

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES DEL CAÑÓN URBANO EN LA
APARICIÓN DE ISLAS DE CALOR EN EL CENTRO HISTÓRICO DE CAJAMARCA,
2021**

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por el Bachiller:

BRUNO FIDEL SÁNCHEZ MÁRQUEZ

Asesor:

Ing. M.Cs. EDGAR DARWIN DÍAZ MORI

CAJAMARCA - PERÚ

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"

Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los veintisiete días del mes de enero del año dos mil veintitrés, se reunieron en el ambiente **2C - 202** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 307-2022-FCA-UNC**, de fecha **25 de octubre del 2022**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: "**CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES DEL CAÑÓN URBANO EN LA APARICIÓN DE ISLAS DE CALOR EN EL CENTRO HISTÓRICO DE CAJAMARCA, 2021**", realizada por el Bachiller **BRUNO FIDEL SÁNCHEZ MÁRQUEZ** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las doce horas y diez minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de diecisiete (17); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las trece horas y diez minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez
PRESIDENTE

Dr. Luis Azabache Coronado
SECRETARIO

Ing. M. Cs. Giovana Ernestina Chávez Horna
VOCAL

Ing. M. Cs. Edgar Darwin Díaz Mori
ASESOR

COPYRIGHT © 2023 by
BRUNO FIDEL SÁNCHEZ MÁRQUEZ
Todos los derechos reservados

DEDICATORIA

A mis padres Salvador Sánchez Núñez y Elizabeth Márquez Solís por su apoyo y amor
incondicional

A todos los maestros que he tenido a lo largo de mi formación académica por su sabiduría,
conocimientos y dedicación

AGRADECIMIENTOS

Al Ing M.Cs. Darwin Díaz Mori por el asesoramiento y la amistad brindada

Al equipo del SENAMHI DZ 3 por proporcionarme los datos meteorológicos

A Elizabeth, Salvador, Irving, Carlos Enrique, Yeison y María del Cielo por el apoyo en la
ejecución de la investigación

A todas las personas que amablemente me permitieron instalar los termómetros en las
fachadas de sus casas

CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	xiii
ABSTRAC	1
CAPITULO I INTRODUCCIÓN	2
OBJETIVOS	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos	3
2 CAPITULO II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Antecedentes de la investigación	4
2.2 Bases teóricas.....	7
2.2.1 Las ciudades y la urbanización	7
2.2.2 Problemas ambientales consecuencia de la urbanización.....	8
2.2.3 Isla térmica o isla de calor urbana (ICU)	9
2.2.3.1 Factores que contribuyen en la generación de las islas de calor.....	10
2.2.4 Tipos de islas de calor.....	12
2.2.4.1 Islas de calor atmosféricas	12
a Capa de dosel urbano (UCL).....	12
b Capa límite urbana (UBL)	13
2.2.4.2 Islas de calor superficial.....	14
2.2.5 Características de las islas de calor	15
a Intensidad	15
b Configuración espacial.....	16
c Localización del máximo térmico	17

2.2.6 Cañón urbano	17
2.2.6.1 Geometría del cañón urbano	18
a Relación altura-anchura (H/W)	18
b Factor de visión de cielo (SVF)	19
c Orientación del eje del cañón (θ)	22
2.2.7 Consecuencias de las islas de calor	22
2.2.8 Mitigación de las islas de calor urbano	24
2.2.9 Métodos para la medición de islas de calor	25
2.2.9.1 Estaciones fijas.....	25
2.3 Definición de términos básicos	27
3 CAPITULO III MARCO METODOLÓGICO	28
3.1 Ubicación del área de estudio	28
3.1.1 Climatología.....	30
3.1.2 Delimitación del centro histórico de la ciudad de Cajamarca.....	31
3.1.3 Morfología Urbana del centro histórico de la ciudad de Cajamarca	32
3.2 Unidad de análisis	33
3.2.1 Población.....	33
3.2.2 Muestra	33
3.3 Materiales.....	33
3.3.1 Materiales y equipos de campo.....	33
3.3.2 Materiales y equipos de gabinete	34
3.4 Tipo y diseño de investigación	34
3.5 Metodología	35
3.5.1 Cálculo de la relación altura- ancho (H/W)	37
3.5.2 Cálculo del factor de visión de cielo (SVF).....	38
3.5.3 Cálculo de la orientación del eje del cañón (θ).....	39
3.5.4 Cálculo de la intensidad de las islas de calor	40
4 CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1 Características de los componentes de los cañones urbanos monitoreados.....	42

4.1.1 Características del cañón urbano del Jr. Comercio cuadra 4	42
4.1.2 Características del cañón urbano del Jr. Urrelo cuadra 7.....	43
4.1.3 Características del cañón urbano del Jr. La Mar cuadra 6	44
4.1.4 Características del cañón urbano del Jr. Chanchamayo cuadra 5	44
4.1.5 Características del cañón urbano del Jr. Cruz de Piedra cuadra 6	45
4.1.6 Características del cañón urbano del Jr. Huánuco cuadra 16.....	46
4.2 Cálculo de correlación	48
4.2.1 Correlación relación altura - ancho (H/W) - isla de calor urbano (ICU)	49
4.2.2 Correlación factor de visión del cielo (SVF) – isla de calor urbano (ICU)	51
4.2.3 Correlación orientación del eje del cañón (θ) - isla de calor urbano (ICU).....	53
4.3 Islas de calor en la ciudad de Cajamarca	54
4.3.1 Islas de calor en la ciudad de Cajamarca (temporada seca).....	56
4.3.1.1 Islas de calor en el mes de julio	56
4.3.1.2 Islas de calor en el mes de agosto	62
4.3.1.3 Islas de calor en el mes de septiembre	68
4.3.2 Islas de calor en la ciudad de Cajamarca (temporada lluviosa)	74
4.3.2.1 Islas de calor en el mes de octubre.....	74
4.3.2.2 Islas de calor en el mes de noviembre	80
4.3.2.3 Islas de calor en el mes de diciembre.....	86
5 CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
5.1 Conclusiones	92
5.2 Recomendaciones	93
6 REFERENCIAS.....	95
7 ANEXO.....	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Las poblaciones urbanas y rurales del mundo, 1950 – 2050</i>	8
Figura 2 <i>Variables que generan ICU</i>	10
Figura 3 <i>Escalas que vinculan los entornos urbanos con el sistema ambiental</i>	13
Figura 4 <i>Variaciones de las temperaturas superficiales y atmosféricas</i>	14
Figura 5 <i>Configuración espacial de una isla de calor</i>	16
Figura 6 <i>Esquema de un cañón urbano: SVF y H/W</i>	18
Figura 7 <i>Características de los caños urbanos</i>	19
Figura 8 <i>Intensidad máxima de la isla de calor vs factor de visión del cielo</i>	20
Figura 9 <i>Intensidad máxima de la isla de calor vs relación altura-ancho</i>	21
Figura 10 <i>Reflexiones múltiples en un cañón urbano</i>	22
Figura 11 <i>Zona monumental y ambiente urbano monumental de Cajamarca</i>	32
Figura 12 <i>Tipos de manzanas en el centro histórico de la ciudad de Cajamarca</i>	33
Figura 13 <i>Cálculo de ancho promedio de vía (W)</i>	37
Figura 14 <i>Cálculo de altura y ancho de fachadas</i>	37
Figura 15 <i>Cálculo de altura de fachadas promedio</i>	38
Figura 16 <i>Cálculo de Factor de visión del Cielo (SVF), método de extracción mediante ArcGIS</i>	39
Figura 17 <i>Cálculo de SVF en diferentes partes de un cañón urbano</i>	39
Figura 18 <i>Características del cañón urbano del Jr Comercio cuadra 4</i>	43
Figura 19 <i>Características del cañón urbano del Jr Urrelo cuadra 7</i>	43
Figura 20 <i>Características del cañón urbano del Jr La Mar cuadra 6</i>	44
Figura 21 <i>Características del cañón urbano del Jr Chanchamayo cuadra 5</i>	45

Figura 22 <i>Características del cañón urbano del Jr Cruz de Piedra cuadra 6</i>	46
Figura 23 <i>Características del cañón urbano del Jr Huánuco cuadra 16</i>	46
Figura 24 <i>Relación de H/W – ICU en 6 cañones del centro histórico de Cajamarca</i>	50
Figura 25 <i>Relación de SVF – ICU en 6 cañones del centro histórico de Cajamarca</i>	51
Figura 26 <i>Rosas de los vientos de la estación meteorológica Augusto Weberbauer</i>	53
Figura 27 <i>Relación H/W – ICU julio 2021</i>	57
Figura 28 <i>Relación SVF – ICU julio 2021</i>	57
Figura 29 <i>Promedio de temperaturas horarias julio 2021</i>	58
Figura 30 <i>Promedio de temperaturas horarias por cañón urbano julio 2021</i>	59
Figura 31 <i>Relación H/W – ICU agosto 2021</i>	62
Figura 32 <i>Relación SVF -ICU agosto 2021</i>	63
Figura 33 <i>Promedio de temperaturas horarias agosto 2021</i>	64
Figura 34 <i>Promedio de temperaturas horarias por cañón urbano agosto 2021</i>	65
Figura 35 <i>Relación H/W – ICU septiembre 2021</i>	68
Figura 36 <i>Relación SVF -ICU septiembre 2021</i>	69
Figura 37 <i>Promedio de temperaturas horarias septiembre 2021</i>	70
Figura 38 <i>Promedio de temperaturas horarias por cañón urbano septiembre 2021</i>	71
Figura 39 <i>Relación H/W – ICU octubre 2021</i>	74
Figura 40 <i>Relación SVF -ICU octubre 2021</i>	75
Figura 41 <i>Promedio de temperaturas horarias octubre 2021</i>	76
Figura 42 <i>Promedio de temperaturas horarias por cañón urbano octubre 2021</i>	77
Figura 43 <i>Relación H/W – ICU, noviembre 2021</i>	80
Figura 44 <i>Relación SVF -ICU noviembre 2021</i>	81
Figura 45 <i>Promedio de temperaturas horarias noviembre 2021</i>	82
Figura 46 <i>Promedio de temperaturas horarias por cañón urbano noviembre 2021</i>	83

Figura 47 <i>Relación H/W – ICU diciembre 2021</i>	86
Figura 48 <i>Relación SVF -ICU diciembre 2021</i>	87
Figura 49 <i>Promedio de temperaturas horarias diciembre 2021</i>	88
Figura 50 <i>Promedio de temperaturas horarias por cañón urbano diciembre 2021</i>	89
Figura 51 <i>Caseta meteorológica Jr Huánuco C 16</i>	110
Figura 52 <i>Caseta meteorológica Jr Comercio C 4</i>	110
Figura 53 <i>Caseta meteorológica Jr Chanchamayo C 5</i>	110
Figura 54 <i>Caseta meteorológica Jr La Mar C 6</i>	110
Figura 55 <i>Caseta meteorológica Jr Urrelo C 7</i>	111
Figura 56 <i>Caseta meteorológica Jr Cruz de Piedra C 6</i>	111
Figura 57 <i>Instalación de casetas meteorológicas</i>	111
Figura 58 <i>Desinstalación de casetas meteorológicas</i>	111
Figura 59 <i>Medición de ancho de vías</i>	112
Figura 60 <i>Medición longitud de vías y fachadas</i>	113
Figura 61 <i>Medición de altitudes</i>	114
Figura 62 <i>Fotografías para cálculo de factor de visión de cielo</i>	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Características de las islas de calor superficial y atmosférica</i>	15
Tabla 2 <i>Categorización de la intensidad de ICU según rango</i>	16
Tabla 3 <i>Medidas de mitigación propuestas en contra de las ICU</i>	24
Tabla 4 <i>Coordenadas de puntos de monitoreo de temperatura</i>	40
Tabla 5 <i>Resultado de valores de los componentes de cada cañón urbano</i>	47
Tabla 6 <i>Escala de Rango Relación</i>	48
Tabla 7 <i>Intensidad de ICU entre cañones urbanos y estación la Victoria</i>	49
Tabla 8 <i>Intensidad de islas de calor promedio por mes</i>	55
Tabla 9 <i>Intensidad de ICU entre cañones urbanos y estación la Victoria julio 2021</i>	56
Tabla 10 <i>Intensidad de ICU entre cañones urbanos y estación la Victoria agosto 2021</i>	62
Tabla 11 <i>Intensidad de ICU entre cañones urbanos y estación la Victoria septiembre 2021</i>	68
Tabla 12 <i>Intensidad de ICU entre cañones urbanos y estación la Victoria octubre 2021</i>	74
Tabla 13 <i>Intensidad de ICU entre cañones urbanos y estación la Victoria noviembre 2021</i>	80
Tabla 14 <i>Intensidad de ICU entre cañones urbanos y estación la Victoria diciembre 2021</i>	86
Tabla 15 <i>Cálculo de H/W Jr Huánuco cuadra 16</i>	101
Tabla 16 <i>Cálculo de H/W Jr Comercio cuadra 4</i>	101
Tabla 17 <i>Cálculo de H/W Jr Chanchamayo cuadra 5</i>	102
Tabla 18 <i>Cálculo de H/W Jr La Mar cuadra 6</i>	102
Tabla 19 <i>Cálculo de H/W Jr Urrelo cuadra 7</i>	103
Tabla 20 <i>Cálculo de H/W Jr Cruz de Piedra cuadra 6</i>	103
Tabla 21 <i>Cálculo de SVF Jr Huánuco cuadra 16</i>	104
Tabla 22 <i>Cálculo de SVF Jr Comercio cuadra 4</i>	105

Tabla 23 <i>Cálculo de SVF Jr Chanchamayo cuadra 5</i>	106
Tabla 24 <i>Cálculo de SVF Jr La Mar cuadra 6</i>	107
Tabla 25 <i>Cálculo de SVF Jr Urrelo cuadra 7</i>	108
Tabla 26 <i>Cálculo de SVF Jr Cruz de Piedra cuadra 6</i>	109

RESUMEN

El objetivo principal de la presente investigación fue determinar las características de los componentes del cañón urbano que influyen en la aparición de islas de calor en el centro histórico de Cajamarca. Esta investigación tiene forma aplicada, es de tipo correlacional y de diseño cuantitativo, no experimental, transversal además que se usó una muestra de tipo no probabilística. El proyecto consistió en instalar 6 termómetros digitales que tomaron la temperatura en 6 cañones del centro histórico de la ciudad de Cajamarca para luego comparar estas temperaturas con las temperaturas de las estaciones meteorológicas La Victoria y Weberbauer. Se pudo concluir que las características de los componentes del cañón urbano que influyen en la aparición de islas de calor en el centro histórico de Cajamarca en el periodo diurno son: (baja relación de altura – ancho, alto factor de visión de cielo y orientación del eje del cañón NE – SO), mientras que en el periodo nocturno son:(alta relación de altura - ancho, bajo factor de visión de cielo y orientación del eje del cañón NE – SO). Además, los resultados también nos indican que las ICU son más intensas en el periodo nocturno que en el diurno, más intensas en la temporada seca que en la lluviosa y que existe en la ciudad de Cajamarca una ICU general para todo el periodo de estudio de 5.81°C .

Palabras claves: Isla de calor urbano (ICU), capa de dosel urbano (UCL), cañón urbano, relación altura – ancho (H/W), factor de visión de cielo (SVF), orientación del eje del cañón (θ).

ABSTRACT

The main objective of this research was to determine the urban canyon components characteristics that influence the appearance of urban heat islands (UHI) in the Cajamarca city historic center. This research has an applied form, it is of a correlational type and of quantitative, non-experimental, transversal design, in addition to the fact that a non-probabilistic sample was used. The project consisted of installing 6 digital thermometers that took the temperature in 6 canyons of the Cajamarca city historic center to then compare these temperatures with the temperatures of the weather stations La Victoria and Weberbauer. It could be concluded that the urban canyon components characteristics that influence the presence of heat islands in the Cajamarca city Historic Center at daytime are: (low H / W, high SVF and canyon axis orientation NE – SW), while at nighttime are: (high H / W, SVF low and canyon axis orientation NE – SW). In addition, the results also indicate that UHI are stronger in nighttime than in daytime, are stronger in dry season than in the rainy one and that there is a general ICU in city Cajamarca for the entire study period of 5.81°C .

Keywords: Urban heat island (UHI), urban canopy layer (UCL), urban canyon, aspect ratio (H/W), sky view factor (SVF), canyon axis orientation (θ).

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La Agencia de protección ambiental de los estados unidos (EPA) por sus siglas en inglés define a las islas de calor urbano (ICU) como áreas urbanizadas que experimentan temperaturas más altas que las áreas periféricas. Erell et al. (2011, p. 68) manifiesta que, el fenómeno de las ICU ha generado gran interés en la comunidad científica y público no profesional, inclusive vincula este fenómeno con el calentamiento global. Muchos investigadores han intentado explicar el porqué del cambio de las temperaturas locales, y sugieren que con esto se podría explicarse el calentamiento global a escala regional y más grande; sin embargo, en el Perú la cantidad de estudios respecto al tema es muy exigua.

En la ciudad de Cajamarca, específicamente en el centro histórico se está dando este fenómeno; no obstante, hace necesario estudios contundentes sobre el tema debido a que aún no se conoce la magnitud del problema y como está afectando a la calidad del ambiente y a la salud tanto de habitantes como de turistas, es por ello que la pregunta general de la investigación fue: ¿Cuáles son las características de los componentes del cañón urbano que influyen en la aparición de islas de calor urbanas en el centro histórico de la ciudad de Cajamarca?

Para poder resolver la pregunta planteada y cumplir con los objetivos de la investigación se registraron temperaturas horarias en 6 puntos del centro histórico de la ciudad de Cajamarca durante 6 meses, para luego comparar estos datos con los de las estaciones meteorológicas La Victoria y Weberbauer perteneciente al SENAMHI.

Los análisis de regresión entre H/W - ICU arrojan una correlación diurna entre moderada y fuerte (0.6053) pero una débil correlación nocturna (0.2941), así mismo los

análisis de regresión entre SVF - ICU también arrojan correlación diurna entre moderada y fuerte (0.6079) pero una débil correlación nocturna (0.3028) y que los cañones de orientación NE-SO presentan temperaturas más elevadas que los cañones de orientación NO-SE. Finalmente, los resultados también indican que las ICU son más intensas en el periodo nocturno que en el diurno, más intensas en la temporada seca que en la lluviosa y que existe en la ciudad de Cajamarca una ICU general para todo el periodo de estudio de 5.81°C

OBJETIVOS

Los resultados se obtuvieron en función a los siguientes objetivos:

Objetivo general

-Determinar las características de los componentes del cañón urbano que influyen en la aparición de islas de calor en el centro histórico de Cajamarca.

Objetivos específicos

- Evaluar la correlación entre la relación altura - ancho del cañón (H/W) y la intensidad de las islas de calor en el centro histórico de la ciudad de Cajamarca.
- Evaluar la correlación entre el factor de visión del cielo del cañón (SVF) y la intensidad de las islas de calor en el centro histórico de la ciudad de Cajamarca.
- Evaluar la correlación entre la orientación del eje cañón (θ) y la intensidad de las islas de calor en el centro histórico de la ciudad de Cajamarca.

CAPITULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Antecedentes de la investigación

Carvajal (2019, p. ii) tuvo como objetivo:

Comprender la evolución y comportamiento de la Isla de Calor Urbana de dosel y superficie en Bogotá para el periodo 1981 - 2015. Sirviendo de base a futuras investigaciones que puedan vincular este trabajo a instrumentos de monitoreo y control del fenómeno. La investigación contempló dos etapas, en la primera un análisis de la isla de calor de dosel a partir de estaciones meteorológicas y los datos de temperatura mínima, media y máxima donde se estudia la evolución del fenómeno y su comportamiento desde la precipitación y estacionalidad, la segunda etapa analizó la isla de calor urbana a nivel de superficie a partir de imágenes satelitales diurnas y nocturnas, estudiando su evolución y el comportamiento a través de 4 variables descriptivas. La investigación encontró que la isla de calor ha tenido un aumento en su intensidad a comienzos del año 2000, así como una intervención directa de las lluvias sobre el fenómeno.

Muñoz (2018, p. xi) se centró en evaluar:

La exposición de los ciclistas a la materia particulada 2.5 (MP_{2,5}), en relación con dos factores urbanísticos que pueden influenciar en el comportamiento de la contaminación, la morfología urbana y el tráfico vehicular. El estudio se realizó en dos ciclovías de la comuna de Santiago.

El análisis descriptivo de las características ambientales de las ciclovías estudiadas mostró una relación entre el tráfico vehicular y la exposición de $MP_{2.5}$, así como también, una relación entre la morfología urbana y la exposición de $MP_{2.5}$. Esto porque la ciclovía con mayor tráfico vehicular tenía en promedio el doble de concentración que la otra ciclovía, así como la ciclovía con una morfología más cerrada aumentó sus valores cuando las condiciones climáticas favorecían la dispersión del contaminante.

El análisis estadístico se enfocó en una regresión multivariable entre los valores medidos de ambos factores urbanos y los de la contaminación atmosférica, dando resultados con alta correlación, positivos y estadísticamente significativos a la relación. Este resultado implica que la sinergia de todas las variables medidas genera efectos en el comportamiento del $MP_{2.5}$.

El objetivo de Villacorta (2015) fue:

Evaluar la influencia de la disminución de áreas verdes en la aparición de islas de calor en la ciudad de Iquitos durante la última década. De acuerdo a los Resultados obtenidos se determinó la existencia de una gradiente horizontal de temperaturas influenciado por los ríos Itaya y Nanay, que actúan como termorregulador de las temperaturas, haciendo que los incrementos sean más lentos muy diferentes a lo que ocurre dentro del casco urbano. De las áreas verdes, se determinó que el mayor porcentaje de pérdida de áreas verdes ocurre en el sector sur de la ciudad de Iquitos, es decir, se manifiesta un gradiente de Sur a Norte. De las áreas no verdes determinadas en dicho estudio, es muy escasa la superficie ocupada por instalaciones industriales o por cuerpos de agua; por el contrario, son las superficies edificadas y calles las que ocupan prácticamente la totalidad de la superficie de las cuadrículas, en especial, en el centro urbano de los distritos en estudio, es decir, se ha visto que

mientras la ubicación de las viviendas se encuentre cercano al centro de la ciudad, menos áreas verdes posee. Por ello se ha determinado una pérdida de cobertura vegetal del 15% del área total de la ciudad de Iquitos en el periodo del 2005 al 2014, con una tasa de pérdida del 2.22% anual. Las pocas áreas verdes que se conservan atemperan o disminuyen las temperaturas de la ciudad de Iquitos, en especial, los sectores del Fuerte Militar Vargas Guerra y San Roque (Aeropuerto). De seguir la tendencia de formación de Islas de Calor, la ciudad se expone a cambios en los patrones de otras variables como la ocurrencia de vientos extremadamente fuertes considerados dentro de la categoría de Eventos Extremos.

Pérez y Rodas (2017, p. xi) tuvieron como objetivo:

Determinar la influencia de la inversión térmica en la contaminación atmosférica según los ECAS en el distrito de Cajamarca durante los años 2013 a 2015. Como resultado de la investigación se concluye que la presencia de una capa de inversión térmica influye en el incremento de la concentración de contaminantes atmosféricos como el plomo, PM_{2,5} y PM₁₀. Asimismo, determinaron que existen otros factores que influyen directamente en la concentración de contaminantes, así como: incendios forestales, construcciones a gran escala, precipitaciones, vientos, concentraciones masivas de personas en actividades festivas, huelgas (quema de llantas, bombas lacrimógenas, bloqueo de carreteras), campañas políticas (quema de fuegos artificiales, aumento de tráfico vehicular), entre otras.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Las ciudades y la urbanización

Los asentamientos humanos -poblados, ciudades pequeñas y medianas, metrópolis megalópolis- se construyen y se configuran modificando o transformando la naturaleza: la tierra, el aire, el agua, la flora y la fauna, sirven de soporte a estas transformaciones y son, en sí, transformados por ellas. El producto de las mismas es un nuevo entorno construido, un ambiente "natural" nuevo que combina lo social con lo natural bajo patrones de alta centralidad y densidad: un medio ambiente urbano. Tal medio ambiente es la expresión concreta y dinámica de aquellas unidades físico-espaciales, eco-demográficas, que denominamos "ciudades" (Fernández, 1996, p. 12).

La urbanización se debe en gran medida a la migración masiva la cual según el Fondo de Naciones Unidas para la Población UNPFA (s,f) se debe principalmente a las siguientes causas:

- La búsqueda de una vida mejor para uno mismo y su familia.
- Las disparidades de ingresos entre distintas regiones y dentro de una misma región.
- Las políticas laborales y migratorias de los países de origen y de destino.
- Los conflictos políticos (que impulsan la migración transfronteriza, así como los desplazamientos dentro de un mismo país).
- La degradación del medio ambiente, inclusive la pérdida de tierras de cultivo, bosques y pastizales, los 'refugiados del medio ambiente' en su mayoría acuden a las ciudades en lugar de emigrar al extranjero.
- El "éxodo de profesionales" o migración de los jóvenes más formados de países en desarrollo para llenar las lagunas en la fuerza laboral de los países industrializados.

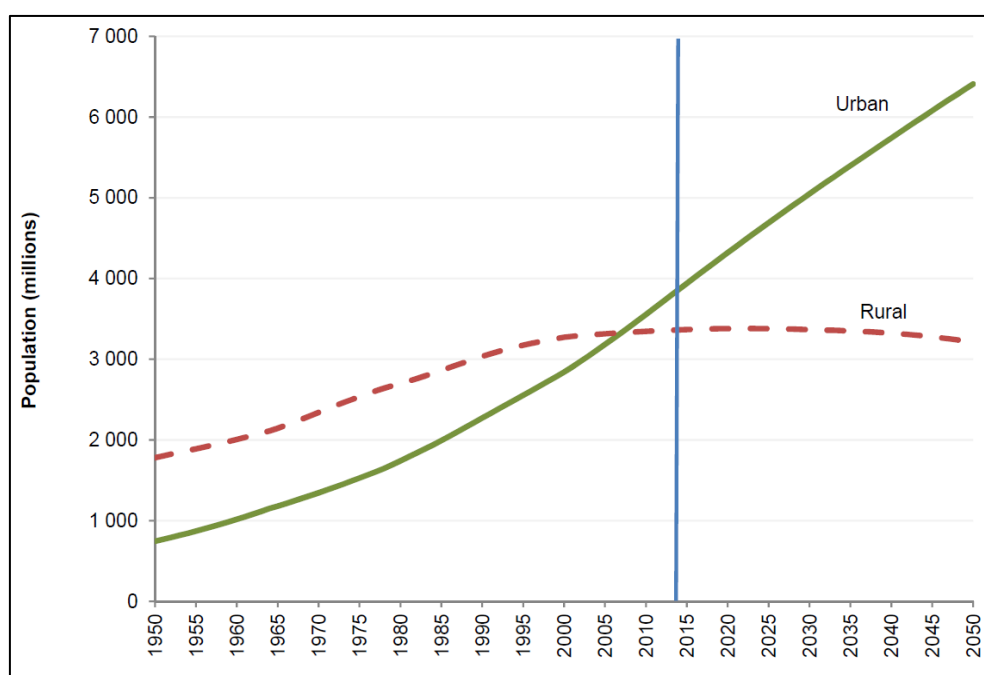
La United Nations (2015, p.7) refiere que:

El proceso de urbanización global ha avanzado rápidamente durante las últimas seis décadas. En 1950, más de dos tercios (70 %) de las personas en todo el mundo vivían en asentamientos rurales y menos de un tercio (30 %) en asentamientos urbanos. En 2014, el 54% de la población mundial era urbana.

Se espera que la urbanización global continúe, de modo que para 2050, el mundo será un tercio de las zonas rurales (34%) y dos tercios urbanos (66%), aproximadamente el reverso de la distribución mundial de la población rural-urbana del mediados del siglo XX.

Figura 1

Las poblaciones urbanas y rurales del mundo, 1950 – 2050



Fuente: Tomado de United Nations, 2015, p. 7

2.2.2 Problemas ambientales consecuencia de la urbanización

Los estudiosos del medio ambiente expresan que junto al surgimiento de las ciudades también lo hacen sus problemas, sobresaliendo el crecimiento de las ciudades en cantidad y

magnitud a partir de 1900 como parte de los grandes desafíos ambientales contemporáneos (Foladori, 2001, p. 72).

Los impactos ambientales de la urbanización son múltiples y muy variados. El efecto atmosférico predominante de la urbanización es la alteración de la química atmosférica por la liberación de cantidades masivas de gases de efecto invernadero como CO₂, óxido de azufre, nitrógeno, polvo, materia particulada y otras sustancias químicas tóxicas. Las fuentes de estos contaminantes son diversas: la industria, casi todas las formas de transporte, la calefacción de los edificios, los incineradores municipales, las obras para tratamiento de aguas negras, las quemas al aire libre y los rellenos sanitarios. Sobre los centros urbanos se produce un calentamiento significativo de masas de aire como resultado de la reirradiación de superficies que absorben calor, como caminos, estacionamientos y techos, todo esto además del calor que desprenden los sistemas de combustión y las industrias. (Henry y Heinke, 1999, p. 40).

2.2.3 Isla térmica o isla de calor urbana (ICU)

El fenómeno de las islas de calor urbano (ICU) es descrito por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos de América (EEUU) como:

Áreas urbanizadas que experimentan temperaturas más altas que las áreas periféricas. Las estructuras como edificios, carreteras y otras infraestructuras absorben y vuelven a emitir el calor del sol más que los paisajes naturales como los bosques y los cuerpos de agua. Las áreas urbanas, donde estas estructuras están altamente concentradas y la vegetación es limitada, se convierten en “islas” de temperaturas más altas en relación con las áreas periféricas.

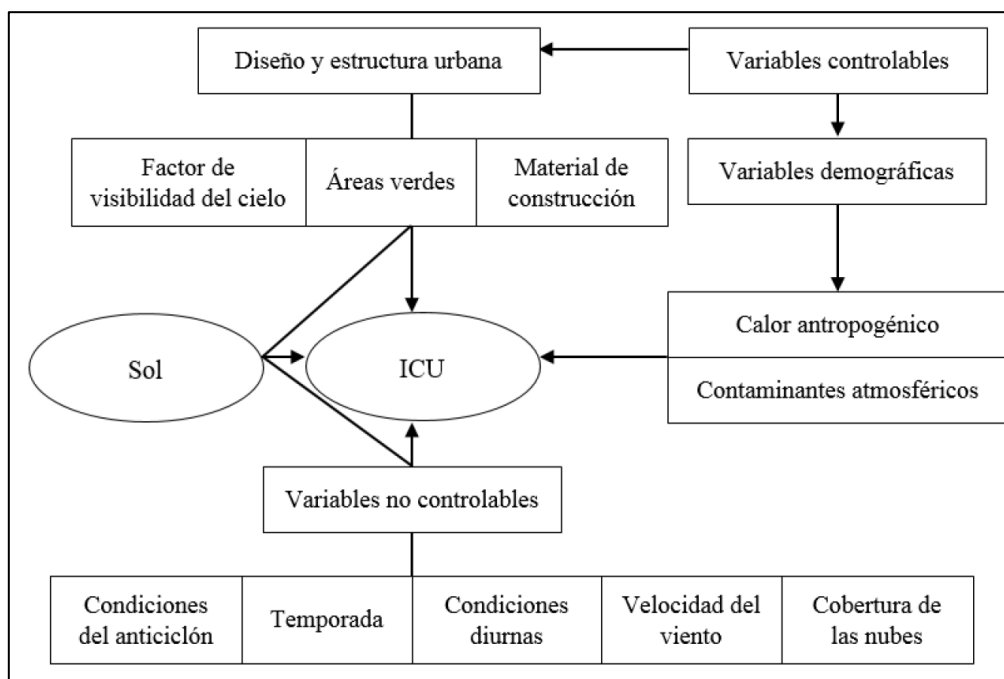
Moreno, como se citó en Valero y Torres (2018, p. 12) también define a las islas de calor como, “fenómeno de origen térmico que consiste en la acumulación de calor en áreas urbanas a lo largo de las horas de radiación, y lo liberan durante la noche generando temperaturas promedio más altas que las zonas rurales que las rodea”.

Gartland (2008, p. 1) y Erell et al. (2011, p. 67) concuerdan en que, el primer investigador en identificar y documentar diferencias en la temperatura del aire entre las zonas urbanas y rurales fue Luke Howard en 1818 el cual encontró un exceso de calor artificial en la ciudad de Londres en comparación con el resto del país. A partir de ese momento han ido aumentando de manera significativa los estudios sobre el tema, concretamente en las grandes ciudades del mundo.

2.2.3.1 Factores que contribuyen en la generación de las islas de calor

Figura 2

Variables que generan ICU



Fuente: Tomado de Rizwan et al., 2008, p. 121

En determinadas áreas se contiene el calor generado por las radiaciones solares y las fuentes de calor antropogénica. Casi en su totalidad el calor antropogénico entra al medio

ambiente instantánea y directamente, sin embargo, la radiación solar solo calienta una parte de manera directa, lo que queda es absorbido por las complicadas estructuras urbanas, calentando el ambiente de manera indirecta. Dichas estructuras retienen radiación durante el día, al atardecer el ambiente comienza a enfriarse y la energía térmica comienza a liberarse, todo esto se hace dependiendo de los materiales de construcción de las estructuras urbanas (Rizwan et al., 2008, p. 121).

(Rizwan et al., 2008, p. 121) afirman que en las ciudades al disminuir la visión de cielo y el albedo (luz reflejada en comparación con la luz incidente) disminuye la capacidad de liberar calor por la radiación de onda larga, lo que provoca un alto almacenamiento de calor entre los edificios y está sería una de las principales razones de las ICU.

La ausencia de vegetación también contribuye al fenómeno de las ICU. Estudios realizados en la ciudad de Tokio entre 1972 y 1995 por Kondoh y Nishiyama (2000, p. 1175) han demostrado que, el cambio de uso de suelo, es decir el decrecimiento de zonas verdes en Tokio durante dicho periodo de tiempo ocasionó la reducción de la evapotranspiración en un 28 % y de la precipitación 160 mm, dando como consecuencia el aumento de la temperatura urbana.

Para Rosenfeld et al. (1998, p. 51), La contaminación atmosférica, en especial los altos niveles de ozono también son causantes de las ICU puesto que las partículas de aerosoles presentes en las grandes ciudades absorben y emiten radiación de onda larga limitando la captura de radiación directa y elevando así la temperatura urbana.

Finalmente, la densidad poblacional tiene una relación directa e indirecta con las ICU, la relación directa se debe a que a mayor cantidad de personas mayor es el calor emitido por ellas, y la indirecta se debe a que al aumentarse la población aumenta el parque automotor, las fábricas, las construcciones, etc; sin embargo, dado que las ICU responden a muchos

factores una comparación debe considerar todos los factores controlables y no limitarse a ninguno de estos (Rizwan et al., 2008, p. 122).

En cuanto a las variables temporales como las condiciones climáticas y anticiclónicas que favorecen la formación de la ICU, tenemos, por ejemplo, que las ICU “son más intensas en la noche que en el día y que disminuyen con el aumento la velocidad del viento y de la cobertura de las nubes” (Kim y Baik, 2005, p. 591), además Kłysik y Fortuniak (1999, p. 3890) expresan que con velocidades de viento de 2 m/s durante el día y de 4 m/s durante la noche, ya se podría apreciar el efecto de ICU de más de un 1 °C.

2.2.4 Tipos de islas de calor

Oke (1995, p. 81) menciona que, las islas de calor se pueden clasificar de acuerdo a las diferencias urbano-rurales de las temperaturas: atmosféricas, superficiales y subsuperficiales.

2.2.4.1 Islas de calor atmosféricas

Oke (1976, p. 274) propone la hipótesis de que, existen al menos dos tipos de ICU atmosféricas distintas y se clasifican de acuerdo a las capas atmosféricas donde se originan.

a Capa de dosel urbano (UCL)

La primera capa puede denominarse el dosel urbano (Fig. 3c), que consiste en el aire contenido entre los elementos de rugosidad urbana (principalmente edificios). El dosel urbano es un concepto a microescala, su clima está dominado por la naturaleza del entorno inmediato (especialmente los materiales del sitio y la geometría). El límite superior del dosel urbano es probable que sea impreciso debido a la naturaleza de la "superficie" urbana (dosel vegetativo). En áreas densamente construidas, el límite se visualiza al nivel del techo, o justo por debajo; en grandes espacios abiertos puede estar completamente ausente. La profundidad de esta capa también puede ser una función de la velocidad del viento, disminuyendo ya que el

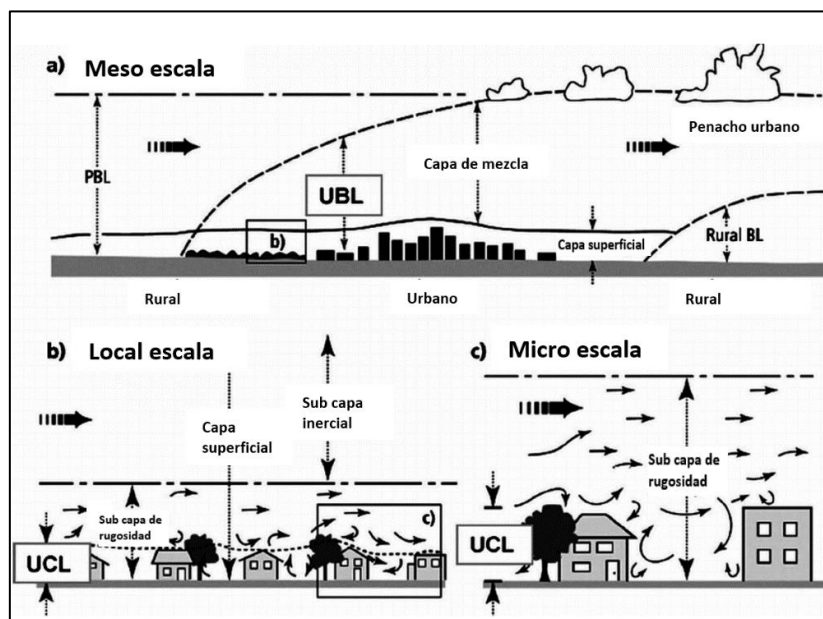
flujo de aire más fuerte permite que las influencias de arriba penetren (Oke, 1976, p. 274-275).

b Capa límite urbana (UBL)

La segunda capa, situada directamente encima de la primera, puede llamarse capa límite urbana (Fig. 3a). Se trata de un concepto local o mesoescala que se refiere a esa parte de la capa límite planetaria cuyas características se ven afectadas por la presencia de un área urbana en su límite inferior. La capa modificada está concebida para desarrollarse como una capa de contorno interno advectiva. En la región de viento descendente esta capa puede separarse de la superficie a medida que se desarrolla una nueva capa de límite rural debajo, y esto se ha llamado el penacho urbano (...) La parte superior de la capa límite urbana está generalmente limitada por una inversión de temperatura que da cierta correspondencia con el límite superior de la contaminación urbana (Oke, 1976, p. 275).

Figura 3

Escalas que vinculan los entornos urbanos con el sistema ambiental



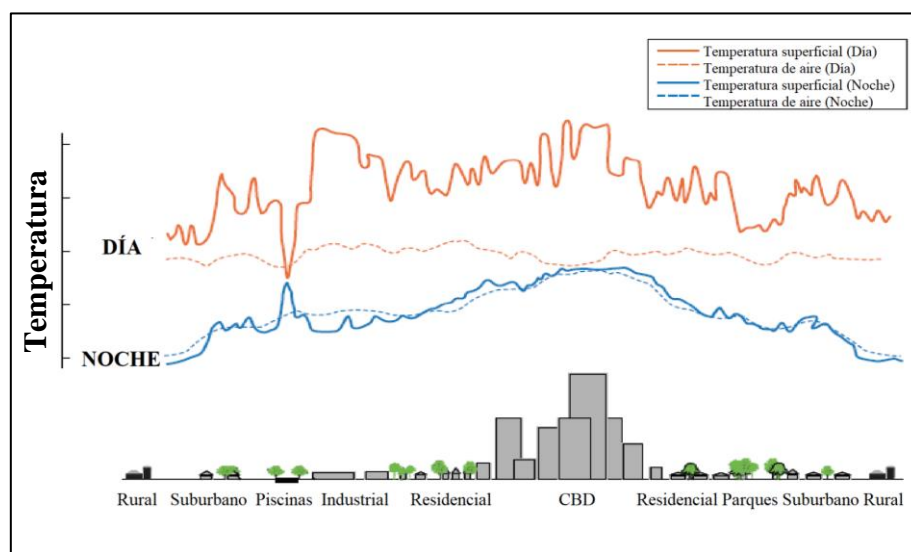
Fuente: Tomado de Marshall 2005, p. 3

2.2.4.2 Islas de calor superficial

“Corresponde a las altas temperaturas de emisión que alcanzan las diferentes estructuras y cuerpos urbanos y que son captadas directamente por sensores infrarrojos (...) tales como los que disponen los satélites de observación terrestre”
(Sarricolea et al., 2006 como se citó en Sarricolea et al., 2008, p. 72).

Figura 4

Variaciones de las temperaturas superficiales y atmosféricas



Fuente: Tomado de EPA, 2008, p. 4

Las temperaturas superficiales y atmosféricas varían en las diferentes áreas de uso de la tierra. Las temperaturas de la superficie varían más que las temperaturas del aire durante el día, pero ambas son bastante similares durante la noche. El descenso y el aumento en las temperaturas de la superficie sobre el estanque muestran cómo el agua mantiene una temperatura bastante constante día y noche, debido a su alta capacidad calorífica (EPA, 2008, p. 4).

Tabla 1*Características de las islas de calor superficial y atmosférica*

Características	Isla de calor superficial	Isla de calor atmosférica
Ritmo temporal	Presente durante el día y la noche Mayor intensidad durante el día y en verano	Débil o inexistente durante el día Mayor intensidad durante la noche o después de la puesta del sol y en invierno
Picos de intensidad	Gran variación espacial y temporal: Durante el día de 10 °C a 15 °C Durante la noche de 5 °C a 10 °C	Poca variación: Durante el día de -1.8 °C a 3 °C Durante la noche de 7 °C a 12 °C
Métodos de identificación	Método indirecto Teledetección	Método directo Estaciones meteorológicas fijas Transectos
Representación	Imágenes satelitales	Mapas de isotermas Gráficos térmicos

Fuente: Tomado de EPA, 2008, p. 2

2.2.5 Características de las islas de calor

Moreno (1999, p. 30) señala que las principales características de las ICU son: intensidad, su forma o configuración y la localización del máximo térmico.

a Intensidad

La intensidad es la característica más usada para evaluar ICU, según Magee et al. (1999), Kim y Baik (2005), como se citó en Rizwan et al. (2008, p. 122) “la intensidad es la diferencia de temperatura espacial entre una zona rural urbana y su área rural circundante”.

$$IICU = T_{urbana} - T_{rural}$$

Donde:

IICU: Intensidad de la isla de calor urbano

Turbana: Temperatura urbana

Trural: Temperatura rural

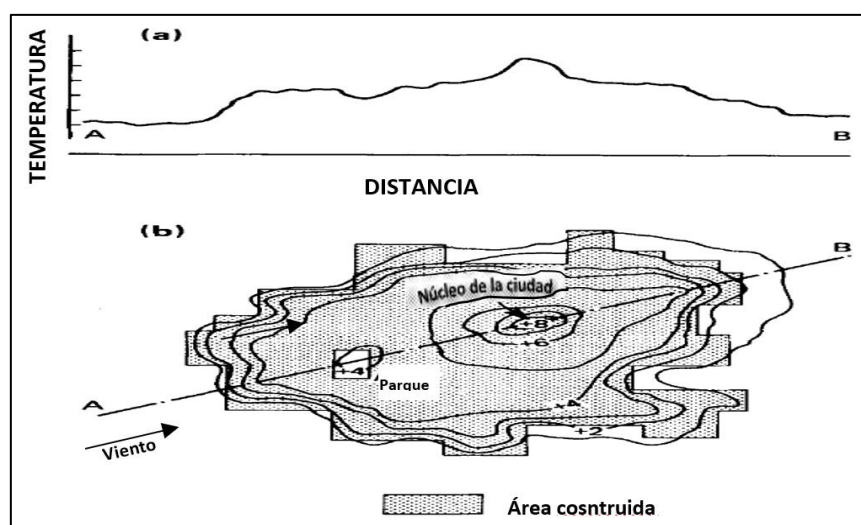
Tabla 2*Categorización de la intensidad de ICU según rango*

Intensidad de ICU	Rango
Intensidad débil	Hasta 2°C
Intensidad moderada	De 2 a 4°C
Intensidad fuerte	De 4 a 6°C
Intensidad muy fuerte	Mayor a 6°C

Fuente: Elaborado con base en Fernández 1996 como se citó en Sarricolea et al., 2008, p. 75

b Configuración espacial

La configuración espacial queda reflejada gráficamente mediante la disposición correspondiente de isotermas. La forma del fenómeno no depende tanto de las condiciones meteorológicas concretas, como de factores de tipo urbano, es decir, de las características morfológicas de la ciudad. Así se puede llegar a afirmar que existen tantas formas distintas del fenómeno como morfologías distintas de ciudades. De todos modos, hay una serie de hechos o rasgos que suelen repetirse en bastantes casos (Serra, 2007, p. 59).

Figura 5*Configuración espacial de una isla de calor*

Fuente: Tomado de Oke 1982, p. 3

Figura 5. Representación hipotética de las características espaciales y temporales de la isla de calor urbana de la capa de dosel en una ciudad de latitud media con clima 'ideal' (calma, despejado). Patrón espacial (a) a lo largo de la sección transversal AB y (b) en relación con el contorno del plano de la ciudad. Variación temporal de las zonas urbanas y rurales (Oke 1982, p. 3).

c Localización del máximo térmico

La localización del máximo térmico se encuentra determinada por factores urbanos, por ciertas condiciones meteorológicas, como puedan ser las eólicas, y por la estación del año. Los factores urbanos que pueden afectar a la localización del máximo térmico son los mismos que afectan a la configuración. En cuanto a las condiciones meteorológicas, según la situación sinóptica y la dirección del viento (Serra, 2007, p. 59).

2.2.6 Cañón urbano

A pesar de la heterogeneidad del dosel urbano en casi cualquier ciudad real, es útil describir la estructura de los edificios y espacios abiertos en términos de medidas cuantificables que expresan su densidad u otras propiedades físicas que influyen en el clima a microescala. Uno de los modelos más utilizados para hacer tal descripción es el cañón urbano, que, como su nombre indica, se refiere a un espacio lineal como una calle que está delimitada a ambos lados por elementos verticales como las paredes de los edificios adyacentes (Erell et al. 2011, p. 18 -19).

El cañón contiene un volumen de aire que tiene tres lados con superficies activas (paredes y piso) y tres lados abiertos (uno es una "tapa" imaginaria cerca del nivel del techo y los otros dos son "extremos" a través de los cuales puede tener lugar el flujo a lo largo del cañón). Esta disposición reconoce la naturaleza tridimensional del dosel urbano y permite la inclusión de la interacción entre edificios en lugar de

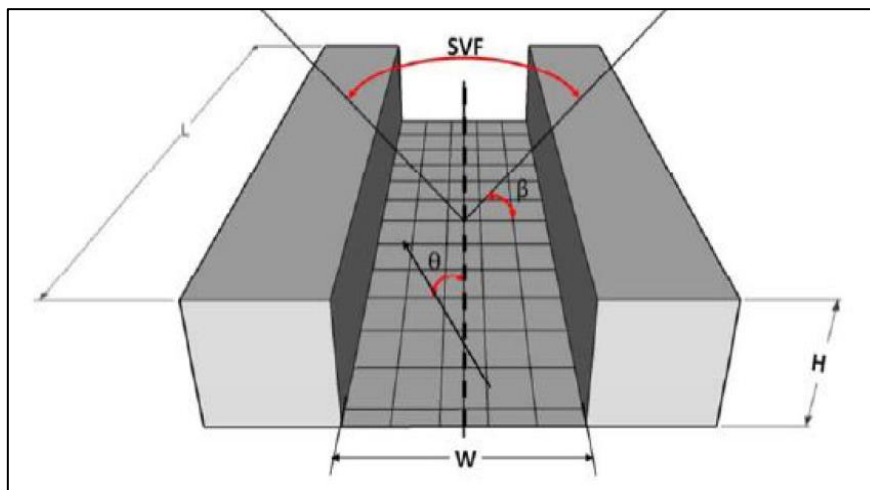
tratarlos como objetos aislados. En una ciudad con un patrón de calle en forma de cuadrícula, hay dos orientaciones de cañón compensadas por 90° , y cada una poseerá un microclima diferente como resultado de las diferencias en el ángulo de incidencia solar y el ángulo de ataque del viento. Tales diferencias se suman a las creadas por las características radiativas, térmicas y de humedad de sus materiales de construcción, y la geometría del cañón. (Oke 1987, p. 285)

2.2.6.1 Geometría del cañón urbano

En muchos casos las dimensiones absolutas son irrelevantes y se describe adecuadamente solo con 3 de sus elementos: relación altura-anchura (H/W), factor de visión del cielo (SVF) y orientación del eje del cañón (θ) (Oke 1987, p. 285) y (Erell et al. 2011, p. 19)

Figura 6

Esquema de un cañón urbano: SVF y H/W



Tomado: de Erell et al. 2011, p. 19

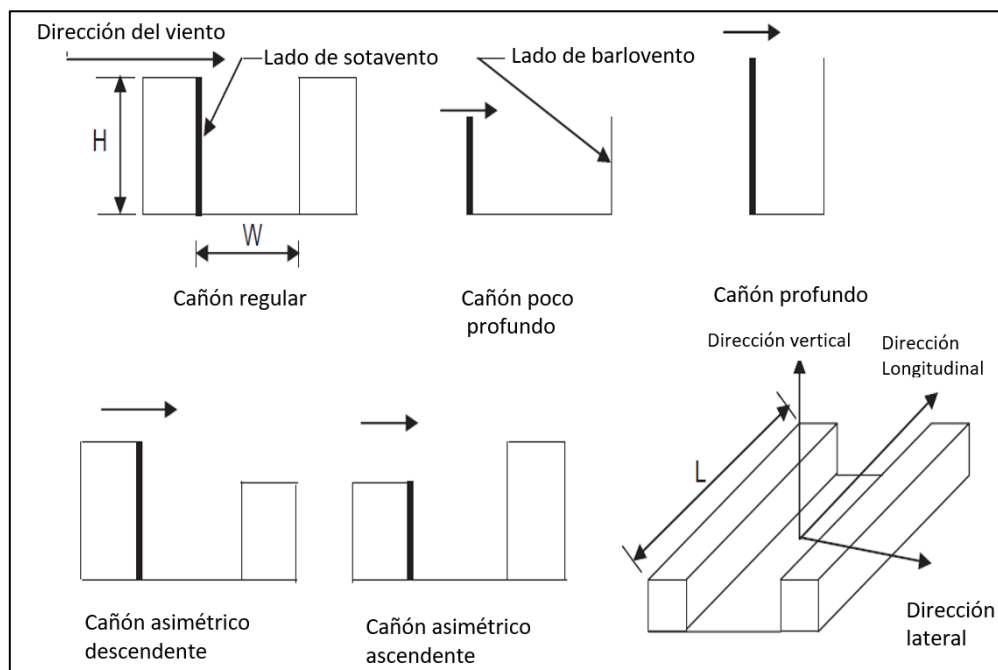
a Relación altura-anchura (H/W)

también conocida como relación de aspecto. Se define como la relación entre la altura media de los elementos verticales adyacentes (como las fachadas de los edificios) y la anchura media del espacio (es decir, la distancia de pared a pared

al otro lado de la calle). Mientras que la relación de aspecto se aplica más directamente a los cañones simétricos cuyos edificios adyacentes son de altura continua y tienen un retroceso común, el promedio de altura y anchura permite una categorización general de las calles del mundo real que casi siempre son irregulares en un grado u otro. Una medida adicional, que a veces se utiliza junto con H/W , es la longitud del cañón L , aunque en muchos casos L es mucho más grande que H o W y la calle puede ser tratada como semi-infinita (Erell et al., 2011, p. 19-20).

Figura 7

Características de los caños urbanos



Fuente: Tomado de Ahmad et al. 2005, p. 702

Un cañón poco profundo tiene una relación de aspecto inferior a 0.5; y la relación de aspecto de 2, representa un cañón profundo (Ahmad et al., 2005, p. 700)

b Factor de visión de cielo (SVF)

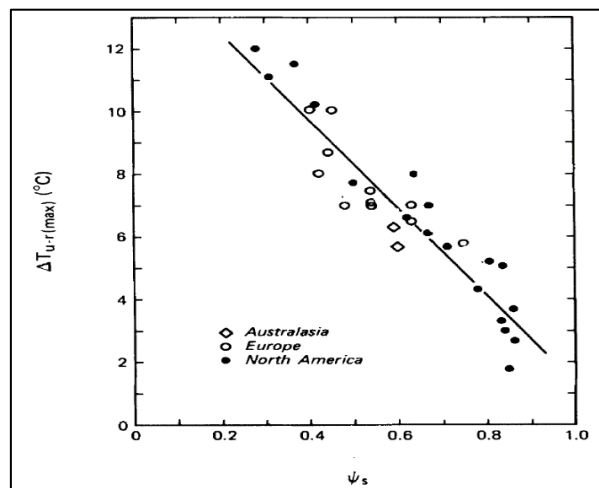
Es el porcentaje de cielo visible desde una determinada superficie, como son las calzadas de las calles, los tejados de los edificios, el campo o cualquier otro

espacio natural o artificial, respecto al máximo posible en condiciones de terreno totalmente plano y sin obstáculos naturales o artificiales sobre el plano del horizonte (METROBS, 2015, p. 81).

Los valores del SVF, que varían entre 0 (cielo no visible por causa de obstáculos que impiden su visión) y 100% (cielo visible en toda su extensión, por no haber obstáculos sobre el horizonte), o, en tantos por uno, entre 0 y 1 (METROBS, 2015, p. 81).

Figura 8

Intensidad máxima de la isla de calor vs factor de visión del cielo

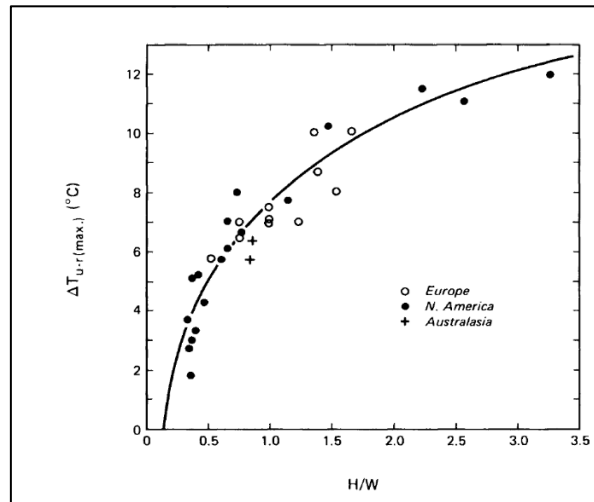


Fuente: Tomado de Oke 1982, p. 18

Figura 8 “Relación entre la intensidad máxima de la isla de calor ($\Delta T_{u-r(max)}$) y el factor de vista del cielo (ψ_s) en el centro de 31 ciudades (según Oke 1981). Todos los datos se refieren a mediciones de la capa de dosel en noches de verano tranquilas y claras.” (Oke 1982, p. 18).

Figura 9

Intensidad máxima de la isla de calor vs relación altura-anchura



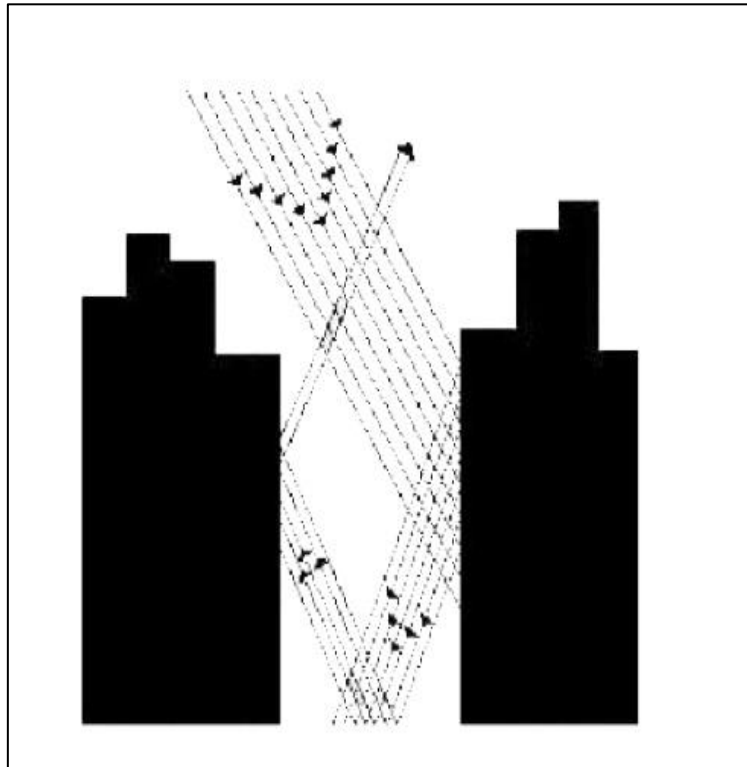
Fuente: Tomado de Oke 1987, p. 292

Figura 9 “Relación entre la intensidad máxima de la isla de calor ($\Delta T_{u-r(max)}$) y la relación altura-anchura (H/W) de los cañones de la calle en los centros de 31 ciudades. Datos del estudio de Oke (1981)” (Oke 1982, p. 292).

La geometría de los cañones urbanos influye en el balance energético de varias maneras: aumenta la superficie expuesta a los procesos de intercambio térmico, complica la entrada de la radiación solar, determina una interacción entre las superficies que lo componen y limita la turbulencia del aire. De hecho, los cañones urbanos detienen una mayor cantidad de radiación solar, debida a las múltiples reflexiones de los rayos solares en las paredes de los edificios y en la superficie de la carretera (Cabras, 2014, p. 20).

Figura 10

Reflexiones múltiples en un cañón urbano



Fuente: Tomado de Oke 1978 como se citó en Cabras 2014, p. 21

c Orientación del eje del cañón (θ)

Representa la dirección del espacio alargado, medido (en grados) como el ángulo entre una línea que corre hacia el norte, hacia el sur y el eje principal que recorre la longitud de la calle u otro espacio lineal, medido en el sentido de las agujas del reloj. A menudo, la orientación del eje del cañón se describe simplemente por la dirección cardinal más cercana (por ejemplo, N-S, E-W) o diagonal (NW-SE, NE-SW) (Erell et al., 2011, p. 20).

2.2.7 Consecuencias de las islas de calor

Las consecuencias negativas que provocan las ICU son múltiples, sin embargo, la EPA (s.f) destaca a cuatro por su importancia: Aumento del consumo de energía, emisiones

elevadas de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero, salud y comodidad humana comprometida y calidad del agua deteriorada.

- Aumento del consumo de energía

Las ICU aumentan la demanda general de electricidad, así como la demanda máxima, que generalmente ocurre en las calurosas tardes de verano entre semana, cuando las oficinas y los hogares tienen sistemas de refrigeración, luces y electrodomésticos (EPA, s.f).

- Emisiones elevadas de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero

Al aumentarse la demanda de energía las empresas que suministran electricidad dependen gran parte de plantas de energía de combustibles fósiles, lo que conduce a un aumento en la emisión de gases de efecto invernadero y contaminantes del aire. (EPA, s.f).

- Salud y comodidad humana comprometida

El aumento de las temperaturas diurnas, la reducción del enfriamiento nocturno y los niveles más altos de contaminación del aire afectan la salud humana al contribuir a la incomodidad general, dificultades respiratorias, calambres y agotamiento por calor, insolación no mortal y mortalidad relacionada con el calor. Las islas de calor también pueden exacerbar el impacto de las olas de calor. Poblaciones sensibles como niños, adultos mayores y personas con problemas de salud, corren particular riesgo en estos eventos (EPA s.f).

- Calidad del agua deteriorada

La cantidad de agua se ve mermada pues la población aumenta su consumo para paliar los efectos de las ICU, además la EPA (s.f) sugiere que, las altas temperaturas del pavimento y la superficie de la azotea pueden calentar las aguas pluviales, esta agua pluvial calentada generalmente se convierte en escorrentía, que drena en alcantarillas pluviales y eleva la temperatura del agua cuando se libera en arroyos, ríos, estanques y lagos.

2.2.8 Mitigación de las islas de calor urbano

Rizwan et al. (2008, p. 124) clasifica en términos generales las medidas de mitigación de las ICU en tres grupos:

- (1) medidas relacionadas con la reducción de liberación de calor antropogénico (por ejemplo, apagar interruptores o aparatos de aire acondicionado).
- (2) medidas relacionadas a un mejor diseño del techo (por ejemplo, los techos verdes, enfriamiento por aspersión de techos, techos reflectantes, etc.
- (3) otros factores de diseño (por ejemplo, humidificación, el aumento del albedo de superficies, etc.).

Tabla 3

Medidas de mitigación propuestas en contra de las ICU

Medidas de mitigación	Reducción max de T (°C)	Ahorro reportado	Referencia
Vegetación, color más claro del pavimento y techos más frío	3.0	-	Rosenfield et al., 1998
Plantación y vegetación	1.6	-	Tong et al., 2005
Plantación y vegetación	1.5	-	Ca et al., 1998
Reducir el calor antropogénico y plantar vegetación	1.2	40%	Kikegawa et al., 2006
Plantación y vegetación	1.3	25%	Ashie et al., 1999
Plantación y vegetación	-	10%	Yu and Hien, 2006
Adecuada ventilación	-	10%	Kolokotroni et al., 2006
Vegetación y albedo adecuado	2.0	10%	Taha et al., 1999
Fuera de las condiciones del aire	1.0	40% consumo de electricidad	Kikegawa et al., 2003
Plantación y vegetación	-	-	Spronken-Smith et al., 2000
Reducir el consumo antropogénico de calor y energía, mejorar el diseño de los edificios	-	-	Urano et al., 1999

Refrigeración por aspersión de techo	13 – 17 T° del techo	-	Jain and Rao, 1974
Flujo de agua sobre el techo	-	-	Sodha et al., 1980
Estanque de techo, enfriamiento por aspersión de techo y agua en movimiento sobre el techo	-	-	Tiwari et al., 1982
Cortinas, materiales altamente reflectantes, espacios abiertos y ventilados, reducen la liberación de calor de los edificios, etc.	-	-	Yamamoto, 2006
Techos verdes y altamente reflectantes	-	-	Takebayashi and Moriyama, 2007
Aumento de humidificación y albedo	-	-	Ihara et al., 2008
Marquesinas fotovoltaicas	-	-	Golden et al., 2007

Fuente: Tomado de Rizwan et al., 2008, p. 125

2.2.9 Métodos para la medición de islas de calor

(Gartland, 2008, p. 27) menciona:

La forma ideal de medir la isla de calor de cualquier ciudad sería examinar los patrones climáticos regionales con y sin la ciudad en su lugar. Claramente, es imposible eliminar y reemplazar ciudades, por lo que, en el mundo real, se utilizan cinco métodos básicos para medir los efectos del desarrollo en el clima urbano, los cuales son: estaciones fijas, transectos móviles, sensores remotos, detección vertical, equilibrios energéticos.

2.2.9.1 Estaciones fijas

Es el método más simple y común de analizar las ICU de dosel urbano, consiste en comparar datos meteorológicos de dos o más estaciones representativas ubicadas en el área urbana y rural, la ubicación de estas estaciones debe ser representativa y las mediciones deben darse a 1.5 m de altura del suelo, la gran desventaja es que las estaciones

meteorológicas son escasas, y poco representativas, suponiendo un gran reto para el estudio de las ICU (Gartland, 2008, p. 27-28).

Las mediciones meteorológicas en el ambiente urbano son un gran reto, por lo cual Oke (2006, p. 1) menciona que, “seguir con los lineamientos de la Organización Mundial de Meteorología (OMM) se vuelve imposible, debido a la obstrucción superficial antinatural, calor residual y actividades antropogénicas”.

Por ello es que Oke (2006, p. 16-17) para la ubicación y exposición de los instrumentos que miden temperaturas en áreas urbanas hace las siguientes recomendaciones:

- La termometría estándar es adecuada para observaciones urbanas, pero el blindaje por radiación y la ventilación son aún más necesarios.
- Realizar las mediciones en un lugar rodeado de condiciones medias o "típicas" para el terreno urbano, y colocar los sensores en alturas similares a las utilizadas en sitios no urbanos.
- Es necesario considerar exposiciones sobre superficies no estándar a alturas no estándar.
- Las mediciones según recomendación para sitios urbanos puede darse desde 1.25 m hasta 2 m sobre el nivel del suelo, pero en ocasiones puede permitirse mayores alturas debido a que la temperatura en la capa de dosel urbano no presenta variaciones significativas.
- Si el sensor está a más de 1 m de cualquier superficie el error debe ser pequeño, especialmente en áreas densamente construidas.
- Las medidas a alturas de 3 o 5 m son poco diferentes de las de la altura estándar. Incluso se benefician al tener áreas de origen más grandes, el sensor está más allá del fácil acceso de los vándalos o el camino de los vehículos, y el calor de escape de los vehículos se diluye.

-Los techos no son buenos lugares para instalaras sensores meteorológicos, ya que debido a su naturaleza presentan condiciones anómalas y diferentes a las de la UCL.

2.3 Definición de términos básicos

Isla de calor urbano (ICU) Diferencia de temperatura de una zona urbana y una zona rural, atribuida a pavimentación de calles, construcción de habitaciones y centros comerciales, así como de emisión de gases generados por el uso de vehículos y complejos industriales.

Capa de dosel urbano (UCL) Sector entre los edificios que presentan toda una amalgama de microclimas inferida por las características de los alrededores más inmediatos.

Cañón urbano Principal unidad del dosel urbano, que incluye el suelo entre dos edificios adyacentes y sus paredes.

Factor de visión de cielo (SVF) El cociente de la cantidad de cielo 'visto' de un determinado punto en una superficie a lo potencialmente disponible.

Relación de altura- ancho (H/W) Relación entre la altura media de los elementos verticales adyacentes (como las fachadas de los edificios) y la anchura media del espacio (es decir, la distancia de pared a pared al otro lado de la calle).

Orientación del eje del cañón (θ) Representa la dirección del espacio alargado, medido (en grados), medido en el sentido de las agujas del reloj.

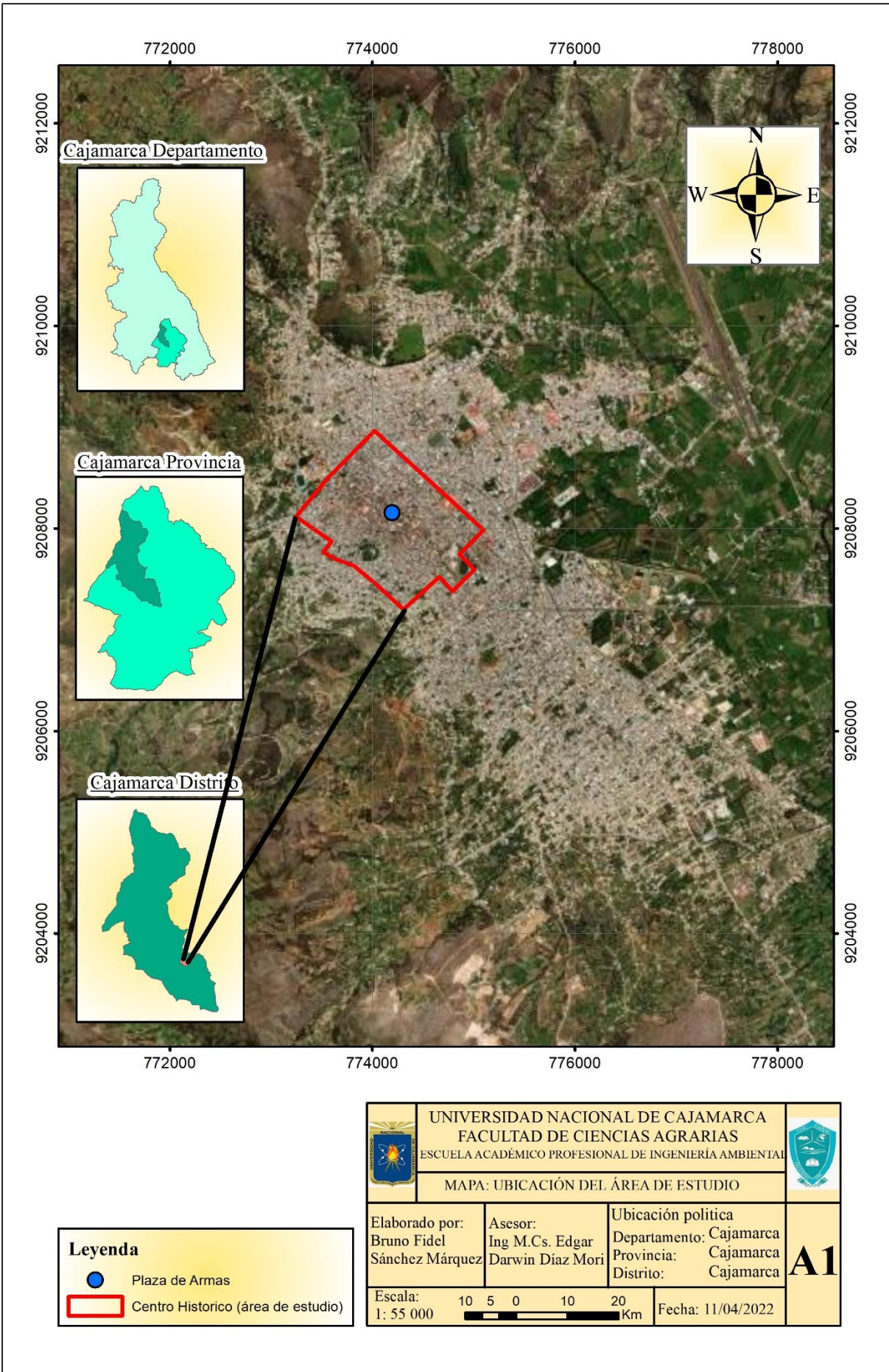
CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ubicación del área de estudio



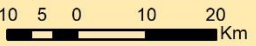
El presente trabajo de investigación se realizó en el centro histórico de la ciudad de Cajamarca, ubicado en el distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca a una altitud aproximada de 2725 msnm.

La Municipalidad Provincial de Cajamarca (2016) en el Plan de Desarrollo Urbano de Cajamarca 2016 - 2026 menciona que la ciudad capital de Cajamarca es la quinta ciudad más importante del norte peruano después de Trujillo, Chiclayo, Piura y Chimbote. Asimismo, que tiene características típicas de un centro urbano emplazado en una zona de laderas andinas de cuenca media y es ahí donde se alberga el centro histórico el cual constituye el principal elemento de identidad de la ciudad donde se encuentra el eje económico y político no solo de la ciudad sino también de la región.



Leyenda

-  Plaza de Armas
-  Centro Historico (área de estudio)

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL		
	MAPA: UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO		
Elaborado por: Bruno Fidel Sánchez Márquez	Asesor: Ing M.Cs. Edgar Darwin Díaz Mori	Ubicación política Departamento: Cajamarca Provincia: Cajamarca Distrito: Cajamarca	A1
Escala: 1: 55 000		Fecha: 11/04/2022	

3.1.1 Climatología

El clima de la ciudad de Cajamarca según la metodología de Thornthwaite empleada por el SENAMHI (2020) es de un tipo: C (o,i) B', es decir para la precipitación efectiva corresponde a un semi seco con el otoño e invierno seco y para la eficiencia de temperatura le pertenece a un templado.

Las lluvias determinan durante el año dos estaciones: La seca que corresponde al otoño y el invierno, en el hemisferio sur y en la costa peruana se presenta en los meses de mayo a setiembre, mientras que la temporada de lluvias, pertenece al verano costero y al mismo hemisferio, con intenso sol en el día y templado en las noches se presenta entre los meses de octubre a abril. Los vientos fuertes se dan en los meses de julio y agosto. (Municipalidad Provincial de Cajamarca, 2016).

En las partes altas, la temperatura máxima media mensual oscila entre 15.7°C y 19.3°C, valores que corresponden a los meses de marzo y enero, respectivamente, mientras que la temperatura mínima media mensual, se encuentran entre -1.2°C y 1.6°C, para los meses de agosto y marzo, respectivamente; en las partes bajas, la temperatura máxima media mensual oscila entre 20.9°C y 21.9°C, valores que corresponden a los meses de marzo y setiembre, respectivamente, mientras que la temperatura mínima media mensual se encuentran entre 4.6°C y 9.3°C, para los meses de julio y febrero, respectivamente (Municipalidad Provincial de Cajamarca, 2016).

La ciudad de Cajamarca se encuentra rodeada por algunos cerros y los vientos predominantes van de Nor-oeste a Sur-este, los cuales llegan a una velocidad de 5.2 m/s, oscilando en promedio de 0.5 – 2.5 m/s y la dirección predominante es Sur. (Municipalidad Provincial de Cajamarca, 2016).

La precipitación promedio total anual varía entre 1,250 mm en las partes altas hasta 600 mm en las bajas; en todas las altitudes, el régimen de lluvias a lo largo del

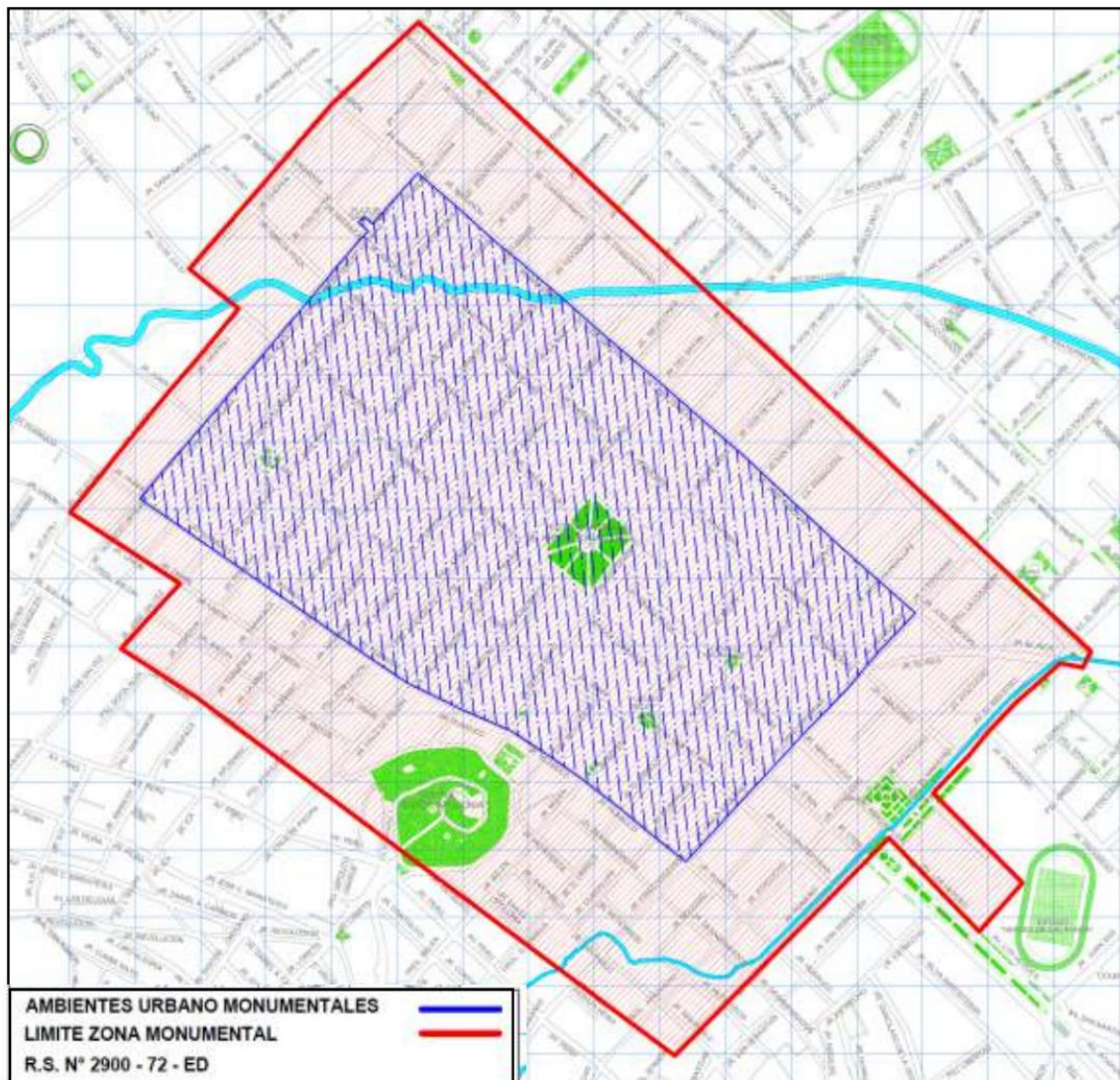
año presenta un periodo lluvioso de octubre a abril con un decaimiento leve en noviembre y diciembre y otro, de escasa precipitación entre los meses de mayo a septiembre, que alcanza sus niveles más bajos de junio a agosto, donde se registran valores inferiores a 10 mm/mes (Municipalidad Provincial de Cajamarca, 2016).

3.1.2 Delimitación del centro histórico de la ciudad de Cajamarca

El centro histórico de la ciudad de Cajamarca el cual coindice con la zona monumental abarca un área de 1415 883.51 m² y un perímetro de 7399.26 ml, teniendo según el Plan de Desarrollo Urbano de Cajamarca 2016 - 2026 elaborado por la Municipalidad Provincial de Cajamarca (2016) los siguientes límites.

-Límites zona monumental: área urbana comprendida dentro del perímetro formado por los jirones Sullana, José Gálvez, Unión, Ucayali, Chepén, Av. Fátima (hoy jirón Chanchamayo y Av. Mario Urteaga), Av. El Maestro, Romero, incluyendo el cerro Santa Apolonia.

-Ambiente urbano monumental: calles y plazas ubicadas en el área comprendida entre los jirones Marañón, Cinco Esquinas, Huánuco y Arica (hoy Horacio Urteaga).

Figura 11*Zona monumental y ambiente urbano monumental de Cajamarca***Fuente:** Municipalidad Provincial de Cajamarca, 2016

3.1.3 Morfología Urbana del centro histórico de la ciudad de Cajamarca

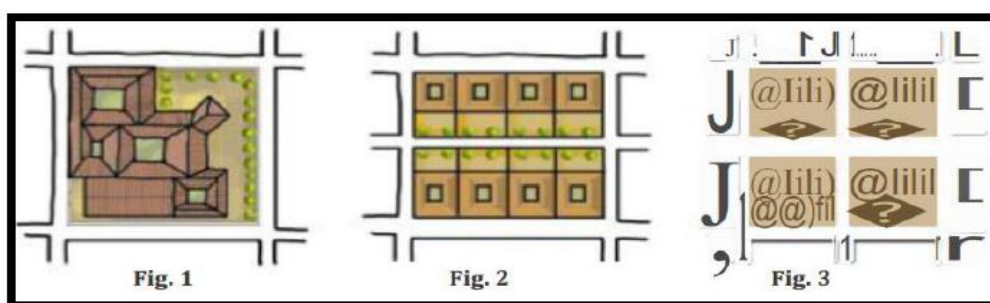
La estructura urbana de la zona monumental se basa en la trama de damero (ortogonal o cuadrícula), típica de las ciudades virreinales, la cual se superpone posterior a la conquista (1532), a la antigua ciudadela inca, reutilizando caminos y transformándolos en calles como Jr. Del Comercio, Jr. Cruz de Piedra, Jr. Dos de mayo y el más notorio e histórico el antiguo camino inca o Qhapaq Ñan, que viene

desde Baños del Inca hacia Cajamarca (Municipalidad Provincial de Cajamarca, 2016).

El Plan de Desarrollo Urbano de Cajamarca 2016 - 2026 resalta que la zona monumental y el ambiente urbano monumental están conformados por 3 tipos de manzanas:

Figura 12

Tipos de manzanas en el centro histórico de la ciudad de Cajamarca



Fuente: Municipalidad Provincial de Cajamarca, 2016

3.2 Unidad de análisis

La unidad de análisis es cada cañón urbano presente en el centro histórico de la ciudad de Cajamarca que fue escogido para ser estudiado.

3.2.1 Población

Todos los cañones urbanos presentes en el centro histórico de la ciudad de Cajamarca con orientación (NE – SO) o (NO – SE).

3.2.2 Muestra

6 cañones presentes en el centro histórico de la ciudad de Cajamarca. La muestra seleccionada es de tipo no probabilístico pues los cañones a estudiar se han elegido por sus características en donde se espera encontrar el máximo efecto de las islas de calor.

3.3 Materiales

3.3.1 Materiales y equipos de campo

- 6 termómetros digitales ambientales Elitech R5
- 6 soportes para termómetro

- 1 lente ojo de pez
- 1 wincha de 50 metros
- 1 medidor de distancias laser
- 1 Soporte para celular
- 1 GPS Garmin 12
- 1 Brújula
- 1 cámara fotográfica
- Libreta de campo

3.3.2 Materiales y equipos de gabinete

- Plano del centro histórico 1:15 000
- Laptop Lenovo Yoga 900
- Fichas de registro de cuadras

3.4 Tipo y diseño de investigación

De acuerdo al problema planteado y los objetivos a alcanzar, la presente investigación tiene forma aplicada, es de tipo correlacional y de un diseño cuantitativo, no experimental, transversal y correlacional.

Es de forma aplicada porque se aplica a problemas concretos, en circunstancias y características concretas. Se dirige a su aplicación inmediata y no al desarrollo de teorías (Tamayo 2004, p. 43).

Es de tipo correlacional porque busca determinar el grado en el cual las variaciones en uno o varios factores son concomitantes con la variación en otro u otros factores (Tamayo 2014, p. 50).

Es de diseño cuantitativo porque se utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías” (Hernández et al. 2014, p. 4).

Es de diseño no experimental porque se realiza sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos (Hernández et al. 2014, p. 152).

Es de diseño transversal porque recopila datos en un momento único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado (Hernández et al. 2014, p. 154).

Es de diseño correlacional causal porque describe relaciones entre dos o más categorías, conceptos o variables en un momento determinado. A veces, únicamente en términos correlacionales, otras en función de la relación causa efecto (causales) (Hernández et al. 2014, p. 157).

3.5 Metodología

Se eligieron 6 cañones urbanos del centro histórico de Cajamarca donde se midieron temperaturas horarias durante medio año. Las fachadas de un mismo cañón presentan materiales de construcción y alturas similares.

-3 cuadras con orientación noroeste - sureste (NO – SE)

Jr. Huánuco cuadra 16

Jr. Comercio cuadra 4

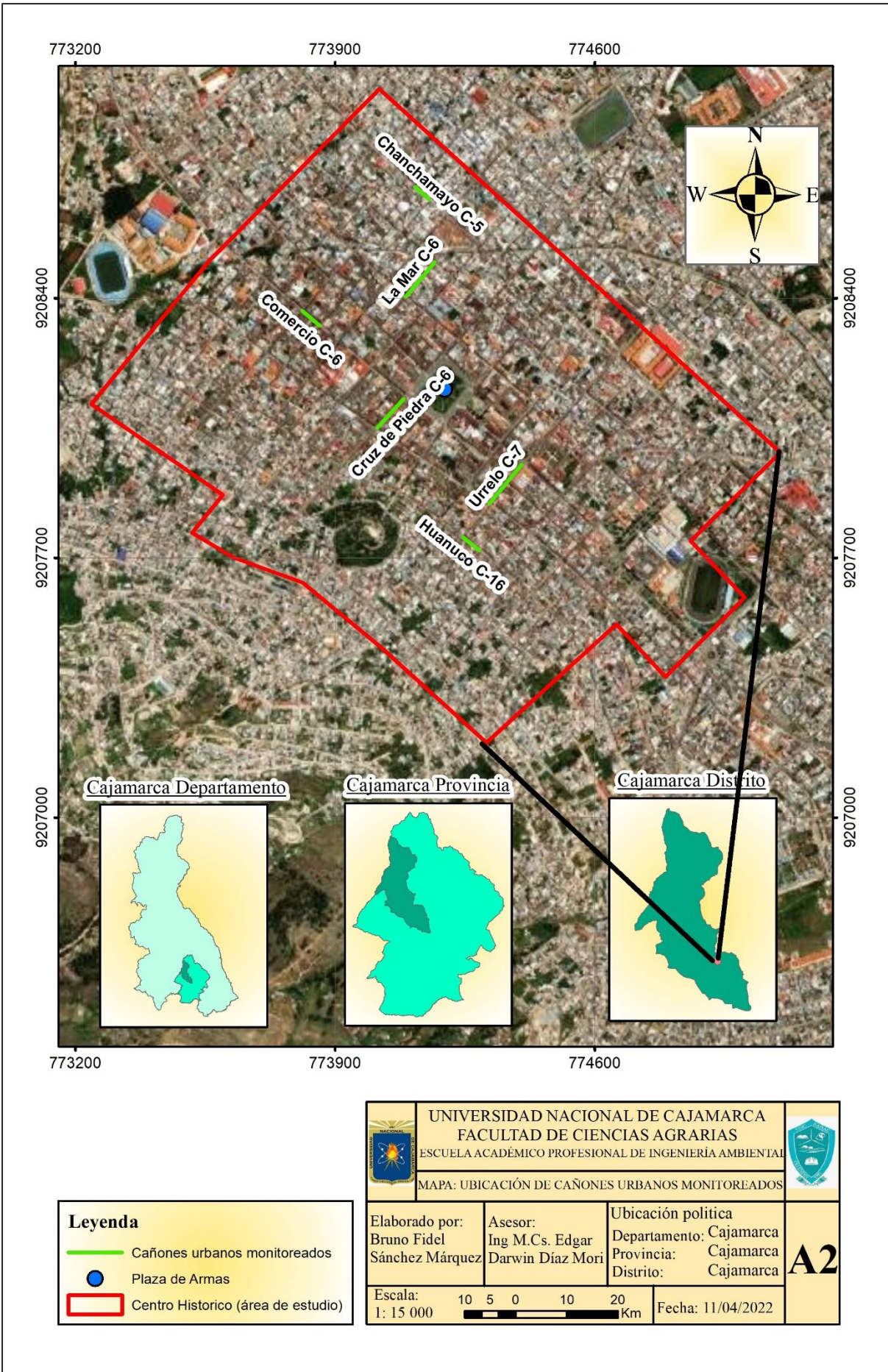
Jr. Chanchamayo cuadra 5






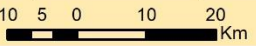
-3 cuadras con orientación noreste. suroeste (NE – SO)

Jr. La Mar cuadra 6

Jr. Urrelo cuadra 7

Jr. Cruz de Piedra cuadra 6



		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL			
MAPA: UBICACIÓN DE CAÑONES URBANOS MONITOREADOS					
Elaborado por: Bruno Fidel Sánchez Márquez		Asesor: Ing M.Cs. Edgar Darwin Díaz Mori		Ubicación política Departamento: Cajamarca Provincia: Cajamarca Distrito: Cajamarca	
Leyenda  Cañones urbanos monitoreados  Plaza de Armas  Centro Historico (área de estudio)		Escala: 1: 15 000 		Fecha: 11/04/2022	
					A2

3.5.1 Cálculo de la relación altura- ancho (H/W)

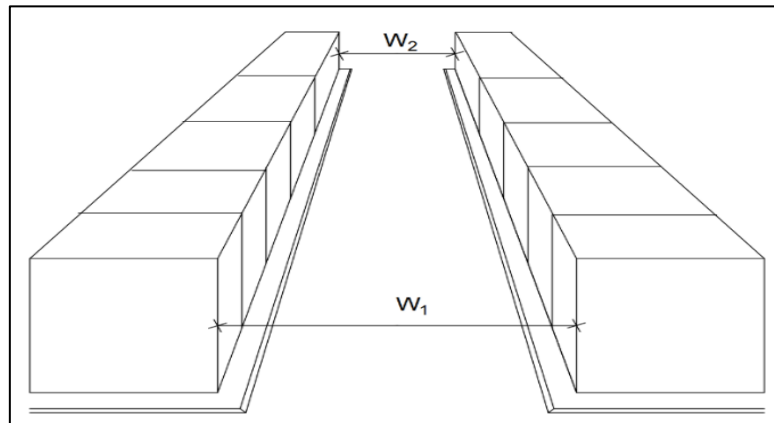
a) Cálculo de ancho de vía promedio (W)

Se midió (W_1 y W_2) con una wincha.

$$W = \frac{W_1 + W_2}{2}$$

Figura 13

Cálculo de ancho promedio de vía (W)



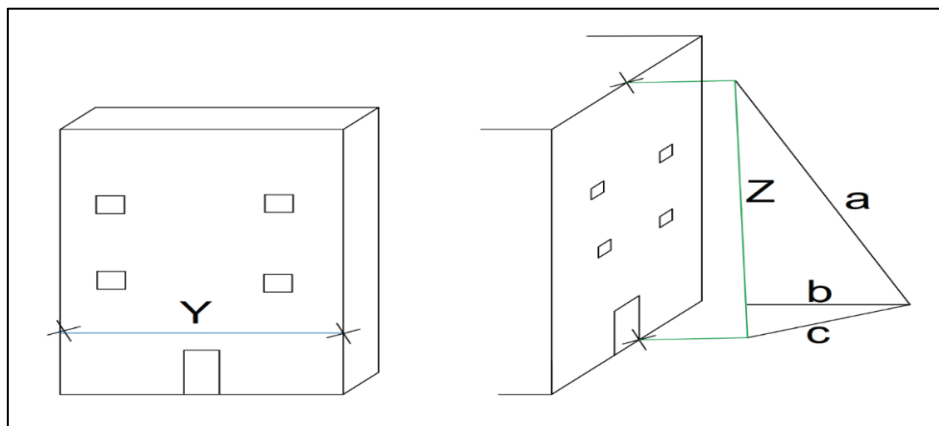
b) Cálculo de altura y ancho de fachadas

Z (altura de fachadas) se calculó a través de un medidor de distancias laser, mientras que Y (ancho de fachadas) se midió con una wincha.

$$Z = \sqrt{a^2 - b^2} + \sqrt{c^2 - b^2}$$

Figura 14

Cálculo de altura y ancho de fachadas



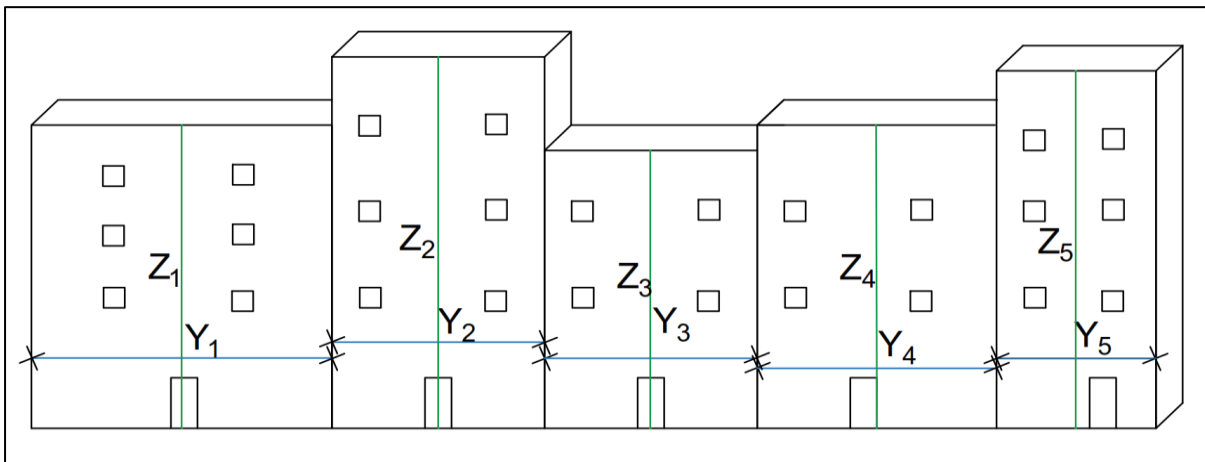
c) Cálculo de altura promedio de fachadas(H)

Como en un mismo cañón urbano existen diferentes alturas y anchos de fachadas para calcular correctamente H se utilizó la siguiente sumatoria.

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_i \times Y_i)}{\sum_{i=1}^n (Y_i)}$$

Figura 15

Cálculo de altura de fachadas promedio



d) Cálculo de relación altura – ancho (H/W)

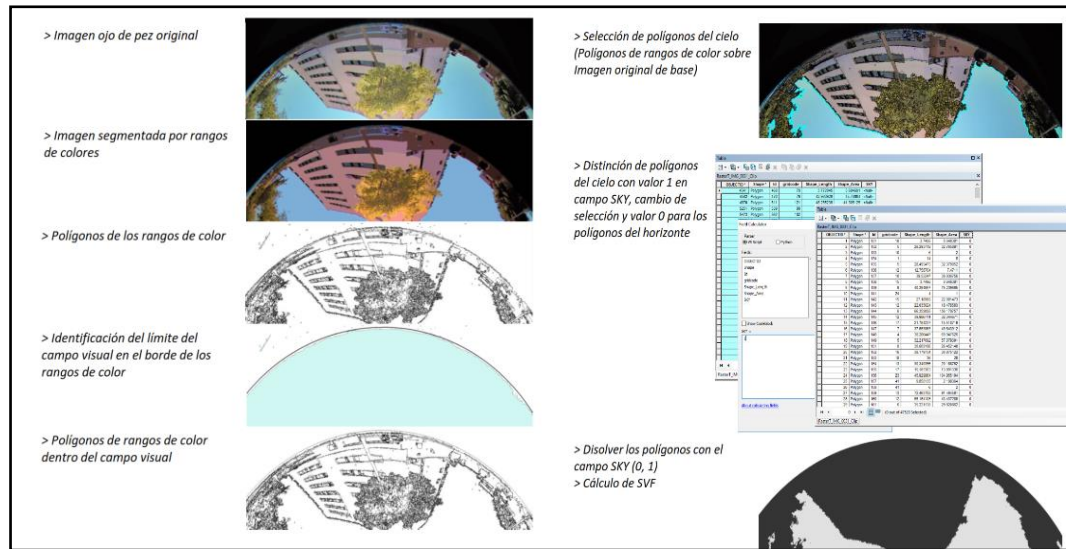
Luego de obtener los valores promedios de H y W se hizo la división de ambos valores para obtener H/W.

3.5.2 Cálculo del factor de visión de cielo (SVF)

Se Utilizó el método de Extracción mediante ArcGIS propuesto por García (2018) el cual consiste en tomar una fotografía con lente ojo de pez 180° a 1.5 m de altura con dirección norte con la finalidad de identificar la proporción de pixeles correspondientes al cielo en relación a aquellos de los elementos del horizonte. El procesamiento de las fotografías realiza tal y como se explica en la siguiente figura.

Figura 16

Cálculo de Factor de visión del Cielo (SVF), método de extracción mediante ArcGIS



Fuente: Tomado de García, 2018

Para una mayor precisión, el proceso mostrado en la figura 16 se realizó en el inicio, centro y final de cada cañón, siendo luego esos resultados promediados para tener un único valor de SVF que represente adecuadamente todo el cañón, y así asegurarse que el cañón esté bien caracterizado tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 17

Cálculo de SVF en diferentes partes de un cañón urbano



3.5.3 Cálculo de la orientación del eje del cañón (θ)

La dirección cardinal del eje del cañón fue determinada a través de una brújula.

3.5.4 Cálculo de la intensidad de las islas de calor

Para calcular la intensidad de las islas de calor se registraron temperaturas en los 6 cañones, del 8 julio del 2021 al 6 de enero del 2022 (3 meses en temporada seca y 3 meses en temporada lluviosa), en cada uno de estos cañones se instaló un termómetro digital ambiental que tomó la temperatura del aire automáticamente cada una hora durante dicho periodo, guardándose esta información en su memoria incorporada.

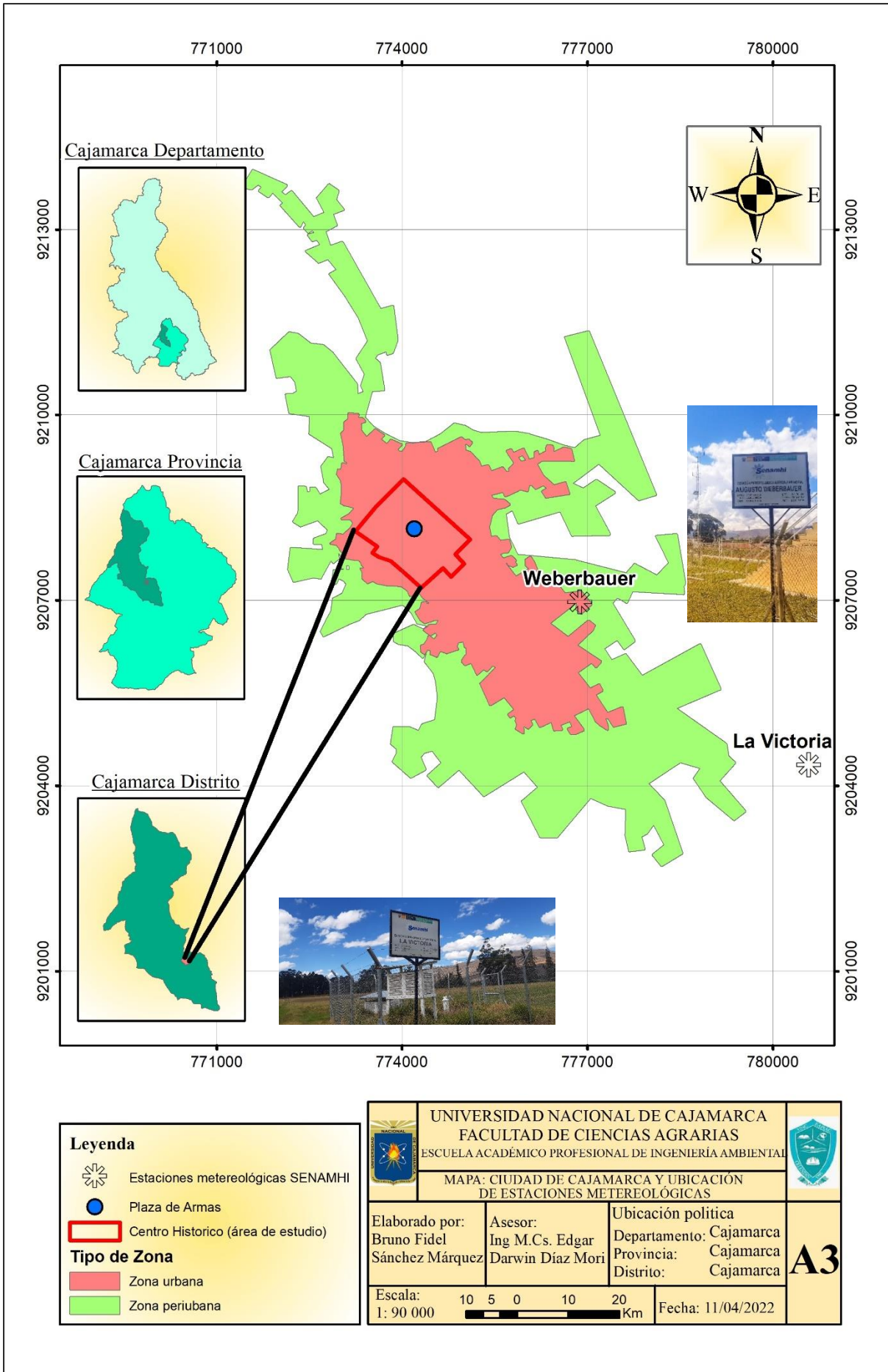
Siguiendo la metodología que empleó Oke (2006) para nuestro caso los termómetros se instalaron aproximadamente a un metro de distancia de la fachada y a una altura de dos metros y medio metros (segundo piso) para evitar errores (lecturas de temperatura superficial y no de la temperatura del aire), interferencias o que los instrumentos sean afectados por gente inescrupulosa. Mientras que para resguardar los termómetros se construyeron unas mini casetas meteorológicas de metal resistentes a manipulaciones y pintadas de blanco para que no altere la lectura de las temperaturas.

Finalmente se compararon las temperaturas registradas en los equipos instalados en cada cañón con las temperaturas registradas en las estaciones meteorológicas pertenecientes al SENAMHI (Weberbauer y La Victoria) ya que dichas estaciones cumplen con las características de cercanía, altitud y ruralidad, detallándose su ubicación en la tabla 4 y en el mapa A3.

Tabla 4

Coordenadas de puntos de monitoreo de temperatura

Punto de monitoreo	Este	Norte	Altitud
Jr. Huánuco cuadra 16	774268 E	9207739 S	2748 msnm
Jr. Comercio cuadra 4	773839 E	9208343 S	2737 msnm
Jr. Chanchamayo cuadra 5	774135 E	9208683 S	2725 msnm
Jr. La Mar cuadra 6	774131 E	9208447 S	2724 msnm
Jr. Urrelo cuadra 7	774389 E	9207924 S	2729 msnm
Jr. cruz de piedra cuadra 6	774048 E	9208085 S	2735 msnm
Estación Meteorológica Weberbauer	776874 E	9206978 S	2678 msnm
Estación Meteorológica Victoria	780576 E	9204336 S	2636 msnm



Leyenda	
	Estaciones metereológicas SENAMHI
	Plaza de Armas
	Centro Historico (área de estudio)
Tipo de Zona	
	Zona urbana
	Zona periurbana

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL		
		MAPA: CIUDAD DE CAJAMARCA Y UBICACIÓN DE ESTACIONES METEREOLÓGICAS		
Elaborado por: Bruno Fidel Sánchez Márquez	Asesor: Ing M.Cs. Edgar Darwin Díaz Mori	Ubicación política Departamento: Cajamarca Provincia: Cajamarca Distrito: Cajamarca		A3
Escala: 1: 90 000		Fecha: 11/04/2022		

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Características de los componentes de los cañones urbanos monitoreados

Para poder identificar las características de los cañones urbanos, se delimitó el espacio físico de cada cañón, que al ser un espacio tridimensional se tuvo en cuenta los siguiente límites:

Limite 1: inicio de la cuadra

Limite 2: final de la cuadra

Limite 3: fachadas de las edificaciones

Limite 4: Altura de las edificaciones

Se definieron como límites extremos de un cañón el inicio y final de cada cuadra debido a que en estos lugares el flujo de aire cambia puesto que ahí se encuentran las intersecciones de jirones o avenidas, entonces la siguiente cuadra se considera un cañón urbano diferente.

4.1.1 Características del cañón urbano del Jr. Comercio cuadra 4

Cañón constituido por un carril de 8.95 m de ancho de brea y concreto de color gris, orientada en dirección NO-SE con edificios de 2 pisos altos los cuales tienen fachadas hechas de adobe y tapial de tonalidades cremas y blancas. Este jirón es bastante transitado por vehículos y concurrida por peatones debido a la cercanía a centros comerciales, así como a importantes entidades como el RENIEC, además porque es uno de los accesos principales a la plaza de armas de la ciudad.

Figura 18

Características del cañón urbano del Jr. Comercio cuadra 4

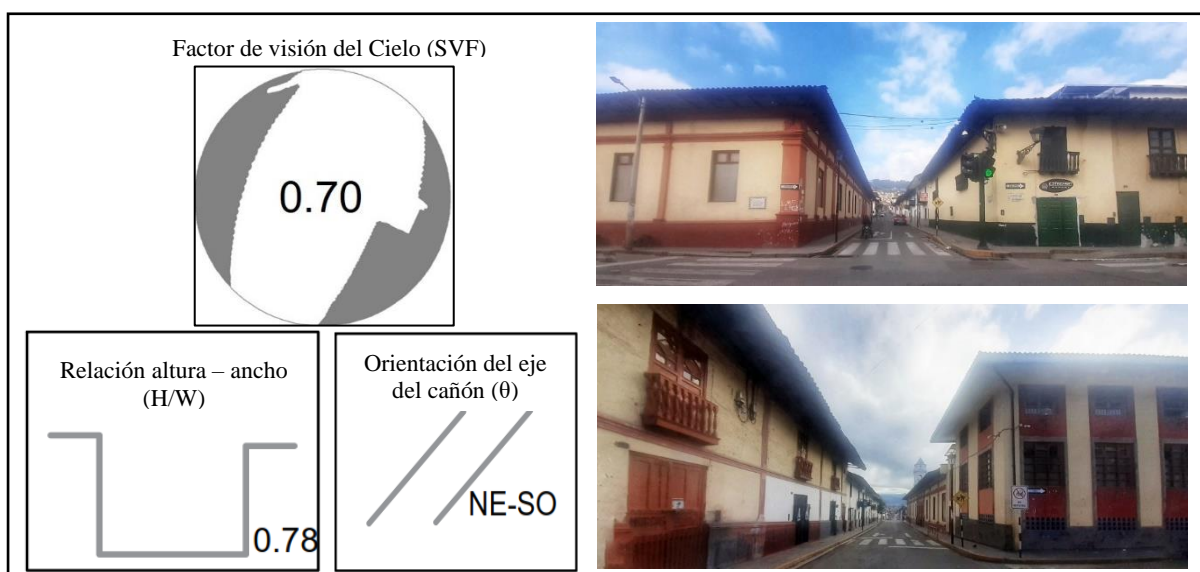


4.1.2 Características del cañón urbano del Jr. Urrelo cuadra 7

Cañón constituido por un carril ancho de 9.06 m de ancho de brea y concreto de color gris, orientada en dirección NE-SO con edificios de 2 pisos de fachadas hechas de adobe y tapial de tonalidades cremas. Este jirón es bastante transitado por vehículos que acceden al colegio Juan Clemente Vergel, a los negocios cercanos o al centro de la ciudad

Figura 19

Características del cañón urbano del Jr. Urrelo cuadra 7

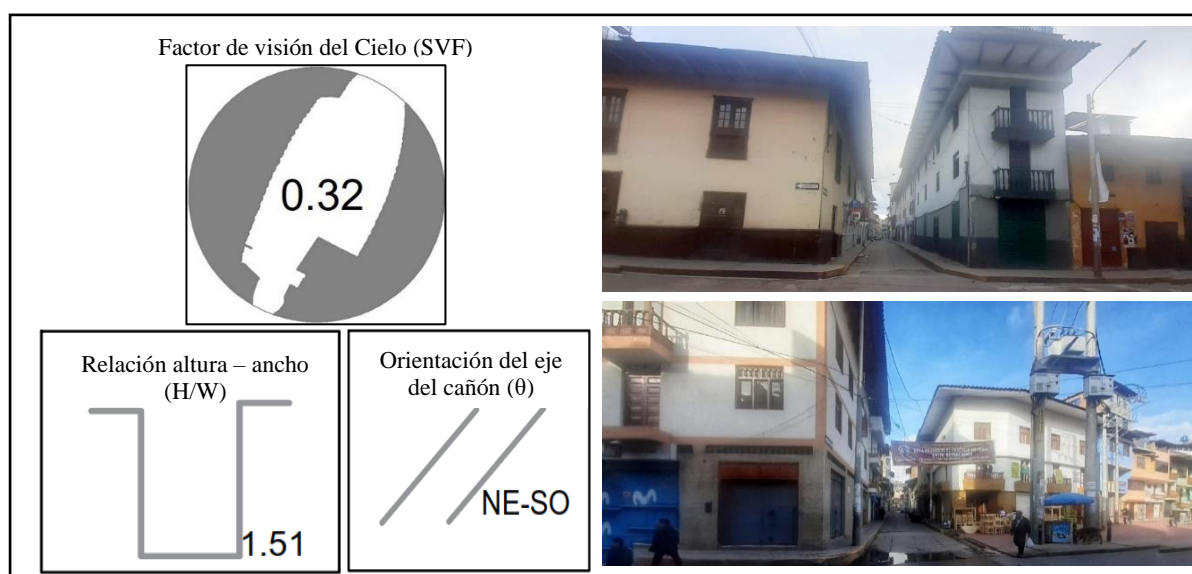


4.1.3 Características del cañón urbano del Jr. La Mar cuadra 6

Cañón constituido por un carril bastante angosto de 5.95 m de ancho de concreto de color gris, orientada en dirección NE-SO con edificios de 2 a 5 pisos los cuales tienen fachadas hechas material noble y adobe de diversas tonalidades entre las que destacan el crema, blanco y plomo. En este jirón existe gran cantidad de negocios (hoteles, venta de celulares, instrumentos quirúrgicos,) y sumado a todo esto el comercio ambulatorio se genera un incesante tránsito vehicular y peatonal, que está fuertemente influenciado por los mercados aledaños que son los más importantes de la ciudad (San Antonio, 11 de febrero, Mercadillo, entre otros)

Figura 20

Características del cañón urbano del Jr. La Mar cuadra 6



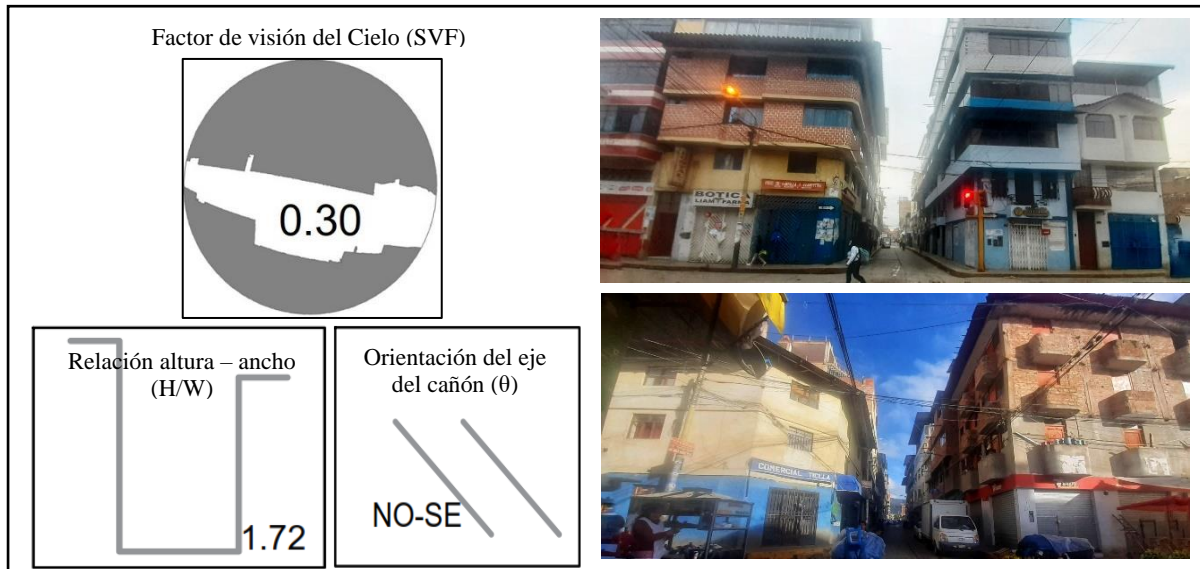
4.1.4 Características del cañón urbano del Jr. Chanchamayo cuadra 5

Cañón constituido por un carril de 7.38m de ancho de concreto de color gris, orientada en dirección NO-SE con edificios de diferentes alturas de 5 a 6 pisos los cuales tienen fachadas hechas de material noble y cerámico de diversas tonalidades entre las que destacan el gris, azul y anaranjado. Además, este cañón cuenta con la particularidad de que en todas las edificaciones hay negocios (ferreterías, boutiques, venta de celulares) y sumado a

todo esto el comercio ambulatorio se genera un incesante tránsito vehicular y peatonal, que está fuertemente influenciado por los mercados aledaños que son los más importantes de la ciudad (San Antonio, 11 de febrero, Mercadillo, entre otros)

Figura 21

Características del cañón urbano del Jr. Chanchamayo cuadra 5

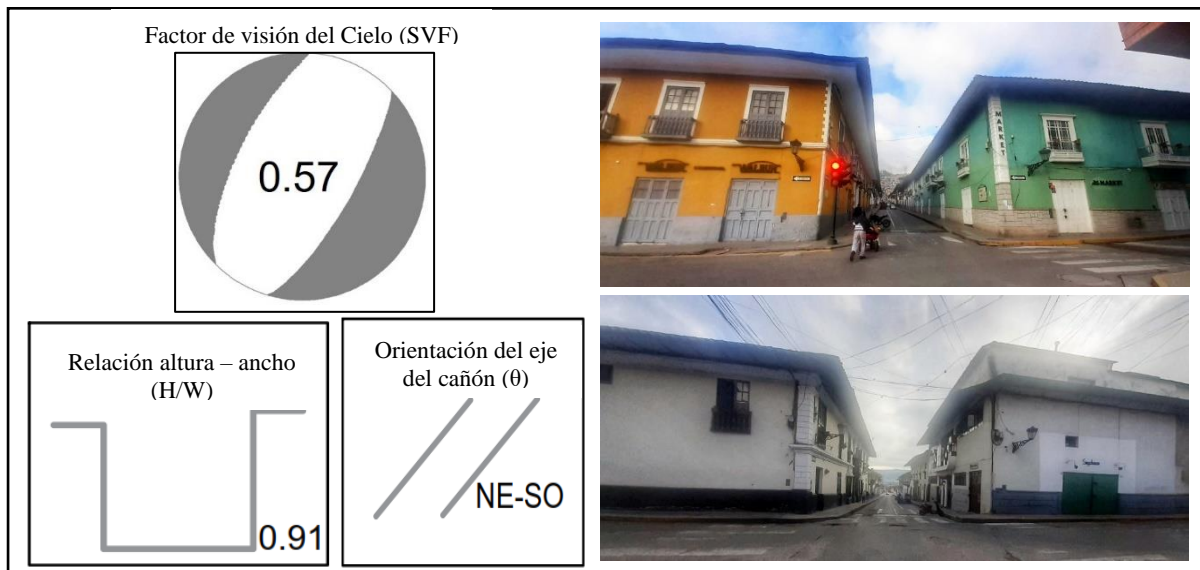


4.1.5 Características del cañón urbano del Jr. Cruz de Piedra cuadra 6

Cañón constituido por un carril ancho de 9.03 m de ancho de concreto de color gris, orientada en dirección NE-SO con edificios de 2 pisos altos los cuales tienen fachadas hechas de adobe y tapial de diversas tonalidades entre las que destacan el anaranjado, verde y crema cuyas edificaciones son usadas por telefonías, restaurantes y por la biblioteca municipal. Este jr es bastante transitado por vehículos que ingresan o salen del centro de la ciudad por estar ubicado de manera estratégica a una cuadra de la plaza de armas de la Ciudad.

Figura 22

Características del cañón urbano del Jr. Cruz de Piedra cuadra 6



4.1.6 Características del cañón urbano del Jr. Huánuco cuadra 16

Cañón constituido por un carril angosto de 6.70 m de ancho de concreto de color gris, orientada en dirección NO-SE con edificios de 2 a 4 pisos de fachadas hechas de adobe, tapial y material noble de tonalidades cremas cuyos edificios se usan como viviendas y el tránsito se intensifica porque por su angosto carril los autos ingresan al centro de la ciudad

Figura 23

Características del cañón urbano del Jr. Huánuco cuadra 16

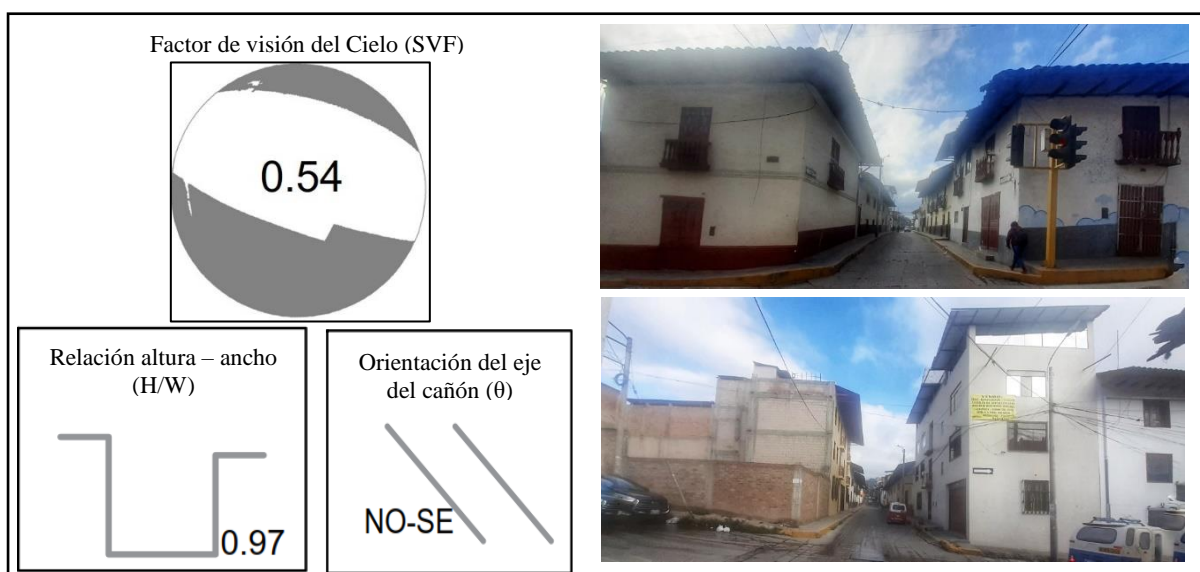
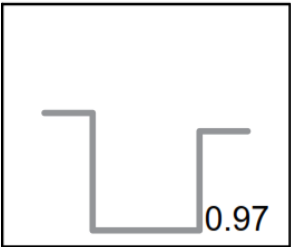
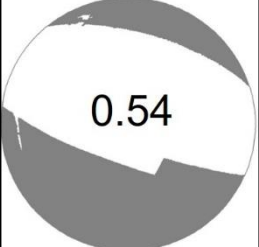
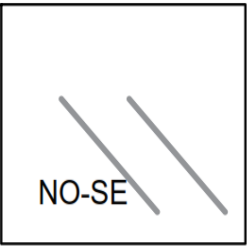

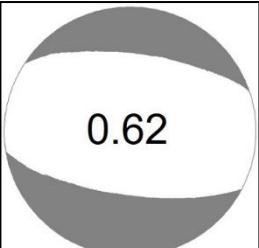
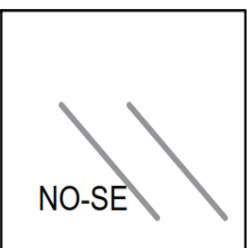
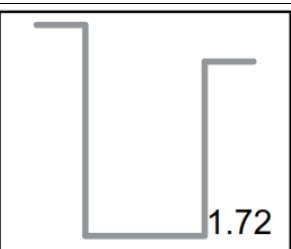
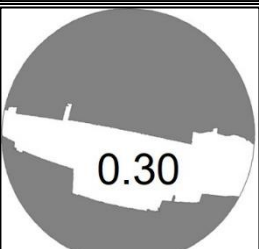
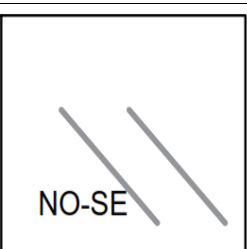

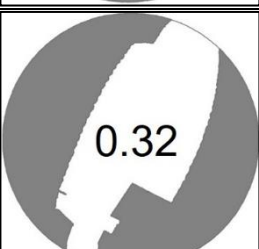
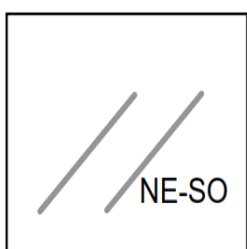
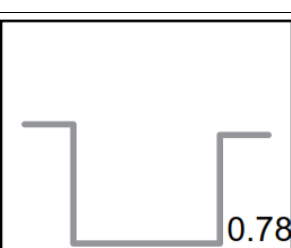
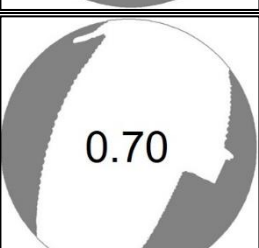
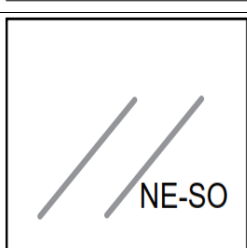
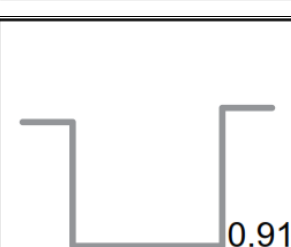
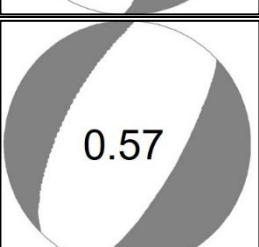
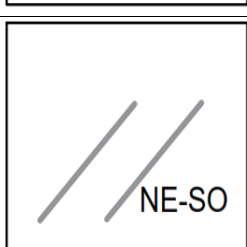


Tabla 5*Resultado de valores de los componentes de cada cañón urbano*

Cañón urbano	Relación altura - ancho (H/W)	Factor de visión del cielo (SVF)	Orientación del eje del canon (θ)
Jr. Huánuco cuadra 16	 0.97	 0.54	 NO-SE
Jr. Comercio cuadra 4	 0.87	 0.62	 NO-SE
Jr. Chanchamayo cuadra 5	 1.72	 0.30	 NO-SE
Jr. La Mar cuadra 6	 1.51	 0.32	 NE-SO
Jr. Urrelo cuadra 7	 0.78	 0.70	 NE-SO
Jr. Cruz de Piedra cuadra 6	 0.91	 0.57	 NE-SO

4.2 Cálculo de correlación

La correlación es una medida de la relación (covariación) lineal entre dos variables cuantitativas continuas. Esta medida o índice de correlación r puede variar entre -1 y $+1$, ambos extremos indicando correlaciones perfectas, negativa y positiva respectivamente. Un valor de $r = 0$ indica que no existe relación lineal entre las dos variables. Una correlación positiva indica que ambas variables varían en el mismo sentido. Una correlación negativa significa que ambas variables varían en sentidos opuestos (Vinuesa, 2016, p. 2).

Para interpretar los diversos valores que se puede obtener en una correlación es que Martínez et al. (2019) manifiestan que diversos autores plantean la siguiente escala de clasificación de correlación:

Tabla 6

Escala de Rango Relación

0 – 0.25	Escasa o nula
0.26 – 0.50	Débil
0.51 – 0.75	Entre moderada y fuerte
0.76 – 1.00	Entre fuerte y perfecta

Fuente: Tomado de Martínez, 2019

Para realizar los análisis de correlación H/W - ICU y SVF - ICU primero se calculó la ICU en cada cañón urbano a través de la siguiente ecuación:

$$ICU = T_{cañón} - T_{La Victoria} \quad (\text{ecuación 1})$$

ICU = Isla de calor urbano

$T_{Cañón}$ = Temperatura registrada en cañón urbano

$T_{La Victoria}$ = Temperatura registrada en la estación meteorológica La Victoria

Cada valor de la ecuación es el promedio de las temperaturas horarias registradas durante los 6 meses de estudio tanto en los cañones urbanos como en la estación meteorológica La Victoria, cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7

Intensidad de ICU entre cañones urbanos y estación la Victoria

Cañón de estudio	T ⁰ Periodo de 6 a 18 h			T ⁰ Periodo de 18 a 6 h		
	Cañón	Victoria	ICU día	Cañón	Victoria	ICU noche
Chanchamayo	18.30 °C	14.06 °C	4.25 °C	13.72 °C	7.00 °C	6.72 °C
Huánuco	18.66 °C	14.06 °C	4.60 °C	13.38 °C	7.00 °C	6.38 °C
Comercio	19.38 °C	14.06 °C	5.32 °C	13.52 °C	7.00 °C	6.52 °C
La Mar	18.98 °C	14.06 °C	4.92 °C	13.94 °C	7.00 °C	6.94 °C
Cruz de Piedra	19.31 °C	14.06 °C	5.26 °C	13.77 °C	7.00 °C	6.77 °C
Urrelo	19.51 °C	14.06 °C	5.45 °C	13.63 °C	7.00 °C	6.63 °C
Promedio			4.97 °C			6.66 °C

De la tabla 7 se puede afirmar que, de los 6 meses de estudio, en promedio el cañón del Jr. Urrelo tiene las temperaturas más elevadas, por lo tanto, la ICU más intensa (5.45 °C) es decir acumuló más temperatura durante dicho periodo que los otros cañones, mientras que el cañón con la ICU menos intensa fue ubicada el cañón del Jr. Chanchamayo (4.25 °C). Por otro lado, durante la noche, el cañón del Jr. La Mar se convierte en el cañón con la ICU más intensa (6.94 °C), mientras que el cañón con la ICU menos intensa se encontró en el cañón del Jr. Huánuco (6.38 °C).

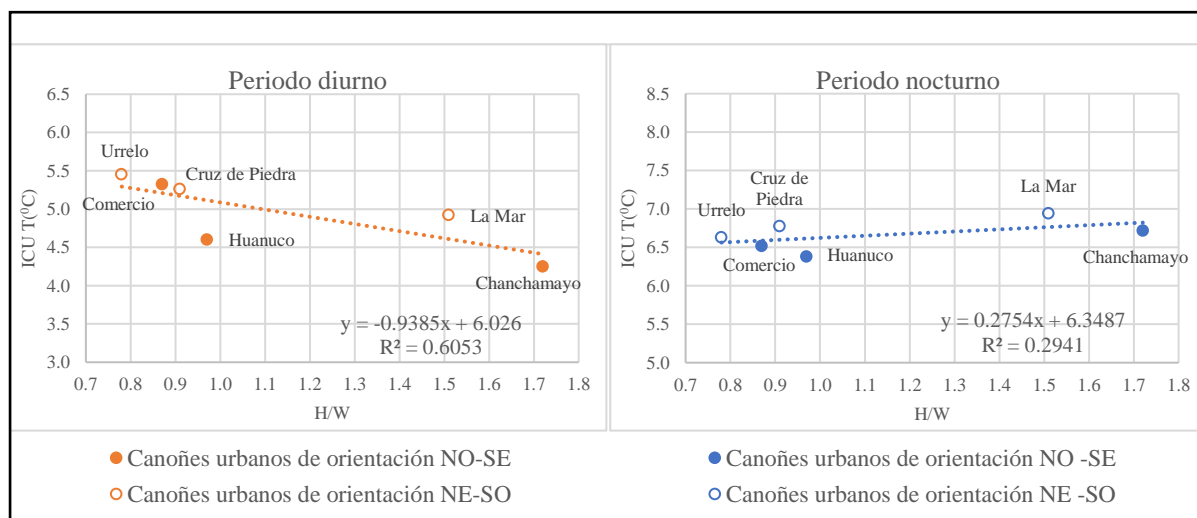
Dichos resultados son explicados y corroborados por los análisis de correlación mostrados a continuación:

4.2.1 Correlación relación altura - ancho (H/W) - isla de calor urbano (ICU)

Se realizó el análisis de correlación, comparando la temperatura resultante (ICU) de la ecuación (1) con los valores de H/W obtenidos en campo correspondientes a cada cañón, los resultados del análisis se muestran en la siguiente figura:

Figura 24

Relación de H/W – ICU en 6 cañones del centro histórico de Cajamarca



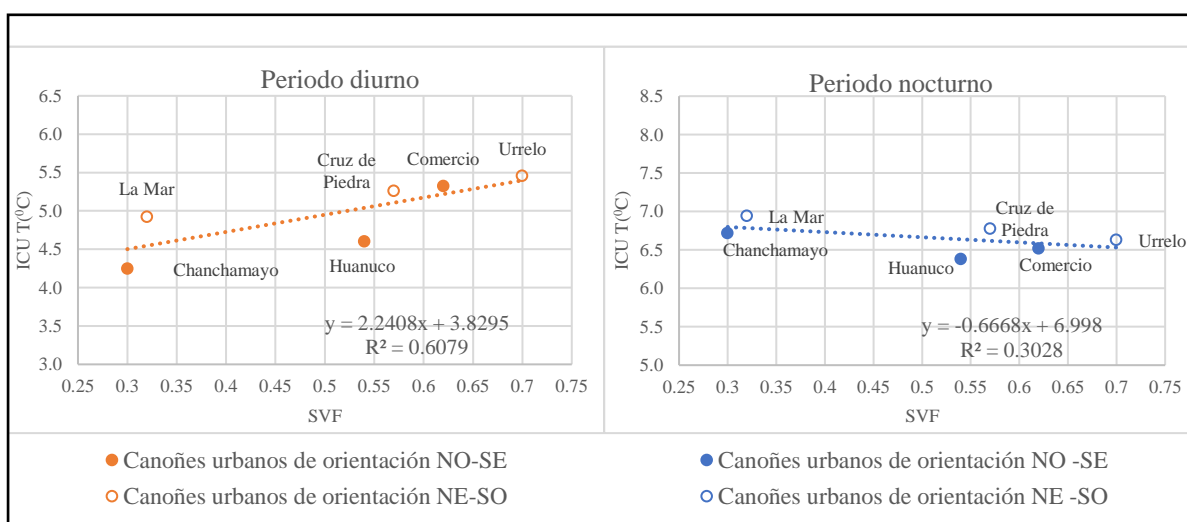
Según el análisis de regresión de los 6 meses de estudio entre H/W - ICU (figura 24) y la escala de rango relación (tabla 6) se puede observar que existe una correlación diurna entre moderada y fuerte (0.6053) pero una débil correlación nocturna (0.2941), esto debido a que en la noche la orientación es más influyente lo cual hace que cañones de orientaciones diferentes tengan comportamientos térmicos diferentes a pesar de tener H/W similares, además se puede observar que en el periodo diurno donde más baja es la H/W más intensa es la ICU (correlación negativa), sin embargo, en el periodo nocturno sucede lo contrario, donde más alta es la H/W más intensa es la ICU (correlación positiva), esto se debe a que en el día los cañones donde más alta es H/W reciben menos radiación pero en la noche retienen más energía lo cual provoca que se mantengan con temperaturas más elevadas. Estos resultados coinciden con los resultados de la investigación realizada por Campoverde (2017, p. 11) quién a su vez manifiesta que, en la mayoría de los resultados de investigaciones similares se llega a la misma conclusión.

4.2.2 Correlación factor de visión del cielo (SVF) – isla de calor urbano (ICU)

Se realizó el análisis de correlación, comparando la temperatura resultante (ICU) de la ecuación (1) con los valores de SVF obtenidos en campo correspondientes a cada cañón, los resultados del análisis se muestran en la siguiente figura:

Figura 25

Relación de SVF – ICU en 6 cañones del centro histórico de Cajamarca



Según el análisis de regresión de los 6 meses de estudio entre SVF – ICU (figura 25) y la escala de rango relación (tabla 6) se puede observar que existe una correlación diurna entre moderada y fuerte (0.6079) pero una débil correlación nocturna (0.3028), esto debido a que en la noche la orientación es más influyente lo cual hace que cañones de orientaciones diferentes tengan comportamientos térmicos diferentes a pesar de tener H/W similares, además se puede observar que en periodo diurno donde más alto es el SVF más intensa es la ICU (correlación positiva), sin embargo, en el periodo nocturno sucede lo contrario, donde más bajo es el SVF más intensa es la ICU (correlación negativa), esto confirma los resultados obtenidos por Baghaeipoor y Nasrollahi (2019, p. 49) quienes explican que se debe a que durante el día en espacios cerrados con bajo SVF la sombra disminuye la temperatura del aire, pero en la noche en esos mismos espacios el calor queda atrapado entre los edificios y

no puede emitirse en una longitud de onda larga hacia los espacios exteriores provocando temperaturas más altas.

Los resultados de las correlaciones de H/W- ICU y SVF - ICU (figuras 24 y 25) demuestran que ambos componentes del cañón urbano son apropiados para explicar las ICU, no obstante, en la ciudad de Cajamarca al ser una ciudad irregular en el alto de sus edificaciones es más adecuado utilizar SVF, pues tal como menciona Lamarca (2014, p. 25) nos permite obtener datos más precisos de la configuración espacial de cada cañón urbano. Asimismo, no se pueden pasar por desapercibidos factores importantes que influyen en la aparición de las ICU que al interactuar entre sí vuelven el fenómeno aún más complejo, los principales factores son detallados a continuación:

- Los tránsitos vehiculares y peatonales no son iguales en los cañones urbanos y esto da como resultado que los cañones que son más transitados presenten temperaturas más elevadas que otros cañones menos transitados a pesar de tener H/W y SVF similares.
- Como se menciona en la descripción de los cañones urbanos, estos están contruidos de diversos materiales que tienen distinta capacidad calorífica, por ejemplo, el adobe y tapial son más térmicos que el concreto dando como resultado que cañones que cuyas fachadas están hechas de adobe o tapial presenten temperaturas más elevadas que otros cañones que están contruidos de cemento a pesar de tener H/W y SVF similares.
- La capacidad calorífica está estrechamente relacionada con otro factor muy importante “el albedo” el cual en el centro histórico al presentar tonalidades grises u oscuras en sus construcciones es bajo y por lo tanto la capacidad de absorber radiación es elevada a diferencia del área rural lo que provoca que las diferencias de temperaturas urbano-rurales se acentúen.

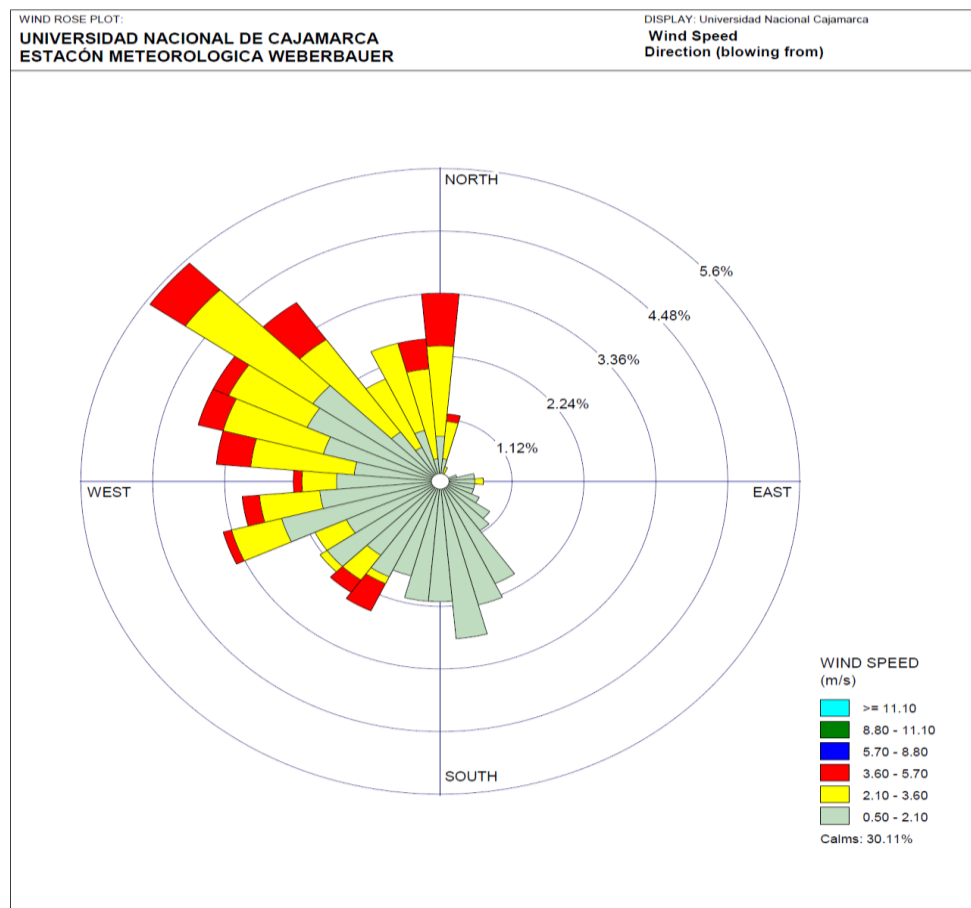
- La dirección y velocidad del viento también juegan un papel importante en la aparición de ICU, el área rural no cuenta con barreras artificiales favoreciendo la velocidad del viento, a diferencia del centro histórico en donde los componentes urbanos forman una barrera artificial modificando el flujo del viento y provocando que se acentúen las diferencias de temperaturas.

4.2.3 Correlación orientación del eje del cañón (θ) - isla de calor urbano (ICU)

En los resultados de las correlaciones H/W- ICU y SVF - ICU (figuras 24 y 25 respectivamente) se puede observar que los cañones de orientación NE-SO presentan temperaturas más elevadas que los cañones de orientación NO-SE, esto se debe a la dirección predominante del viento (NO-SE), tal como se puede manifestar en la figura 26 de la rosa de los vientos.

Figura 26

Rosas de los vientos de la estación meteorológica Augusto Weberbauer



Además, debido a que en el periodo nocturno no hay influencia directa de la radiación solar y a que variables meteorológicas como velocidad y dirección del viento o variables antropogénicas son más estables se puede observar que la orientación se vuelve más influyente por lo que cañones de diferente orientación se comportan de manera diferente a pesar de tener H/W y SVF similares, lo cual explica las bajas correlaciones que existen en el periodo nocturno de H/W - ICU y SVF - ICU.

4.3 Islas de calor en la ciudad de Cajamarca

Para un mejor entendimiento de por qué aparecen las ICU en la ciudad de Cajamarca se analizaron las diferencias de temperaturas dividiendo el día en dos periodos, periodo diurno (desde las 6 h hasta las 18 h) y periodo nocturno (desde las 18 h hasta las 6 h), adicional a eso el análisis también se hizo por mes dividiendo a estos en meses de temporada seca (julio, agosto, septiembre) y meses de temporada lluviosa (octubre, noviembre, diciembre).

Se encontraron claras diferencias entre periodos nocturno - diurno y entre los meses de temporada seca - lluviosa, siendo los principales resultados los siguientes:

1. Las ICU son más intensas en la noche (6.66°C) que en el día (4.97°C) (tabla 8), puesto que en la noche mientras el ambiente rural (estación meteorológica La Victoria) se enfría, el ambiente urbano (centro histórico) se mantiene más cálido debido a que los componentes del cañón urbano evitan que la energía acumulada durante el día se escape con facilidad, esto concuerda con Carvajal (2019, p .95) quién concluye que los comportamiento diurno y nocturno son diferentes y que las ICU son más intensas por las noches.
2. Las ICU son más intensas en los meses pertenecientes a la temporada seca que en los meses pertenecientes a la temporada lluviosa, la ICU más intensa fue encontrada en el mes de agosto (4.97°C) y la más débil en el mes de noviembre (5.16°C) (tabla 8),

esto corrobora los resultados de los estudios realizados por Carvajal (2019, p. 95) en Colombia, Campoverde (2018, p. 180) en Ecuador y Martínez et al. (2018, p. 378) en España quienes explican que esto se debe a que en la temporada lluviosa se reducen las diferencias urbano rurales como resultado de la baja perdida de radiación de onda larga que escapa hacia el espacio, mientras que en los meses secos la diferencia se acentúa debido a que la capa de nube que impedía el escape de la radiación de onda larga desaparece, permitiendo que el área rural se enfríe.

3. En la tabla 8 también se puede observar que en la ciudad de Cajamarca existe una ICU general para todo el periodo de estudio de 5.81°C , esto se debe tanto a factores antropogénicos como meteorológicos entre los cuales destacan, la relación altura - ancho (H/W), el factor de visión de Cielo (SVF), orientación del eje del cañón, el Tránsito vehicular y peatonal, el material de construcción de las edificaciones, la radiación, el albedo, la dirección y velocidad del viento

Tabla 8

Intensidad de islas de calor promedio por mes

Temporada	Mes	ICU periodo de	ICU periodo de	Promedio ICU
		6 h a 18 h	18 h a 6 h	
Seca	Julio	4.21 $^{\circ}\text{C}$	7.69 $^{\circ}\text{C}$	5.95 $^{\circ}\text{C}$
	Agosto	5.21 $^{\circ}\text{C}$	7.89 $^{\circ}\text{C}$	6.55 $^{\circ}\text{C}$
	Septiembre	4.76 $^{\circ}\text{C}$	6.80 $^{\circ}\text{C}$	5.78 $^{\circ}\text{C}$
Lluviosa	Octubre	5.44 $^{\circ}\text{C}$	6.04 $^{\circ}\text{C}$	5.74 $^{\circ}\text{C}$
	Noviembre	4.75 $^{\circ}\text{C}$	5.56 $^{\circ}\text{C}$	5.16 $^{\circ}\text{C}$
	Diciembre	5.44 $^{\circ}\text{C}$	5.97 $^{\circ}\text{C}$	5.71 $^{\circ}\text{C}$
	Promedio	4.97 $^{\circ}\text{C}$	6.66 $^{\circ}\text{C}$	5.81 $^{\circ}\text{C}$

4.3.1 Islas de calor en la ciudad de Cajamarca (temporada seca)

4.3.1.1 Islas de calor en el mes de julio

Mes fuertemente influenciado por la temporada seca del año, al ser el mes con la menor nubosidad del año, la diferencia entre las intensidades de las ICU diurnas y nocturnas son las más grandes del estudio. Es decir, las noches fueron mucho más frías en el área rural que en el área urbana.

Tabla 9

Intensidad de ICU entre cañones urbanos y estación la Victoria julio 2021

Cañón de estudio	T ⁰ Periodo de 6 a 18 h			T ⁰ Periodo de 18 a 6 h		
	Cañón	Victoria	ICU día	Cañón	Victoria	ICU noche
Chanchamayo	17.72 °C	14.37 °C	3.35 °C	12.72 °C	4.99 °C	7.73 °C
Huánuco	18.49 °C	14.37 °C	4.13 °C	12.39 °C	4.99 °C	7.40 °C
Comercio	18.80 °C	14.37 °C	4.43 °C	12.37 °C	4.99 °C	7.38 °C
La Mar	18.66 °C	14.37 °C	4.29 °C	13.06 °C	4.99 °C	8.07 °C
Cruz de Piedra	18.82 °C	14.37 °C	4.45 °C	12.88 °C	4.99 °C	7.89 °C
Urrelo	18.96 °C	14.37 °C	4.59 °C	12.69 °C	4.99 °C	7.70 °C
Promedio			4.21 °C			7.69 °C

En la tabla 9 se observa que, durante el día las temperaturas más altas se localizaron en el cañón del Jr. Urrelo, por lo tanto, ahí también se localizó la ICU más intensa (4.59 °C), mientras que en la noche esta fue encontrada en el cañón del Jr. La Mar (8.07 °C), esto debido a que tal como se explica en las figuras 27 y 28 el caño del Jr. Urrelo en el día por su baja H/W y su alto SVF acumulan mayor energía que el resto de los cañones por lo cual presenta temperaturas más elevadas, pero en la noche dicha energía es liberada con mayor facilidad, mientras en el cañón del Jr. La Mar ocurre lo contrario, en el día recibe menos radiación, pero en la noche la energía almacenada durante el día se libera más lentamente lo cual provoca que se mantenga con temperaturas más altas que el resto de cañones.

Ambas figuras respaldan los resultados de correlación encontrados en el estudio entre (H/W - ICU) y (SVF- ICU), es decir existe que una correlación más fuerte durante el día que durante la noche. Esto se debe a que, en la noche la orientación tiene una influencia más directa y significativa en el comportamiento térmico de los cañones urbanos provocando que cañones de orientación diferente tengan temperaturas diferentes a pesar de tener H/W y SVF similares, lo cual no sucede en el día dando como resultado una mayor correlación entre las variables analizadas.

Figura 27

Relación H/W – ICU julio 2021

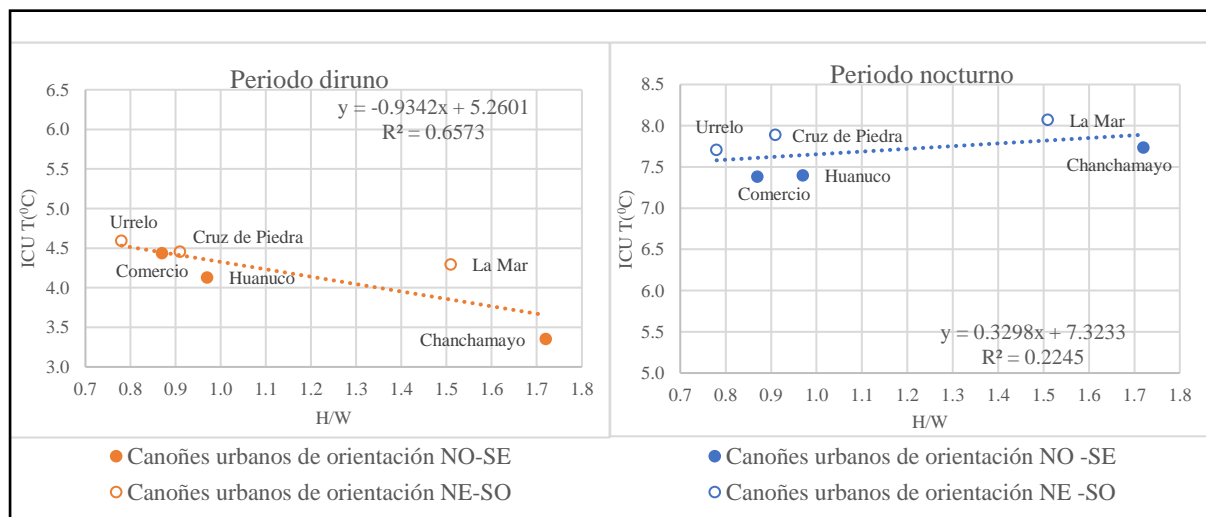


Figura 28

Relación SVF – ICU julio 2021

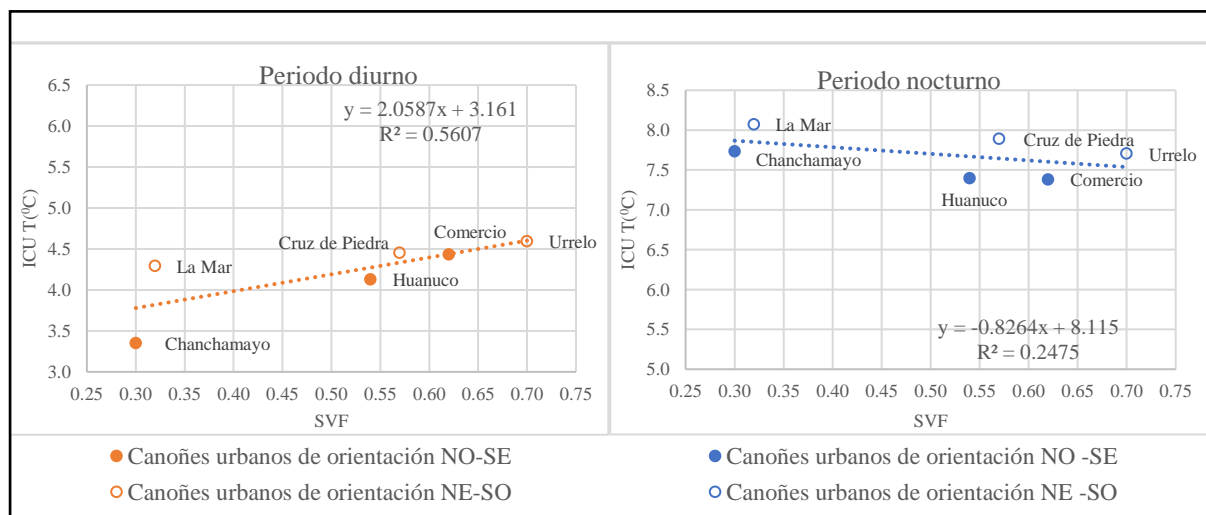
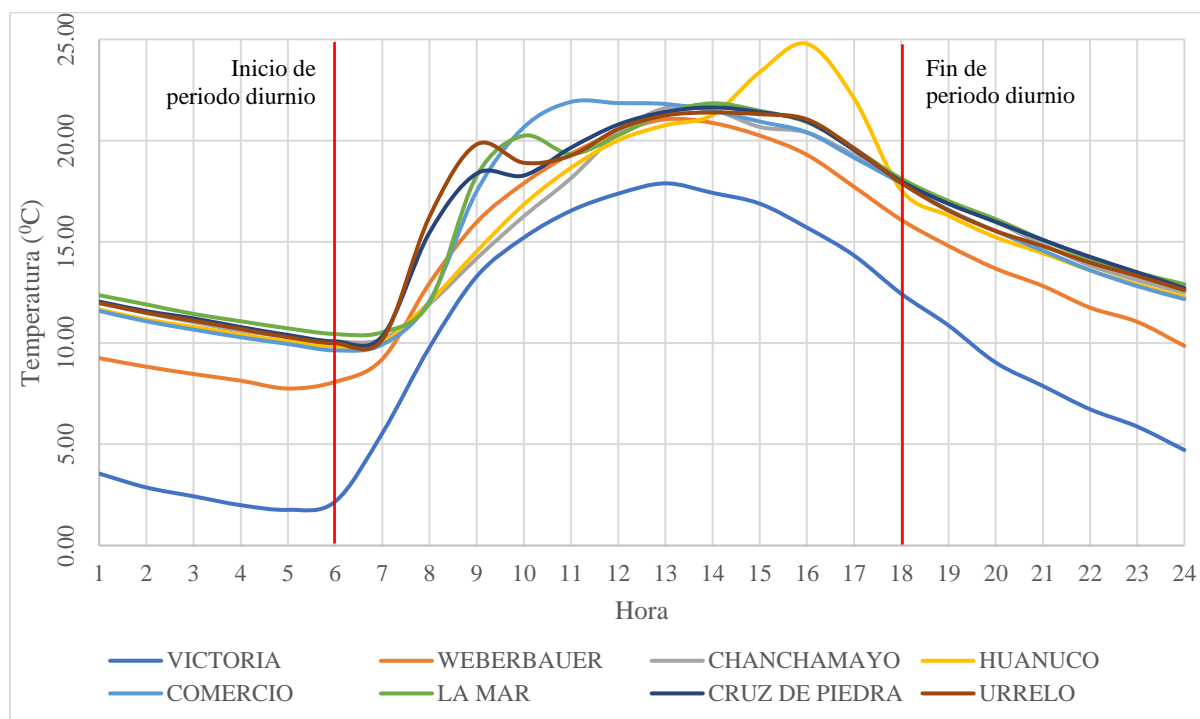


Figura 29

Promedio de temperaturas horarias julio 2021



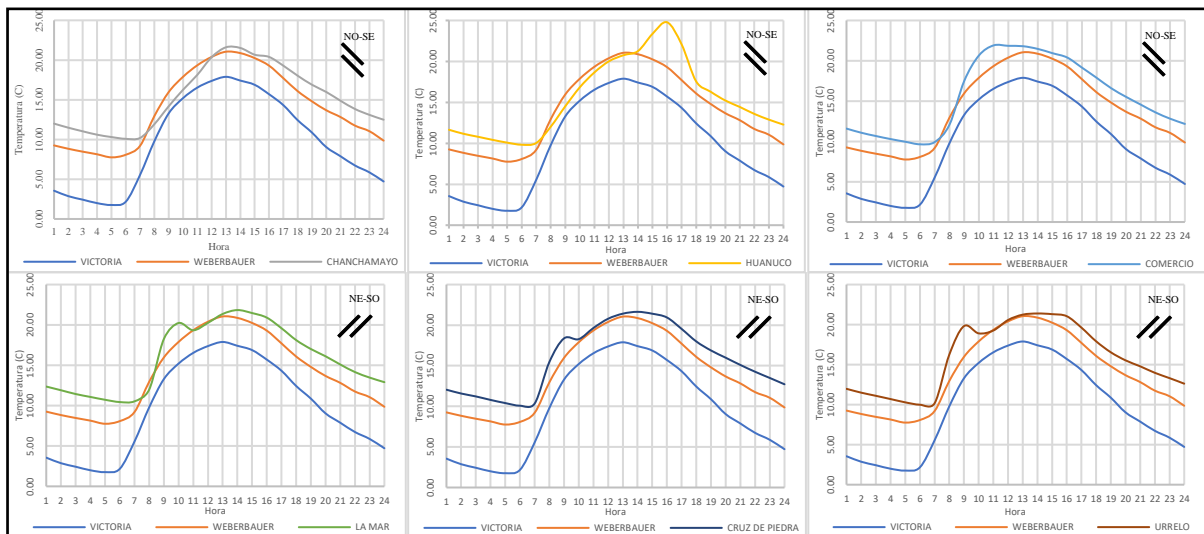
En la figura 29 se muestra claramente cómo los cañones urbanos exhiben un comportamiento térmico uniforme durante el periodo nocturno, el cual es similar al registrado en las estaciones meteorológicas Weberbauer y La Victoria, lo que indica que durante la noche existe una estabilidad térmica generalizada en estas áreas.

Sin embargo, la situación cambia durante el periodo diurno. En este momento, diversas variables, especialmente las antropogénicas y meteorológicas son más inestables, el tráfico, el material de construcción de los edificios, el albedo, la radiación y el viento modifican el patrón térmico de cada cañón de manera diferente, lo cual provoca que el comportamiento térmico de los cañones urbanos también se vuelva más oscilatorio durante este periodo.

Además, Es importante precisar que el cañón del Jr. Huánuco presenta el pico más alto de temperatura, alcanzando su punto máximo aproximadamente a las 16 h.

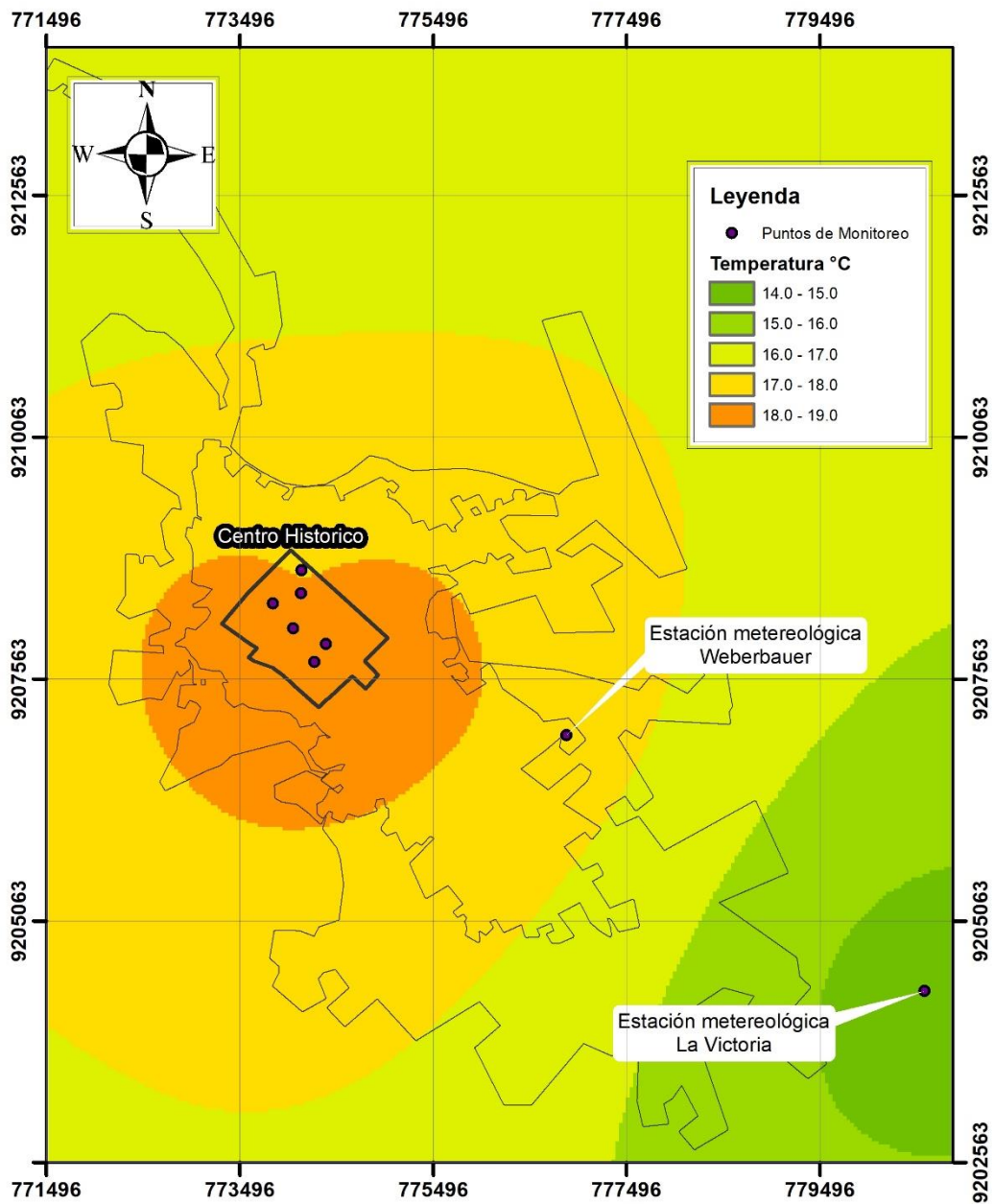
Figura 30




Promedio de temperaturas horarias por cañón urbano julio 2021

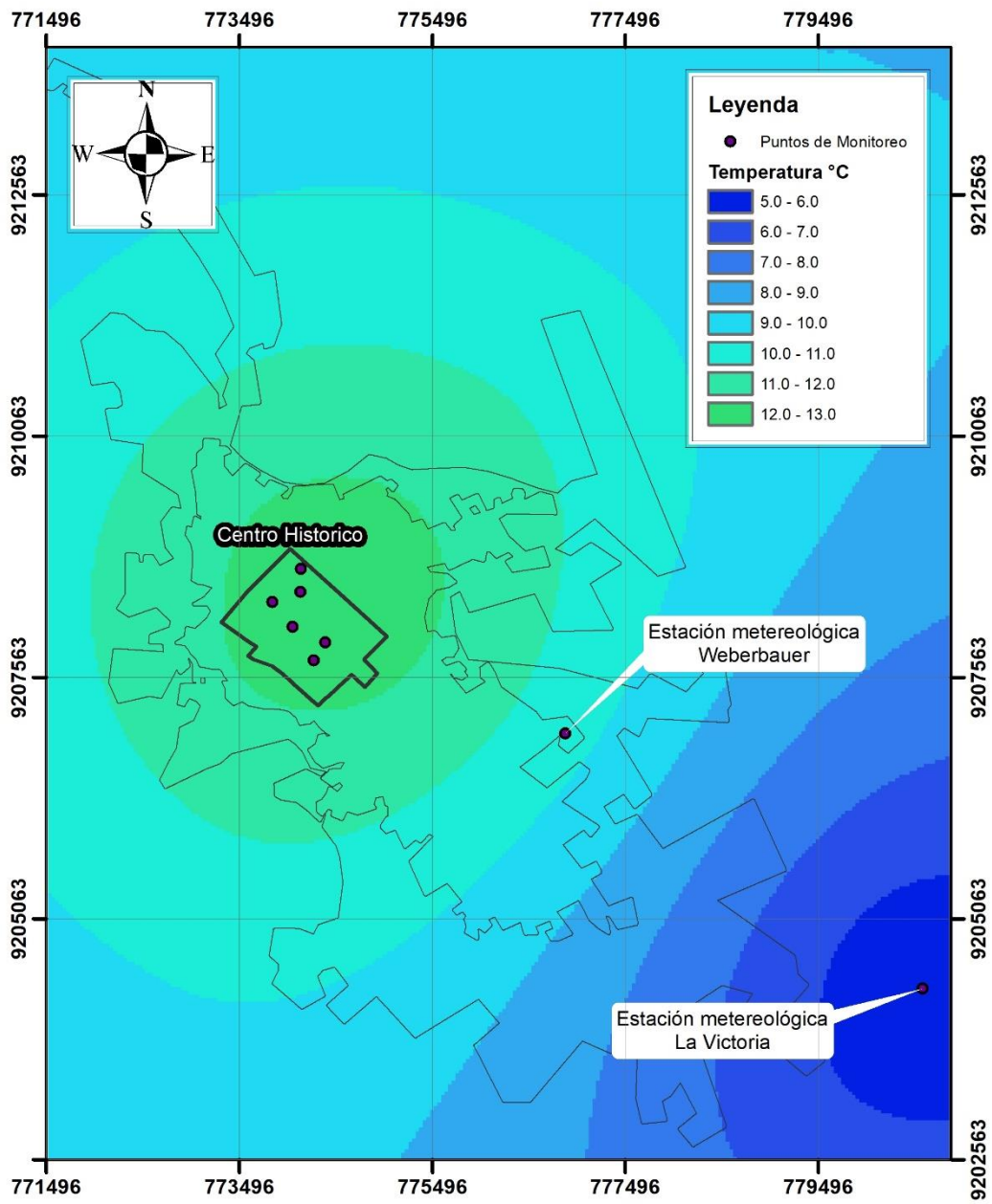





En las figuras 30 se observa que los cañones NE-SO muestran mayor estabilidad y menor oscilación térmica que los cañones NO-SE y experimentan un incremento abrupto de temperatura desde las 7 h hasta las 10 h, mientras que en el Jr. Huánuco el incremento se da desde las 12 hasta 16 h. En Jr. Comercio, la temperatura se incrementa desde las 7 hasta 11 h para luego mantenerse estable hasta las 16 h.

Los mapas 01 y 22 son el resultado de la interpolación realizada a través del método kriging. En el mapa 01 la temperatura diurna del mes de julio desde el centro histórico hasta la estación meteorológica La Victoria disminuye en promedio 4.21 grados. Esto debido a que en este mes la radiación solar es baja, lo que contribuye a que las temperaturas no sean tan altas. Sin embargo, en el mapa 02 hay una disminución más pronunciada en la temperatura nocturna en un promedio de 7.69 grados. Esto se debe a que la baja nubosidad característica de este mes permite una mayor radiación de calor hacia el espacio, lo que provoca que las temperaturas en el área rural bajen más que en el centro. Además, es importante precisar que a medida que nos alejamos del centro de la ciudad, la temperatura tiende a disminuir debido a que los factores antropogénicos van dejando de influir progresivamente en la temperatura ambiental.



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL				
	ISLA DE CALOR EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA Temperatura diurna julio 2021				
Elaborado por: Bruno Fidel Sánchez Márquez	Asesor: Ing.M.Cs. Edgar Darwin Díaz Mori	Fecha: 11/04/2022	Escala: 1:75 000 	Ubicación Política Departameto: Cajamarca Provincia: Cajamarca Distrito: Cajamarca	01



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL				
	ISLA DE CALOR EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA Temperatura nocturna julio 2021				
Elaborado por: Bruno Fidel Sánchez Márquez	Asesor: Ing.M.Cs. Edgar Darwin Díaz Mori	Fecha: 11/04/2022	Escala: 1:75 000 	Ubicación Política Departameto: Cajamarca Provincia: Cajamarca Distrito: Cajamarca	02

4.3.1.2 Islas de calor en el mes de agosto

Mes influenciado por la temporada seca del año, a pesar tener una de las velocidades de viento más altas del año, la diferencia entre las intensidades de las ICU diurnas y nocturnas aún se mantiene, además presenta las islas de calor nocturnas más intensas del estudio.

Tabla 10

Intensidad de ICU entre cañones urbanos y estación la Victoria agosto 2021

Cañón de estudio	T ⁰ Periodo de 6 a 18 h			T ⁰ Periodo de 18 a 6 h		
	Cañón	Victoria	ICU día	Cañón	Victoria	ICU noche
Chanchamayo	18.26 °C	13.84 °C	4.42 °C	13.61 °C	5.68 °C	7.93 °C
Huánuco	18.74 °C	13.84 °C	4.90 °C	13.13 °C	5.68 °C	7.45 °C
Comercio	19.34 °C	13.84 °C	5.49 °C	13.39 °C	5.68 °C	7.71 °C
La Mar	19.11 °C	13.84 °C	5.26 °C	13.97 °C	5.68 °C	8.29 °C
Cruz de Piedra	19.42 °C	13.84 °C	5.58 °C	13.76 °C	5.68 °C	8.08 °C
Urrelo	19.46 °C	13.84 °C	5.61 °C	13.56 °C	5.68 °C	7.88 °C
Promedio			5.21 °C			7.89 °C

En la tabla 10 se observa que, durante el día las temperaturas más altas se localizaron en el cañón del Jr. Urrelo, por lo tanto, ahí también se localizó la ICU más intensa (5.61 °C), mientras que en la noche esta fue encontrada en el cañón del Jr. de la Mar (8.29 °C), esto debido a que tal como se explica en las figuras 31 y 32 el caño del Jr. Urrelo en el día por su baja H/W y su alto SVF acumula más energía que el resto de los cañones por lo cual presenta temperaturas más elevadas pero en la noche dicha energía es liberada con mayor facilidad, mientras que en el cañón del Jr. La Mar ocurre lo contrario, en el día acumula menos radiación, pero en la noche la energía que almacena durante el día se libera más lentamente lo cual provoca que se mantenga con temperaturas más altas que el resto de cañones.

Ambas figuras respaldan los resultados de correlación encontrados en el estudio entre (H/W - ICU) y (SVF- ICU), es decir existe una correlación más fuerte durante el día que

durante la noche. Esto se debe a que, en la noche la orientación tiene una influencia más directa y significativa en el comportamiento térmico de los cañones urbanos provocando que cañones de orientación diferente tengan temperaturas diferentes a pesar de tener H/W y SVF similares, lo cual no sucede en el día dando como resultado una mayor correlación entre las variables analizadas.

Figura 31

Relación H/W – ICU agosto 2021

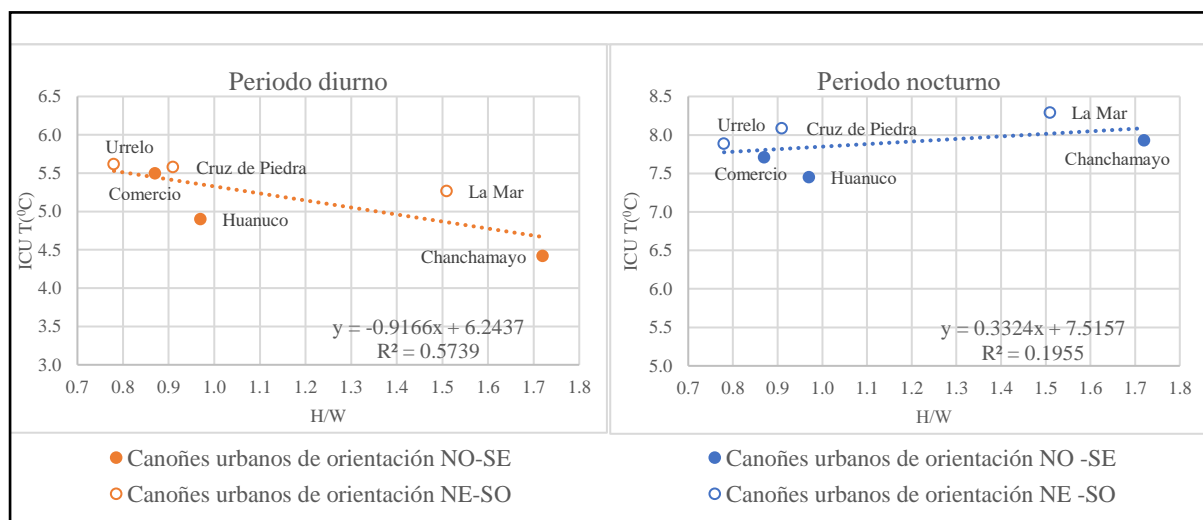


Figura 32

Relación SVF -ICU agosto 2021

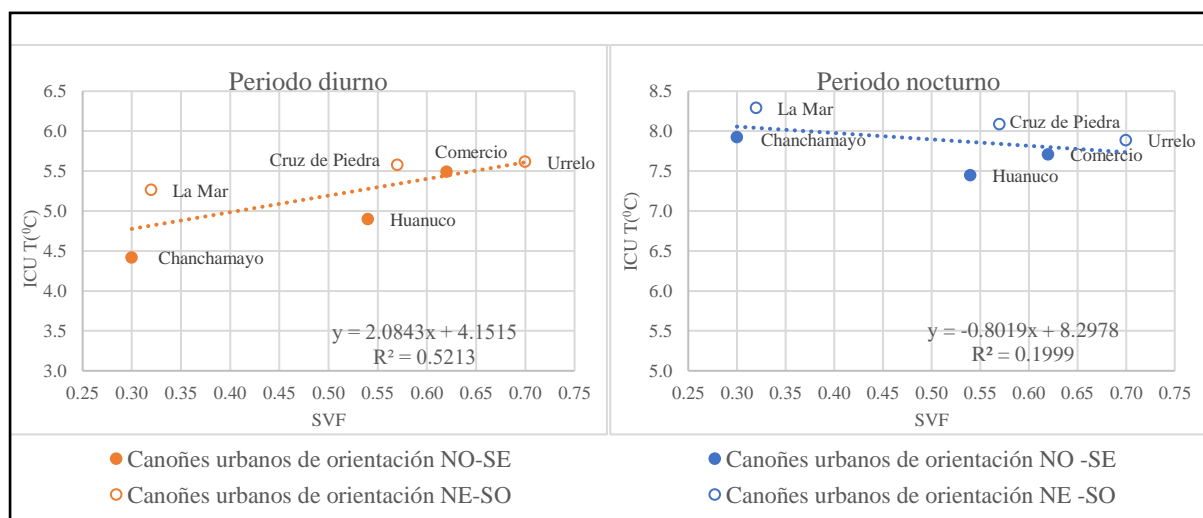
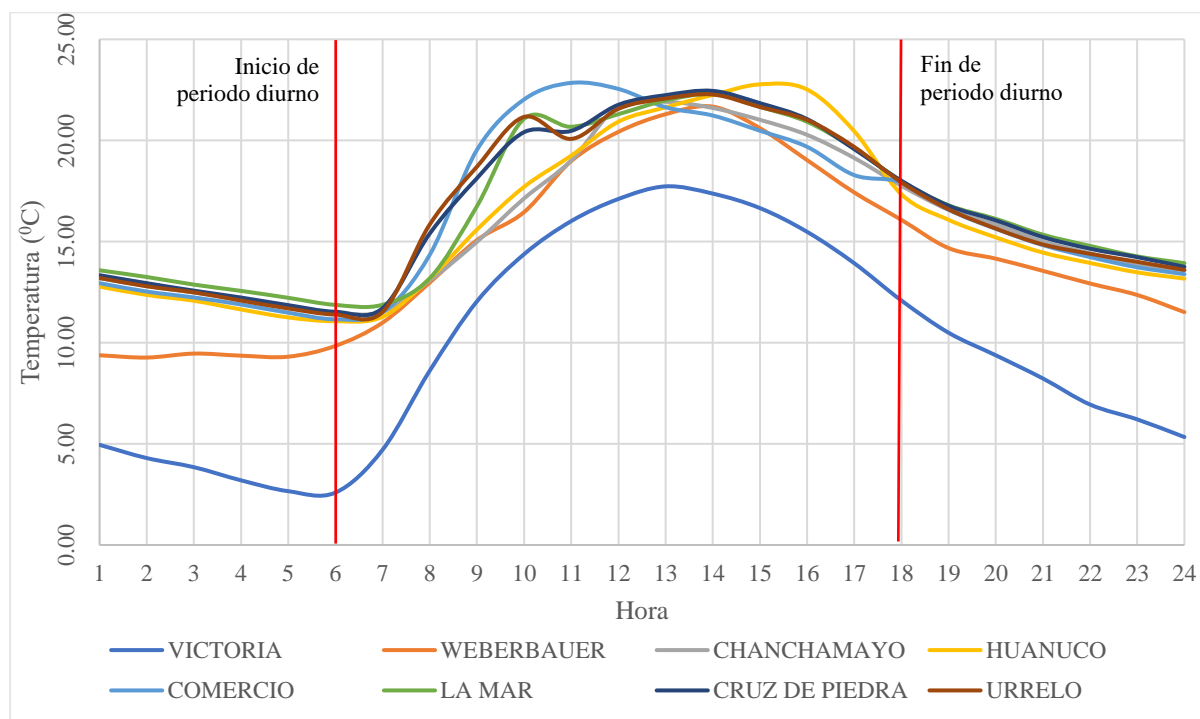


Figura 33

Promedio de temperaturas horarias agosto 2021



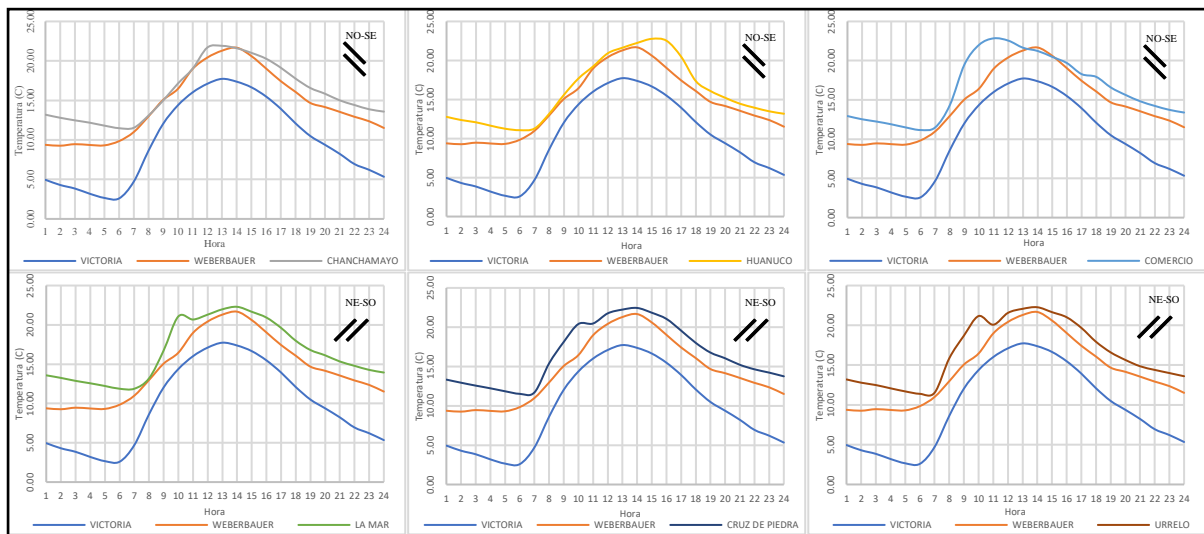
En la figura 33 se muestra claramente cómo los cañones urbanos exhiben un comportamiento térmico uniforme durante el periodo nocturno, el cual es similar al registrado en las estaciones meteorológicas Weberbauer y La Victoria, lo que indica que durante la noche existe una estabilidad térmica generalizada en estas áreas.

Sin embargo, la situación cambia durante el periodo diurno. En este momento, diversas variables, especialmente las antropogénicas y meteorológicas son más inestables, el tráfico, el material de construcción de los edificios, el albedo, la radiación y el viento modifican el patrón térmico de cada cañón de manera diferente, lo cual provoca que el comportamiento térmico de los cañones urbanos también se vuelva más oscilatorio durante este periodo.

Además, Es importante precisar que existen dos picos altos de temperatura que destacan, el primero en la mañana en el cañón del Jr. Comercio aproximadamente a las 11 h y el segundo en la tarde en el Jr. Huánuco a las 16 h igual que en el mes de julio.

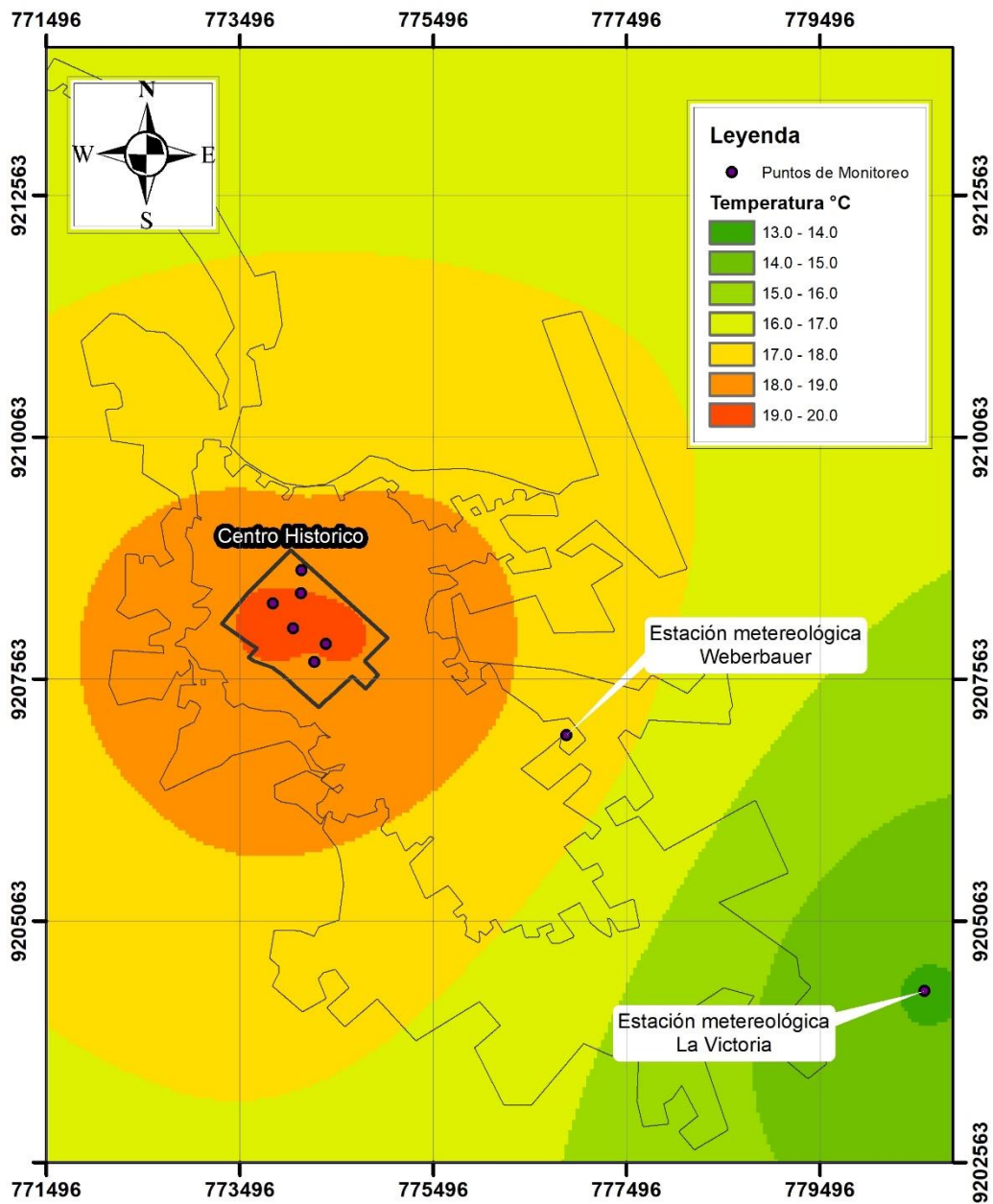
Figura 34




Promedio de temperaturas horarias por cañón urbano agosto2021

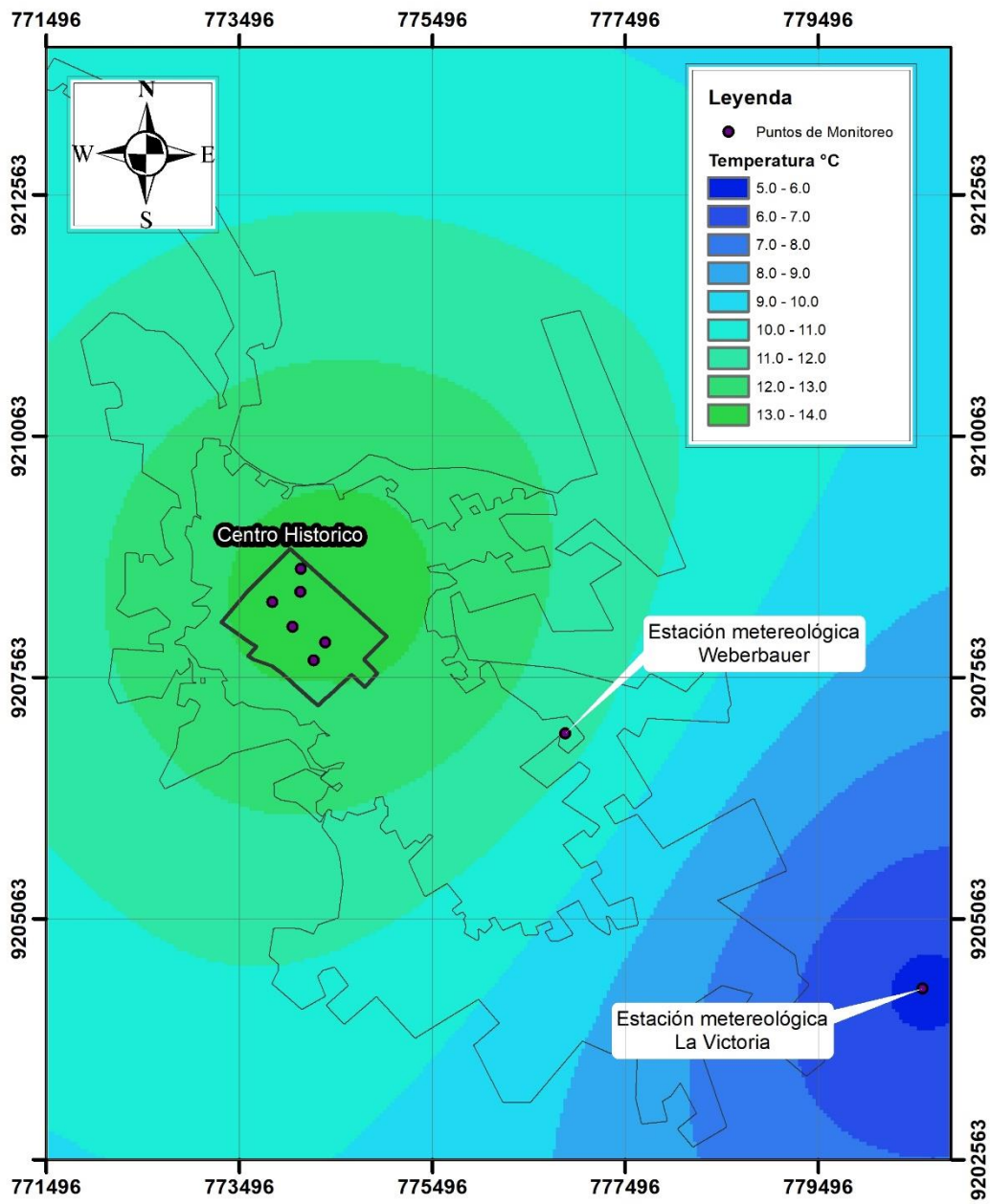





En la figura 34 se observa que los cañones de orientación NO-SE muestran mayor estabilidad y menor oscilación térmica que los cañones NO-SE y tiene un incremento abrupto de temperatura desde las 7 hasta las 10 h, mientras que el cañón del Jr. Huánuco el incremento de temperatura se da desde las 14 h llegando a su pico térmico a las 16 h. El cañón del Jr. Comercio incrementa su temperatura desde las 7 h llegando a su pico térmico a las 11 h.

Los mapas 03 y 04 son el resultado de la interpolación realizada a través del método kriging. En el mapa 03 la temperatura diurna del mes de agosto desde el centro histórico hasta la estación meteorológica La Victoria disminuye en promedio 5.21 grados. Esto debido al aumento de radiación con respecto al mes anterior. Mientras que, en el mapa 04 hay una disminución de la temperatura nocturna en un promedio de 7.89 grados. Esto se debe a la baja nubosidad característica de la temporada la cual permite una mayor radiación de calor hacia el espacio, lo que provoca que las temperaturas en el área rural bajen más que en el centro. Además, es importante precisar que, medida que nos alejamos del centro de la ciudad, la temperatura tiende a disminuir debido a que los factores antropogénicos van dejando de influir progresivamente en la temperatura ambiental.



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL				
	ISLA DE CALOR EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA Temperatura diurna agosto 2021				
Elaborado por: Bruno Fidel Sánchez Márquez	Asesor: Ing.M.Cs. Edgar Darwin Díaz Mori	Fecha: 11/04/2022	Escala: 1:75 000 	Ubicación Política Departameto: Cajamarca Provincia: Cajamarca Distrito: Cajamarca	03



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL		
	ISLA DE CALOR EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA Temperatura nocturna agosto 2021		
Elaborado por: Bruno Fidel Sánchez Márquez	Asesor: Ing.M.Cs. Edgar Darwin Díaz Mori	Fecha: 11/04/2022 Escala: 1:75 000 	Ubicación Política Departameto: Cajamarca Provincia: Cajamarca Distrito: Cajamarca
			04

4.3.1.3 Islas de calor en el mes de septiembre

A pesar de que empiezan a aparecer los primeros días lluviosos de la temporada y con ello el aumento de la nubosidad este mes aún sigue la tendencia de la temporada seca del año, en la cual las ICU nocturnas fueron notoriamente más intensas que las ICU diurnas.

Tabla 11

Intensidad de ICU entre cañones urbanos y estación la Victoria septiembre 2021

Cañón de estudio	T ⁰ Periodo de 6 a 18 h			T ⁰ Periodo de 18 a 6 h		
	Cañón	Victoria	ICU día	Cañón	Victoria	ICU noche
Chanchamayo	18.45 °C	14.27 °C	4.18 °C	13.81 °C	6.90 °C	6.91 °C
Huánuco	18.24 °C	14.27 °C	4.21 °C	13.24 °C	6.90 °C	6.35 °C
Comercio	19.39 °C	14.27 °C	5.12 °C	13.58 °C	6.90 °C	6.68 °C
La Mar	19.04 °C	14.27 °C	4.77 °C	14.05 °C	6.90 °C	7.15 °C
Cruz de Piedra	19.35 °C	14.27 °C	5.08 °C	13.83 °C	6.90 °C	6.93 °C
Urrelo	19.47 °C	14.27 °C	5.20 °C	13.66 °C	6.90 °C	6.76 °C
Promedio			4.76 °C			6.80 °C

En la tabla 11 se observa que, durante el día las temperaturas más altas se localizaron en el cañón del Jr. Urrelo, por lo tanto, ahí también se localizó la ICU más intensa (5.20 °C), mientras que en la noche esta fue encontrada en el cañón del Jr. La Mar (7.15 °C), esto debido a que tal como se explica en las figuras 35 y 36 el caño del Jr. Urrelo en el día por su baja H/W y su alta SVF acumula más energía que el resto de los cañones por lo cual presenta temperaturas más elevadas, pero en la noche dicha energía es liberada con mayor facilidad, mientras en el cañón del Jr. La Mar ocurre lo contrario, en el día recibe menos radiación, pero en la noche la energía almacenada durante el día se libera más lentamente lo cual provoca que se mantenga con temperaturas más altas que el resto de cañones.

Ambas figuras respaldan los resultados de correlación encontrados en el estudio entre (H/W - ICU) y (SVF- ICU), es decir existe una correlación más fuerte durante el día que durante la noche. Esto se debe a que, en la noche la orientación tiene una influencia más

directa y significativa en el comportamiento térmico de los cañones urbanos provocando que cañones de orientación diferente tengan temperaturas diferentes a pesar de tener H/W y SVF similares, lo cual no sucede en el día dando como resultado una mayor correlación entre las variables analizadas.

Figura 35

Relación H/W – ICU septiembre 2021

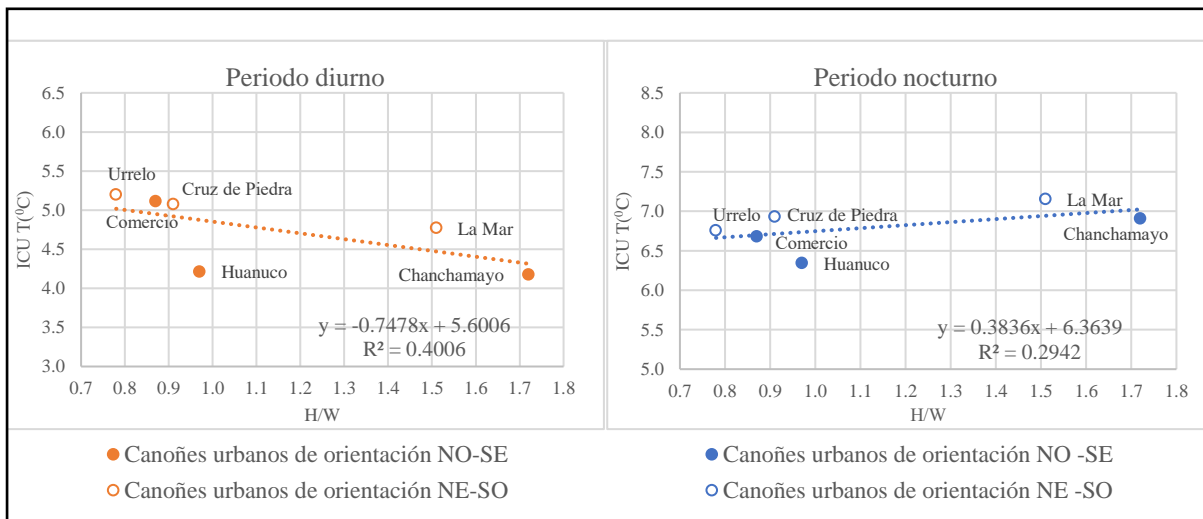


Figura 36

Relación SVF -ICU septiembre 2021

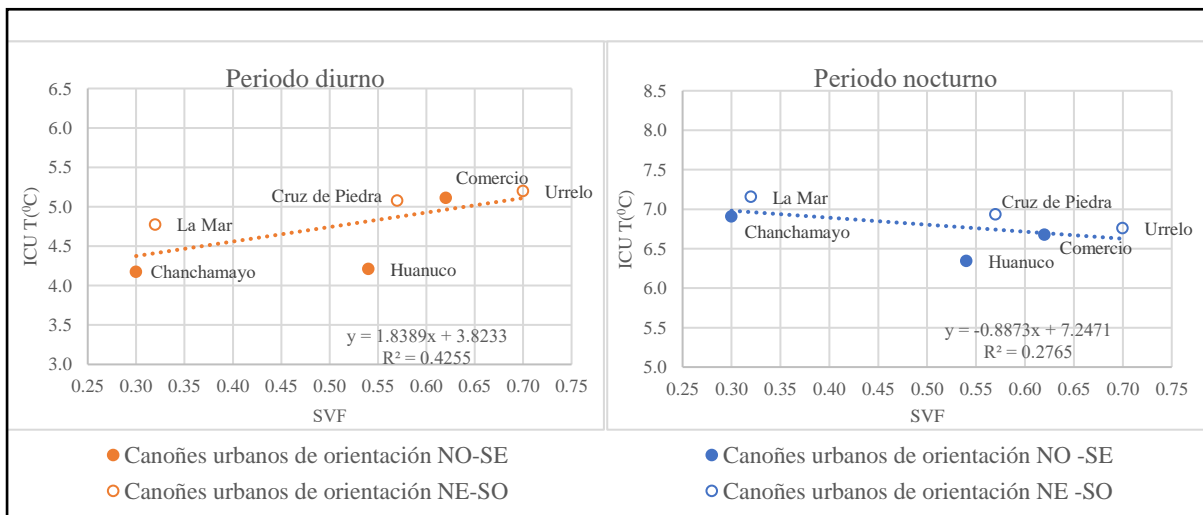
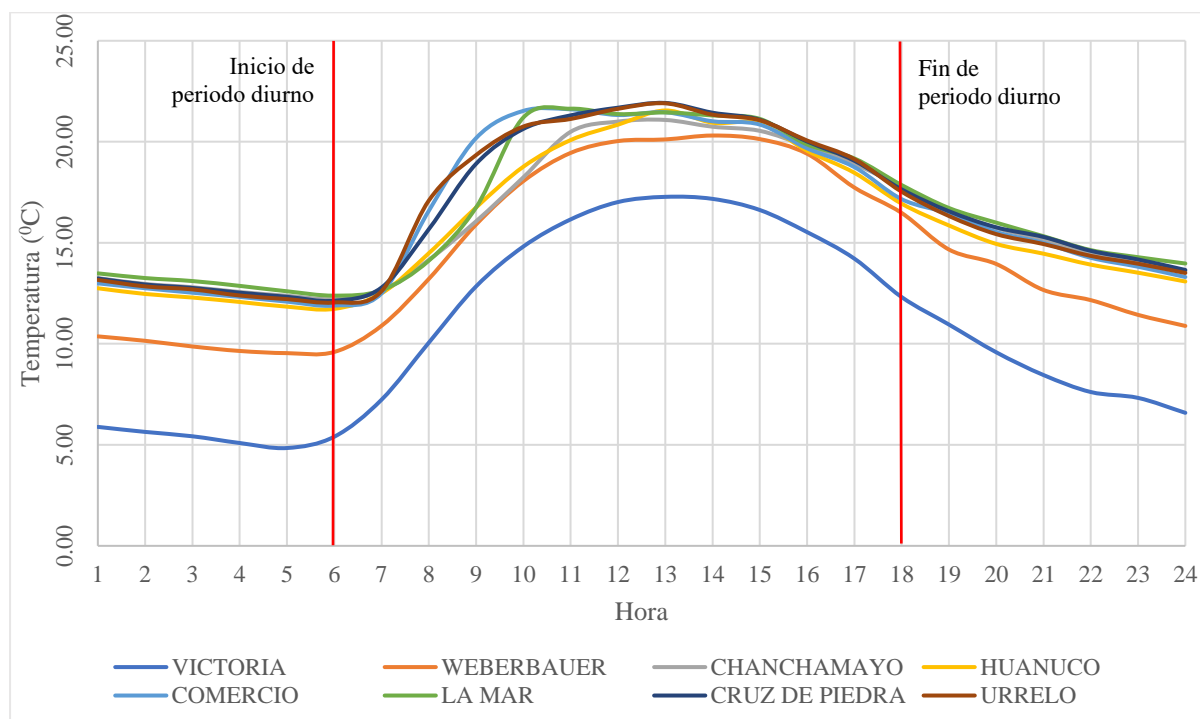


Figura 37

Promedio de temperaturas horarias septiembre 2021

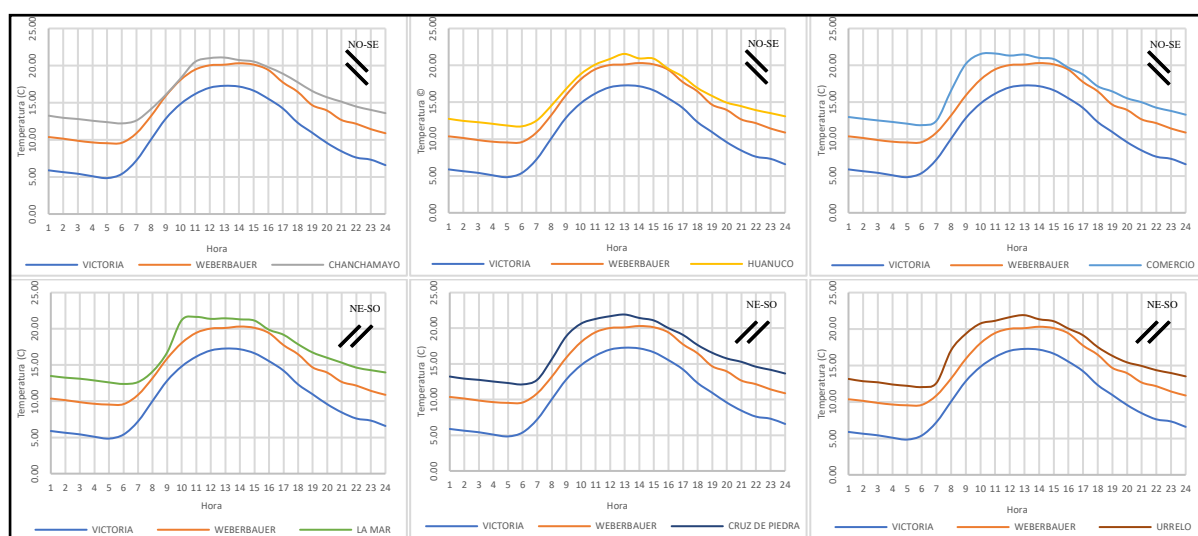


En la figura 37 se muestra claramente cómo los cañones urbanos exhiben un comportamiento térmico uniforme durante el periodo nocturno, el cual es similar al registrado en las estaciones meteorológicas Weberbauer y La Victoria, lo que indica que durante la noche existe una estabilidad térmica generalizada en estas áreas.

Sin embargo, la situación cambia durante el periodo diurno. En este momento, diversas variables, especialmente las antropogénicas y meteorológicas son más inestables, el tráfico, el material de construcción de los edificios, el albedo, la radiación y el viento modifican el patrón térmico de cada cañón de manera diferente, lo cual provoca que el comportamiento térmico de los cañones urbanos también se vuelva más oscilatorio durante este periodo.

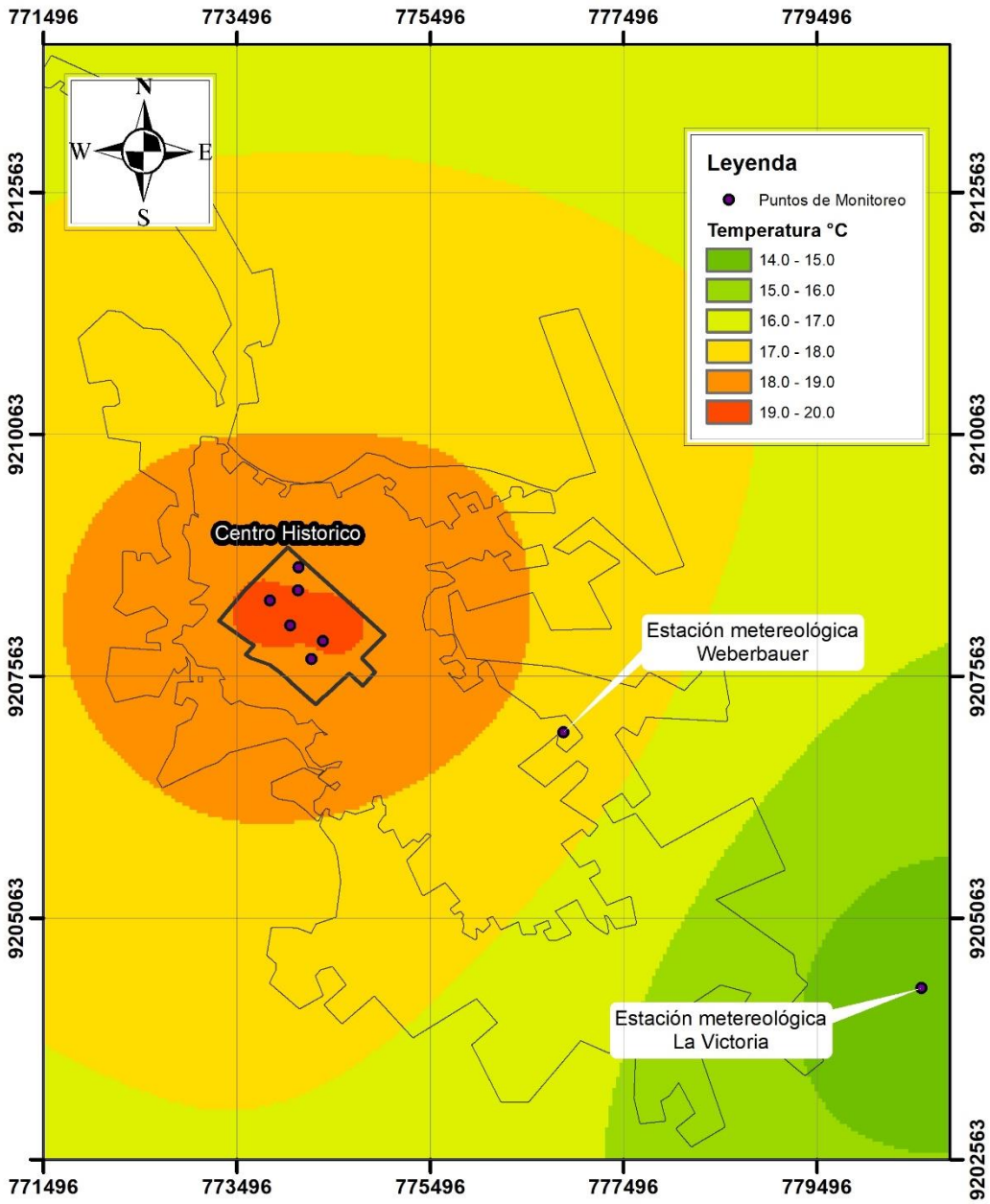
Figura 38




Promedio de temperaturas horarias por cañón urbano septiembre 2021

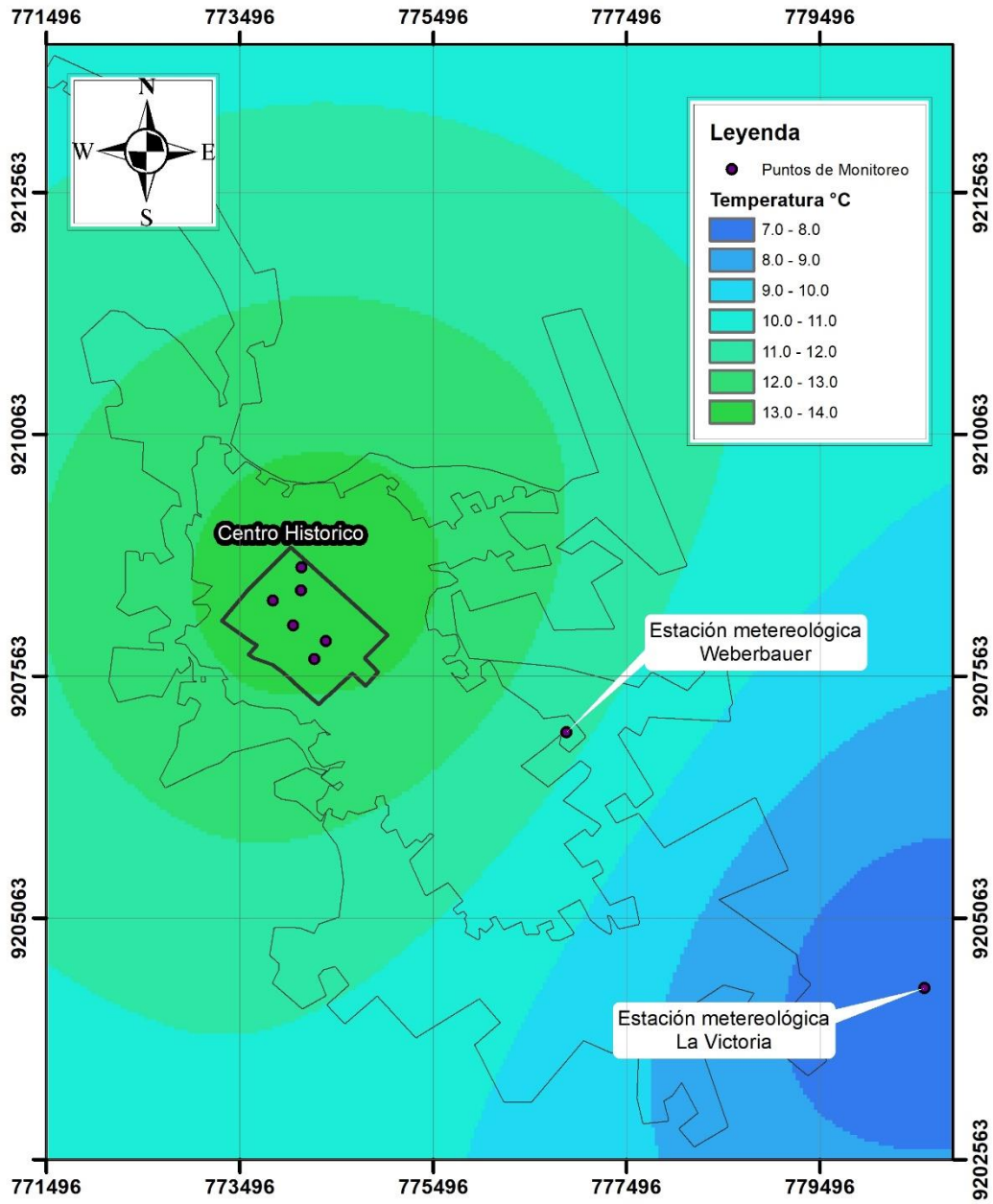





En las figuras 38 se observa que los cañones NE-SO muestran mayor estabilidad y menor oscilación térmica que los cañones NO-SE. El cañón del Jr. la Mar presenta una meseta térmica desde las 10 h hasta las 15 h, además el cañón del Jr. Comercio incrementa su temperatura desde las 7 h llegando a su pico térmico a las 10h para luego mantenerse en una meseta térmica hasta las 15 h.

Los mapas 05 y 06 son el resultado de la interpolación realizada a través del método kriging. En el mapa 05 la temperatura diurna del mes de septiembre desde el centro histórico hasta la estación meteorológica La Victoria disminuye en promedio 4.76 grados. mientras que en el mapa 06 hay una disminución más pronunciada de la temperatura nocturna en un promedio de 6.80 grados. Esto se debe a pesar de existir una radiación similar a la del mes pasado aparecen los primeros días nublados de la temporada y la diferencia urbano rural entre el día y la noche se van haciendo menos significativas que los meses pasados. Además, es importante precisar que, a medida que nos alejamos del centro, la temperatura tiende a disminuir debido a que los factores antropogénicos van dejando de influir progresivamente en la temperatura ambiental.



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL		
	ISLA DE CALOR EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA Temperatura diurna septiembre 2021		
Elaborado por: Bruno Fidel Sánchez Márquez	Asesor: Ing.M.Cs. Edgar Darwin Díaz Mori	Fecha: 11/04/2022	Escala: 1:75 000 
		Ubicación Política Departameto: Cajamarca Provincia: Cajamarca Distrito: Cajamarca	05



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL		
	ISLA DE CALOR EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA Temperatura nocturna septiembre 2021		
Elaborado por: Bruno Fidel Sánchez Márquez	Asesor: Ing.M.Cs. Edgar Darwin Díaz Mori	Fecha: 11/04/2022	Escala: 1:75 000 
		Ubicación Política Departameto: Cajamarca Provincia: Cajamarca Distrito: Cajamarca	06

4.3.2 Islas de calor en la ciudad de Cajamarca (temporada lluviosa)

4.3.2.1 Islas de calor en el mes de octubre

Primer mes de estudio en temporada lluviosa, a pesar de que las lluvias no son tan intensas ya hay un aumento de nubosidad respecto al mes pasado y se puede observar que no hay mucha diferencia entre las intensidades de las ICU diurnas y nocturnas. Esto debido a que las noches ya no fueron tan frías en el área rural como lo fueron en la temporada seca.

Tabla 12

Intensidad de ICU entre cañones urbanos y estación la Victoria octubre 2021

Cañón de estudio	T ⁰ Periodo de 6 a 18 h			T ⁰ Periodo de 18 a 6 h		
	Cañón	Victoria	ICU día	Cañón	Victoria	ICU noche
Chanchamayo	18.44 °C	13.66 °C	4.79 °C	13.92 °C	7.84 °C	6.08 °C
Huánuco	18.63 °C	13.66 °C	4.97 °C	13.68 °C	7.84 °C	5.84 °C
Comercio	19.69 °C	13.66 °C	6.04 °C	13.86 °C	7.84 °C	6.02 °C
La Mar	18.99 °C	13.66 °C	5.33 °C	14.10 °C	7.84 °C	6.26 °C
Cruz de Piedra	19.23 °C	13.66 °C	5.57 °C	13.93 °C	7.84 °C	6.09 °C
Urrelo	19.62 °C	13.66 °C	5.96 °C	13.81 °C	7.84 °C	5.97 °C
Promedio			5.44 °C			6.04 °C

En la tabla 12 se observa que, durante el día las temperaturas más altas se localizaron en el cañón del Jr. Comercio, por lo tanto, ahí también se localizó la ICU más intensa (6.04 °C) mientras que en la noche esta fue encontrada en el cañón del Jr. La Mar (6.26 °C), esto debido a que tal como se explica en las figuras 39 y 40 el caño del Jr. Comercio en el día por su baja H/W y su alta SVF acumulan más energía que el resto de los cañones por lo cual presenta temperaturas más elevadas, pero en la noche dicha energía es liberada con mayor facilidad, mientras en el cañón del Jr. La Mar ocurre lo contrario, en el día recibe menos radiación, pero en la noche la energía almacenada durante el día se libera más lentamente lo cual provoca que se mantenga con temperaturas más altas que el resto de cañones.

Ambas figuras respaldan los resultados de correlación encontrados en el estudio entre (H/W - ICU) y (SVF- ICU), es decir existe una correlación más fuerte durante el día que durante la noche. Esto se debe a que, en la noche la orientación tiene una influencia más directa y significativa en el comportamiento térmico de los cañones urbanos provocando que cañones de orientación diferente tengan temperaturas diferentes a pesar de tener H/W y SVF similares, lo cual no sucede en el día dando como resultado una mayor correlación entre las variables analizadas.

Figura 39

Relación H/W – ICU octubre 2021

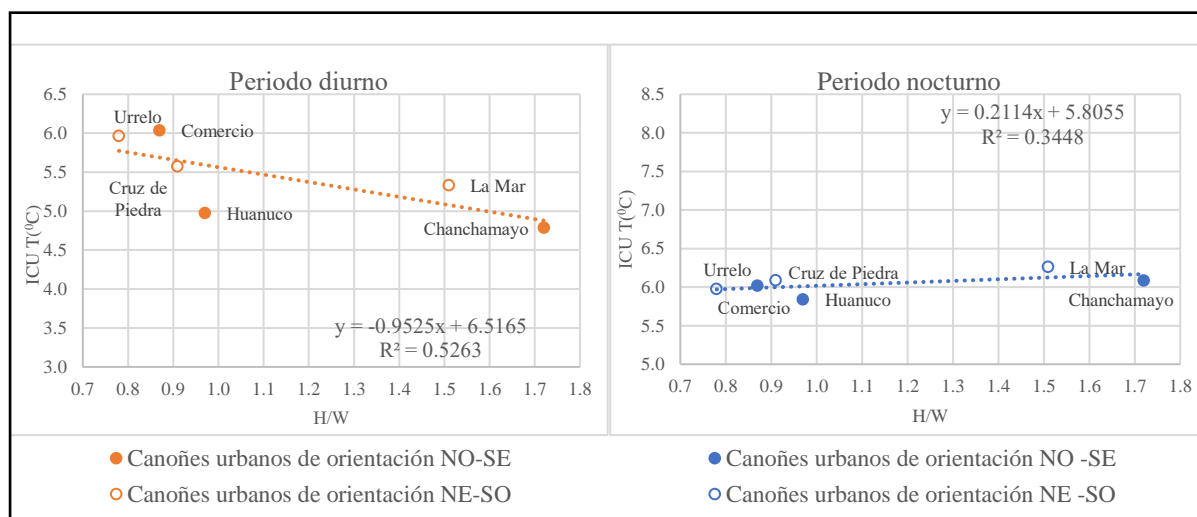


Figura 40

Relación SVF -ICU octubre 2021

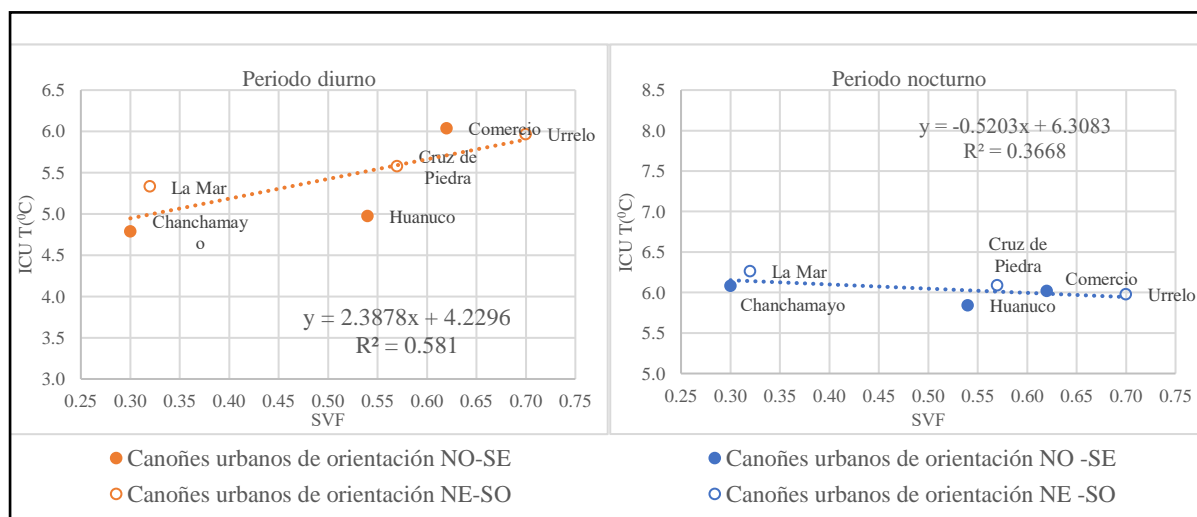
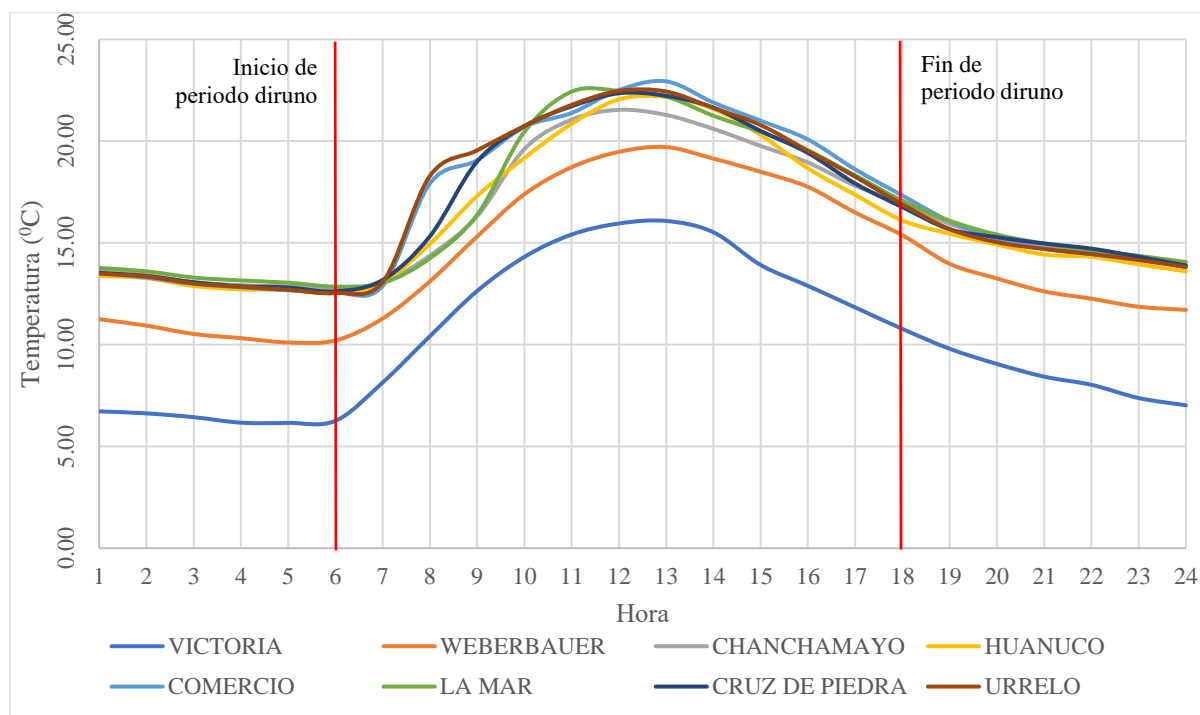


Figura 41

Promedio de temperaturas horarias octubre 2021



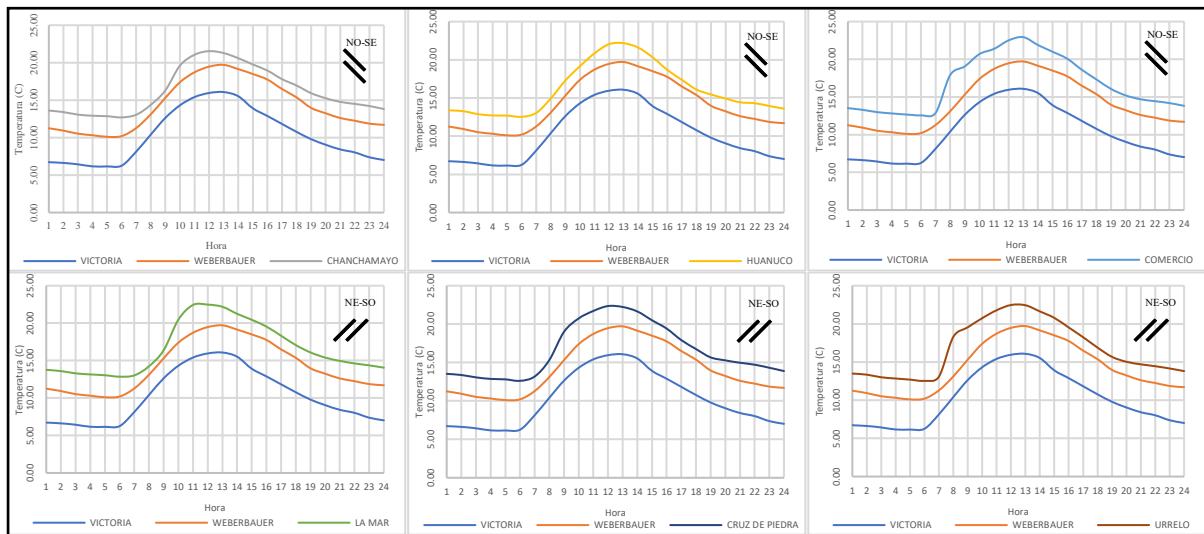
En la figura 41 se muestra claramente cómo los cañones urbanos exhiben un comportamiento térmico uniforme durante el periodo nocturno, el cual es similar al registrado en las estaciones meteorológicas Weberbauer y La Victoria, lo que indica que durante la noche existe una estabilidad térmica generalizada en estas áreas.

Sin embargo, la situación cambia durante el periodo diurno. A pesar de que los cañones en su comportamiento no son tan oscilatorios como en los meses de la estación seca, las variables antropogénicas y meteorológicas como el tráfico, el material de construcción de los edificios, el albedo, la radiación y el viento modifican el patrón térmico de cada cañón de manera diferente y aun provoca que el comportamiento térmico de los cañones urbanos siga siendo oscilatorio durante este periodo.

Además, Es importante aclarar que, por lo explicado, en este mes no existen cañones urbanos que destaquen con picos altos de temperatura ya que todos se mantienen en rangos similares.

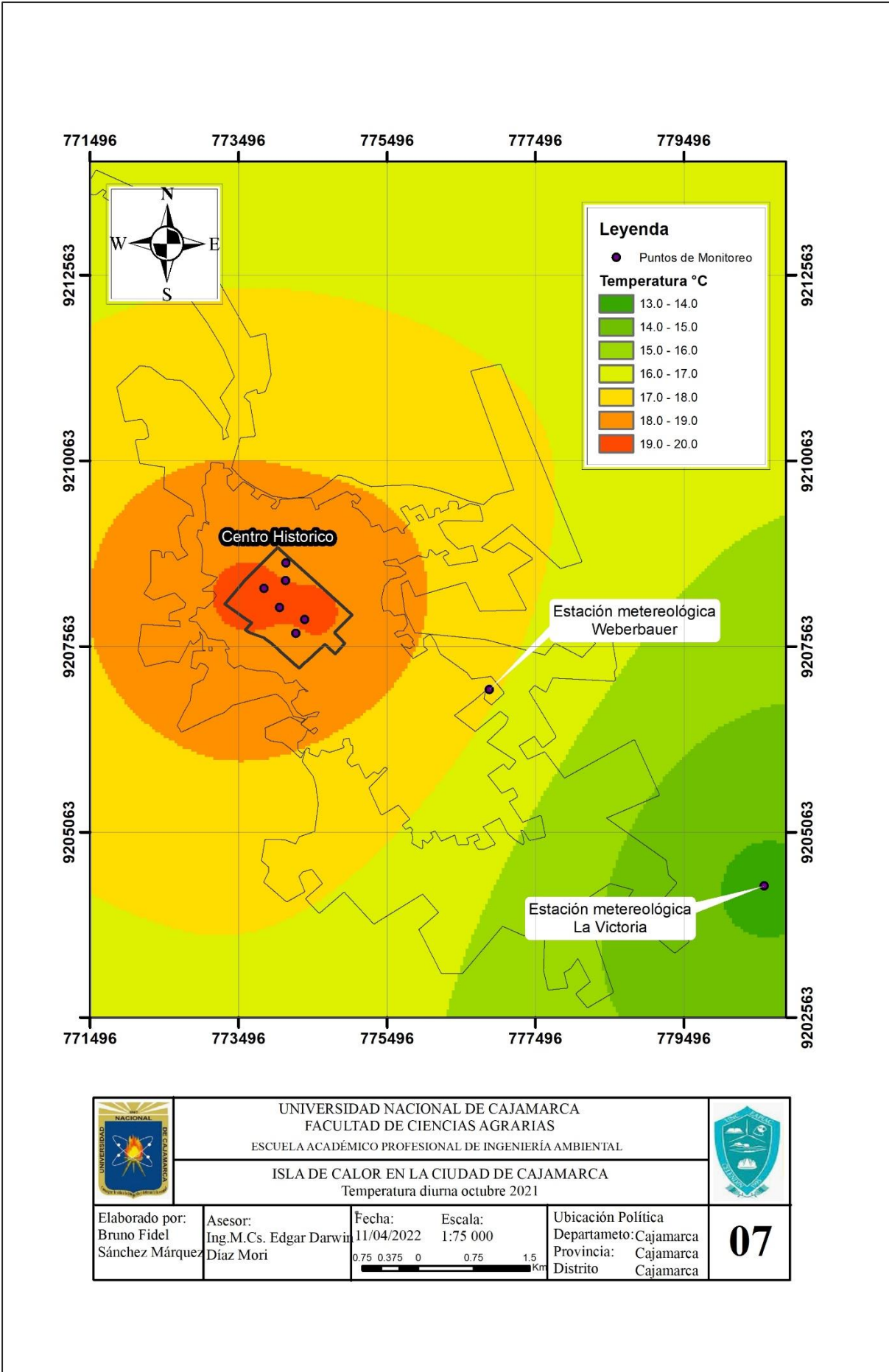
Figura 42



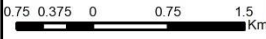
Promedio de temperaturas horarias por cañón urbano octubre 2021

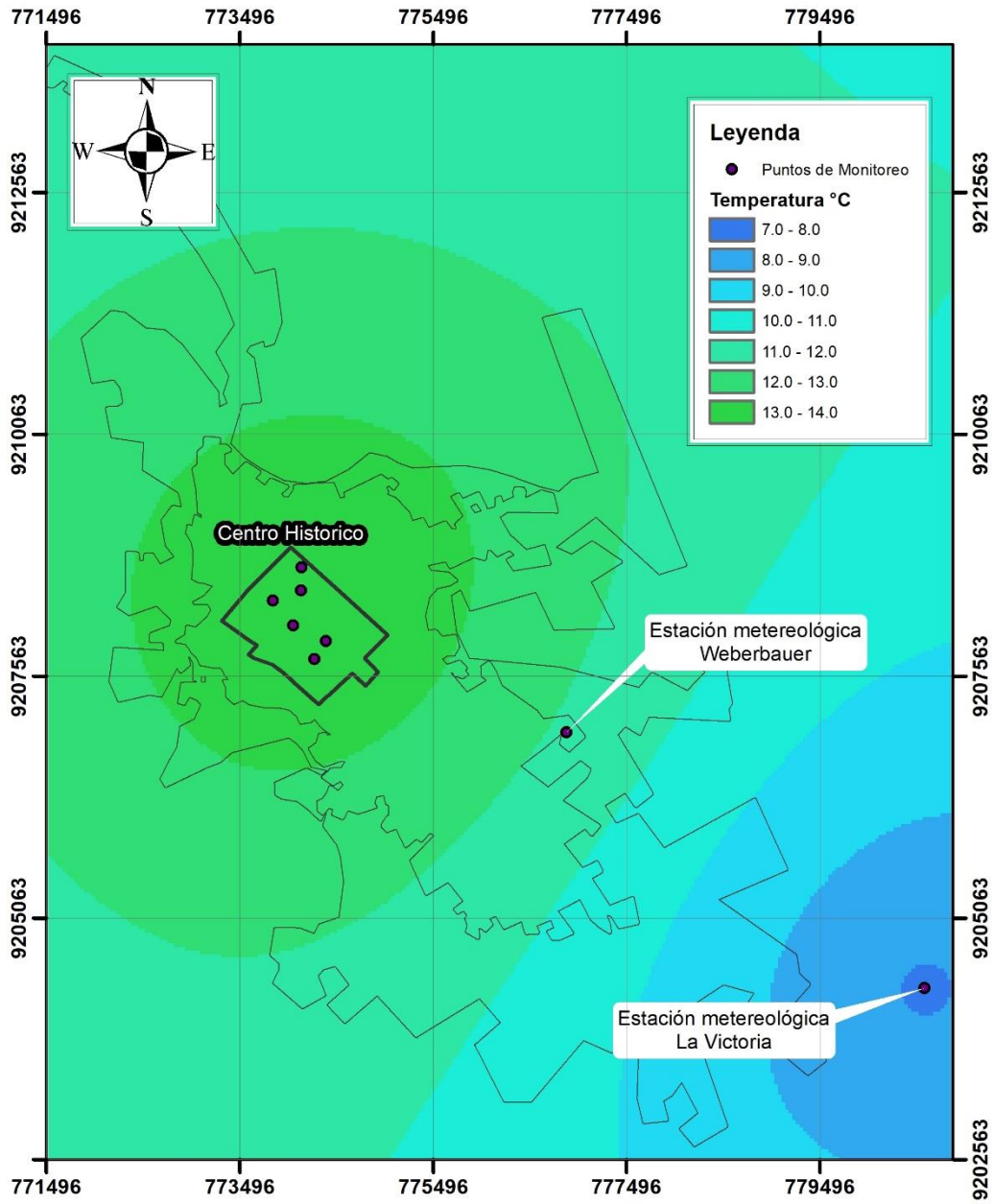





En la figura 42 se puede observar que cañones que tienen orientación diferente tienen comportamientos térmicos similares, es decir, la orientación ya no influye de manera tan significativa como en la temporada seca. Los cañones urbanos del Jr. Comercio y Urrelo presentan un aumento de temperatura abrupta desde las 7 h hasta las 8 h.

Los mapas 07 y 08 son el resultado de la interpolación realizada a través del método kriging. En el mapa 07 la temperatura diurna del mes de octubre desde el centro histórico hasta la estación meteorológica La Victoria disminuye en promedio 5.44 grados muy similar a la disminución de la temperatura nocturna mostrada en el mapa 07 (6.04 grados). Esto se debe a que ni los días se calientan tanto, ni las noches se enfrían tanto ya que la radiación recibida en el día en las noches por el incremento de la nubosidad no se escapa con facilidad. Además, es importante precisar que, a medida que nos alejamos del centro, la temperatura tiende a disminuir debido a que los factores antropogénicos van dejando de influir progresivamente en la temperatura ambiental.



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL		
	ISLA DE CALOR EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA Temperatura diurna octubre 2021		
Elaborado por: Bruno Fidel Sánchez Márquez	Asesor: Ing.M.Cs. Edgar Darwin Díaz Mori	Fecha: 11/04/2022 	Escala: 1:75 000 Ubicación Política Departameto: Cajamarca Provincia: Cajamarca Distrito: Cajamarca
			07



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL		
	ISLA DE CALOR EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA Temperatura nocturna octubre 2021		
Elaborado por: Bruno Fidel Sánchez Márquez	Asesor: Ing.M.Cs. Edgar Darwin Díaz Mori	Fecha: 11/04/2022 Escala: 1:75 000 	Ubicación Política Departameto: Cajamarca Provincia: Cajamarca Distrito: Cajamarca
			08

4.3.2.2 Islas de calor en el mes de noviembre

Mes influenciado por la temporada lluviosa del año, se puede observar que no hay diferencia significativa entre las intensidades de las ICU diurnas y nocturnas, es decir la diferencia de temperaturas entre el área rural y el área urbana se mantiene similar durante el día y la noche.

Tabla 13

Intensidad de ICU entre cañones urbanos y estación la Victoria noviembre 2021

Cañón de estudio	T ⁰ Periodo de 6 a 18 h			T ⁰ Periodo de 18 a 6 h		
	Cañón	Victoria	ICU día	Cañón	Victoria	ICU noche
Chanchamayo	17.86 °C	13.73 °C	4.13 °C	13.84 °C	8.22 °C	5.62 °C
Huánuco	18.05 °C	13.73 °C	4.32 °C	13.61 °C	8.22 °C	5.39 °C
Comercio	18.92 °C	13.73 °C	5.19 °C	13.70 °C	8.22 °C	5.48 °C
La Mar	18.35 °C	13.73 °C	4.62 °C	13.93 °C	8.22 °C	5.71 °C
Cruz de Piedra	18.69 °C	13.73 °C	4.96 °C	13.85 °C	8.22 °C	5.63 °C
Urrelo	19.00 °C	13.73 °C	5.28 °C	13.73 °C	8.22 °C	5.51 °C
Promedio			4.75 °C			5.56 °C

En la tabla 13 se observa que, durante el día las temperaturas más altas se localizaron en el cañón del Jr. Urrelo, por lo tanto, ahí también se localizó la ICU más intensa (5.28 °C), mientras que en la noche esta fue encontrada en el cañón del Jr. La Mar (5.71 °C), esto debido a que tal como se explica en las figuras 43 y 44 el caño del Jr. Urrelo en el día por su baja H/W y su alta SVF acumula más energía que el resto de los cañones por lo cual presenta temperaturas más elevadas, pero en la noche dicha energía es liberada con mayor facilidad, mientras en el cañón del Jr. La Mar ocurre lo contrario, en el día recibe menos radiación, pero en la noche la energía almacenada durante el día se libera más lentamente lo cual provoca que se mantenga con temperaturas más altas que el resto de cañones.

Ambas figuras respaldan los resultados de correlación encontrados en el estudio entre (H/W - ICU) y (SVF- ICU), es decir existe una correlación más fuerte durante el día que

durante la noche. Esto se debe a que, en la noche la orientación tiene una influencia más directa y significativa en el comportamiento térmico de los cañones urbanos provocando que cañones de orientación diferente tengan temperaturas diferentes a pesar de tener H/W y SVF similares, lo cual no sucede en el día dando como resultado una mayor correlación entre las variables analizadas.

Figura 43

Relación H/W – ICU, noviembre 2021

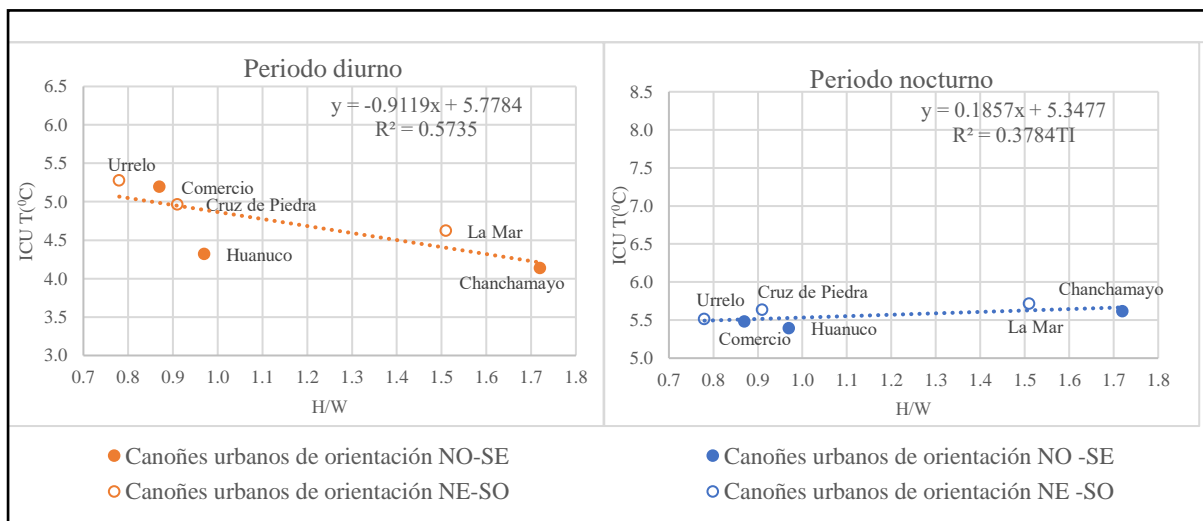


Figura 44

Relación SVF -ICU noviembre 2021

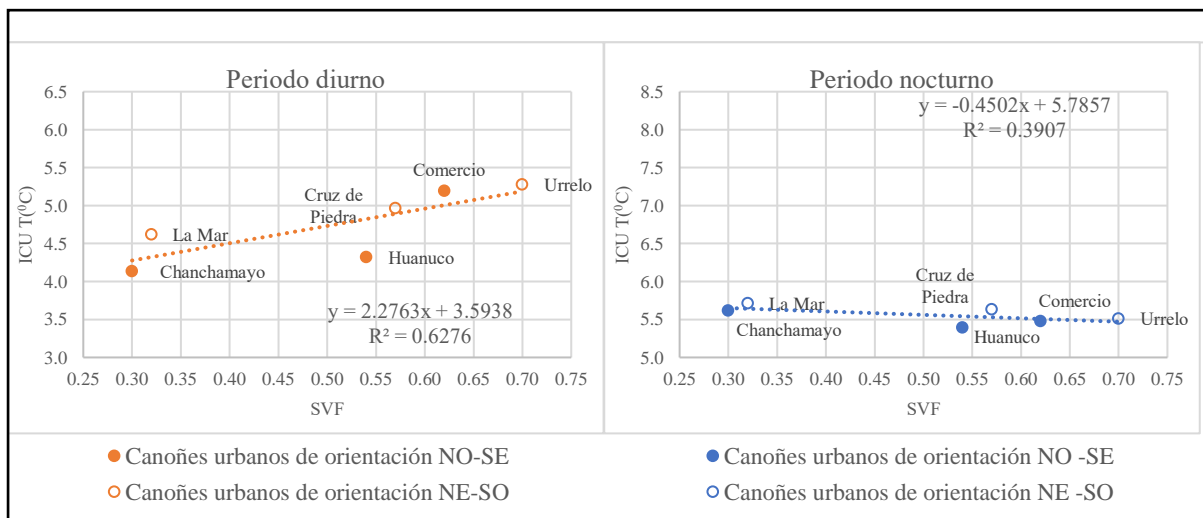
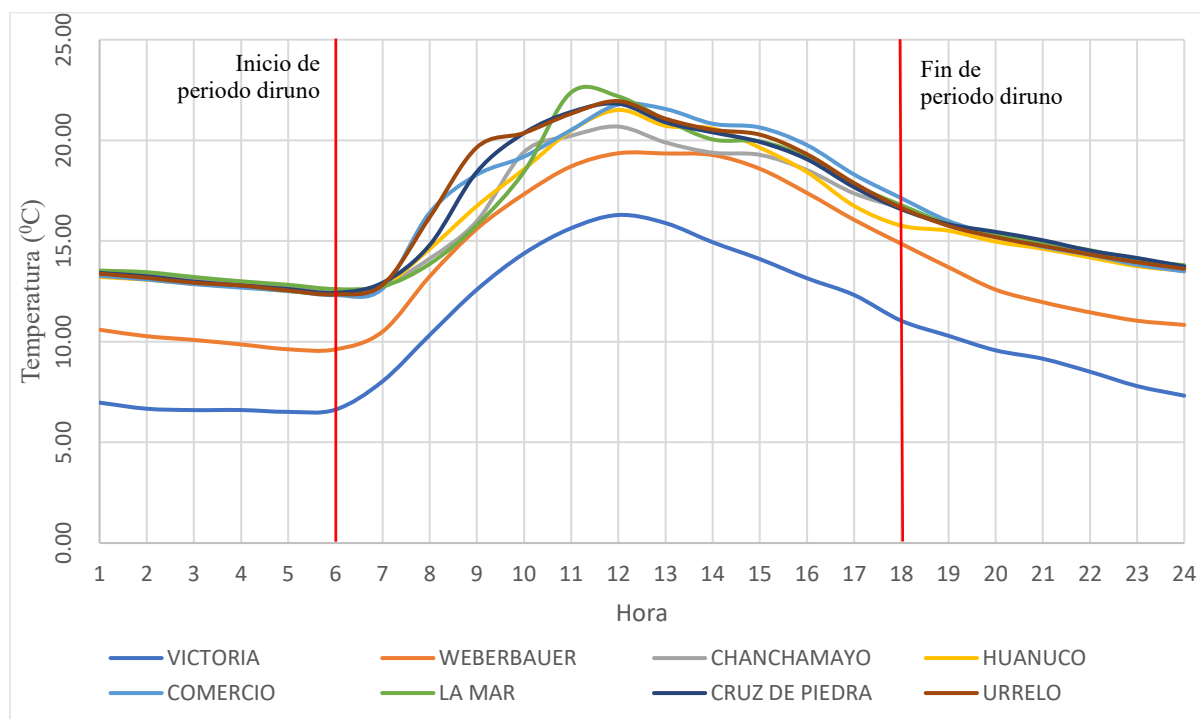


Figura 45

Promedio de temperaturas horarias noviembre 2021



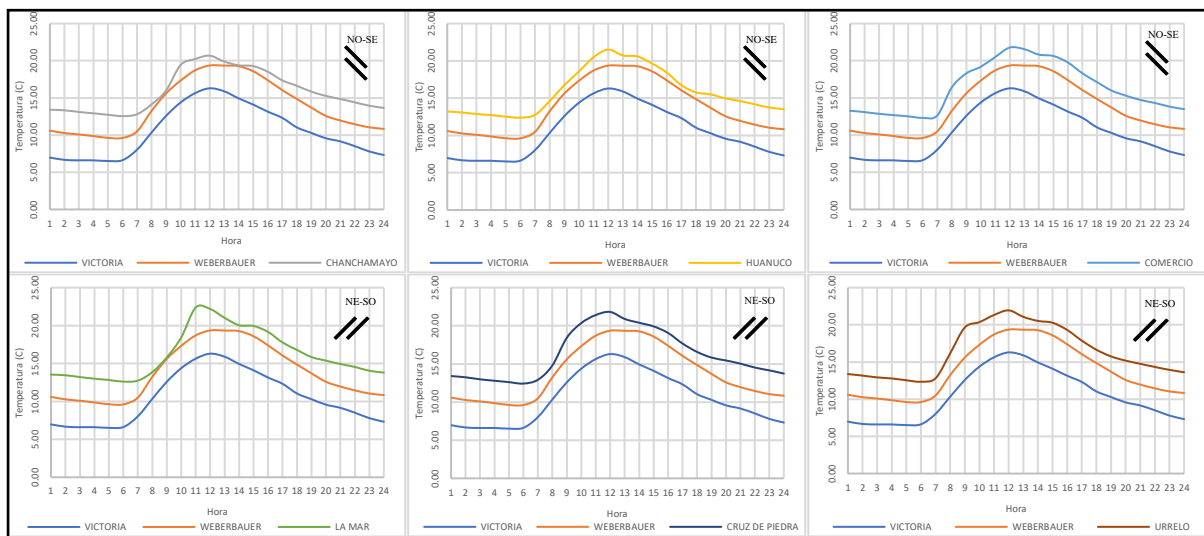
En la figura 45 se muestra claramente cómo los cañones urbanos exhiben un comportamiento térmico uniforme durante el periodo nocturno, el cual es similar al registrado en las estaciones meteorológicas Weberbauer y La Victoria, lo que indica que durante la noche existe una estabilidad térmica generalizada en estas áreas.

Sin embargo, la situación cambia durante el periodo diurno. A pesar de que los cañones en su comportamiento no son tan oscilatorios como en los meses de la estación seca las variables antropogénicas y meteorológicas como el tráfico, el material de construcción de los edificios, el albedo, la radiación y el viento modifican el patrón térmico de cada cañón y aun provoca que el comportamiento térmico de los cañones urbanos siga siendo oscilatorio durante este periodo.

Además, Es importante precisar que, en este mes no existen cañones urbanos que destaquen con picos altos de temperatura ya que todos se mantienen en rangos similares, sobresaliendo ligeramente el cañón del Jr. La Mar con su pico térmico de las 11 h.

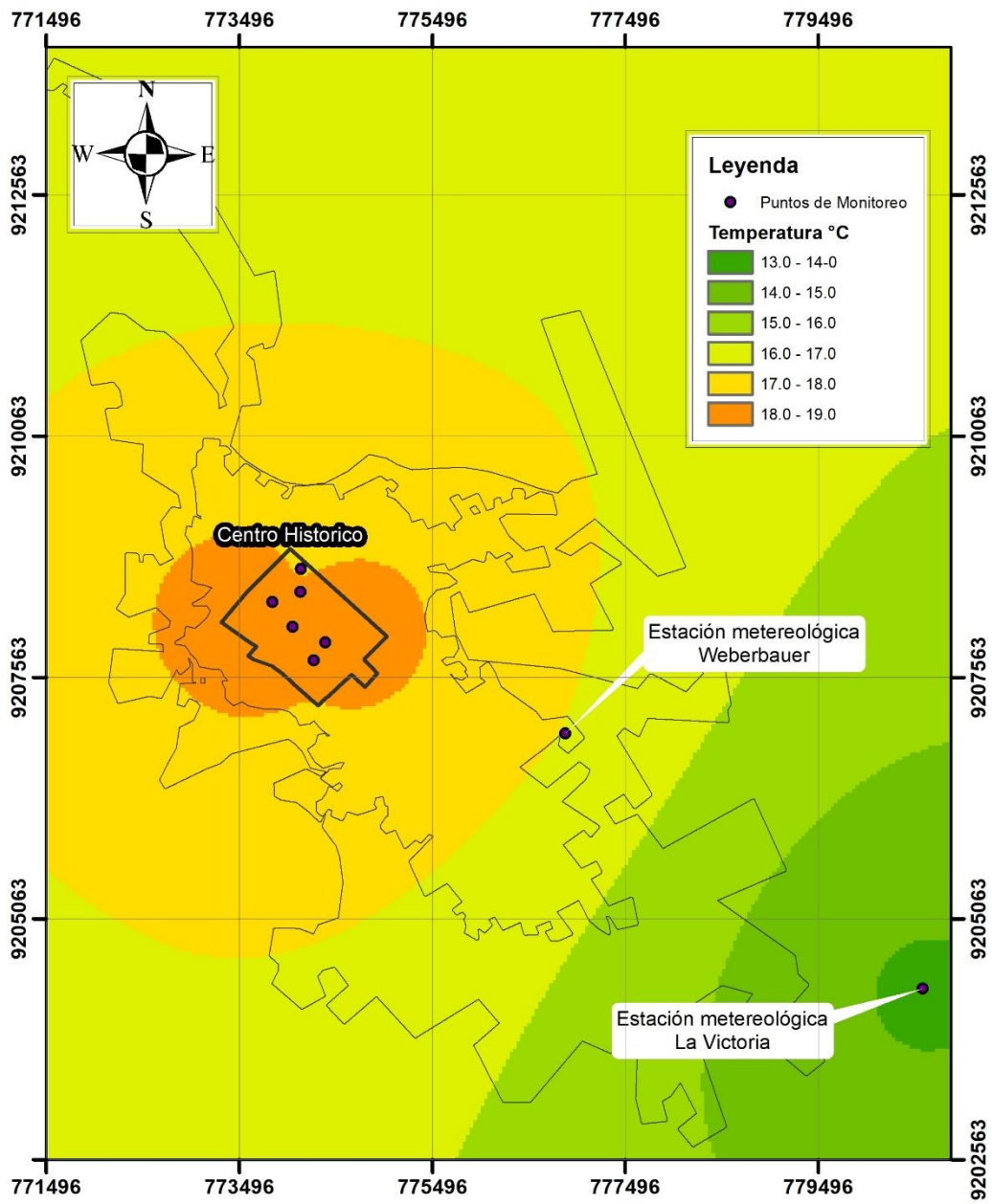
Figura 46




Promedio de temperaturas horarias por cañón urbano noviembre 2021

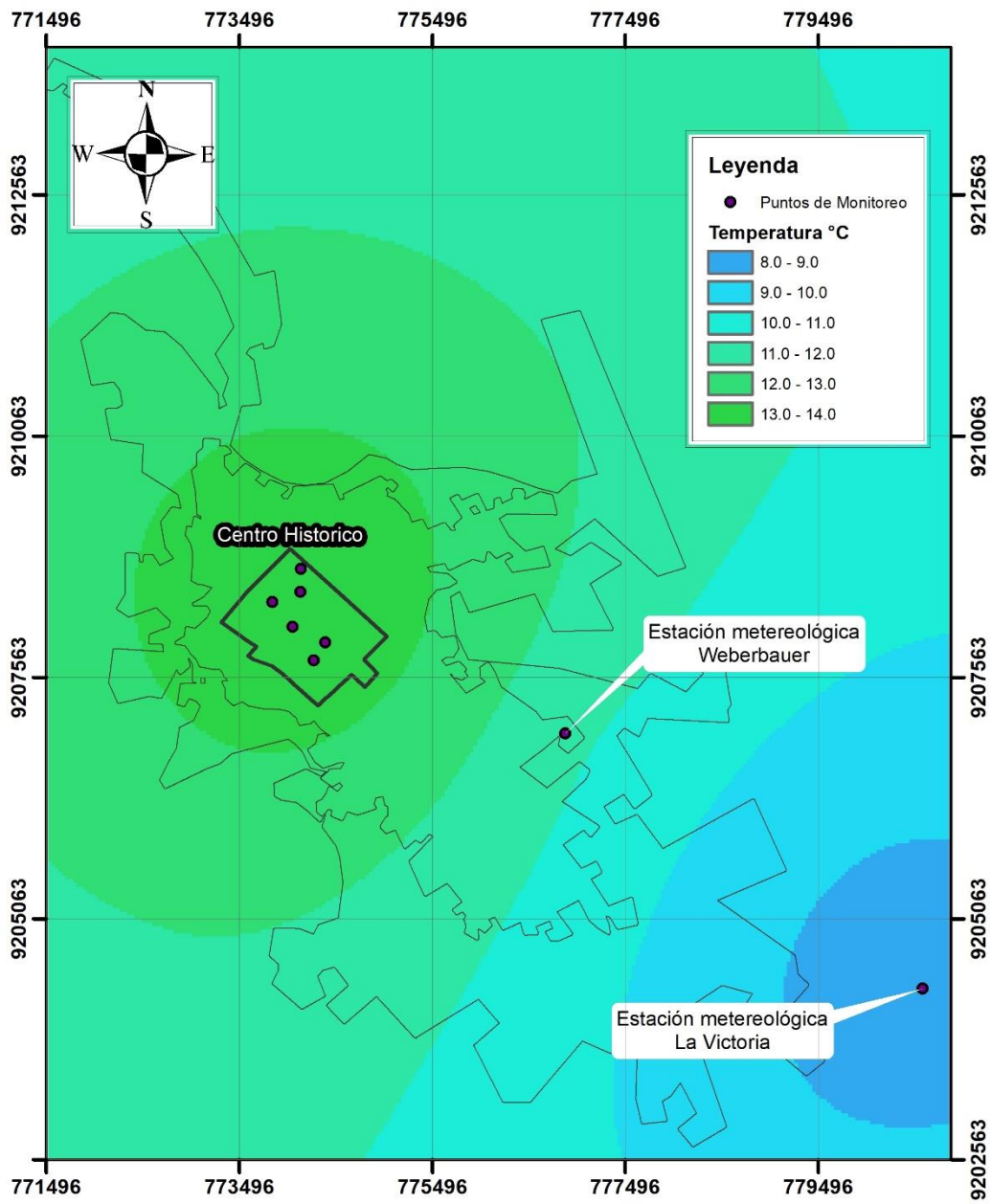





En la figura 46 se puede observar que cañones que tienen orientación diferente tienen comportamientos térmicos similares, es decir, la orientación ya no influye de manera tan significativa como en la temporada seca. El cañón del Jr. La Mar presenta un aumento abrupto de temperatura desde las 10 h llegando a su pico térmico a las 11 h, Los cañones urbanos del Jr. Comercio y Jr. Urrelo presentan una subida de temperatura desde las 7 h hasta las 9 h

Los mapas 09 y 10 son el resultado de la interpolación realizada a través del método kriging. En el mapa 09 la temperatura diurna del mes de noviembre desde el centro histórico hasta la estación meteorológica La Victoria disminuye en promedio 4.75 grados muy similar a la disminución de la temperatura nocturna mostrada en el mapa 10 (5.56 grados). Esto se debe a que ni los días se calientan tanto, ni las noches se enfrían tanto ya que la radiación recibida durante día en las noches por la nubosidad no se escapa con facilidad. Además, es importante precisar que, a medida que nos alejamos del centro, la temperatura tiende a disminuir debido a que los factores antropogénicos van dejando de influir progresivamente en la temperatura ambiental.



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL				
	ISLA DE CALOR EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA Temperatura diurna noviembre 2021				
Elaborado por: Bruno Fidel Sánchez Márquez	Asesor: Ing.M.Cs. Edgar Darwin Díaz Mori	Fecha: 11/04/2022	Escala: 1:75 000 	Ubicación Política Departameto: Cajamarca Provincia: Cajamarca Distrito: Cajamarca	09



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL		
	ISLA DE CALOR EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA Temperatura nocturna noviembre 2021		
Elaborado por: Bruno Fidel Sánchez Márquez	Asesor: Ing.M.Cs. Edgar Darwin Díaz Mori	Fecha: 11/04/2022 Escala: 1:75 000 	Ubicación Política Departameto: Cajamarca Provincia: Cajamarca Distrito: Cajamarca

10

4.3.2.3 Islas de calor en el mes de diciembre

Mes fuertemente influenciado por la temporada lluviosa del año, al ser uno de los meses con mayor nubosidad del año la diferencia entre las intensidades de las ICU diurnas y nocturnas es la más pequeña del estudio, donde la diferencia de temperaturas entre el área rural y el área urbana se mantiene similar durante el día y la noche

Tabla 14

Intensidad de ICU entre cañones urbanos y estación la Victoria diciembre 2021

Cañón de estudio	T ⁰ Periodo de 6 a 18 h			T ⁰ Periodo de 18 a 6 h		
	Cañón	Victoria	ICU día	Cañón	Victoria	ICU noche
Chanchamayo	19.10 °C	14.47 °C	4.62 °C	14.39 °C	8.37 °C	6.03 °C
Huánuco	19.56 °C	14.47 °C	5.09 °C	14.22 °C	8.37 °C	5.85 °C
Comercio	20.15 °C	14.47 °C	5.68 °C	14.21 °C	8.37 °C	5.84 °C
La Mar	19.73 °C	14.47 °C	5.26 °C	14.53 °C	8.37 °C	6.16 °C
Cruz de Piedra	20.38 °C	14.47 °C	5.91 °C	14.38 °C	8.37 °C	6.01 °C
Urrelo	20.56 °C	14.47 °C	6.06 °C	14.31 °C	8.37 °C	5.94 °C
Promedio			5.44 °C			5.97 °C

En la tabla 14 se observa que, durante el día las temperaturas más altas se localizaron en cañón del Jr. Urrelo por lo tanto, ahí también se localizó la ICU más intensa (6.06 °C), mientras que en la noche estas fue encontrada en el cañón del Jr. La Mar (6.16 °C), esto debido a que tal como se explica en las figuras 47 y 48 el caño del Jr. Urrelo en el día por su baja H/W y su alta SVF acumula más energía que el resto de los cañones por lo cual presenta temperaturas más elevadas, pero en la noche dicha energía es liberada con mayor facilidad, mientras en el cañón del Jr. La Mar ocurre lo contrario, en el día recibe menos radiación, pero en la noche la energía almacenada durante el día se libera más lentamente lo cual provoca que se mantenga con temperaturas más altas que el resto de cañones.

Ambas figuras respaldan los resultados de correlación encontrados en el estudio entre (H/W - ICU) y (SVF- ICU), es decir existe una correlación más fuerte durante el día que

durante la noche. Esto se debe a que, en la noche la orientación tiene una influencia más directa y significativa en el comportamiento térmico de los cañones urbanos provocando que cañones de orientación diferente tengan temperaturas diferentes a pesar de tener H/W y SVF similares, lo cual no sucede en el día dando resultado una mayor correlación entre las variables analizadas.

Figura 47

Relación H/W – ICU diciembre 2021

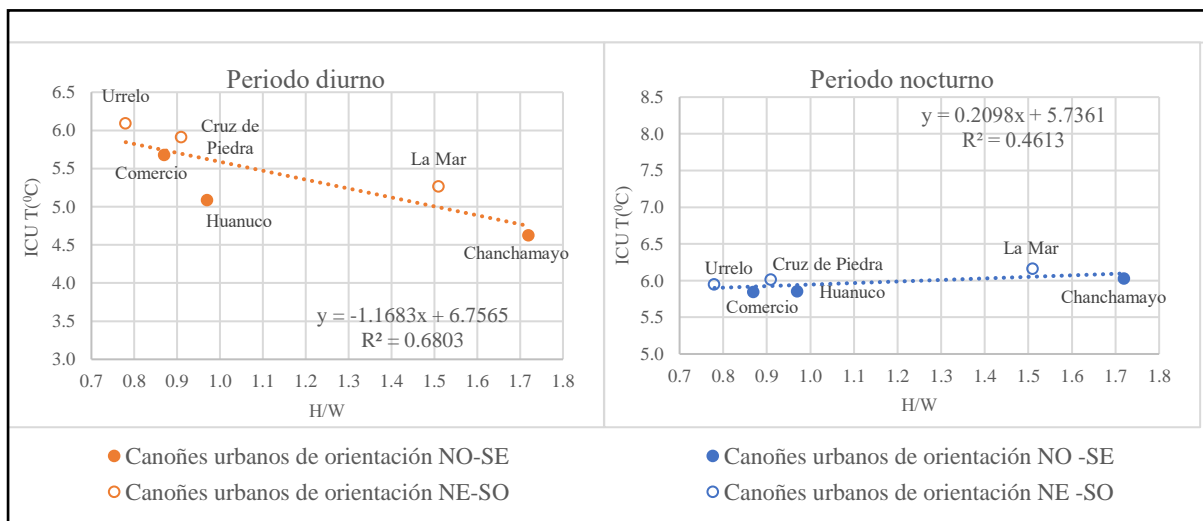


Figura 48

Relación SVF -ICU diciembre 2021

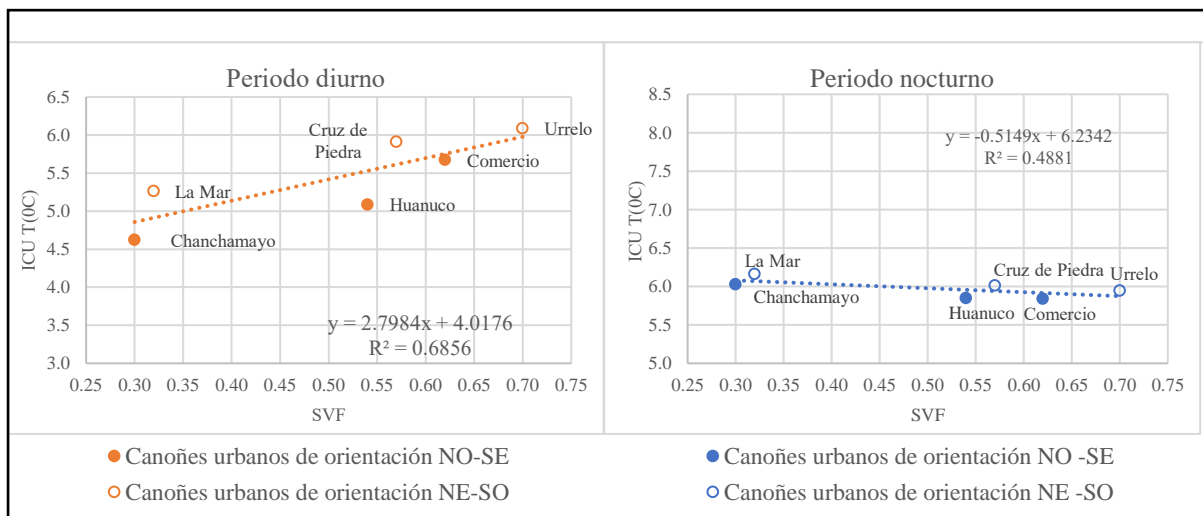
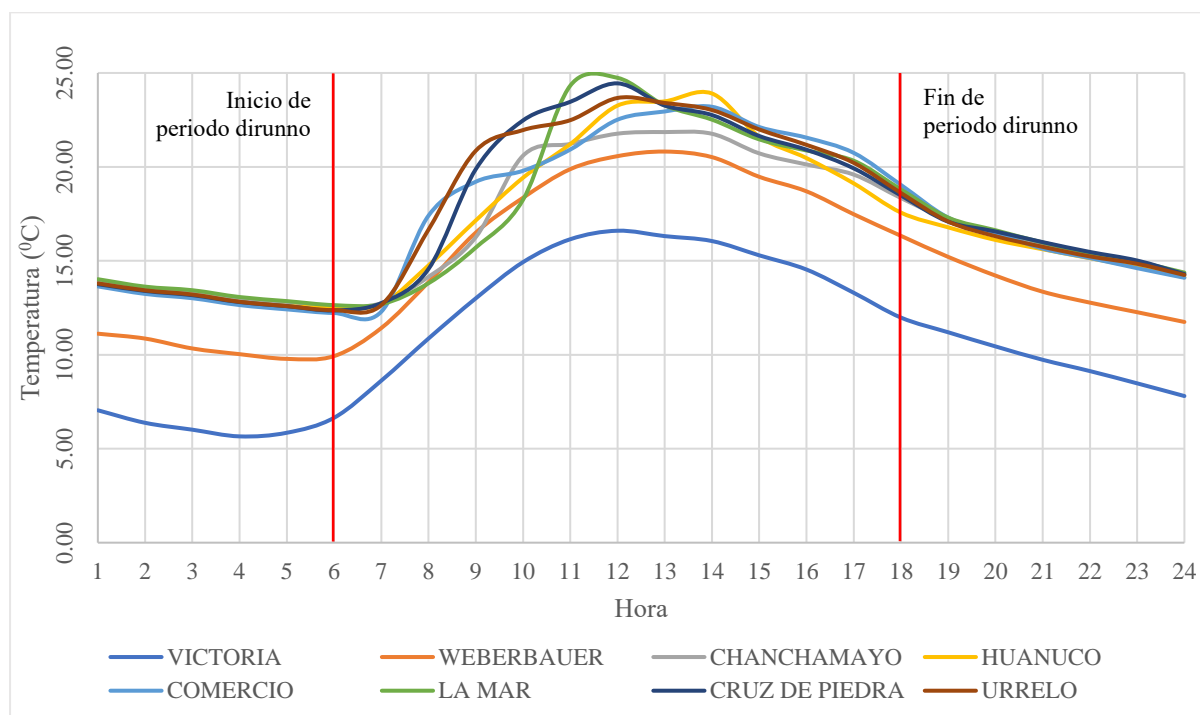


Figura 49

Promedio de temperaturas horarias diciembre 2021



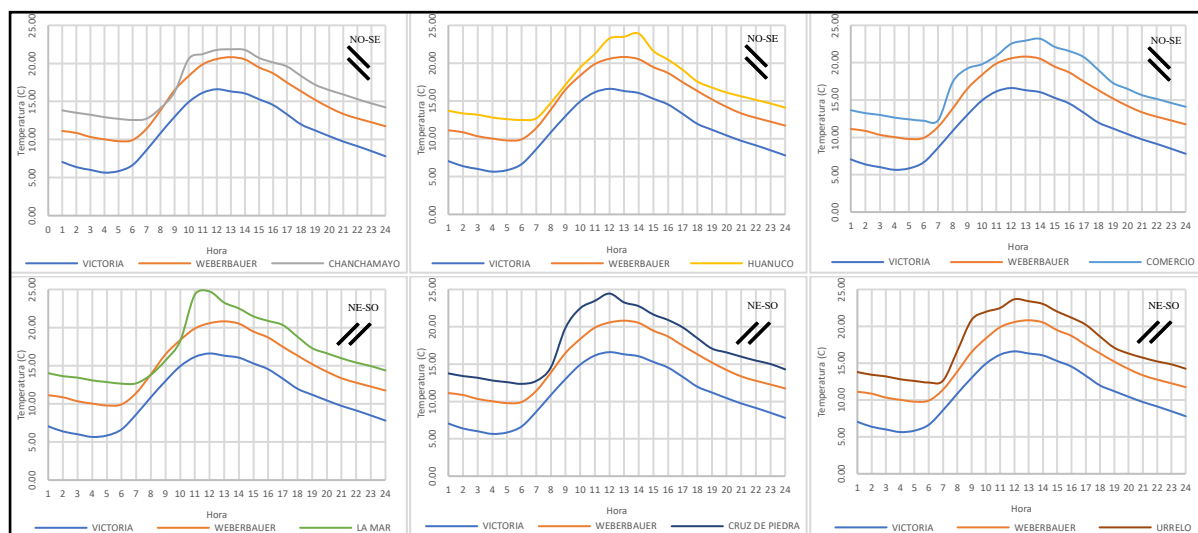
En la figura 49 se muestra claramente cómo los cañones urbanos exhiben un comportamiento térmico uniforme durante el periodo nocturno, el cual es similar al registrado en las estaciones meteorológicas Weberbauer y La Victoria, lo que indica que durante la noche existe una estabilidad térmica generalizada en estas áreas.

Sin embargo, la situación cambia durante el periodo diurno. A pesar de que los cañones en su comportamiento no son tan oscilatorios como en los meses de la estación seca las variables antropogénicas y meteorológicas como el tráfico, el material de construcción de los edificios, el albedo, la radiación y el viento modifican el patrón térmico de cada cañón de manera diferente y aun provoca que el comportamiento térmico de los cañones urbanos siga siendo oscilatorio durante este periodo.

Además, Es importante aclarar que, en este mes no existen cañones urbanos que destaquen con picos altos de temperatura ya que todos se mantienen en rangos similares, sobresaliendo ligeramente el cañón del Jr. La Mar con un pico térmico a las 11 h

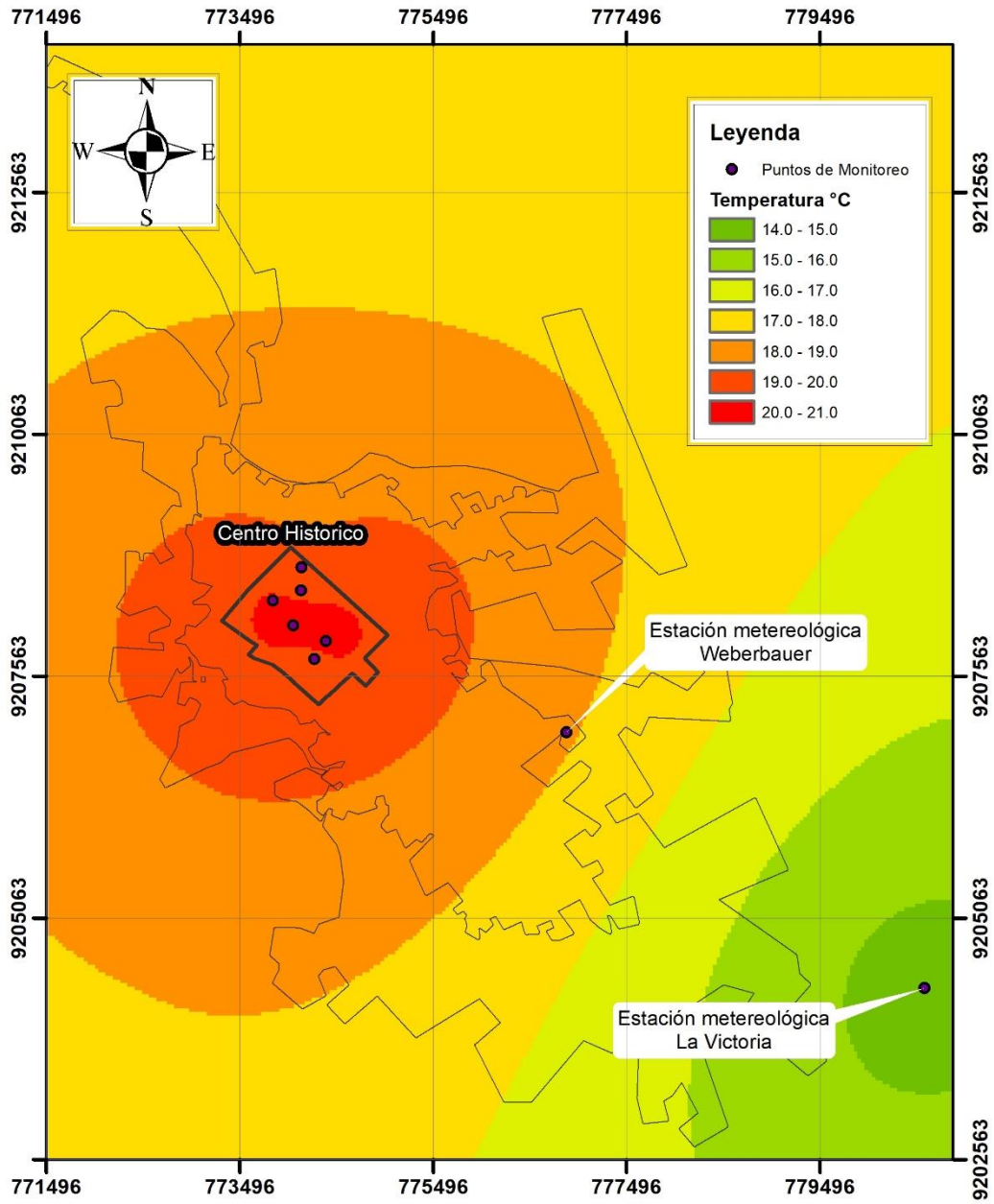
Figura 50




Promedio de temperaturas horarias por cañón urbano diciembre 2021

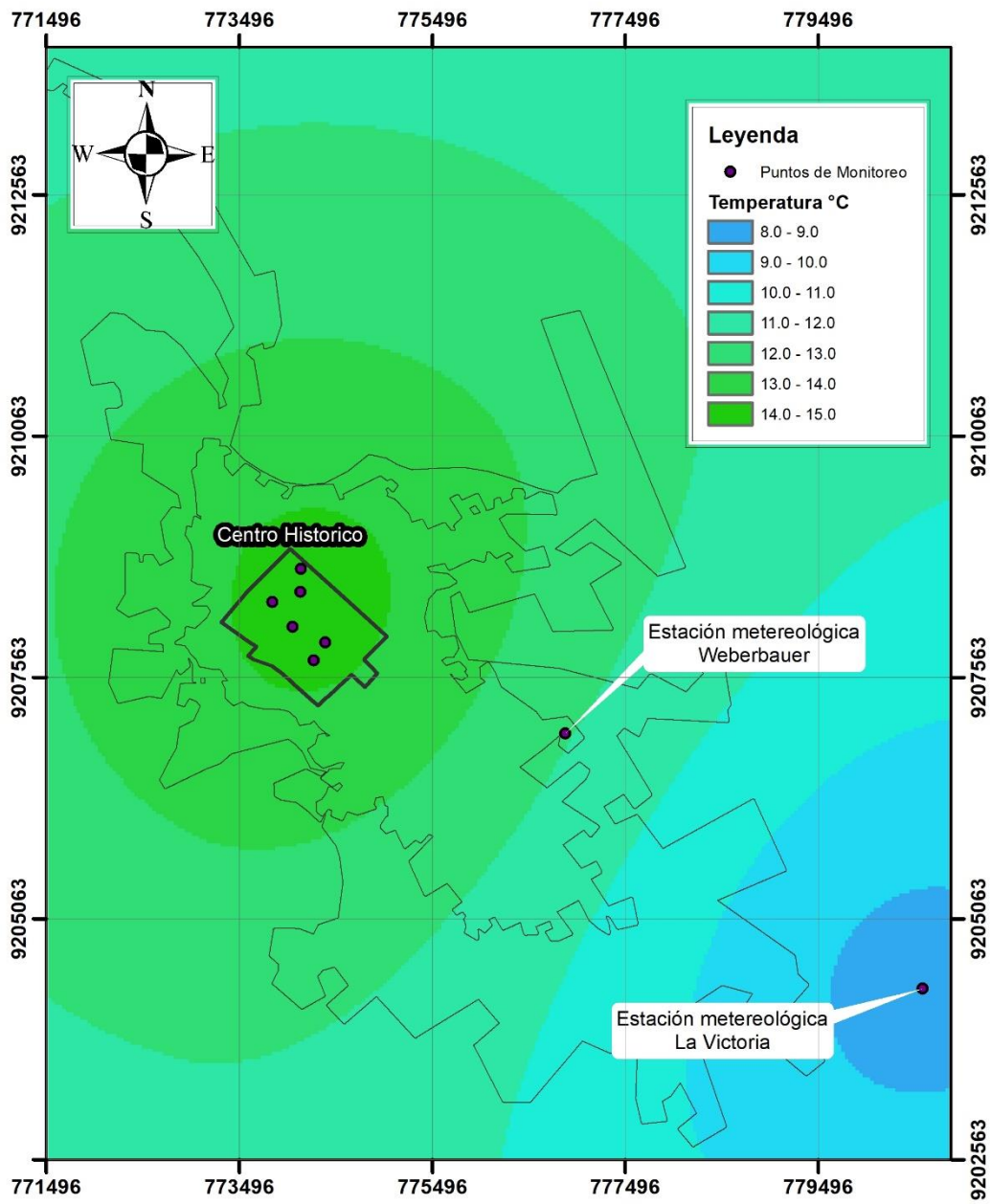





En la figura 50 se observa que cañones de orientación diferente se comportan térmicamente similar, es decir, la orientación ya no influye de manera tan significativa como en la temporada seca. En el cañón del Jr. La Mar hay un incremento de temperatura desde las 10 h llegando a su pico térmico a las 12 h. En el Jr. Urrelo se presenta un aumento de temperatura desde las 7 h hasta las 10 h. En el Jr. Comercio se presenta una subida de temperatura desde las 7 h hasta las 9 h, y en el Jr. Cruz de Piedra se presenta una subida de temperatura abrupta desde las 8 h llegando a su pico térmico a las 12 h

Los mapas 11 y 12 son el resultado de la interpolación realizada a través del método kriging. En el mapa 11 la temperatura diurna del mes de diciembre desde el centro histórico hasta la estación meteorológica La Victoria disminuye en promedio 5.44 grados muy similar a la disminución de la temperatura nocturna mostrada en el mapa 12 (5.97 grados). Esto se debe a que ni los días se calientan tanto, ni las noches se enfrían tanto ya que la radiación recibida en el día en las noches por la nubosidad no se escapa con facilidad. Además, es importante precisar que, a medida que nos alejamos del centro, la temperatura tiende a disminuir debido a que los factores antropogénicos van dejando de influir progresivamente en la temperatura ambiental.



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL				
	ISLA DE CALOR EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA Temperatura diurna diciembre 2021				
Elaborado por: Bruno Fidel Sánchez Márquez	Asesor: Ing.M.Cs. Edgar Darwin Díaz Mori	Fecha: 11/04/2022	Escala: 1:75 000 	Ubicación Política Departameto: Cajamarca Provincia: Cajamarca Distrito: Cajamarca	11



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL				
	ISLA DE CALOR EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA Temperatura nocturna diciembre 2021				
Elaborado por: Bruno Fidel Sánchez Márquez	Asesor: Ing.M.Cs. Edgar Darwin Díaz Mori	Fecha: 11/04/2022	Escala: 1:75 000 	Ubicación Política Departameto: Cajamarca Provincia: Cajamarca Distrito: Cajamarca	12

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se determinó que las características de los componentes del cañón urbano que influyen en la aparición de islas de calor en el centro histórico de Cajamarca en el periodo diurno son: (baja relación de altura – ancho, alto factor de visión de cielo y orientación del eje del cañón NE – SO). Mientras que en el periodo nocturno son:(alta relación de altura - ancho, bajo factor de visión de cielo y orientación del eje del cañón NE – SO) por lo cual la ICU más intensa durante el día se encuentra en el cañón del Jr. Urrelo (5.45 °C) y durante la noche en el cañón del Jr. La Mar (6.94 °C). En adición se afirma que las ICU son más intensas en la noche (6.66 °C) que en el día (4.97 °C) y que son más intensas en los meses de temporada seca (6.55 °C en agosto) que en los de temporada lluviosa (5.16 °C en noviembre). Además, existe en la ciudad de Cajamarca una ICU general para todo el periodo de estudio de 5.81°C. Finalmente se puede concluir que no se pueden pasar por desapercibidos factores importantes que interactúan con los componentes del cañón urbano y contribuyen en la aparición de ICU tales como: tránsito, material de las edificaciones, albedo, dirección y velocidad del viento.
- Se evaluó la correlación entre la relación altura - ancho del cañón (H/W) y la intensidad de las islas de calor en el centro histórico de la ciudad de Cajamarca dando como resultado una correlación diurna entre moderada y fuerte (0.6053) pero una débil correlación nocturna (0.2941), además se puede observar que en el periodo

diurno donde más baja es la H/W más intensa es la ICU (correlación negativa), sin embargo, en el periodo nocturno sucede lo contrario, donde más alta es la H/W más intensa es la ICU (correlación positiva).

- Se evaluó la correlación entre el factor de visión de cielo del cañón (SVF) y la intensidad de las islas de calor en el centro histórico de la ciudad de Cajamarca, dando como resultado una correlación diurna entre moderada y fuerte (0.6079) pero una débil correlación nocturna (0.3028), además se puede observar que en el periodo diurno donde más alto es el SVF más intensa es la ICU (correlación positiva), sin embargo, en el periodo nocturno sucede lo contrario, donde más bajo es el SVF más intensa es la ICU (correlación negativa).
- Se evaluó la correlación entre la orientación del eje del cañón (θ) y la intensidad de las islas de calor en el en el centro histórico de la ciudad de Cajamarca pudiéndose observar que los cañones de orientación NE-SO presentan temperaturas más elevadas que los cañones de orientación NO-SE, esto se debe la dirección predominante del viento (NO-SE), este resultado es más notorio en el periodo nocturno debido que la orientación es más influyente en ese momento del día.

5.2 Recomendaciones

- Realizar investigaciones similares en la primera mitad del año enero – junio.
- Realizar investigaciones similares en otras partes de la ciudad para tener una mejor comprensión de la variabilidad térmica en la ciudad de Cajamarca.
- Realizar investigaciones en cañones con diferentes tipos de SVF y H/W.
- Realizar más investigaciones de este tipo durante periodos nocturnos debido a que hay pocos estudios en dicho periodo del día.
- Continuar con estos trabajos de investigación para demostrar el cambio del clima que se está viviendo en la actualidad.

- Realizar trabajos de investigación con variables que también contribuyen en la aparición de ICU, tales como: tránsito, material de las edificaciones, albedo, dirección y velocidad del viento, etc.
- Hacer un llamado a autoridades como el MINAM, SENAMHI, MPC y GRC Cajamarca, para que le tomen la importancia correspondiente a esta problemática ya que es fundamental que se consideren los impactos negativos que este fenómeno ocasiona sobre el medio ambiente y la salud de las personas.

REFERENCIAS

- Ahmad, K., Khare, M., Chaudhry, K. (2005). Wind tunnel simulation studies on dispersion at urban street canyons and intersections—a review. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 93, 697-717.
- Baghaeipoor, G., & Nasrollahi, N. (2019). The effect of sky view factor on air temperature in high-rise urban residential environments. *Journal of Daylighting*, 6(2), 42-51
- Bustamante Campoverde, A. (2017). *Caracterización de la isla de calor urbana por efectos de la morfología en la ciudad andina de Cuenca, Ecuador*. [Tesis de Maestría, Universidad de Cuenca]
- Bustamante Campoverde. (2018). *Análisis de la isla de calor urbana en el entorno andino de Cuenca-Ecuador*
<https://www.redalyc.org/journal/176/17664421008/17664421008.pdf>
- Cabras, E. (2014). *Efectos de la morfología de las calles en el fenómeno de la isla de calor urbana en la ciudad de Barcelona*. [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña].
- Carvajal Téllez, R. (2019). *Estudio de isla de calor urbana a nivel de superficie y dosel en el periodo de 1981 a 2015 para la ciudad de Bogotá Colombia*, [Tesis de pregrado, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales].
- Erell, E., Pearlmutter, D., Williamson, T. (2011). *Urban Microclimate: Designing the Spaces Between Buildings*. Londres, UK, Earthscan.
- Fernández, M. (1996). *Ciudades en riesgo: Degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres*
http://www.desastres.hn/docum/lared/libros/CER_todo_ene72003.pdf#page=14.

- Foladori, G. (2001). *Los Problemas Ambientales Urbanos y Sus Causas*. Curitiba, 100, 69-78
<http://ricaxcan.uaz.edu.mx/jspui/bitstream/20.500.11845/236/1/Foladori%2c%20Guillermo.%20Los%20problemas%20ambientales.pdf>.
- García Haro, A. (2018). *Anotaciones de pruebas de métodos de extracción de Sky View Factor de imágenes ojo de pez con visual a 360° mediante ArcGIS y Rayman*.
Barcelona, España.
- Gartland, L. (2008). *Heat Islands: Understanding and mitigating heat in urban areas*.
Londres, Uk, Earthscan.
- Henry Glynn, J., Heinke W, G. (1999). *Ingeniería Ambiental*. 2 ed. Mexico, Prentice Hall.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collao, C., Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación*. 6 ed. México. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Kim, Y-H., Baik, J-J. (2005). Spatial and temporal structure of the urban heat island in Seoul.
Journal of Applied Meteorology, 44, 591-605
<https://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/JAM2226.1>.
- Kłysik, K., Fortuniak, K. (1999). *Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Łódź*, Poland. 33, 3885-3895.
- Kondoh, A., Nishiyama, J. (2000). Changes in hydrological cycle due to urbanization in the suburb of Tokyo metropolitan area, Japan. *Advances in Space Research* 26(07), 1173-1176.
- Lamarca García, C. (2014). *comparación de modelos físicos y perceptuales para determinar el confort térmico en distintos cañones urbanos de la ciudad de Concepción*. [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica de Chile].

- Marshall Shepherd, J. (2005). A Review of Current Investigations of Urban-Induced Rainfall and Recommendations for the Future. *Earth Interactions*, 9(12), 1-27.
<https://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/EI156.1>.
- Martínez, D; Lana X; Serra, C; Roca J; Arellano, B.; Biere, y Moix, M. (5-7 de septiembre del 2018) Características de la isla de calor urbana en Barcelona (NE España) en el periodo 2006- 2017. XII *Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual*.
 “Ciudades y Territorios Inteligentes”. Barcelona, España.
- Martínez Ortega, R; Tuya Pendás, C; Martínez Ortega, M; Pérez Abreu, A y Cánovas, A. (2009). EL coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2)
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729519X2009000200017&lng=es&tlng=es.
- METROBS. (2015). *La isla de calor en el área metropolitana de Barcelona y la adaptación al cambio climático*. Barcelona, España.
http://www3.amb.cat/repositori/CANVICLIMATIC/METROBS/METROBS_UHI.pdf.
- Moreno García, C. (1999). *Climatología urbana*. Barcelona, España.
- Municipalidad Provincial de Cajamarca (MPC). (2016). *Plan de Desarrollo Urbano de Cajamarca 2016 - 2026*. Cajamarca, Perú
- Muñoz Araya, A. (2018). *Efectos del flujo vehicular y morfología de cañones urbanos en la exposición de mp2,5 en ciclovías de la comuna de Santiago*. [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica de Chile].
- Oke, TR. (1976). The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere-Ocean*, 14(4), 268-277.

- Oke, TR. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24.
- Oke, TR. (1987). *Boundary Layer Climates*. Vancouver, Canadá,
<https://www.semanticscholar.org/paper/Boundary-Layer-Climates.-Monteith-Oke/8658f8d0f9bf6fad1b77ebe8d835882766220a1f>.
- Oke, TR. (1995). The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects. *Springer-Science+Business*, 81-107.
https://www.researchgate.net/publication/281364715_The_Heat_Island_of_the_Urban_Boundary_Layer_Characteristics_Causes_and_Effects.
- Oke, TR. (2006). Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. Vancouver. Canadá. *World Meteorological Organization. Instruments and Observing Methods*. <http://blogs.ubc.ca/toke/files/2015/12/IOM-81-UrbanMetObs.pdf>.
- Pérez Rodríguez F., Rodas Monsefú N. (2017). *Influencia de la inversión térmica en la contaminación atmosférica según los ECAS en el distrito de Cajamarca del 2013 al 2015*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte].
- Rizwan, A; Dennis, L., Liu, C. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 20(1), 120-128.
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1001074208600194>.
- Rosenfeld, H., Akbari, H; Romm, J., Pomerantz, M. (1998). Cool communities: Strategies for heat island mitigation and smog reduction. *Energy and Buildings*, 28, 51-62.
- Sarricolea Espinoza, P., Aliste, E; Castro, P., Escobedo, C. (2008). Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos. *Revista de Climatología*, 8, 71-84.
https://www.researchgate.net/publication/26576059_Analisis_de_la_maxima_intensid

[ad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua Chile y sus factores explicativos.](#)

Serra Pardo, J. (2007). Estudio de la isla de calor de la ciudad de Ibiza. *Investigaciones Geográficas*, (44),
55.https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10232/1/IG_44_03.pdf.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). (2020). *Climas del Perú - Mapa de Clasificación Climática Nacional*.
<https://idesep.senamhi.gob.pe/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/9f18b911-64af-4e6b-bbef-272bb20195e4>

Tamayo y Tamayo, M. (2004) *El proceso de la investigación científica*. 4 ed. México. Limusa.https://books.google.com.mx/books?id=BhymmEqkkJwC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.

United Nations (UN). (2015). *World Urbanization Proospect: The 2014 Revision*
<https://web.archive.org/web/20171003030017/https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf>.

United Nations Popolation Fund (UNFPA). (s.f). [United Nations Population Fund \(unfpa.org\)](https://www.unfpa.org)

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2008). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*
https://www.epa.gov/sites/default/files/201705/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_1.pdf

United States Environmental Protection Agency (EPA). (s.f). *Heat Island Impacts*.
<https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-impacts#2>.

United States Environmental Protection Agency (EPA). (s.f). *Heat Island Effect*.
<https://www.epa.gov/heatislands>

Villacorta Rocha, F. (2015). *Disminución de las áreas verdes, en la aparición de islas de calor en la ciudad de Iquitos entre los años 2004 – 2014. región Loreto*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana].

Vinuesa Pablo. (2016). *Tema 8 - Correlación: teoría y práctica*. Mexico.

https://www.ccg.unam.mx/~vinuesa/R4biosciences/docs/Tema8_correlacion.pdf

ANEXO

Tabla 15*Cálculo de H/W Jr. Huánuco cuadra 16*

Numero de Fachada	Altura de fachada (Z)	Ancho de fachada (Y)	Altura de fachada promedio (H)	Ancho de vía (W ₁ , W ₂)	Ancho de vía promedio (W)	Relación altura-ancho (H/W)
fachada 1	2.40	6.30				
fachada 2	9.54	13.61				
fachada 3	6.45	6.36				
fachada 4	5.93	14.61		6.54		
fachada 5	6.56	5.00				
fachada 6	5.98	5.08	6.52		6.70	0.97
fachada 7	10.05	8.70				
fachada 8	9.74	3.50				
fachada 9	5.36	13.50		6.86		
fachada 10	4.96	17.26				
fachada 11	6.23	8.32				
TOTAL		102.24				

Tabla 16*Cálculo de H/W Jr. Comercio cuadra 4*

Numero de Fachada	Altura de fachada (Z)	Ancho de fachada (Y)	Altura de fachada promedio (H)	Ancho de vía (W ₁ , W ₂)	Ancho de vía promedio (W)	Relación altura-ancho (H/W)
fachada 1	7.56	30.10				
fachada 2	6.95	6.50		9.00		
fachada 3	7.11	19.30				
fachada 4	8.25	56.30	7.79	8.90	8.95	0.87
TOTAL		112.20				

Tabla 17*Cálculo de H/W Jr. Chanchamayo cuadra 5*

Numero de Fachadas	Altura de fachada (Z)	Ancho de fachada (Y)	Altura de fachada promedio (H)	Ancho de vía (W ₁ , W ₂)	Ancho de vía promedio (W)	Relación altura-ancho (H/W)
fachada 1	11.02	7.96				
fachada 2	12.19	6.44				
fachada 3	11.06	6.66				
fachada 4	16.76	12.96		7.25		
fachada 5	13.88	7.70				
fachada 6	14.11	8.68	12.72		7.38	1.72
fachada 7	15.16	18.32				
fachada 8	8.53	8.25		7.50		
fachada 9	12.17	12.15				
fachada 10	7.65	9.70				
TOTAL		98.80				

Tabla 18*Cálculo de H/W Jr. La Mar cuadra 6*

Numero de Fachadas	Altura de fachada (Z)	Ancho de fachada (Y)	Altura de fachada promedio (H)	Ancho de vía (W ₁ , W ₂)	Ancho de vía promedio (W)	Relación altura-ancho (H/W)
fachada 1	7.98	15.80				
fachada 2	9.03	17.30				
fachada 3	9.54	8.10				
fachada 4	8.49	5.90				
fachada 5	5.50	6.00				
fachada 6	12.08	6.70		5.90		
fachada 7	11.29	6.00				
fachada 8	6.50	15.20				
fachada 9	10.18	15.50				
fachada 10	9.76	7.90				
fachada 11	8.07	16.00	9.00		5.95	1.51
fachada 12	9.69	28.60				
fachada 13	6.55	13.30				
fachada 14	15.91	12.30		6.00		
fachada 15	4.75	15.70				
fachada 16	9.53	5.45				
fachada 17	12.20	5.20				
fachada 18	9.60	7.60				
TOTAL		208.55				

Tabla 19*Cálculo de H/W Jr. Urrelo cuadra 7*

Numero de Fachadas	Altura de fachada (Z)	Ancho de fachada (Y)	Altura de fachada promedio (H)	Ancho de vía (W ₁ , W ₂)	Ancho de vía promedio (W)	Relación altura-ancho (H/W)
fachada 1	6.78	16.47				
fachada 2	6.40	9.35				
fachada 3	6.62	22.80		9.21		
fachada 4	7.49	13.80	7.03	=====	9.06	0.78
fachada 5	8.67	7.42				
fachada 6	6.73	2.51		8.90		
fachada 7	7.07	50.23				
TOTAL		122.58				

Tabla 20*Cálculo de H/W Jr. Cruz de Piedra cuadra 6*

Numero de Fachadas	Altura de fachada (Z)	Ancho de fachada (Y)	Altura de fachada promedio (H)	Ancho de vía (W ₁ , W ₂)	Ancho de vía promedio (W)	Relación altura-ancho (H/W)
fachada 1	8.07	34.40				
fachada 2	7.44	18.90				
fachada 3	6.98	14.60		8.90		
fachada 4	6.63	8.30				
fachada 5	9.23	34.60	8.18	=====	9.03	0.91
fachada 6	11.17	19.2				
fachada 7	7.70	25.00				
fachada 8	7.51	28.00		9.15		
fachada 9	7.81	38.00				
TOTAL		221.00				

Tabla 21

Cálculo de SVF Jr. Huánuco cuadra 16

SVF 0.54

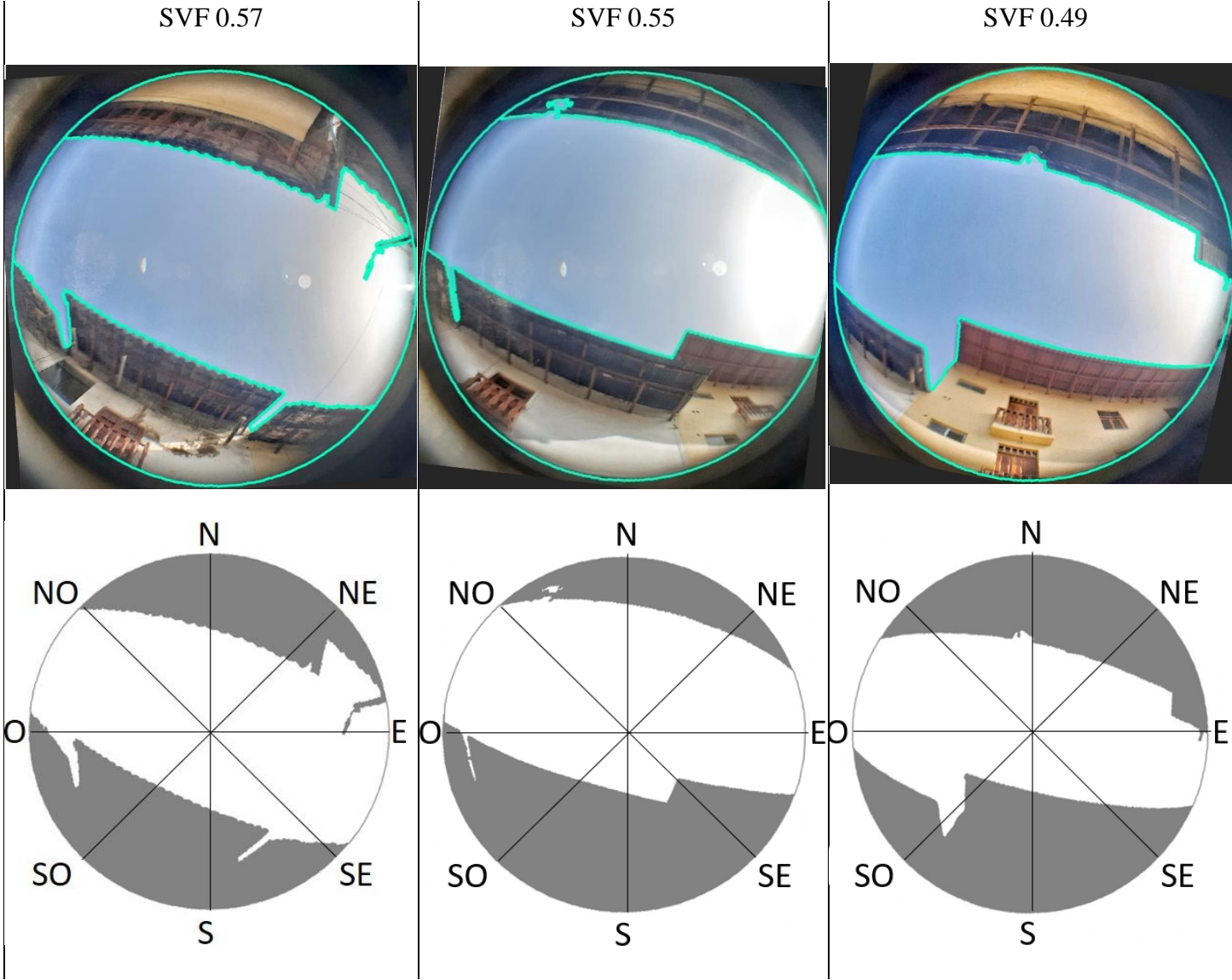


Tabla 22

Cálculo de SVF Jr. Comercio cuadra 4

SVF 0.62

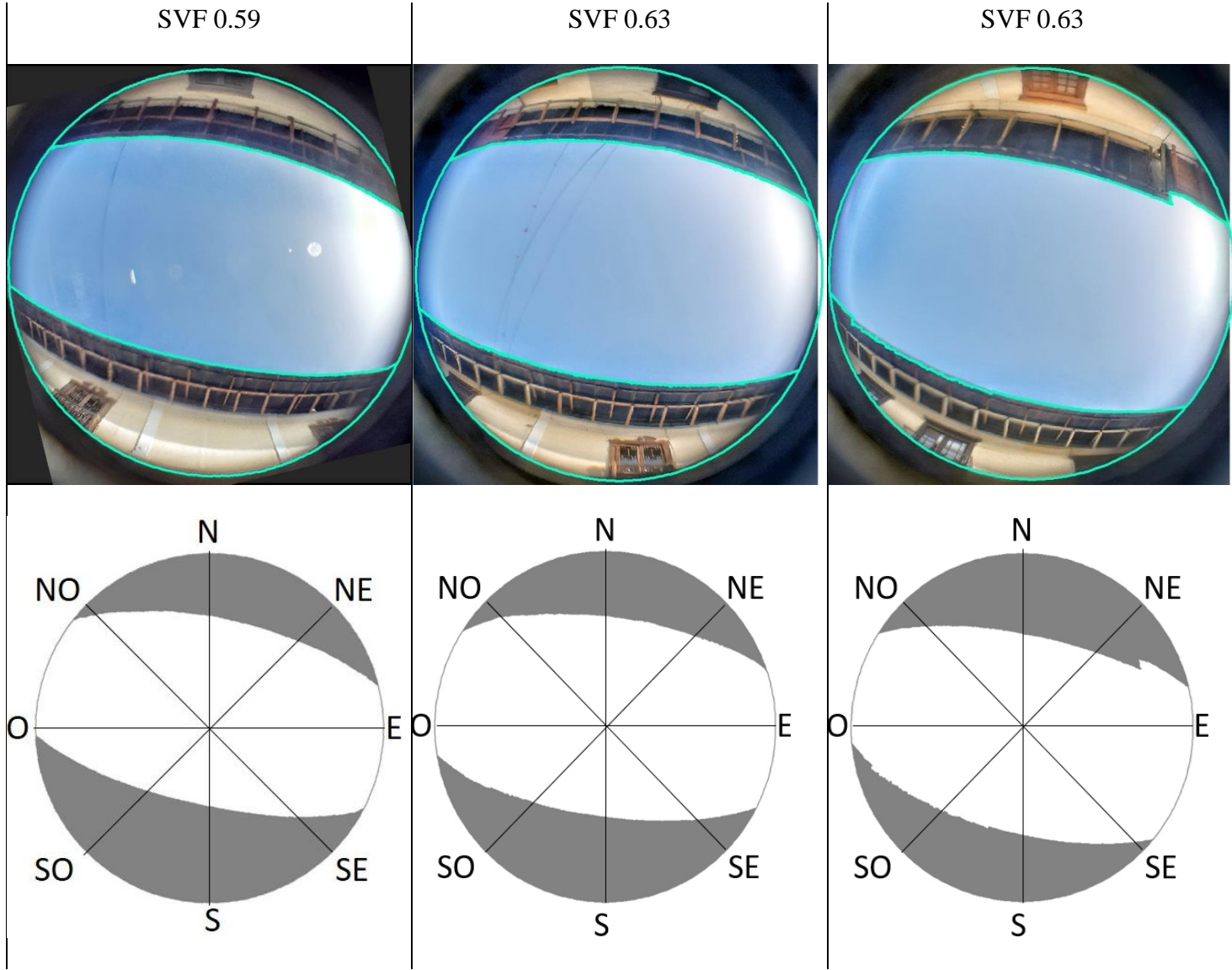


Tabla 23

Cálculo de SVF Jr. Chanchamayo cuadra 5

SVF 0.62

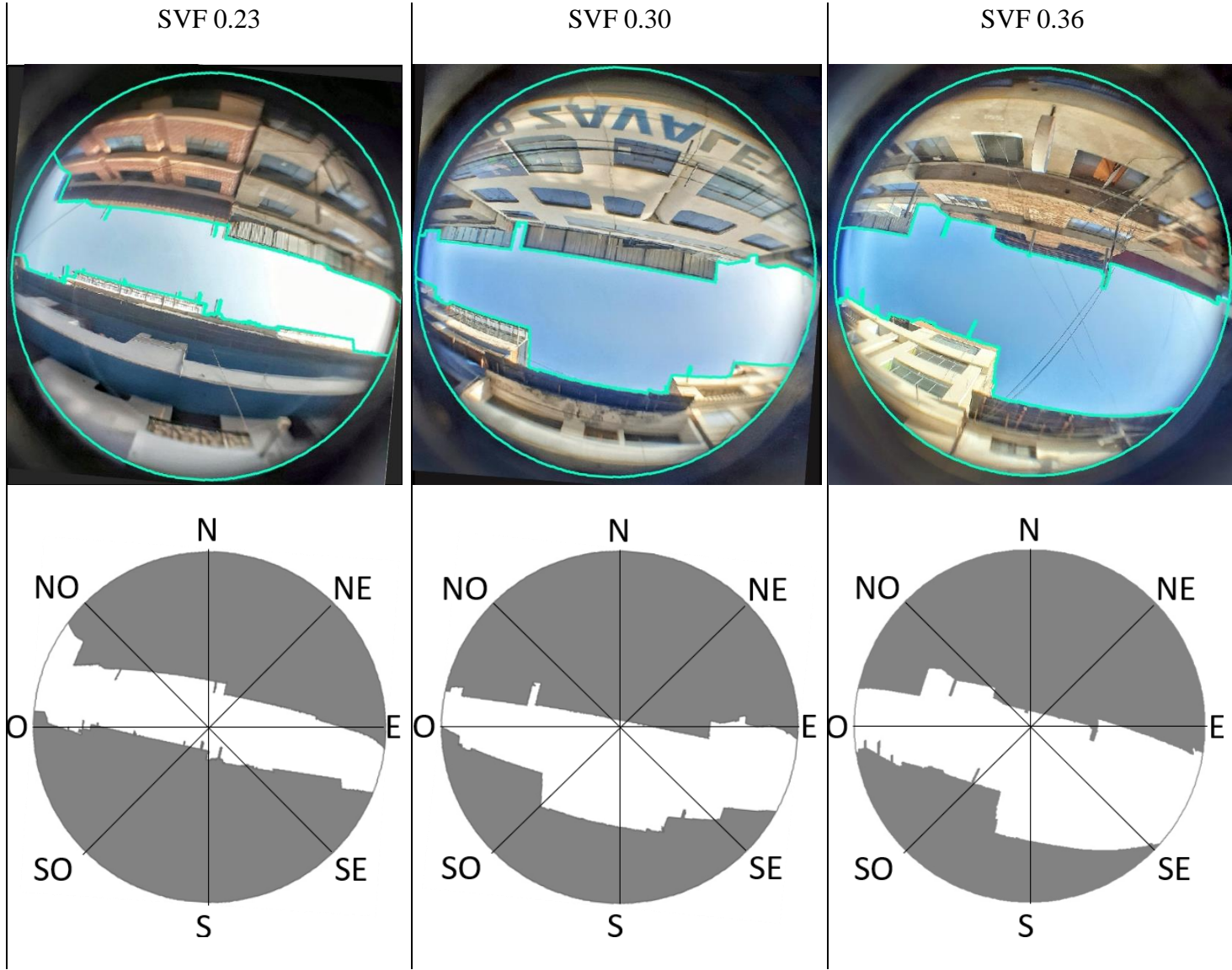


Tabla 24

Cálculo de SVF Jr. La Mar cuadra 6


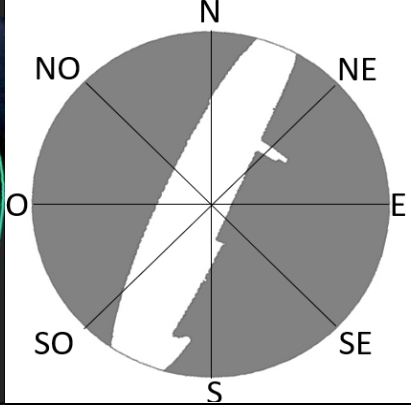

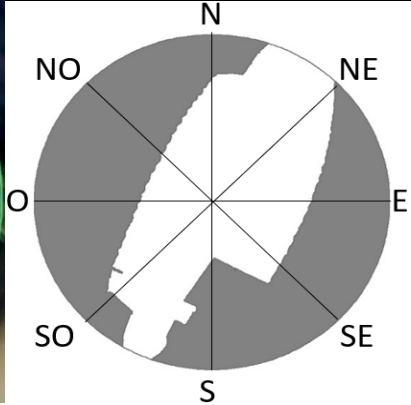

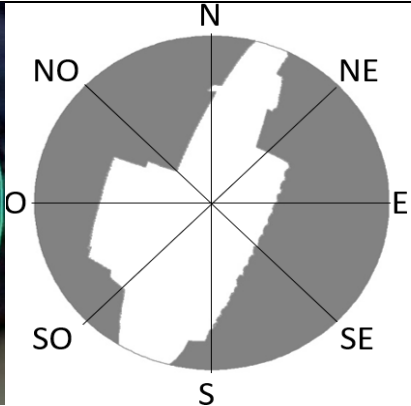
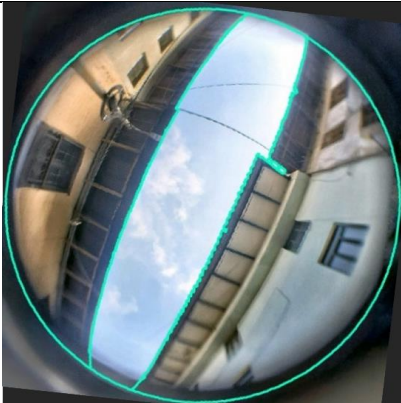
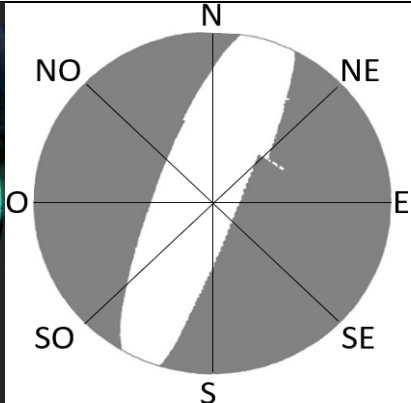
SVF 0.32		
		SVF 0.28
		SVF 0.37
		SVF 0.41
		SVF 0.24

Tabla 25

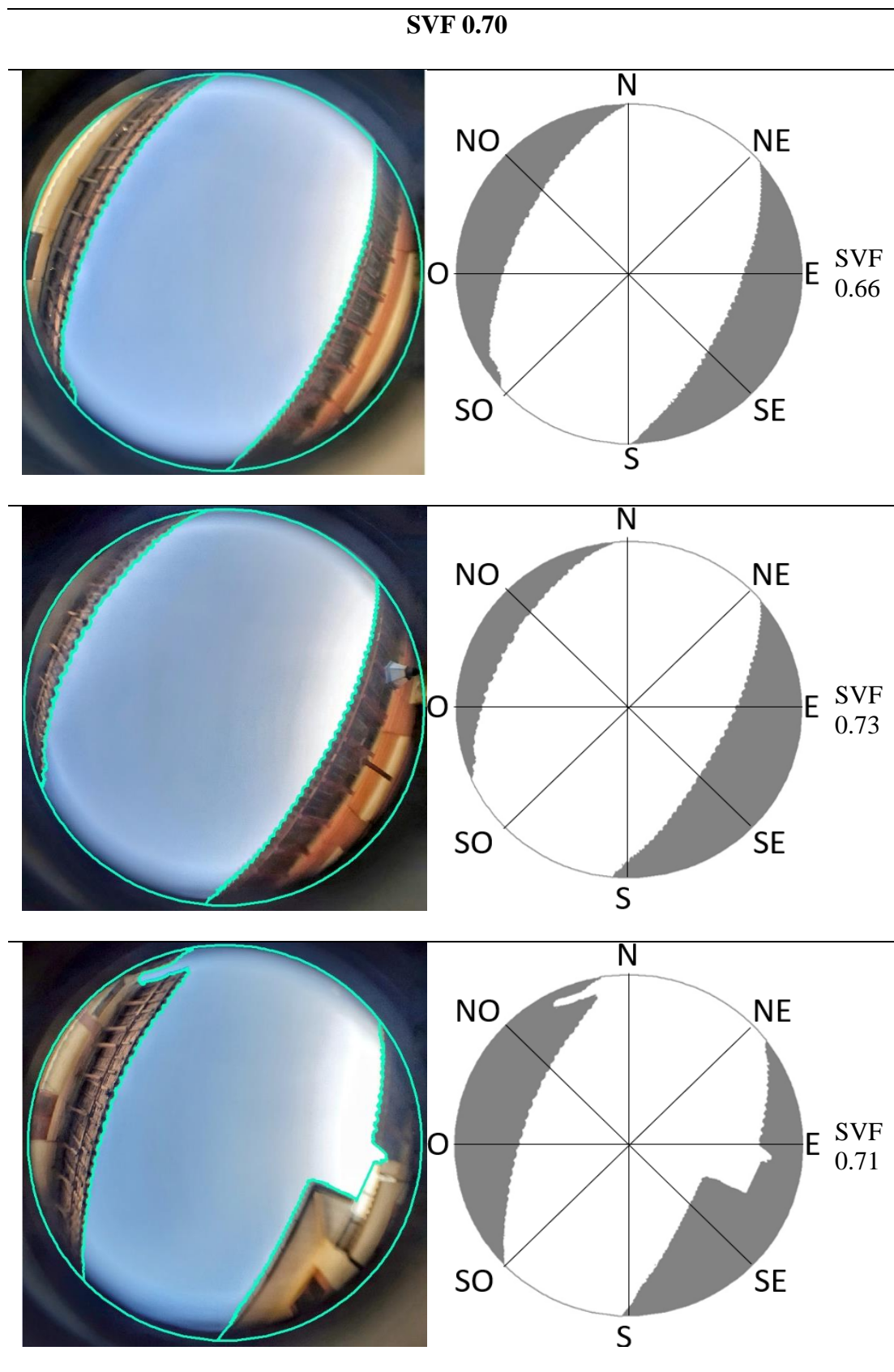
Cálculo de SVF Jr. Urrelo cuadra 7

Tabla 26

Cálculo de SVF Jr. Cruz de Piedra cuadra 6

SVF 0.57

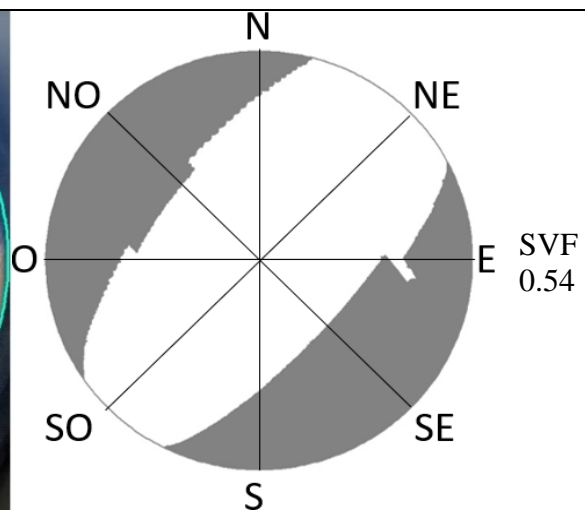
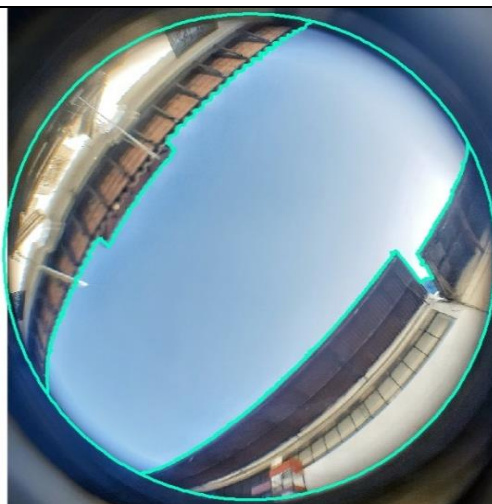
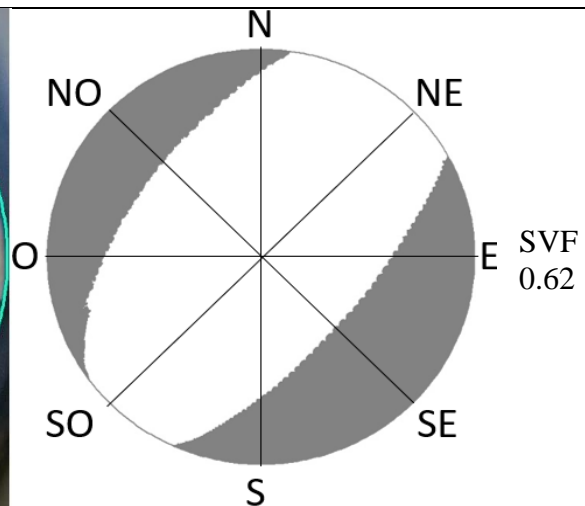
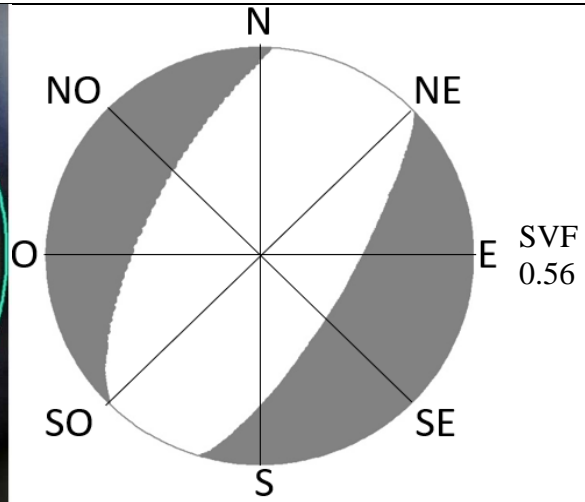


Figura 51

Caseta meteorológica Jr. Huánuco C 16



Figura 53

Caseta meteorológica Jr. Chanchamayo C 5



Figura 52

Caseta meteorológica Jr. Comercio C 4



Figura 54

Caseta meteorológica Jr. La Mar C 6



Figura 55*Caseta meteorológica Jr. Urrelo C 7***Figura 57***Instalación de casetas meteorológicas***Figura 56***Caseta meteorológica Jr. Cruz de Piedra C 6***Figura 58***Desinstalación de casetas meteorológicas*

Figura 59

Medición de ancho de vías



Figura 60

Medición longitud de vías y fachadas



Figura 61*Medición de altitudes*

Figura 62

Fotografías para cálculo de factor de visión de cielo

