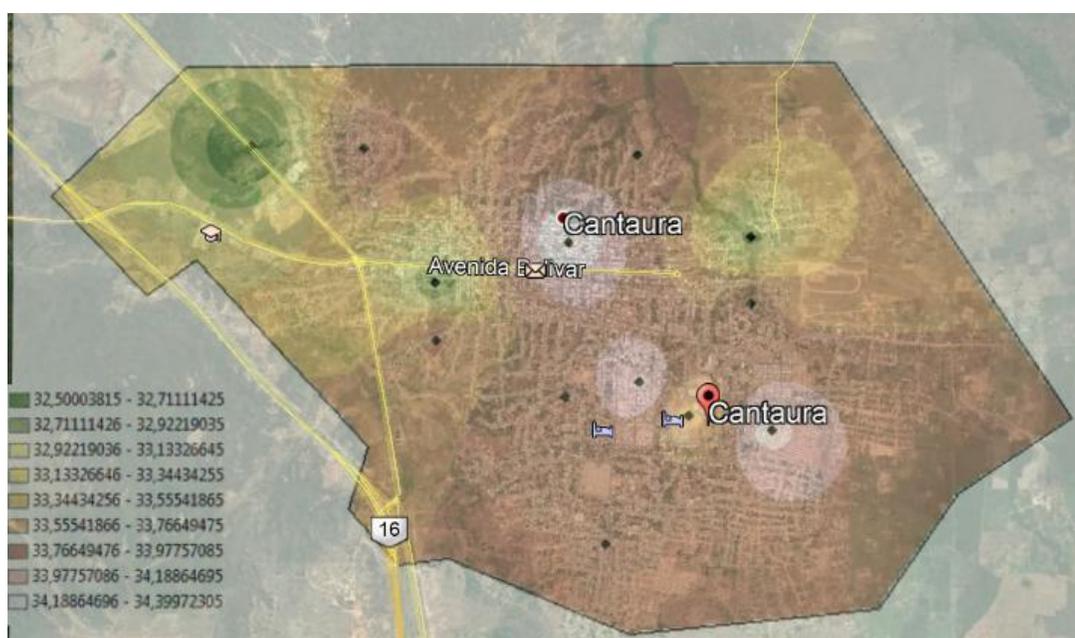


Figura 19. Isoterma trimestre Abril-Junio.

Fuente: ArcGis 10.5, Elaboración propia.

Durante el tercer trimestre, la temperatura promedio del efecto fue de 31,33°C teniendo una variación de 3°C, reduciéndose considerablemente cumpliéndose así, lo esperado para la temporada lluviosa. En la isoterma, se visualizó un efecto muy parecido al del periodo Abril-Junio debido a que se concentra una de las temperaturas en gran parte de los sectores que corresponden a la ciudad, así mismo, se observó la temperatura máxima concentrada en el casco central de la ciudad mientras, que la temperatura mínima se observa en la zona 2C.

Tabla 12. Datos para la formación de isotermas trimestre Julio-Septiembre.

Id	Fuente	Zona	X	Y	Z	T _{det}
1	WeatherSpark	1ª	-64,358963	9,308777	266	32,7
2	WeatherSpark	2ª	-64,368864	9,305747	257	31,75
3	WeatherSpark	2B	-64,345363	9,309217	231	31,81
4	WeatherSpark	2C	-64,3454	9,304184	233	29,5
5	WeatherSpark	2D	-64,359236	9,297251	254	31
6	WeatherSpark	3ª	-64,353712	9,298326	245	31,5
7	WeatherSpark	3B	-64,343917	9,29486	251	31,98
8	WeatherSpark	4ª	-64,356204	9,286335	253	30,32
9	WeatherSpark	4B	-64,349998	9,295927	251	31,97
10	WeatherSpark	4C	-64,368826	9,301495	233	30,41
11	WeatherSpark	4D	-64,374184	9,315795	239	31,53
12	WeatherSpark	4E	-64,353872	9,315252	228	31,85
13	WeatherSpark	5ª	-64,382619	9,315933	221	30,93

Fuente: Elaboración propia.

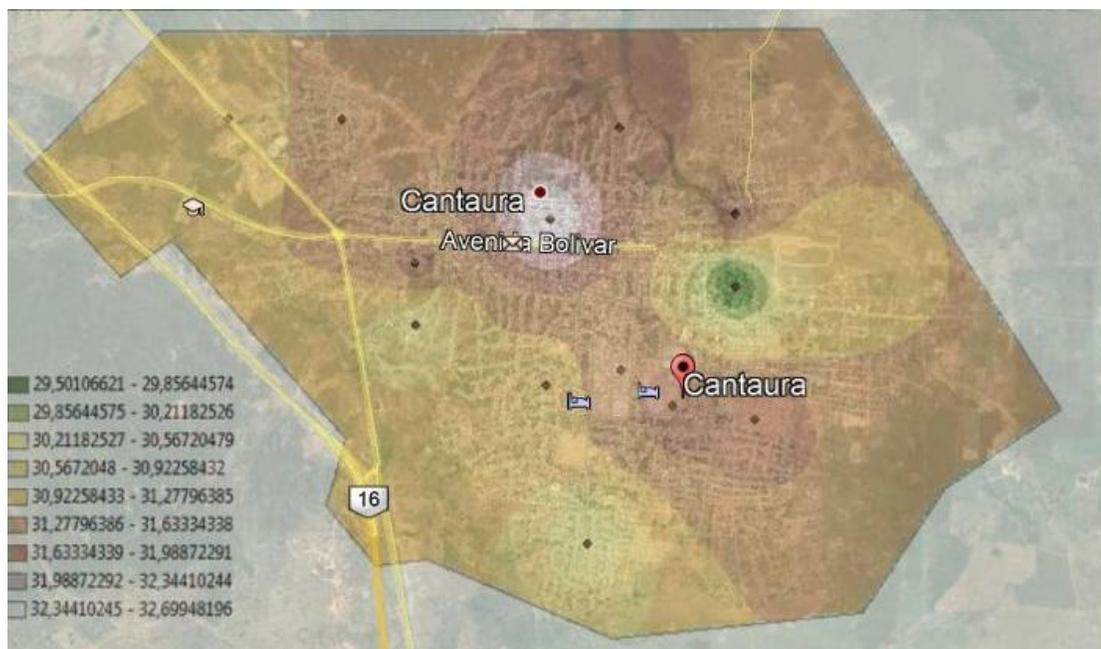


Figura 20. Isoterma trimestre Julio-Septiembre.

Fuente: ArcGis 10.5, Elaboración propia.

En cuanto al último trimestre del año, observamos nuevamente las temperaturas máximas tanto en la zona 1A como en las zonas 3A y 3B; por otra parte, las temperaturas mínimas fueron observadas para las zonas 5A, 4E y 4A. Durante el mismo, la variación de temperatura fue de 4°C manteniéndose para este, una temperatura promedio de 32°C.

Tabla 13. Datos para la formación de isotermas trimestre Octubre-Diciembre.

Id	Fuente	Zona	X	Y	Z	T _{det}
1	WeatherSpark	1ª	-64,358963	9,308777	266	33,5
2	WeatherSpark	2ª	-64,368864	9,305747	257	31,9
3	WeatherSpark	2B	-64,345363	9,309217	231	31,75
4	WeatherSpark	2C	-64,3454	9,304184	233	32,15
5	WeatherSpark	2D	-64,359236	9,297251	254	31,96
6	WeatherSpark	3ª	-64,353712	9,298326	245	33,24
7	WeatherSpark	3B	-64,343917	9,29486	251	33,08
8	WeatherSpark	4ª	-64,356204	9,286335	253	31,3
9	WeatherSpark	4B	-64,349998	9,295927	251	31,77
10	WeatherSpark	4C	-64,368826	9,301495	233	31,85
11	WeatherSpark	4D	-64,374184	9,315795	239	31,6
12	WeatherSpark	4E	-64,353872	9,315252	228	31,33
13	WeatherSpark	5ª	-64,382619	9,315933	221	30,9

Fuente: Elaboración propia

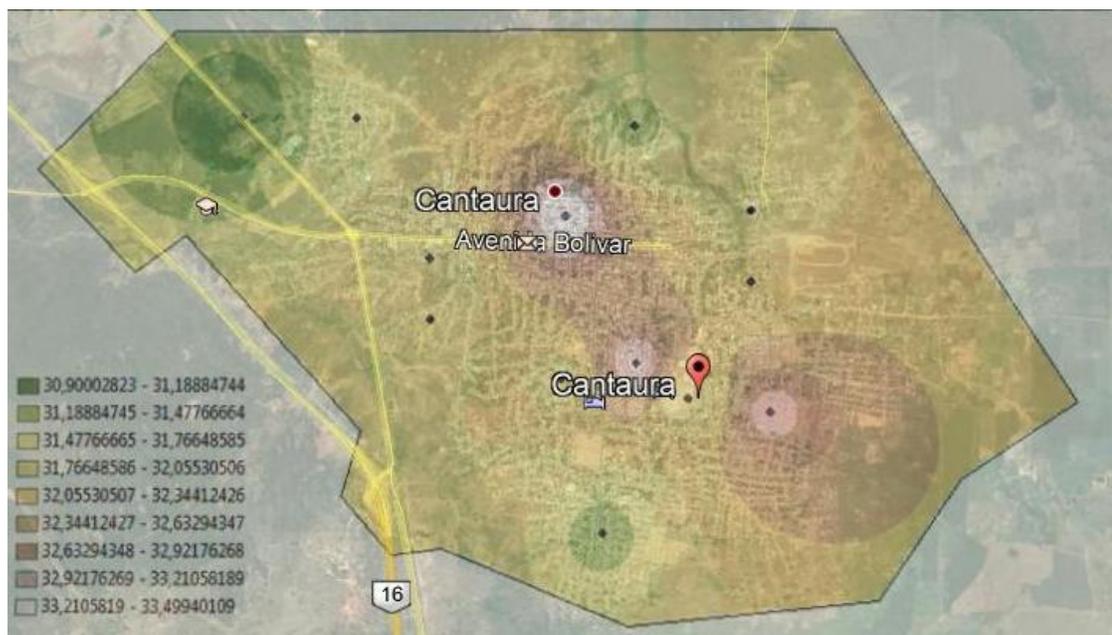


Figura 21. Isotherma trimestre Octubre-Diciembre.

Fuente: ArcGis 10.5, Elaboración propia.

Los materiales de construcción característicos de las superficies urbanas, son uno de los factores que contribuyen con la formación del fenómeno de isla de calor. Los materiales con mejor conductividad como los metales, se calientan y enfrían más rápidamente, en tanto que los materiales con mala conductividad y elevada carga térmica, como el asfalto y el concreto, se calientan más lentamente y remiten la carga térmica adquirida durante las horas diurnas y en las primeras horas nocturnas.

De manera general, la composición del mosaico urbano fue determinante en el comportamiento térmico de la ciudad, se pudo apreciar que en los sectores presentes dentro de la zona 1 y 3 con menor presencia vegetal y mayor superficie construida, presentaron mayores rangos de temperatura superficial, en tanto que en los sectores urbanos localizados en la zona 2, 4 y 5 se pudieron conseguir rangos de temperatura superficiales más bajos.

En este mismo sentido, en la zona 1 se apreciaron las temperaturas más alta en los diferentes trimestres del año, por ser una de las zonas de la ciudad más densamente ocupada y construida alrededor de la cuadrícula histórica y sus áreas adyacentes. Se observó una mayor arborización intra-urbana, así como también, una fuerte intervención y modificación de los espacios verdes naturales circundantes. Por otra parte, cuenta con sus respectivas calles asfaltadas y la misma cuenta con una estructura reticular características de los centros coloniales de las ciudades venezolanas, en las cuales predominan las viviendas de un piso y se caracterizan por estar estructuradas con paredes gruesas de bahareque, techos de tejas, zinc o acerolite.

La zona 2 corresponde al área que rodea a la zona 1, esta tiene continuidad con la anterior en su trama urbana, pueden identificarse diferencias cada vez más marcadas a medida que se aleja del casco central, perdiéndose la estructura reticular para dar paso a una red vial asfaltada que se ajusta a las condiciones topográficas localices, conformando manzanas más grandes e irregulares. En los cuatro trimestres del año, se pudo observar que existe una variación de temperatura en cada una de las sub zonas que la conforman, a pesar de que en las mismas se observan viviendas con techos o construidas con láminas de zinc o acerolite, concreto, tejas rojas, paredes de bajareque, etc., en las zonas 2A y 2C se visualizaron mayores espacios construidos, por ende, mayor densidad poblacional. Mientras, que en las zonas 2B y 2D se visualizó mayor espacio verde natural intra-urbana y menor espacio construido.

Dentro de la zona 3 se observan al igual que en la zona 1, las temperaturas máximas durante los cuatro trimestres. Esta, se encuentra conformada por los sectores más densamente poblados, con gran presencia

de corredores y considerables áreas verdes intra-urbanas con una buena conservación de las filas a pesar de las crecientes presiones de la ocupación urbana. Posee una ubicación estratégica donde se pudieron identificar equipamientos educacionales, recreacional-deportivo y socio cultural – administrativo. En la zona 3A, observamos gran proximidad entre las viviendas en las cuales se observan materiales como asbestos, techos de zinc o acerolite, etc., en la zona 3B, sobre todo en la zona comprendida por La Candelaria predominan las viviendas de concreto y en su mayoría los techos poseen tejas rojas.

En la zona 4 se registraron temperaturas promedios entre las máximas y mínimas presentes en los trimestres, así mismo, esta zona se encuentra conformada por las áreas que rodean las zonas 1, 2, 3, al norte, oeste y sur de la ciudad. Presenta un uso principalmente residencial que se encuentra en proceso de consolidación y en el que se pueden identificar desarrollos formales e informales, algunos de los cuales están ubicados en sectores catalogados como no aptos para el desarrollo urbano. Por otra parte, el mismo está conformado por diversidad de tipos de vivienda como en el resto de la ciudad, pero predominan las viviendas realizadas por el gobierno las cuales por lo general sus techos son de láminas de zinc o acerolite. Finalmente, la zona 5 se observaron las temperaturas mínimas en todos los trimestres, ya que representa un área predominante industrial que bordea el principal acceso de la ciudad, en la misma se observan galpones y espacios con suelos desnudos.

Cabe destacar, que los distintos tipos de materiales observados en las diferentes zonas son incidentes y constituyen un reflejo de las transformaciones ambientales experimentadas en la ciudad de Cantaura. El crecimiento de la misma y, por ende, el reemplazo de la vegetación por

materiales asfálticos implementados para la construcción de calles y avenidas, así mismo, incluyendo las estructuras de concreto armado, residencias, áreas industriales, comerciales, las estructuras techadas con tejas rojas y asbestos, etc., resultan como un cambio en la reflectividad de la radiación solar (albedo), en el cual las superficies oscuras del entorno construido absorben y retienen más calor que los campos y terrenos forestales que precedieron a la ciudad.

Tabla 14. Valores promedios de temperatura superficial observada para algunas superficies urbanas.

Estructuras del espacio urbano de Cantaura	Temperatura superficial (C°)	Temperatura superficial (°C)	Temperatura superficial (C°)	Temperatura superficial (C°)
	Enero-Marzo	Abril-Junio	Julio-Septiembre	Octubre-Diciembre
Vías asfaltadas	28°C-33°C	28°C-32°C	28°C-32°C	28°C-31°C
Superficies de concreto	28°C-33°C	28°C-32°C	28°C-32°C	28°C-31°C
Complejo comercial	28°C-34°C	28°C-33°C	28°C-32°C	28°C-33°C
Tejas rojas	28°C-33°C	28°C-32°C	28°C-32°C	28°C-31°C
Residencial baja densidad	24°C-28°C	24°C-27°C	24°C-27°C	24°C-27°C
Residencial alta densidad	28°C-32°C	28°C-31°C	28°C-31°C	28°C-31°C
Zonas de barrios	28°C-32°C	28°C-31°C	28°C-31°C	28°C-31°C
Suelos desnudos	30°C-32°C	30°C-31°C	30°C-31°C	30°C-31°C
Áreas	28°C-30°C	28°C-30°C	28°C-30°C	28°C-29°C

verdes intra-urbanas				
Áreas verdes peri-urbanas	24°C-31°C	24°C-30°C	24°C-30°C	24°C-29°C

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados obtenidos.

4.4. Proponer estrategias de mitigación del problema en los sectores críticos identificados, así como estrategias de prevención para evitar la intensificación del fenómeno en las áreas menos afectadas.

A partir de los análisis térmicos realizados, fue posible caracterizar la efecto de la isla de calor en la ciudad de Cantaura, identificando los sectores más críticos en términos de las altas temperaturas superficiales observadas, y asociando estas respuestas térmicas a la densidad del espacio construido, a los materiales de construcción y a la presencia y/o ausencia de vegetación intra y peri-urbana. De acuerdo a los resultados obtenidos, las áreas más críticas en términos de las respuestas térmicas observadas, se localizan en la zona 1 y zona 3, correspondientes a los sectores del casco central y sur este de la ciudad, en tanto que las menos críticas fueron los que corresponden a las zonas 2, 4 y 5.

En ambos casos, tanto para los sectores críticos como para los menos críticos se hizo necesario el desarrollo de estrategias de mitigación; se analizaron estrategias que a nivel regional y global, se proponen para tratar el problema de la isla de calor urbana, mediante estrategias preventivas de recuperación y conservación vegetal, como los corredores verdes, combinadas con estrategias de mitigación verdes, como los techos verdes intensivos y extensivos, o estrategias reflectivas. Por otra parte, fueron

analizadas también las ventajas, desventajas y barreras de implantación de estas estrategias de mitigación.

El primer nivel en el desarrollo de las estrategias es de carácter preventivo, está relacionado con el rol de la vegetación en la mitigación del fenómeno de isla térmica superficial. Es una de las estrategias más sencillas de implementar y que contribuyen a incentivar el compromiso de los ciudadanos como individuos y como colectivo, en la recuperación de la vegetación de los espacios públicos y corredores viales.

4.4.1. Conservación de espacios naturales, reforestación de taludes, rescate y arborización en espacios remanentes de vialidad.

Los beneficios de la arborización en el espacio urbano son múltiples:

- Los árboles disminuyen la demanda de climatización artificial, al proveer sombra a las edificaciones, refrescando las fachadas y mitigando la carga térmica.
- Mejoran la calidad del aire y reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, de manera directa por captura de CO₂ y de forma indirecta al reducir la demanda energética por climatización, lo que disminuye la demanda a nivel de generación y en consecuencia, la producción de gases de efecto invernadero asociada.
- La sombra de los árboles disminuye la necesidad de mantenimiento de la carpeta asfáltica. Al disminuir los efectos de expansión y contracción del mantenimiento necesaria.
- Disminuyen la velocidad de escorrentía de las aguas pluviales y permiten un mejor manejo de las aguas tormentas, así mismo mejoran la calidad de las aguas absorbiendo y filtrando las aguas de lluvia.

- Mejoran la habitabilidad y la calidad de vida en los espacios urbanos, los árboles reducen el ruido, mejoran la calidad del aire, proveen refugios a diversas especies en el medio urbano y aportan un importante valor paisajístico y estético.

4.4.2. Plantación estratégica de árboles

Organizar estratégicamente y seleccionar especies arbóreas puede maximizar las reducciones de temperatura. Esta introducción de verde mejora la circulación de aire fresco al mismo tiempo que baja la temperatura local. En otro sentido, las especies arbóreas también influyen en la reducción de la temperatura, ya que algunas especies tienen una cubierta de dosel más densa y tasas de evaporación más altas,

4.4.3. Techos verdes (greenroof), corredores verdes, fachadas verdes.

Los beneficios ambientales y económicos de los techos verdes pueden ser múltiples. De acuerdo a sus características los techos verdes pueden ser de dos tipos, extensivos e intensivos. Los techos verdes extensivos, son más utilizados por sus costos más bajos de implementación y mantenimiento, los mismos implican el desarrollo de sistemas modulares o sabanas pre-cultivadas, sobrepuestas al techo convencional.

Es importante destacar, que estos requieren de un trabajo previo de impermeabilización y sellado de techo de larga duración, sobre el que se coloca el sistema modular de bandejas o sabana de vegetación que contendrá el agregado de suelo y las plantas, generalmente gramíneas, vegetación arbustiva de mediano a bajo desarrollo radicular y plantas suculenta.

Tabla 15. Beneficios de los tipos de techo verde

Tipo de Techo Verde	Extensivo e Intensivo
Beneficios Ambientales	<ul style="list-style-type: none"> -Mitigación del efecto de isla de calor. -Control del agua de lluvia y precipitaciones. -Reducción de la contaminación del agua de lluvia. -Reconstitución del paisaje natural. -Mejoramiento en la calidad del aire y reducción del ruido. -Embellecen el ambiente. - Aumento de la biodiversidad.
Beneficios Económicos	<ul style="list-style-type: none"> -Conservación de la energía. -Aumento de la durabilidad de los recubrimientos en techos. -Incremento del valor comercial de la edificación. -Productividad y generación de empleos e ingresos. -Innovación en el desarrollo de líneas de investigación.
Beneficios Psicológicos	<ul style="list-style-type: none"> -Aumento de la sensación de bienestar. -Construcción de un sentido de identificación comunitario. -Influyen en la salud física y mental.
Beneficios Estéticos	<ul style="list-style-type: none"> -Posibilidad de Desarrollo de elementos paisajísticos que mejoran la visual. -Integración visual y paisajística. -Transformación de techos convencionales en espacios placenteros para el relajamiento y el disfrute.

Fuente: Elaboración propia

Entre las ventajas más importantes de los techos extensivos estarían, el hecho de que son ligeros, fáciles de adaptar a grandes superficies y a techos con pendientes de 0 a 30°, bajo mantenimiento, baja frecuencia o ninguna necesidad de irrigación y de infraestructura de riego, no requiere gran experticia técnica para instalarse, puede dejarse a la vegetación crecer de manera natural, integración con el paisaje y aspecto natural. Por otra parte, las desventajas serían baja diversidad en la escogencia de plantas, no acepta usos recreativos y poca oportunidad para aprovechamiento como huerta.

En cambio, los techos verdes intensivos pueden ser desarrollados en edificaciones comerciales y edificios públicos, ya que son multipropósito, es decir, cumplen funciones ambientales, económicas, recreacionales y estéticas, pero requieren mayor cuidado y mantenimiento permanente. Combinan elementos paisajísticos como caminarias, fuentes, estanques con senderos, bancos, pérgolas y canteros con diversos tipos de vegetación.

Las principales ventajas de los techos verdes intensivos serían, el poder incorporar gran diversidad de plantas y tipos de suelos, buenas propiedades aislantes, se pueden simular paisajes naturales, resultan atractivos y accesibles para actividades recreativas de tipo pasivo y puede diversificarse el tipo de usos del espacio. Sin embargo, las desventajas están relacionadas con una mayor carga o peso sobre el techo, necesidad de irrigación y sistemas de drenaje, necesidad de cercado, mayor demanda de energía para irrigación, mayor costo en materiales y mantenimiento. Otras propuestas verdes de mitigación serían las fachadas y las cortinas de vegetación natural, ya que estos sistemas mitigan la carga térmica de las fachas expuestas a la luz solar, y resultan altamente beneficiosas para aliviar el calor durante las horas diurnas.

4.4.4. Techos reflectivos (coolroof).

Los techos frescos serían la utilización de materiales altamente reflectantes y emisivos. Los materiales tradicionales de techado (cubiertas asfálticas, tejas), tienen una baja reflectancia solar de 5 a 15%, lo que significa que absorben 85 a 95% de la energía que llega hasta ellas. Muchos de los productos para refrescamiento de techos son de color blanco brillante, ya que de esta forma se alcanza el máximo de reflectancia solar.

Las estrategias para el tratamiento de superficies varían según la extensión e inclinación, en el caso de azoteas planas convencionales, se sugiere el uso de productos tipo revestimiento o manto reflectivo, complementando la impermeabilización convencional en techos. En el caso de grandes superficies, como en el caso de galpones industriales es recomendable el uso de materiales mixtos con propiedades térmicas y aislantes.

Por otra parte, uno de los materiales que pueden ser utilizados para complementar las estrategias de enfriamiento en superficies techadas de azoteas en casa y edificios, son los paneles termo-acústicos desarrollados por la empresa CINDU de Venezuela, ya que estos poseen un material laminado con propiedades térmicas aislantes.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al finalizar con la evaluación del efecto de la isla de calor en los espacios urbanos de la ciudad de Cantaura y en el marco de los objetivos planteados, se obtuvo un conjunto de conclusiones y recomendaciones, las cuales se proceden a puntualizar a continuación:

5.1. Conclusiones

- Las estaciones meteorológicas que son las encargadas de recolectar las informaciones con referencia a los parámetros climáticos a escala urbana no lo realizan de manera eficiente, dificultando así el desarrollo de este tipo de investigaciones.
- La selección de un determinado sensor o satélite depende de las necesidades del proyecto de investigación en sí mismo, las variables en análisis, el nivel de resolución, la cobertura del sensor, las bandas del espectro en que se colecta la información, la frecuencia con que se genera, la accesibilidad y el costo de la data.
- En cuanto a los usos del suelo de la ciudad, se utilizó la clasificación semiautomática, por poseer el conocimiento previo del área de estudio, lo que facilitó su identificación.
- El estudio de las condiciones climáticas, históricas y ambientales relacionadas con la formación, intensidad y extensión de las islas térmicas urbanas, permitió afirmar que las islas térmicas urbanas son un fenómeno climático local, derivado de la interacción entre las capas bajas de la atmósfera con la superficie construida de la ciudad.

- En el caso de la isla térmica superficial urbana tomando en consideración sus condiciones climáticas, se determinó que la misma se desarrolla con mayor intensidad durante los meses de sequía, debido a la mayor incidencia de la radiación solar que aumenta el calentamiento superficial.
- De acuerdo a los resultados obtenidos, se visualizó que a mayor superficie construida, mayor es entonces la alteración de los parámetros climáticos que contribuyen a regular el clima local. Esto es debido, a que se disminuyen los aportes de humedad por evapotranspiración vegetal y la sombra de la vegetación, aumentando así el impacto de la radiación solar incidente.
- Al analizar la relación entre la temperatura superficial y la densidad del espacio construido, los patrones térmicos observados son más consistentes con el modelo teórico, en donde los espacios más densamente ocupados y con menor presencia de vegetación tienen mayor temperatura superficial que las zonas menos densamente construidas.
- La isla de calor urbana en la ciudad de Cantaura, se expresa espacialmente de modo diferente al patrón clásico, que sigue un modelo concéntrico desde el centro de la ciudad hasta la periferia.
- Según la dinámica espacio temporal realizada, en el periodo de sequía (Enero – Marzo) se registró la mayor cantidad de horas de insolación con los menores valores de humedad registrados en el año por consecuencia, se produce una mayor cantidad de radiación solar.
- De acuerdo a los factores observados en el periodo de transición (Abril – Junio) se evidenció que las horas de radiación solar, la ausencia de

nubosidad y de evaporación se maximizan y acentúan o intensifican el calentamiento superficial.

- El estudio de las isotermas para la comprensión del impacto del efecto isla de calor permitió determinar que los sectores o cuadrantes urbanos que presentan una mejor condición ambiental y en consecuencia, una mejor respuesta térmica, son aquellos localizados al Sur – Este de la ciudad (Zona 3) gracias a su ubicación estratégica y con una importante presencia de vegetación intra y peri – urbana.
- Los sectores localizados hacia el sentido Este – Oeste de la ciudad (Zona 1) más densamente habitados y construidos, con menor cantidad de vegetación intra-urbana, suelen presentar las mayores temperaturas superficiales de la ciudad.
- Puede afirmarse, que la isla de calor urbana no solo está relacionada a la densidad urbana y la presencia de vegetación, sino que también se relaciona con el tipo y calidad de los materiales de construcción.
- Los valores registrados para los diferentes materiales y elementos presentes en el mosaico urbano, son valores promedios que oscilan en rangos entre valores máximos y mínimos. Ello se debe a que la respuesta observada no es un valor puro.
- Las estrategias exitosas para la disminución del efecto de la isla de calor urbana implican aumentar la vegetación y cambiar la reflectividad de las superficies (albedo), para que menos calor sea absorbido y atrapado en la ciudad. La vegetación es importante, ya que trabaja para aumentar la evapotranspiración, y si se sustituye una superficie oscura, todo conducirá a un efecto de enfriamiento.
- En este sentido, se determinó las fuertes debilidades frente a las crecientes presiones por la demanda de tierras para desarrollos

urbanos, que deberían ser objeto de análisis para favorecer la conservación de las áreas verdes intra y peri-urbanas.

- Se deriva la necesidad de impulsar el desarrollo de medidas intensivas o extensivas de mitigación, como los techos verdes y los techos reflectivos, a través de ordenanzas municipales, sobre todo para grandes edificaciones industriales, comerciales o de servicios.
- Los techos verdes benefician la posibilidad de recuperar aguas de lluvias mediante estas técnicas, que además, pueden utilizarse en sistemas de climatización internos, de sanitarios y de limpieza.

5.2. Recomendaciones

- Se recomendó trabajar con sensores que tengan mayor nivel de resolución espectral y espacial en el rango térmico.
- Para estudios futuros relacionados con el tema, se recomendó la realización de un modelaje 3D de circulación, para observar otros parámetros que podrían influenciar en la respuesta térmica descrita.
- Se sugirió la realización de un estudio más detallado del funcionamiento térmico de una estructura tipo galpón industrial, a fin de determinar si la respuesta térmica obedece al uso de materiales aislantes o al diseño de la edificación.
- Realizar estudios en otras ciudades con distintas características ambientales, como ciudades costeras, ciudades de clima árido, ciudades de alta montaña con la aplicación de sensores remotos con banda térmica.
- Resultaría idóneo, que se realizara un estudio con muestro de temperaturas con pistolas térmicas, o cámaras infrarrojas, para determinar el diferencial entre la temperatura observada por el sensor

y la temperatura superficial tomada in-situ con otros instrumentos de medición en el rango térmico.

- Se sugiere el diseño paisajístico donde se proyecten espacios verdes abiertos para la contribución y mitigación de las temperaturas superficiales.
- Es recomendable desarrollar acciones orientadas a incrementar la capa vegetal en la zona, el uso de materiales con alto albedo, tanto en pavimentos como en las cubiertas de los edificios.
- Realizar estrategias y prácticas tradicionales en las casas de familias y apartamentos, como la utilización de azoteas o balcones como huerto familiar mediante el uso de palmas de jardín, trojas para enredaderas o plantas arbustivas y así ofrecer frescor y relajamiento a las estructuras edificadas.
- Se recomienda realizar un análisis más específico del material particulado en la ciudad, que permita establecer la relación entre la cantidad de energía y la absorción de la luz, lo cual puede sumar el análisis de la formación de la isla de calor en la ciudad de Cantaura.
- Se recomienda la divulgación de las aplicaciones y resultados de estas técnicas de investigación, mediante talleres, foros, cursos que amplíen y diversifiquen el impacto de los esfuerzos de investigación que se realizan desde las universidades.
- Así como también, el trabajo en conjunto con alcaldías y concejos comunales tomando en consideración las herramientas comunicacionales e informativas en portales WEB, blogs y otras estrategias para favorecer la mitigación de la formación isla de calor en las ciudades a estudiar.
- Se sugirió como ingenieros civiles, hacer de los espacios urbanos sitios más agradables y de mejor calidad

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akbari, H. (2005). *Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation*. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Arias, F. (2006). *El Proyecto De Investigación: Introducción a la metodología científica*. (5^a ed.). Caracas: Episteme.
- Chen, L., Zhao Z., Li, X., Yin, Y., (2006). *Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes*. Remote Sensing of Environment.
- Córdova, K. (2009). *Spatial Geotechnology applied to urban climate studies: Thermal analysis of urban surface and urban land use in Caracas city, Fifth Urban Reseach Symposium. Marseille*.
- Córdova, K. (2011). *Geotecnología espacial aplicada al estudio del clima urbano: Análisis térmico superficial de la ciudad de Caracas, Venezuela*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Córdova, K. (2012). *Geotecnología espacial aplicada al estudio del fenómeno de islas térmicas urbanas: Una contribución al estudio de la dinámica socio-ambiental de las islas de calor urbano en la ciudad de Caracas*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- EPA, Environment Protection Agency (2003). *Cooling summertime temperatures: Strategies to reduce urban heat islands*.

Erskine, R. (1988). *Arkitekt*. Stockholm.

Gehl, J. (1987). *Life Between Buildings: Using Public Space*. New York: Van Norstrand Reinhold.

Gómez, L. (2002). *Cambio Climático y Desarrollo*. Yale School of Forestry and Environmental Studies, Oficina del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo-PNUD- Cuba, San José, Costa Rica.

Meneses, T., Iral, P. (2017). *Análisis espacio-temporal de variables que inciden en la generación de isla de calor urbana en la localidad de Kennedy*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.

Moreno, M. (1993). *Estudio del clima urbano de Barcelona: «isla de calor»*. Barcelona: Oikos-tau.

Moreno, M. (1999). *Climatología urbana*. Barcelona: Universitat de Barcelona.

Oke, T. (1976). «*The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands*». Massachusetts: Routledge Atmosphere.

Oke, T., (1978). *Boundary Layer Climates*. Methuen, London.

Oke, T. (1982). *The energetic basics of the urban heat island*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.

Oke, T. (1987). *Boundary Layer Climates*. Massachusetts: Routledge Atmosphere.

- Oke, T. (1995). *The heat island of the urban boundary layer: Characteristics, causes and effects*. Dordrecht: Kluwer Academic.
- Oke, T. (2006). *Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. Instruments and Observing Methods*. Massachusetts: Routledge Atmosphere.
- PGAU, (2006). *Plan de Gestión Ambiental Urbana*. Cantaura.
- Pietila, F. (1988). *Thermal Comfort in Outdoor Urban Spaces: Understanding the Human Parameter*. Cambridge: Elsevier Science Ltd.
- Ritter, M. (2009). *The Physical Environment: an Introduction to Physical Geography*.
- Rizwan A., Dennis Y., (2008). *A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island, Journal of environmental science*.
- Roman, E., Gómez, G., Luxán, E., (2016). *La isla de calor en Madrid y su influencia en el confort urbano*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Rosales, L., (2007). *Zonas climáticas para el diseño de edificaciones y diagramas bioclimáticos para Venezuela*. Revista Tecnología y Construcción. V. 23 n.1. Caracas 2007.
- Sabino, C., (1993). *El proceso de investigación*. Caracas.

Sangines, D. (2013). *Metodología de evaluación de la isla de calor urbana y su utilización para identificar problemáticas energéticas y de planificación urbana*. España: Universidad de Zaragoza.

Tumini, I., (2015). *Estrategias para reducción del efecto isla de calor en los espacios urbanos. Estudio aplicado al caso de Madrid*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA EXPERIMENTAL LIBERTADOR(1998).
**Manual de Trabajos de Grado de Especialización, Maestría y Tesis
Doctorales**. Caracas: Ediciones de la UPEL.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	“Evaluación del Efecto Isla de Calor en los Espacios Urbanos de la Ciudad de Cantaura, Municipio Freites, Estado Anzoátegui”
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Serrano Rodriguez, Meryvic Daniela	CVLAC	26.295.790
	e-mail	meryvicserrano@gmail.com
	e-mail	
Gallo Castro, Alexandra Del Valle	CVLAC	26.751.157
	e-mail	alexandragallo@gmail.com
	e-mail	

Palabras o frases claves:

evaluación
efecto
isla de calor
espacios urbanos
mitigación

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Escuela de ingeniería y ciencias aplicadas	Ingeniería Civil

Resumen (abstract):

Resumen

El propósito de esta investigación es la evaluación del efecto isla de calor en los espacios urbanos de la ciudad de Cantaura, Municipio Freites, Estado Anzoátegui, para dar a conocer la frecuencia y formación de cúpulas o domos de calor sobre los espacios urbanos, como consecuencia de la alteración del balance radiativo superficial, por tal motivo, se buscó, además de describir y realizar isotermas para una mejor comprensión de este efecto, proponer estrategias para su prevención y mitigación. Todo esto enmarcado en una investigación de tipo documental, apoyada en un diseño descriptivo. Para su desarrollo, se empleó el uso de imágenes satelitales extraídas a través del Sensor Satelital WeatherSpark; así mismo se utilizó ArcGis 10.5 para el diseño de las isotermas correspondientes. Con los resultados obtenidos, se determinó que a mayor superficie construida, mayor es entonces la alteración de los parámetros climáticos que contribuyen a regular el clima local, además, se visualizaron los sectores más críticos y menos críticos para la implementación de estrategias de mitigación

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail										
Prof. Rojas, Laurimar	ROL	CA		AS	X	TU		JU			
	CVLAC	C.I 15.563.371									
	e-mail	laurimarrojas@udo.edu.ve									
	e-mail										
Prof. Martínez, Jhonatan	ROL	CA		AS		TU		JU			
	CVLAC	C.I 15.376.400									
	e-mail	jhonatanmartinez@udo.edu.ve									
	e-mail										
Prof. Rondón, Elys	ROL	CA		AS		TU		JU			
	CVLAC	C.I 8.440.241									
	e-mail	elysrondon@gmail.com									
	e-mail										

Fecha de discusión y aprobación:

Año Mes Día

2020	11	06
-------------	-----------	-----------

Lenguaje: **SPA**

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis Br Meryvic Serrano y Br Alexandra Gallo	Application/word

ALCANCE

ESPACIAL:

(OPCIONAL)

TEMPORAL:

(OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Civil

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Escuela De Ingeniería Y Ciencias Aplicadas

INSTITUCIÓN:

Universidad De Oriente – Núcleo De Anzoátegui / Extensión Centro - Sur Cantaura

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

RECIBIDO POR *[Signature]*
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Cordialmente,
[Signature]
JUAN A. BOLANOS CUNPEL
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009): “Los trabajos de grados son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrá ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Concejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Concejo Universitario, para su autorización”.

Gallo C., Alexandra Del V.

AUTOR

Serrano R., Meryvic D.

AUTOR

Prof. Rojas, Laurimar

TUTOR