



UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Escuela de Pregrado

Carrera de Geografía

**EVOLUCIÓN DE LAS ISLAS DE CALOR URBANAS EN EL PERIODO 2002-2020 Y
SU RELACIÓN CON LAS ZONAS CLIMÁTICAS LOCALES DE LAS COMUNAS DE
CONCEPCIÓN, TALCAHUANO Y HUALPÉN, REGIÓN DEL BIOBÍO, CHILE**

Memoria para optar el título profesional de Geógrafo

NICOLÁS PATRICIO MARTÍNEZ GONZÁLEZ

PROFESOR GUÍA: DR. PABLO ANDRÉS SARRICOLEA ESPINOZA

SANTIAGO – CHILE

2021

*“No permitan que el fracaso les deteriore la autoestima.
Cuando ganas, el mensaje de admiración es tan confuso,
te estimula tanto el amor hacia uno mismo y eso deforma tanto.
Y cuando perdés sucede todo lo contrario,
hay una tendencia morbosa a desprestigiarte, a ofenderte, solo porque perdiste.
En cualquier tarea se puede ganar o perder,
lo importante es la nobleza de los recursos utilizados, eso sí es lo importante;
Lo importante es el tránsito, la dignidad con que recorri el camino en la búsqueda del objetivo.
Lo otro es cuento para vendernos una realidad que no es tal”*

Marcelo Bielsa (s/f)

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer enormemente a mi madre Carla González, quien ha sido el artífice y la mejor compañera para guiar todos los procesos de mi vida, enseñándome valores esenciales a lo largo de la vida y siendo una gran madre tanto en los éxitos como en los momentos más difíciles, estoy enormemente agradecido por haber podido coincidir en esta vida, no existe tiempo suficiente para poder agradecer todo lo que has hecho por mí y mis hermanos. También, quiero mencionar a mis hermanos Daniel y Roberto, con quienes he podido compartir tantos bellos momentos de mi vida y el gran regalo de poder crecer juntos, con mucho amor y juegos que nos seguirán uniendo a lo largo del tiempo. Les agradezco plenamente su amor, empatía y dedicación en cada momento que hemos compartido. Así mismo me gustaría agradecer a mis abuelos, Daniel Gómez y María Navea, quienes han sido un apoyo fundamental en mi vida, estando siempre presente y entregando tan anhelados momentos de la niñez en la playa de Quintero. Igualmente, me gustaría agradecer a mis abuelos Lorenzo Martínez y Eliana Millangüir por su dedicación y amor, la cual siempre traslada a esos maravillosos veranos en el campo. De igual modo, agradecer a Jorge González y Kika San Martín, quienes pese a la distancia han estado siempre presentes en mi corazón, agradezco su dedicación y amor. Al mismo tiempo, quiero agradecer a Rosa Morales y sus tres hijos por ser incondicionales a lo largo de la vida, me encuentro infinitamente agradecido por el amor que entregan a mi madre y hermanos día a día. También, agradecer a Moisés Orellana quien ha sido un gran padrino y me ha mostrado que a través de una sonrisa se puede alegrar la vida de tus queridos. Así mismo, no puedo dejar de mencionar a mi prima Julieta Maregatti quien en momentos de más tormento universitario fue un gran apoyo y así mismo, su madre Carolina Fernández y su padre Claudio Maregatti, quienes me abrieron las puertas de su hogar para hacerme parte.

Agradecer a toda la unidad de Geografía de la Universidad de Chile por la formación entregada y el tiempo dedicado para hacernos excelentes profesionales. Destacando así a quien sido mi profesor guía Pablo Sarricolea Espinoza, quien ha sido una extraordinaria persona, tanto en los contenidos entregados, los cuales son el eje del desarrollo de esta memoria como la calidez humana con que se pudo desarrollar todo el proyecto, agradezco enormemente su comprensión y dedicación. Por otra parte, quiero agradecer a los funcionarios de la FAU por recibirme con todo su afecto y alegría en sus jornadas futboleras. Especialmente agradecer a José Mancilla por su sincera amistad.

Agradecer también a la tremenda generación 2015 de Geografía, a cada uno de ustedes les agradezco los momentos vividos. Especialmente mencionar a mi querido club RayoVayacaño CSD, con quienes viví las más grandes alegrías dentro de la carrera. Amigos que quedará siempre en mi corazón, agradezco a Ian, Felipe, Jorge, Sebastián, Rodrigo, Gabriel, Luciano. También, agradecer a cada una de las bellas personas de la generación 2016, con quienes compartí bellos momentos y los llevo siempre conmigo. Especialmente a Camila, Grace, Juan Pablo, Ricardo, Martín y Mauricio. Finalmente, me queda expresar mi más sincero amor a quien ha sido una tremenda compañera como ha sido Francisca Gutiérrez, quien con su amor y bondad me ha hecho vivir maravillosos momentos en mi vida. Solo me queda agradecer infinitamente por los años que pasaron llenos de amor y los que vendrán con aún más. Además, agradecer el apoyo emocional y laboral para el desarrollo de este documento. Así mismo, agradecer a la familia de Francisca, quienes me han acogido como uno más dentro de su hogar, especialmente a Marisol Cáceres, Manuel Gutiérrez, sus hermanas Javiera y Bárbara y a Joaquín Cortés. Agradezco cada uno de los momentos vividos y los que nos quedan por vivir.

RESUMEN

La siguiente investigación presenta un estudio de la isla de calor en las comunas de Concepción, Talcahuano y Hualpén, Provincia de Concepción (Chile) y su relación con las Zonas Climáticas Locales (ZCL) para el periodo 2002 -2019. En una primera instancia se utilizaron imágenes satelitales MODIS Aqua y Terra para conocer las intensidades de las Islas de Calor Urbana superficial (ICUs) diurna y nocturna para cada estación del año, y así determinar la estación y horario más afectado por el fenómeno. En base a lo anterior, se identificó al horario diurno de la estación de verano como el más afectado por las ICUs, por lo cual se procedió a utilizar un sensor de mayor detalle, el cual corresponde al Landsat 8. Luego, se realizó un análisis de las ICUs a través del software ArcGis y así se analizó el promedio del periodo 2016-2020 del horario diurno de verano. El cual presentó intensidades que superaron los 10°C para el sector del Aeropuerto Carriel Sur. Finalmente, se realizó una comparación del promedio de ICUs 2016-2020 con las Zonas Climáticas Locales, obteniéndose como resultado que las ZCL de mayor intensidad corresponden a los usos de suelo de Suelo desnudo (N5), Extensivo de baja altura(B7), Escasamente desarrollado(B9), Industrial de alta energía(B10) y Compacto de baja altura(B3). Por último, fue posible observar que las condiciones de la ciudad de configuración y materialidad juegan un papel preponderante en la conformación de las ICUs.

Palabras clave: Clima Urbano, Islas de Calor Urbana, Zonas Climáticas Locales, Conurbación Concepción – Talcahuano - Hualpén

Índice

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN	1
1.1 Introducción	1
1.2 Área de estudio	4
1.3 Objetivos Generales y Específicos	7
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	7
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	7
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	8
2.1 Climatología	8
2.2 Clima	9
2.3 Clima local	10
2.4 Clima Urbano	11
2.5 Islas de calor	12
2.6 Zonas climáticas locales	17
2.6.1 <i>Series Construidas:</i>	21
2.6.2 <i>Series naturales:</i>	22
CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	23
3.1 Recopilación de antecedentes locales	23
3.2 Pasos metodológicos para determinar los patrones espaciales e intensidades las ICUs diurnas y nocturnas	23
3.2.1 <i>Selección de imágenes satelitales MODIS para el periodo (2002 - 2019).</i>	23
3.2.2 <i>Programación de códigos para la extracción de imágenes satelitales de temperatura.</i>	23
3.2.3 <i>Tratamiento de las imágenes satelitales en las plataformas ArcGis para el cálculo de ICUs.</i>	26
3.2.4 <i>Resultado Cartográfico.</i>	30
3.3 Paso metodológicos para optimizar la resolución espacial de la Isla de calor con un sensor de mayor resolución (Landsat 8) para el periodo (2015 -2020).....	30
3.3.1 <i>Selección de imágenes satelitales: Plataforma Google Earth Engine.</i>	30
3.3.2 <i>Programación de códigos para la extracción de imágenes satelitales de temperatura.</i>	30
3.3.3 <i>Procesamiento de las imágenes satelitales en las plataformas: ArcGis – Arcmap – Google Earth Pro.</i>	34
3.3.4 <i>Resultado Cartográfico</i>	35

3.4 Pasos metodológicos para la comparación de las Islas de Calor Urbana superficial (ICUs) con las Zonas Climáticas Locales (ZCL)	37
3.4.1 Actualización y corrección de ZCL:.....	37
3.4.2 Transformación imágenes ICUs Verano Diurna 2016-2020 a formato vectorial.....	37
3.4.3 Comparación de Zonas Climáticas Locales (ZCL) con las intensidades de ICUs	37
CAPÍTULO 4: RESULTADOS	39
4.1. Intensidades de las ICUs nocturnas	39
4.1.1 Invierno noche:	39
4.1.2 Otoño noche	40
4.1.3 Primavera Noche	42
4.1.4 Verano Noche	44
4.2 Intensidades de las CUs diurnas.....	46
4.2.1 Invierno Día	46
4.2.2 Otoño día	48
4.2.3 Primavera día	50
4.2.4 Verano día	51
4.3 Optimización de la resolución espacial de la Isla de calor superficial con un sensor de mayor resolución (Landsat 8) para la estación de mayor intensidad	54
4.3.1 Promedio 2016-2020 verano - diurno (Intensidad máxima).....	54
4.4 Comparación de las intensidades de Islas de Calor Urbana superficial (ICUs) con las Zonas Climáticas Locales (ZCL)	57
4.5 Configuración Espacial e intensidades de las ICUs según las Zonas Climáticas Locales	62
4.5.1 Series Construidas.....	63
4.5.2 Series naturales	70
CAPÍTULO 5: DISCUSION Y CONCLUSIONES	78
BIBLIOGRAFÍA.....	81
Anexos	86

Índice de Figuras

Figura 1: Área de estudio	6
Figura 2: Intensidad, máximo térmico y forma o configuración de la isla de calor	14
Figura 3: Perfil de una Isla de Calor Urbano	14
Figura 4: Evolución de la diferencia de temperatura entre el ambiente urbano y su entorno rural.	16
Figura 5: Clasificación de las Zonas Climáticas Locales (ZCL)	20
Figura 6: Ejemplo código de programación (GEE) para la estación de primavera.....	24
Figura 7: Procesos de proyección y remuestreo en Google Earth Engine.	25
Figura 8: Esquema metodológico para la obtención de temperaturas superficiales en el área de estudio, para el periodo 2002-2019	26
Figura 9: Código GEE de selección y proyección de SRTM.	27
Figura 10: Esquema metodológico para la Intensidad diurna y nocturna de las ICUs para cada estación (2002-2019) en las comunas de Concepción, Talcahuano y Hualpén.....	29
Figura 11: Código GEE para la selección y filtro de fecha para la imagen Landsat 8 en el área de estudio	31
Figura 12: Cálculo de TOA y conversión de temperatura de brillo	31
Figura 13: Código GEE para el cálculo de NDVI.	32
Figura 14: Código GEE para el cálculo de proporción vegetal, emisividad y temperatura superficial.	32
Figura 15: Esquema metodológico para la obtención de temperatura superficial diurna en el área de estudio, para el periodo 2016 - 2020.	33
Figura 16: Código GEE de selección y proyección de SRTM.	34
Figura 17: Esquema metodológico para la identificación de la intensidad de las ICUs diurnas de verano en el área de estudio, para el periodo 2016 - 2020.	36
Figura 18: Esquema metodológico para la comparación de las temperaturas interurbanas con las zonas climáticas locales.....	38
Figura 19: Promedio de intensidad ICUs Invierno-noche.....	40
Figura 20: Promedio de intensidad ICUs otoño-noche	42
Figura 21: Promedio de intensidad ICUs primavera-noche	44
Figura 22: Promedio de intensidad ICUs Verano-noche.	45
Figura 23: Promedio de intensidad ICUs Invierno-día.	48
Figura 24: Promedio de intensidad de ICUs Otoño-Día	49
Figura 25: Promedio de intensidad ICUs Primavera-día.	51
Figura 26: Promedio de intensidad ICUs Verano-día	52
Figura 27: Promedio de intensidad ICUs verano-diurna 2016-2020.....	57
Figura 28: Zonas Climáticas Locales (ZCL) actualizadas (2021) para las comunas de Concepción, Talcahuano y Hualpén.....	60
Figura 29: Gráfico de relación de las ICUs verano-diurna 2016-2020 con las Zonas Climáticas Locales.....	63
Figura 30: Iconografía de Perfil térmico de las ICUs verano-diurna 2016-2020 y su relación con las Zonas Climáticas Locales.	77

Figura 31: Perfil térmico de las ICUs verano-diurna 2016-2020 y su relación con las Zonas Climáticas Locales.	78
--	----

Índice de tablas

Tabla 1: Factores geográficos Yoshino (1975) según Stringer (1958)	11
Tabla 2: Rango de intensidades de ICUS	28
Tabla 3: Intensidades promedio ICUs nocturna para Talcahuano, Hualpén y Concepción (Periodo 2002-2019)	46
Tabla 4: Intensidades promedio ICUs diurnas para Talcahuano, Hualpén y Concepción (Periodo 2002-2019)	53
Tabla 5: Intensidades promedio ICUs diurnas para Talcahuano, Hualpén y Concepción. (Periodo 2016-2020)	54
Tabla 6: Extensión total (m2) de las series construidas y naturales para el año (2012)	58
Tabla 7: Área de las series de las Zonas Climáticas Locales para el año 2012.....	58
Tabla 8: Extensión total (m2) actualizada (2021) de las series construidas y naturales para el año (2012)	60
Tabla 9: Área de las series de las Zonas Climáticas Locales para el año 2020.....	61
Tabla 10: Tabla descriptiva de relación de las ICUs verano-diurna 2016-2020 con las series construidas Zonas Climáticas Locales (ZCL).....	63
Tabla 11: Tabla descriptiva de las series construidas sin valores atípicos.	63
Tabla 12: Tabla descriptiva de relación de las ICUs verano-diurna 2016-2020 con las series naturales de las Zonas Climáticas Locales (ZCL)	70
Tabla 13: Tabla descriptiva de las series naturales sin valores atípicos.....	70

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

1.1 Introducción

A lo largo de la historia han existido importantes fenómenos y procesos de cambio para la tierra, ya sean tanto en procesos físicos como en cuestiones humanas (Vargas, 2009). Dentro de estos, el proceso fundamental que transformó la tierra fue la revolución industrial, la cual tuvo inicio en Inglaterra en el S.XVIII y marcó las formas de extracción y utilización de recursos en la tierra (Landes, 1975). Si bien, estos procesos están marcados por una importante extracción de recursos naturales y degradación del ambiente (Cantú, 1992), también están acompañados de importantes avances en tecnología, lo cual se traduce en progresos en materias médicas o de salud (Schwab, K. (2016). Y es a partir de estos avances tales como la penicilina, y otros, que se ha permitido aumentar la calidad de los tratamientos médicos y, por ende, la esperanza de vida en el mundo (Litvak, 1990). Esto trajo consigo, un aumento de la población mundial y, por consecuencia, un aumento en el tamaño de las ciudades. Las personas necesitaban hogares donde vivir y espacios en los cuales trabajar, por lo cual, acompañado de una serie de procesos urbanos la ciudad comienza a crecer y expandirse (Rubio, 1997). La expansión de las ciudades fue hacia su periferia, obviamente generando importantes cambios en los usos de suelo de las ciudades, cambiando cubiertas vegetales por imponentes masas de cemento (Rojas,2015).

El crecimiento urbano implica una serie de transformaciones en el paisaje, por ejemplo, la intervención de espacios naturales, los cuales dan paso a nuevos espacios completamente antropizados, producto de la expansión de las ciudades, donde la presión del crecimiento de la población urbana se incrementa cada día más (Vilela & Moschella, 2017). Tal como se menciona anteriormente, este fenómeno de crecimiento urbano va acompañado de un proceso de crecimiento demográfico, pese a que según estudios de los estados modernos a fines del siglo XIX evidenciaban una disminución de la fecundidad en el mundo respecto a la fecundidad en siglos anteriores (Pérez, 2006). Esto haría suponer que debería disminuir la población mundial, sin embargo, la mortalidad se estaba reduciendo y tal como había una menor tasa de natalidad, a su vez, había una menor tasa de mortalidad, lo cual marca el inicio del proceso de envejecimiento de la población mundial (Cosío, 1992).

Así mismo, Latinoamérica se enmarca en un proceso similar al de los distintos países del mundo, la cual se sustenta en la misma base, principalmente el aumento de la esperanza de vida por cuestiones mencionadas anteriormente. Esto se evidencia, en la esperanza de vida para América Latina, la cual para el año 1890 bordeaba los 26 años (Arriaga, 1970). Así mismo, si se compara con el país de menor esperanza de vida en Latinoamérica para el 2018, que corresponde a Haití con una edad promedio de 63,9 años (BBC, 2018). A partir de esto, se puede evidenciar un importante aumento de la esperanza de vida en América Latina, lo que su vez generó la necesidad de expandir las ciudades para responder a la demanda de vivienda y servicios de la población. El aumento de población se vio expresado de mayor forma en las zonas urbanas de América Latina, el cual mostró

un crecimiento notable en el periodo 1925-1975 (Carrión, 2011). A esto se suma, que en América Latina se encontraba bajo el modelo económico del “crecimiento hacia adentro”, lo que llevó a un proceso de industrialización y una gran distribución rural-urbana, donde se evidenció un intenso crecimiento de las poblaciones suburbanas (Lattes, 1995). Para el año 1950, América Latina como promedio mostraba un nivel de urbanización del 41,6%, la cual tuvo un significativo aumento en tan solo 25 años, dado que para el año 1975 mostraba una urbanización promedio de 61,3 %, es decir, había tenido un aumento casi del 50 % en su área urbanizada (Lattes, 1995). A este importante crecimiento urbano, se suma que el crecimiento de las ciudades se dio de forma caótica y donde las reglas lógicas de crecimiento no fueron dictadas, tal como se refirió la organización de congresos internacionales de arquitectura que menciona: *“todo ha sido abandonado a la improvisación, que, si alguna vez favorece al individuo, agobia siempre a la colectividad”* (CIAM, 1957, p.87). Es decir, las ciudades Latinoamericanas han mostrado un importante proceso de urbanización, el cual no ha sido guiado para un idóneo desarrollo de la ciudad y con el paso de los años se manifestaron una serie de complicaciones.

El caso de Chile no es muy distinto a la realidad latinoamericana dado que para el año 1950 presentaba una urbanización promedio de 58,4 %, la cual, pese a ser mayor al promedio latinoamericano mostró la misma tendencia que la realidad regional. Para el año 1975, Chile mostraba un promedio de urbanización de 81,2 %, es decir, tuvo un aumento de casi el 40% en el área urbanizada en un periodo de 25 años (Lattes, 1995). Lo que se traduce, en que Chile presenta un escenario que no escapa del fenómeno continental de crecimiento urbano. En lo que respecta a la población en Chile, según la síntesis del CENSO 2002, la población total correspondía a 15.116.435 habitantes, donde el 86,6 % corresponde a población que habita en áreas urbanas mientras que en una cantidad menor se presenta el 13,4% de población que habita en zonas rurales (Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2003). Así mismo, según la síntesis del CENSO 2017, la población total correspondía a 17.574.003, donde el 87,8 % corresponde a población que habita áreas urbanas y al igual que en censos anteriores la población rural se presenta con un 12,2 % (INE, 2018). Si bien, no presenta una importante variación respecto a la población que habita en las ciudades, cabe destacar que el número de habitantes totales en el país había aumentado. Por lo tanto, ahora corresponde 87,8% pero de más de 17 millones de habitantes.

En lo que respecta a la Región del Bio-Bío, muestra un escenario similar al presentado a nivel país. Según, datos de la síntesis del CENSO 2002 la población total correspondía a 1.861.562 habitantes, donde el 82,1% correspondía a población que habita en zonas urbanas, mientras que el 17,9% corresponde a zonas rurales (INE, 2003). Así mismo, según la síntesis del CENSO 2017, la población total en la VIII región correspondía a 1.556.805 habitantes, donde el 88,6% correspondía a población que habita en zonas urbanas, mientras que el 11,4% corresponde a zonas rurales. Si bien, es posible observar que hubo una disminución en la población de la región del Biobío, se debió a la separación de la provincia de Ñuble, la cual era parte de la región del Bío-Bío (BCN, 2018). Cabe mencionar, que la nueva región del Ñuble cuenta con una población total de 480.609 habitantes, donde el 69,4% correspondía a población que habita en zonas urbanas, mientras que el 30,6% correspondía a zonas rurales (INE, 2018).

La provincia de Concepción corresponde a un área metropolitana de la región del Biobío y se compone de 12 comunas: Concepción, Coronel, Chiguayante, Hualpén, Hualqui, Lota, Penco, San Pedro de la Paz, Talcahuano, Florida y Tomé (Gobierno Regional (GORE), Sf). En lo que respecta a cuestiones demográficas para el año 2002 la entidad contaba con una población total de 912.889 habitantes, donde el 96,4% correspondía a población que habitaba en zonas urbanas, mientras que el 3,5% correspondía a zonas rurales (INE,2002). En la actualidad, cuenta con una población total de 995.658 habitantes, donde el 97 % corresponde a población que habita en zonas urbanas, mientras que el 3% corresponde a zonas rurales (INE, 2018).

En lo que respecta específicamente a la comuna de Concepción, para el año 2002 contaba con una población total de 216.061 habitantes, donde el 98,12% correspondía a población que habitaba en zonas urbanas, mientras que el 1,88% corresponde a zonas rurales (INE,2003). En la actualidad, cuenta con una población total de 223.574 habitantes, donde el 97,97% corresponde a población que habita en zonas urbanas, mientras que el 2,03% corresponde a zonas rurales (INE,2019). En el caso de Talcahuano, para el año 2002 contaba con una población total de 163.626 habitantes, donde el 99,5% correspondía a población que habitaba en zonas urbanas, mientras que 0,55% correspondía a zonas rurales (INE,2002). En la actualidad, cuenta con una población total de 151.749 habitantes, donde el 99,1% corresponde a población que habita en zonas urbanas, mientras que el 0,9% corresponde a zonas rurales (INE,2019). Por otra parte, la comuna de Hualpén, para el año 2006 contaba con una población total de 86.772, donde el 99,02% correspondía a población que habitaba en zonas urbanas, mientras que el 0,78% correspondía a zonas rurales. En la actualidad, cuenta con una población total de 91.773 habitantes, donde el 99,1% corresponde a población que habita en zonas urbanas, mientras que el 0,9% corresponde a zonas rurales (INE,2019).

A partir de lo expuesto anteriormente, se evidencia el aumento de la población, y más aún, el aumento porcentual de la cantidad de habitantes en las zonas urbanas. El crecimiento urbano implica una serie de cambios en el paisaje, desde entornos naturales no intervenidos por el hombre a paisajes completamente antropizados producto de la expansión de las ciudades, en donde la presión del crecimiento de la población urbana se incrementa cada día más (Vilela & Moschella, 2017). En Chile la situación no escapa de la regla y los principales elementos naturales dentro de la ciudad, son sometidos a importantes cambios para la expansión y construcción de ciudades (Romero; Irrarázaval; Opazo; Salgado & Smith 2010). Además, es fundamental mencionar que la urbanización genera una serie de cambios ambientales, donde destaca el aumento de la temperatura a escala local (Oke, 1987 a través de Romero; Irrarázaval; Opazo; Salgado & Smith 2010).

Dicho aumento de la temperatura se otorga respecto al contraste con áreas periféricas de los centros y se denomina como la formación de islas de calor urbano (Manley, 1958 a través de Ramos *et Al.*, 1990). Una de las razones para la conformación de este fenómeno se debe al aumento de la temperatura de los materiales que componen las ciudades, las temperaturas tienden a ser más altas en zonas donde hay mayor densidad de construcción (Voogt, 2008). A esto se suma, que este fenómeno genera una serie de impactos negativos en cuestiones de uso de energía, uso de agua y confort humano (Voogt, 2008). Respecto a este último mencionado, las Islas de Calor Urbano

generan un *“disconfort térmico y aumenta la ocurrencia de enfermedades, especialmente respiratorias, durante los días más calurosos de verano, debido a la formación de Ozono (O3)”* (Romero & Sarricolea, 2006). Entre las características que se destacan de las Islas de Calor Urbano Superficie (ICUs), pueden llegar a tener diferencias de temperatura entre 2° y 8°C (Oke, 1982). Tal como menciona Voogt, la ICUs se presenta tanto durante el día como la noche, por los materiales que absorben el calor, pero la ICUs diurna se presenta más intensa por la radiación solar afecta de mayor forma la temperatura de la superficie (Voogt, 2008).

Las comunas de Concepción, Talcahuano y Hualpén se adscriben a la regla general de las grandes urbes, tal como se mencionó anteriormente, cuentan con un porcentaje de población urbana sobre el 98% (INE,2018)

A partir de lo mencionado, en párrafos anteriores, es que, para la Provincia de Concepción, y más específicamente, en las comunas de Concepción, Talcahuano y Hualpén, surge la necesidad de Analizar temporalmente la temperatura superficial de las comunas de Talcahuano y Hualpén, provincia de Concepción perteneciente a la Octava Región del Biobío, mediante el estudio de las tendencias de sus Islas de calor nocturna, y su relación con las zonas climáticas locales.

1.2 Área de estudio

La provincia del Gran Concepción se encuentra emplazada en la llanura litoral al noroeste de la región del Biobío, la cual se encuentra compuesta por 12 comunas: Concepción, Coronel, Chiguayante, Hualpén, Hualqui, Lota, Penco, San Pedro de la Paz, Talcahuano, Florida y Tomé (GORE, Sf). En lo que respecta a cuestiones demográficas para el año 2002 la entidad contaba con una población total de 912.889 habitantes, donde el 96,4% correspondía a población que habitaba en zonas urbanas, mientras que el 3,5% correspondía a zonas rurales (INE,2002). En la actualidad, cuenta con una población total de 995.658 habitantes, donde el 97 % corresponde a población que habita en zonas urbanas, mientras que el 3% corresponde a zonas rurales (INE, 2018). Cabe destacar, que la Provincia de Concepción corresponde a una de las 3 grandes áreas metropolitanas de Chile (Hernández,2014)

Entre los rasgos geomorfológicos, destaca la presencia de la cordillera de Nahuelbuta, las planicies litorales, las cuales se encuentran altamente erosionadas al norte del río Biobío y muestran acantilados, la presencia de humedales (Rocuant-Andalén, Laguna Tres Pascualas, Laguna Redonda, entre otros).

En cuanto a su hidrografía, destacan dos importantes ríos, el Itata y el Biobío, este último se identifica como el más importante dentro de la región, el cual tiene su origen en las lagunas cordilleranas de la Araucanía (Laguna Gualletué e Icamá). El río Laja se presenta como su principal afluente, el cual tiene su origen en la Laguna del Laja, en la Región del Maule. Además, cabe destacar que el río Biobío posee la tercera cuenca más extensa del país, correspondiente a 24.000 km², solo superado por el río Loa y Baker.

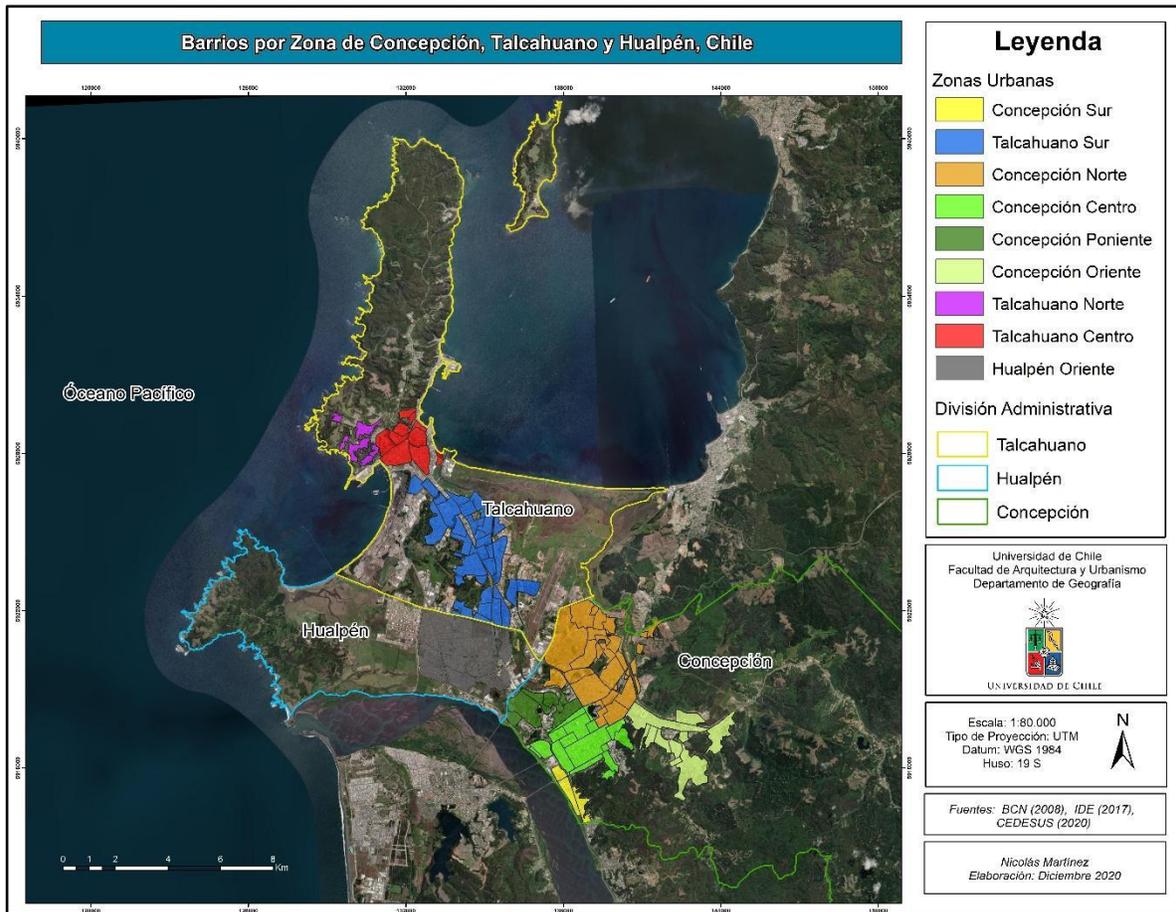
El clima de la región del Biobío posee un clima mediterráneo de lluvia invernal e influencia costera, con una temperatura media anual de 12 grados Celsius (Koppen, 2016). En lo que respecta a su

pluviosidad, muestra una fluctuación que va desde los 1200 a los 2000 mm (Biblioteca del Congreso Nacional (BCN), Sf)

Para el desarrollo de esta investigación serán consideradas las comunas de Concepción, Talcahuano y Hualpén. Lo que se debe principalmente, a la importante concentración de población (46,9% de la población total de la provincia). A lo que se suma, la conformación de un área urbana continua entre las tres ciudades (conurbación), las cuales presentan condiciones climáticas similares para la disminución de sesgos en el estudio. El área de estudio se presenta en *la Figura 1*.

A lo mencionado anteriormente, cabe destacar la función de los humedales, los cuales juegan un rol fundamental en el entramado de la ciudad y las áreas naturales. Dentro de las ciudades costeras, ha existido un crecimiento exponencial de sus ciudades y consigo, el aumento de la población. Lo que finalmente, se traduce en un aumento en la presión por el suelo de los espacios naturales (Martínez *et al.*, 2015). Lo que invita a comprender y relacionar la fragilidad de estos ecosistemas con la espacialización de las zonas climáticas locales y los distintos factores que se encuentran en un constante cambio. Así mismo, no tan solo debe entenderse a los humedales como un mero espacio inanimado de vida, sino que deben ser entendidos como territorios, que poseen una transformación en el tiempo y su concepción ha ido cambiado, tal como lo define Aliste y Musset, el pantano se convierte en humedal y los bichos en biodiversidad (Aliste y Musset, 2015)

Figura 1: Área de estudio



Fuente: Elaboración propia (2021)

1.3 Objetivos Generales y Específicos

1.3.1 Objetivo General

Analizar temporalmente la temperatura superficial de las comunas de Concepción, Talcahuano y Hualpén de la provincia de Concepción, perteneciente a la Región del Biobío, mediante el estudio de las tendencias de sus Islas de calor diurna y nocturna, y su relación con las zonas climáticas locales en el periodo 2002 – 2020.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ❖ Determinar los patrones espaciales e intensidades de la temperatura del aire en el área de interés, específicamente isla de calor diurna y nocturna para cada estación del año en el periodo
- ❖ Mejorar la resolución espacial de la Isla de calor superficial con un sensor de mayor resolución (Landsat 8)
- ❖ Comparar las temperaturas interurbanas con las zonas climáticas locales

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

Para comenzar es fundamental entregar un lineamiento de lo que se entenderá por los conceptos que se tratan dentro del marco de esta investigación. En una primera instancia, se realizará una exploración hacia el concepto de la climatología y su evolución con las dinámicas humanas, para luego comprender el concepto del clima y más específicamente aún sobre qué se entiende climatología urbana. Con el fin de poder abordar y ahondar sobre la definición y marcos metodológicos que definen las islas de calor urbanas.

2.1 Climatología

La climatología corresponde a una de las áreas investigadas dentro de las ramas de la geografía, esta ha sido definida por diferentes autores a lo largo de la historia. La cual no ha sufrido transformaciones respecto al objetivo de lo que estudia, pero ha tenido un importante desarrollo respecto a los fenómenos que interactúan para la definición de la disciplina. Así mismo, como la misma ha entendido al ser humano como un agente interno para los estudios climatológicos y no como un mero agente observador. Para Köppen, la climatología se entiende como “la ciencia de los climas, la que constituye una rama de la meteorología en su sentido más alto, que, como ella misma, se basa en la física experimental y en la geografía” (Köppen, 1948). La cual, según Köppen (1948) posee como componentes la radiación, calor, presión, viento y humedad. Si bien, en el sentido más estricto y explicativo lo definido por Wilhelm Köppen es correcto, pero no completamente suficiente para plantear la amplitud de la climatología. Es por esto, que se plantea ahondar en un acercamiento más técnico que sea capaz de abarcar su complejidad, para esto (Peña, 2010, p. 10) plantea que la climatología corresponde a “la ciencia que estudia el clima y sus variaciones en la atmósfera a lo largo del tiempo. Aunque utiliza los mismos parámetros que la meteorología, su objetivo es distinto, ya que no pretende hacer previsiones inmediatas, sino estudiar las características climáticas a largo plazo”. Aunque Peña (2010), ahonda en su carácter temporal y lo separa del concepto de la meteorología, no es capaz de mostrar su influencia y relación con las actividades humanas.

Por otra parte, se propone una acepción más cercana a la realidad de la climatología. Para Strahler, corresponde a “la Ciencia que estudia el intercambio energético entre la superficie terrestre y la atmósfera, la distribución de los climas y su relación con el ser humano.” (Strahler, 1992). Es a partir de lo planteado por Strahler que se invita a pensar a la climatología como una ciencia que posee importante relación con la cuestión humana y en parte importante también las condiciona en sus actividades. Para efecto, de buscar una idea más concreta que especifique y plantee el acercamiento de la climatología tanto como una ciencia descriptiva del intercambio energético entre la atmósfera y la tierra, además, entregue la relación de sus estudios con el desarrollo humano, es que se reafirma lo planteado por la Organización Meteorológica Mundial, plantea que esta ciencia se puede entender como “ el estudio del clima, sus variaciones y extremos y su influencia en varias actividades, sobre todo (aunque no exclusivamente) en los ámbitos de la salud, la seguridad y el bienestar humanos” (OMM, 2011, p.10). Entendiendo así, a la climatología como la ciencia que estudia el comportamiento del tiempo en un periodo de tiempo más prolongado (clima) y cómo

éste, juega un rol esencial en las actividades del planeta, esencialmente en el bienestar de sus habitantes.

2.2 Clima

A mediados del Siglo XIX, se establece que “el término clima designa todos los cambios en la atmósfera que significativamente afectan la humana psicología” (Humboldt, 1945 en Escardó, 1998). Para principios del Siglo XX, el clima es comprendido como un “conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto cualquiera de la superficie terrestre” (Hann, 1908). En el transcurso de 50 años, Hann genera una definición de carácter global para la ideal del clima y agrega el elemento sobre el estado medio de la atmósfera. Para Sorre, el clima puede ser simplificado a una serie de estados de la atmósfera sobre un lugar en su sucesión o ritmo habitual (Sorre, 1936). Es decir, habla del clima como un proceso de continuo cambio a un determinado ritmo. Si bien, la mayoría de estos autores se refieren de manera correcta a lo que se entiende por clima, no engloban su concepto dentro de un marco de tiempo. A partir de esto, Landsberg plantea que el clima corresponde al “conjunto de estados de la atmósfera en un lugar dado o en un área dada dentro de un especificado periodo de tiempo” (Landsberg, 1945). A esta idea de un tiempo determinado se suma la idea planteada por Köppen, quien plantea que “El clima se entiende como el estado medio y proceso ordinario del tiempo de un lugar determinado, el cual es constante” (Köppen, 1948). Entonces, desde Köppen y Landsberg, se habla de un concepto de clima en un tiempo determinado y que posee constancia en el tiempo. Según el vocabulario meteorológico internacional, el clima es la “Síntesis de las condiciones meteorológicas en un lugar determinado, caracterizada por estadísticas a largo plazo (valores medios, varianzas, probabilidades de valores extremos, etc.) de los elementos meteorológicos en dicho lugar” (OMM, 1992, p.113). Entonces, la Organización Mundial de la Meteorología agrega la concepción de síntesis estadísticas de los elementos meteorológicos, manteniendo la idea de constancia en el tiempo, pero sin especificar el valor de la constancia en el tiempo del clima. A esto, Poncelet añade la idea de fluctuación y vuelve a tomar la idea de relación con el ser humano y su entorno, define que: “Es el conjunto fluctuante de elementos físicos, químicos y biológicos que caracterizan la atmósfera en un lugar y su influencia sobre los seres vivos” (Poncelet, 1956 a través de Escardó, 1998). Continuando la idea de Poncelet, se plantea que el clima se debe comprender como “la síntesis del conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, en un área determinada, correspondiente a un periodo de tiempo lo suficientemente largo para que sea geográficamente representativa” (Tullot, 2002: 26). Se comienza a definir que dichas condiciones atmosféricas fluctuantes deben poseer un tiempo determinado mínimo para que sea representativo y pueda ser llamado clima.

A partir del desarrollo del concepto del clima y lo planteado por los distintos autores a lo largo de los años, que a modo de integración el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, plantea que:

“El clima se suele definir en sentido restringido como el estado promedio del tiempo y, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante períodos

que pueden abarcar desde meses hasta millares o millones de años. El período promedio habitual es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial. Las magnitudes son casi siempre variables de superficie (por ejemplo, temperatura, precipitación o viento). En un sentido más amplio, el clima es el estado del sistema climático en términos tanto clásicos como estadísticos” (Panel Intergubernamental para el cambio climático (IPCC por sus siglas en inglés), 2018, p.189)

Por lo tanto, la definición de la IPCC, es capaz de agrupar el concepto del clima como una cuestión de desarrollo físico de la atmósfera y estadística. A lo que se suma, la definición de 30 años promedio para poder decir que ciertas fluctuaciones de las condiciones atmosféricas corresponden a un clima. Además, cabe destacar que el clima posee diferentes escalas de estudio: macro clima, meso clima, clima local y microclima (Yoshino, 1975). Donde cada una de las escalas posee una caracterización climática según su extensión horizontal y vertical, clima representativo y la duración de sus fenómenos meteorológicos.

2.3 Clima local

El clima local corresponde al estudio de la climatología, bajo los mismos factores definidos para el estudio del clima, pero restringido a factores geográficos locales. Donde los factores locales más importantes a considerar para el estudio son el uso de suelo y el relieve (Sarricolea, 2017). Para Geiger, se refiere al clima de una localidad, el cual está claramente diferenciado de las zonas que lo rodean y está definido por cambios en la superficie a gran escala. Por ejemplo, un bosque y ciudad, la distribución de la tierra y agua y la topografía (Geiger, 1975 en Ribeiro, 1993).

Existe una serie de factores geográficos que determinan la conformación de un clima local, los cuales fueron definidos por Stringer en 1958 y agrupados por Yoshino (1975). Donde los factores son divididos por dos clasificaciones: Tipo de suelo y Materialidad del suelo, las cuales, asimismo, se dividen en 6 clasificaciones cada una (*Tabla 1*).

Entre las ramas de estudio de la climatología local destacan: Topo climatología, Climas de montaña, Agro climas y Terroir, Bioclimatología y Climatología urbana. Para efectos de esta investigación se ahondará en el concepto de la Climatología urbana.

Tabla 1: Factores geográficos Yoshino (1975) según Stringer (1958)

	Factores	Elementos a mapear
a) Tipo de superficie	(i) Roca	Tipo, color, conductividad térmica
	(ii) Tierra	Tipo, textura, color, contenido de aire y humedad, conductividad térmica
	(iii) Agua	Área de superficie, profundidad, movimientos
	(iv) Vegetación	Tipo, altura, densidad, color, cambio estacional.
	(v) Agrícolas	Tierra en barbecho; tipo, altura y color de los cultivos; cambio estacional
	(vi) Urbano e industrial	Material (hormigón, asfalto, maera, metal, etc.), color, conductividad térmicas; fuentes de calor, humedad, contaminación, etc.
b) Propiedades de la superficie	i) Forma geométrica	Plano, convexo, cóncavo, etc.
	ii) Suministro de energía	Latitud y altitud, grado de proyección del horizonte natural, aspecto, pendiente, exposición.
	iii) Exposición	Refugio proporcionado por características macro y micro orográficas; refugio proporcionado por edificios, árboles, etc.
	iv) Rugosidad topográfica	Áreas rurales: extensión de bosques, pastizales, herbáceos; ubicación de cortavientos y cobertura; grado de aglomeración o dispersión de edificios individuales
		Áreas urbanas: distribución y altura promedio de los diferentes tipos de zonas edificadas; orientación y exposición de calles, bloques y edificios individuales; densidad parques, jardines y otros espacios abiertos; perfiles verticales en toda la zona.
v) Albedo	Tipo de superficie	
vi) Capacidad de radiación	Tipo, y temperatura máxima de superficie; radiación de la tierra observada.	

Fuente: Elaboración propia a partir de Factores geográficos Yoshino (1975) según Stringer (1958).

2.4 Clima Urbano

Dentro de las áreas de la climatología esta ha sido una de las que ha despertado mayor desarrollo e interés en el último tiempo, debido al importante crecimiento de las ciudades y la necesidad de conocer el medio físico de las mismas y más aún, el clima urbano (Moreno,1990). El inicio de la climatología urbana moderna está marcado por los estudios desarrollados por Howard en 1818, los cuales se refieren a las observaciones climáticas de Londres, obra que se ve complementada por lo trabajado por Chandler 30 años después, generando así, una consolidación de los estudios climáticos urbanos. Además, de la consolidación de la disciplina a través del trabajo *Das Stadtklima* de Albert Kratzer publicado en 1936 (García, 2016). En su obra, Kratzer define que, el clima urbano puede ser abordado desde tres escalas: “ El clima de la ciudad como un todo unificado: su influencia en la formación vapor y de aerosoles, en los factores de la radiación, en la duración del día, en el viento, las precipitaciones, y el aumento de la temperatura con el tamaño de la ciudad; El clima de partes específicas de la ciudad: en el CBD, áreas residenciales, zona industrial, zonas de mayor o menor tráfico rodado, centro de la ciudad y la periferia; El clima de las calles específicas de acuerdo a su orientación con respecto al sol y al viento, de acuerdo a su anchura, la ubicación de plazas y parques. Cada calle tiene su propio clima, particularmente en cuanto a la temperatura” (Kratzer, 1936 citado en Sarricolea, 2017).

Para Guillen y Orellana, la ciudad corresponde al elemento transformador más importante, dado que genera cambios en la morfología del terreno y, además, cambia las condiciones climáticas y ambientales. A partir de esto, se genera un aire cargado de contaminantes y, por ende, la aparición

de un clima urbano con características, entre las que destaca un aumento de temperatura respecto a las zonas rurales aledañas. (Guillen-Orellana, 2016). Para García, el clima urbano, “es un clima regional modificado y su caracterización se realiza en términos de comparación con su entorno próximo. A escala regional la intensidad de estas modificaciones depende del tamaño y extensión de la ciudad; a escala intraurbana se observa un complejo entramado de microclimas diferenciados, debido al trazado y anchura de la red viaria, los usos de suelo, los materiales del asfalto y edificios, así como por las diferentes alturas y orientaciones” (García,2016: 22).

La consolidación de la disciplina se debió a 2 grandes investigaciones dentro del área (Sarricolea, 2017). La primera de ellas es el esquema de Lowry (Anexo x), donde define que, si 2 lugares con similares características topográficas y cercanía al mar presentan diferentes temperaturas, se deberá a la componente urbana de uno de los espacios (Lowry 1977 en Moreno, 1999). La segunda es el aporte de Oke, sobre el concepto de capa límite urbano, esta es definida como “aquella porción integrante de la capa límite planetaria, donde las características climáticas están modificadas por la presencia de la ciudad en superficie” (Oke, 1987 en Moreno, 1999: 90). Además, Oke hizo aportes sobre las áreas climáticas, factor de visión de cielo, entre otras (Sarricolea, 2017)

Entre los fenómenos estudiados dentro de la climatología urbana, destacan las Islas de Calor Urbano, generando así, un importante dinamismo y avance dentro de la disciplina dado que en el último tiempo se han empleado nuevas metodologías a través de sistemas de Teledetección y el procesamiento de información climatológica con Sistemas de Información Geográfica (García,2016).

2.5 Islas de calor

Corresponde a una de las áreas más estudiadas dentro del clima urbano (Moreno, 1997). El origen del término se le debe al climatólogo inglés, Gordon Manley en 1958 (Sepúlveda, 2016). Donde buscaba explicar la presencia de nieve y su derretimiento para la ciudad de Londres (Manley, 1958). A través de este estudio, “buscaba referirse a una de las modificaciones climáticas más claras que causa la urbanización, como es el incremento térmico en las ciudades en comparación con su periferia” (Moreno, 1997 en Sepúlveda, 2016). Es decir, la definición misma de las islas de calor.

Para Oke, “La modificación del régimen térmico de las ciudades, cuando se traduce en un aumento de las temperaturas en los centros urbanos por contraste con su entorno rural, se conoce con el nombre de “isla de calor urbana” (Oke, 1987 en Garau 2018: 393), para la determinación de esta define la ecuación de Temperatura aire urbano - Temperatura aire rural. Cabe destacar que, para poder validar dicho cálculo, las zonas a comparar deben presentar condiciones similares de distancia al mar y altitud (Garau, 2018). A esto García, agrega que, si bien caracterizar la isla de calor a partir de la diferencia de temperatura urbana-rural es el método más adecuado para caracterizar el clima urbano, este presenta dificultades para determinar lo que define el espacio urbano y el rural, haciendo hincapié en este fenómeno en grandes ciudades (García, 2012).

A lo definido por Oke de las Islas de calor (1987), Landsberg define de forma más explícita la acción antrópica en las Islas de calor, definiendo que estas corresponden a “el reflejo de la totalidad de los cambios micro climáticos producidos por la alteración del espacio urbano debido a la acción

antrópica” (Landsberg, 1981 en Moreno, 2016: 11). De forma muy similar, Capelli de Steffens, lo define como el “exceso de calor generado en un ambiente urbano por efecto de la acción antrópica” (Capelli de Steffens *et al.*, 1997). Complementando así el concepto, especificando la variable de la acción humana misma (Industria, movilización, etc.) dentro de la generación de las Islas de calor urbana (ICU). Además, agrega que dependiendo del tipo de cubierta que presenten las estructuras, ya sea cemento o vegetal, muestran una reacción diferente respecto a la insolación, generando así, una variación respecto a la ganancia y pérdida de calor según la cubierta y que la intensidad de estas varía con el tiempo y espacio (Capelli de Steffens *et al.*, 1986). Tal como se muestra, el concepto de la ICU, posee estrecha relación con las ciudades y así mismo, este relaciona con el concepto de población, Oke define que el mismo Oke (1973, 1987) establece una fórmula según la cual las diferencias térmicas máximas esperadas entre un entorno rural y uno urbano se dirimen en función de logaritmos del tamaño de la población (P), que se cuantifica por el número de habitantes. Para el caso de grupos de ciudades europeas de tipo mediterráneo (compactas), diferentes a los grupos de ciudades de tipo anglosajón, más fragmentadas y extensas, la fórmula es la siguiente: $ICU_{máx} = 2,01 \log P - 4,06$ $r^2 = 0,74$ Error = $\pm 0,9^{\circ}C$ (Garau, 2018). Para Voogt la ICU se define como “el nombre que se usa para describir el calor característico tanto de la atmósfera como de las superficies en las ciudades (o áreas urbanas) comparadas con sus entornos no urbanizados. La isla de calor es un ejemplo de modificación climática no intencional cuando la urbanización le cambia las características a la superficie y a la atmósfera de la tierra” (Voogt, 2008: 2). Comprendiendo así, el concepto desde dos concepciones, una isla de calor de la atmósfera y una isla de calor superficie, las cuales son transformadoras del lugar donde se localizan y la define como un fenómeno no intencional. Además, Voogt menciona que las Islas de calor urbanos se pueden dividir en 3:

- ***Isla de calor de la capa de dosel (ICCD)***: consiste en el calor que caracteriza la atmósfera de las ciudades (la capa de aire más cercana a la superficie), y como se relaciona con la zona rural más cercana, en el ámbito de la diferencia de temperatura presenta y las consecuencias del aumento de temperatura dentro de la ciudad.
- ***Isla de calor de la capa de perímetro urbano***: es la diferencia entre la temperatura de la capa que se encuentra en la parte superior de la UCL hasta la parte superior de la capa límite urbana UBL, y las elevaciones similares en la capa límite atmosférica de la región rural circundante.
- ***la Isla de calor superficie***: hace referencia a las diferencias de temperatura del aire entre la interfaz de la atmósfera exterior con los materiales sólidos que se presentan en la ciudad y la interfaz de aire-tierra rural equivalente.

De las cuales, las 2 primeras responden al aumento de temperatura de la atmósfera y la última al valor relativo de las superficies urbanas (Voogt, 2008).

Por otra parte, para Oke (2017) la isla de calor se puede clasificar bajo 4 criterios, respetando los 3 primeros definidos por Vooght (1,2,3) pero agrega la concepción de una isla de calor urbana subsuperficial. La cual se puede entender cómo se refiere a las diferencias entre los patrones de temperatura en el subsuelo de la ciudad, incluidos los suelos urbanos y la capa subterránea construida con aquellos en el campo rural circundante.

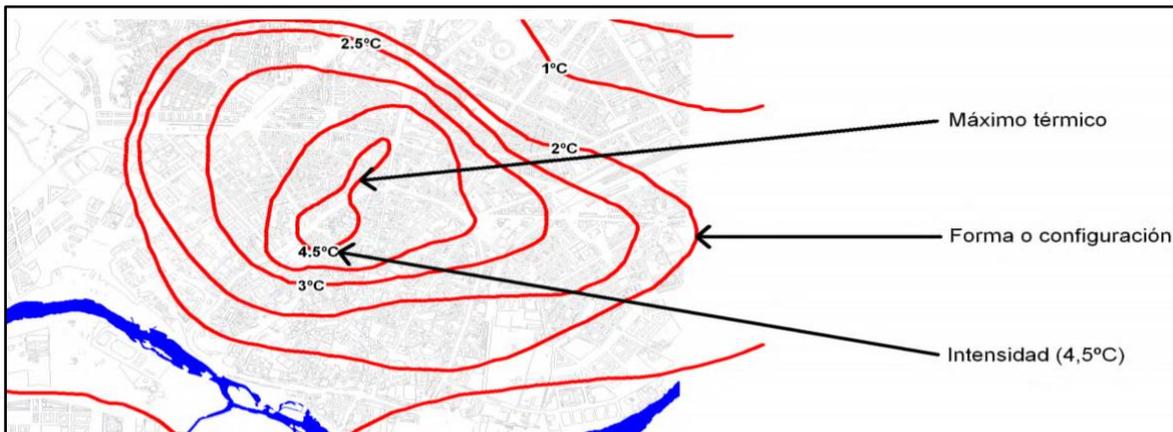
Respecto a lo que plantea (Cuadrats, 1993 y Gartland, 2008), las islas de calor pueden ser descritas en base a 3 parámetros esenciales, presentados en la *Figura 2*: intensidad, forma o configuración y máximo térmico, presentados a continuación por Gálvez (2013):

La intensidad de la isla de calor, la cual corresponde a la máxima diferencia de temperatura que alcanza el máximo térmico de la capa de dosel, con respecto al entorno rural más cercano.

La forma o configuración, la cual corresponde a la distribución espacial de las isothermas, las cuales suelen tomar un patrón espacial similar al de una isla que se ajusta a la forma de la ciudad, tal como en el ejemplo presentado en la *Figura 3*

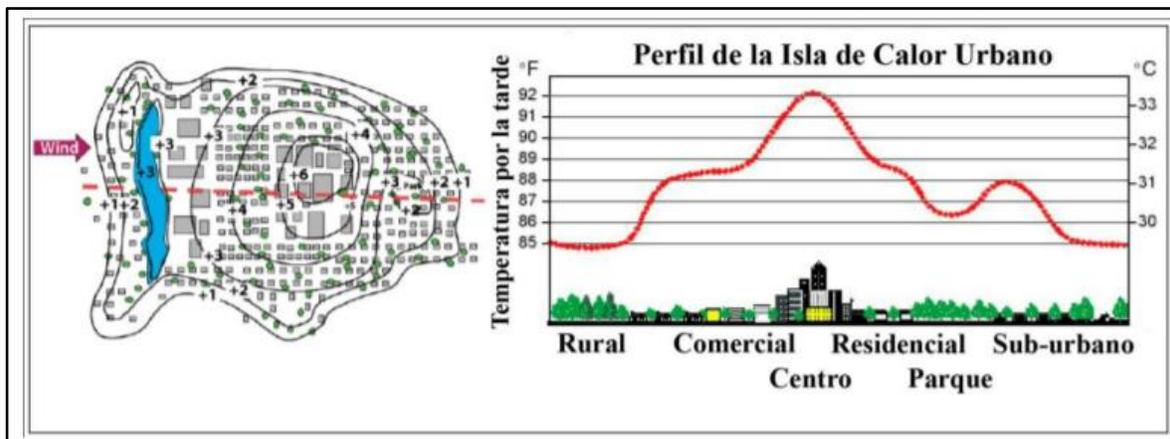
El máximo térmico corresponde a una representación espacial donde se alcanza la mayor intensidad de la isla de calor.

Figura 2: Intensidad, máximo térmico y forma o configuración de la isla de calor



Fuente: Gálvez, (2013).

Figura 3: Perfil de una Isla de Calor Urbano



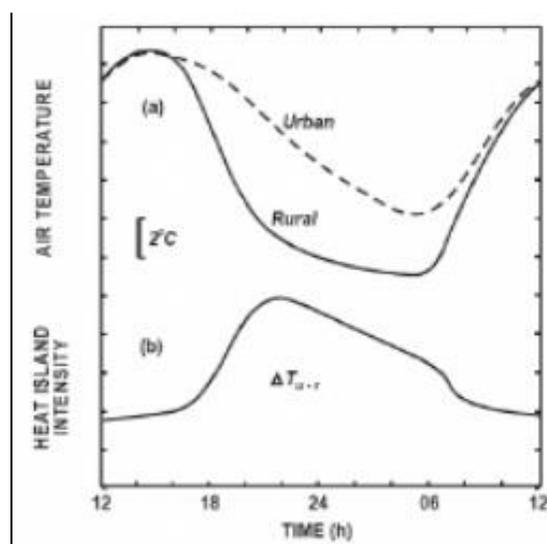
Fuente: EPA (2009) en Córdova (2011)

A lo anterior García agrega que el fenómeno de Isla de calor urbano, está definido por dos elementos dentro la ciudad, en una primera instancia, la denominada isla de calor atmosférica, la cual representa las diferencias en la temperatura del aire entre las zonas urbanas y las rurales; la segunda, denominada isla de calor superficial, indica las diferencias térmicas entre las superficies artificiales (pavimento, aceras, tejados de los edificios, etc.) y las naturales (vegetación, cultivos, roquedo) (García, 2012). Respecto a la Isla de calor superficial, Oke (1987) menciona que “La presencia y crecimiento de las islas de calor se relacionan directamente con la recepción y absorción de mayores cargas de radiación solar directa (Oke, 1987 citado en Romero *et al.*, 2008), y este a su vez depende del uso de suelo, tipo de suelo y su cobertura, entre otros aspectos, como lo es el calor específico de los materiales de construcción y la existencia de vegetación (Eliasson, 1999; Honjo *et al.*, 2003 Citado en Romero *et al.*, 2016). Dentro de los factores estudiados de las Islas de calor urbano, destacan su Intensidad, la cual corresponde a la máxima diferencia de temperatura entre un punto urbano y otro rural o periféricos geográficamente comparables, su configuración, lo que corresponde a su forma en superficie (isotermas) y la localización de los núcleos (Sarricolea, 2017).

En lo que respecta a las principales causas de producción de las ICU, Fernández menciona las siguientes: la concentración de energía al no ser está consumida por la evaporación por la escasa presencia de agua; la disminución de la pérdida de calor por irradiación nocturna, lo que se debe a la disminución del cielo visible (Morfología urbana); El aumento del calor específico de los materiales de construcción utilizados en la ciudad; El calor generado por las actividades humanas (Fernández, 1996). En forma de síntesis, Capelli de Steffens menciona que “La forma e intensidad de este fenómeno varía con el tiempo y el espacio, siendo un resultado de las características meteorológicas, geográficas y urbanas” (Capelli de Steffens *et al.*, 200: 50). Entendiendo así, al fenómeno de la ICU como el resultado de variables tanto naturales como antrópicas, por lo tanto, es un fenómeno que no es constante en el tiempo y puede ir variando. A lo anterior Voogt, complementa que los factores que intensifican las islas de calor. Entre ellos, se encuentra: el clima, localización geográfica, hora del día y estación, forma de la ciudad y su función (Voogt, 2008). En la actualidad las islas de calor son explicadas por las variaciones de energía, específicamente el balance de calor específico, el albedo y los flujos de radiación (calor sensible y latente). A lo que se suma, una producción interna de calor, a través de sistemas domésticos de calefacción, aparatos eléctricos, etc. Esto explicaría que la intensidad de las islas tiene estrecha relación con el tamaño y urbanización de la ciudad (Garau, 2018)

Debido al fenómeno de la ICU, en las ciudades, especialmente durante la noche, la temperatura es mayor respecto a las zonas rurales aledañas (*Figura 2*). (Acero y Arribálzaga, 2010). Para este fenómeno, Garau menciona que “La isla de Calor nocturna se empieza a producir poco después de la puesta del sol, cuando la temperatura debe haber empezado a disminuir, cosa que ocurre de manera natural en las áreas rurales y no ocurre en las áreas urbanas, que tienden a conservar en su interior, durante unas horas después de la puesta, el calor acumulado y generado por la misma actividad urbana” (Garau, 2018). Generándose así, la diferencia de temperatura entre las zonas urbanas y rurales, como se definió en apartados anteriores (*Figura 4*).

Figura 4: Evolución de la diferencia de temperatura entre el ambiente urbano y su entorno rural.



Fuente: Oke,(1987)

Para efectos de estudio, se hace fundamental ahondar en el concepto la Isla de calor urbana superficial (ICUs), la cual presenta condiciones diferentes a las mencionadas anteriormente. Esta consiste en una diferencia de temperatura terrestre y la zona rural cercana (Chakraborty & Lee, 2019). Actualmente, el avance tecnológico en los sensores remotos ha permitido un estudio más acabado de las ICUs (Voogt & Oke, 2003). Este fenómeno tiene estrecha relación con la radiación solar y como esta es capaz de calentar las diferentes superficies urbanas, y así mismo, como estas irradian calor hacia el aire, generando un aumento de su temperatura (Williams,2019). De hecho, en un estudio Correa et al., (2003) donde relaciona la materialidad con las ICUs, evidencia que en la totalidad de los casos el pavimento muestra una mayor temperatura superficial que el ambiente, lo que se traduce en un aumento de la temperatura del aire. Dichas condiciones estructurales de la ciudad y la construcción de la ICUs estarán condicionadas en forma importante por la capacidad calorífica y emisividad de los materiales que constituyen la ciudad (EPA,2012). En lo que respecta a su manifestación temporal, se pueden observar durante el día y noche, no obstante, por una mayor radiación se presentan más intensas durante el periodo diurno (EPA,2012). Así mismo, presenta variaciones según la estación del año, debido a la variación del balance de radiación que existe durante las estaciones del año (Gallegos, 2004).

Para la determinación de los puntos Urbanos y Rurales para el cálculo de las ICUs se plantean una serie de condicionantes que deberían ser incluidas para un estudio completos de la intensidad de ICUs. Estas fueron establecidas por Sarricolea y Romero (2010):

- **Topografía de la ciudad:** la cual se entiende como la distancia en vertical que muestra determinado terreno respecto a un punto determinado, dado que esta condición puede influenciar las intensidades de las ICUs.

- **Exposición de laderas:** la cual se entiende por la relación que presentan las distintas exposiciones con la insolación. Estas deben definirse por las 8 exposiciones de las rosas de los vientos (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO).
- **Distancia al mar y fuentes húmedas:** la cual se comprende como una variable que puede condicionar las intensidades ICUs por las masas de aires locales que se forman en el mar.
- **Humedad del suelo:** la cual consiste en identificar las cargas de agua que poseen las cubiertas terrestres.
- **Brillo del suelo:** Consiste en la reflectividad que muestra una imagen Landsat y los cambios de brillos que se desarrollan dentro de la misma.
- **NVDI:** Corresponde a una variable que muestra importante relación en una forma inversa con las intensidades de ICUs dado que a mayor presencia de NVDI, las intensidades de ICUs tienden a disminuir.
- **Densidad de población:** Corresponde a una variable que permite identificar las concentraciones de población dentro de la zona urbana y así poder entender si existe o no una relación entre la densidad de población y el aumento de las intensidades.

Por otra parte, cabe destacar que la ICUs en las ciudades litorales presenta como factor influyente la función termorreguladora del mar, es decir, la capacidad de almacenar calor por parte de las masas de agua. Donde Romero menciona *“El efecto térmico y dinámico de las masas de agua sobre los climas urbanos puede implicar una importante contribución al desarrollo y fortalecimiento de las islas de calor durante las noches, como también para su dispersión y aún transformación en islas de frío, especialmente a ciertas horas del día”* (Romero et. al, 2008). Entiendo así, a la capacidad termorreguladora del agua como un eje principal en el estudio de las ICUs en ciudades costeras.

2.6 Zonas climáticas locales

A partir de los estudios climáticos urbanos, y más específicamente aún, sobre los estudios de islas de calor. Surge la necesidad de diferenciar de forma más eficiente, la dicotomía urbano-rural desde un ámbito climático, enfocado a definir cómo la morfología urbana y sus diferentes usos de suelos generan una serie de efectos en el clima local de las ciudades.

A fines de la década de los 70, hubo dos importantes autores que comenzaron a generar un acercamiento más acertado al estudio del clima urbano local. El primero de ellos fue Lowry quien, en 1977, critica la metodología de los estudios macro escalares del clima urbano- rural, ya que no eran capaces de dimensionar el efecto de la ciudad en la conformación de su clima. Por lo cual, decide integrar el concepto de áreas preurbanas (Lowry, 1977 en Gómez, 2014). El segundo de ellos fue una investigación de Auer en 1978, en el área metropolitana de Saint Louis (Estados Unidos), donde propone la conformación de 12 clasificaciones de uso de suelo, las cuales estaban agrupadas por 4 macro grupos: la clase I, que corresponde a Industria pesada; la clase C, que corresponde a comercial; la clase R, que corresponde a residencial; la clase A, que corresponde a zonas naturales. Para la definición de dichos grupos se utilizaron los criterios de uso de suelo y vegetación, y como

dentro de estos usos de suelo, variaba el porcentaje de vegetación que contenían dentro de su área (Auer,1978).

En 1979 Yoshino, diferenció tres etapas en el desarrollo de la urbanización y las relaciona con los aspectos climáticos de Temperatura del aire, presión de vapor, humedad relativa, número de días de niebla, número de días sin precipitación y cantidad de polvo en suspensión (Yoshino 1979 en Capelli, Piccolo, & Campo de Ferreras, 2005). Continuando con la investigación de Yoshino, Yamashita, agrega que se deben incorporar nuevos criterios a los ya existentes (Forma y tamaño) para el estudio del clima urbano de una ciudad. Donde, propone incorporar la estructura misma de la ciudad y la funcionalidad que cumplen los usos de suelo. Dicha influencia de la ciudad dentro del clima urbano estaba definida bajo una escala de 1 a 4, según la influencia de la isla de calor y la actividad humana que se desarrollaba en cada área (Yamashita 1991 en Capelli et. Al, 2005). Lo cual, se presenta como un importante avance dentro de los estudios de clima urbano y un mayor acercamiento a la definición de una zona climática local, dado que agrega los criterios de funcionalidad del suelo, donde se comprende que existirá una variación de las condiciones climáticas urbanas según el uso de suelo que se le defina. Así mismo, existirá una variación confort o desconfort térmico para los habitantes de la ciudad, tal como lo define Escourrou, quién menciona que el porcentaje de humedad está estrechamente relacionado con la permeabilidad del suelo, lo cual, si es comparado con el criterio de temperatura, se podría formar una delimitante de dichos espacios (Escourrou,1991 en Capelli, Piccolo, & Campo de Ferreras, 2005).

En relación con el tema anterior, Ellefsen, planteó un sistema de clasificación a una escala de barrio, las “zonas de terreno urbano”, las cuales estaban definidas según 3 criterios: la morfología de las construcciones, la posición de las calles y los materiales utilizados en dichas construcciones (Ellefsen, 1991 en Hernández 2014). A esto se suma lo propuesto por Davenport, quien establece una nueva clasificación respecto de la rugosidad del paisaje urbano, basada en 2 principales criterios: la altura y la densidad de los objetos estudiados (Davenport, Grimmond, Oke y Wieringa, 2000 en Mondaca, 2019).

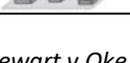
En el año 2004, Oke conforma el que sería su primer sistema de zonas de clasificación urbana (UCZ en sus siglas en inglés), lo cual surge como una necesidad de poder ubicar de forma más eficiente las estaciones meteorológicas dentro del área urbana. Dado que, por estudios anteriores, se tenía conocimiento de que distintos factores dentro de la morfología ciudad, generaba cambios en el clima a una escala local. Dentro de estos, destaca el esquema desarrollado por Ellefsen (1991), donde era posible graficar los efectos de la morfología urbana, rugosidad y la relación con los flujos de aire (Oke, 2004 en Organización Mundial de Meteorología (WMO por sus siglas en inglés), 2006). Si bien, Oke considera que las clasificaciones de Ellefsen son insuficientes para realizar una delimitación en zonas urbanas construidas, estas podían ser aplicadas de forma eficiente en áreas con amplias zonas de áreas verdes y es por esto por lo que decide incluir dentro de su investigación clasificaciones realizadas por el autor. A partir de lo mencionado anteriormente, el autor delimita el área urbana según 3 zonas: zona discreta, homogénea y en transición. Así mismo, menciona que no se debe buscar una precisión absoluta de estos sistemas, sino que su fin es la delimitación de las áreas urbanas que presentan condiciones similares y su relación con la transformación del clima,

además, de identificar potenciales áreas que puedan desarrollar un clima urbano (Oke, 2004 en WMO, 2006). Este se considera un importante punto de inflexión dentro de los estudios climáticos urbanos, ya que el fin de este estudio no está enfocado en conseguir una relación entre los distintos criterios que afectan dentro del clima urbano desde un ámbito meramente numérico, sino que busca espacializar estos valores con el fin de poder delimitar las distintas zonas climáticas que se desarrollan en el tejido urbano.

Continuando la misma línea de trabajo, Stewart y Oke (2012), crean una complementación para la metodología creada el año 2004 y obtienen como resultado una clasificación para la delimitación de zonas climáticas locales (UCZ), donde los autores mencionan que esta clasificación permitirá guiar los estudios de isla de calor y estandarizar las observaciones del clima urbano a nivel mundial (Oke *et al.*, 2012). Donde, dichas zonas, son definidas como zonas uniformes, en cuanto a su estructura, materialidad y actividades que en ellas albergan. Además, los autores destacan que su extensión puede abarcar desde cientos de metros a varios kilómetros en una escala horizontal (Oke *et al.*, 2012).

El resultado de la nueva metodología propuesta por Stewart y Oke, es una clasificación de zonas climáticas locales que consta con un universo de 17 clasificaciones, dónde 15 de ellas están definidas por la estructura de la superficie y su cubierta, y los otros dos restantes por los materiales de construcción y las emisiones humanas de calor (Oke *et al.*, 2012). Dicha clasificación, se divide en tipo de construcción que se enumeran del 1 al 10, según la característica presentada y tipos de las coberturas de suelos que van de la A hasta la G (*Figura 5*).

Figura 5: Clasificación de las Zonas Climáticas Locales (ZCL)

SERIES CONSTRUIDAS		SERIES NATURALES	
ZCL-1 Alta densidad de gran altura		ZCL-A Cobertura arbórea compacta	
ZCL-2 Alta densidad de media altura		ZCL-B Cobertura arbórea dispersa	
ZCL-3 Alta densidad de baja altura		ZCL-C Matorral o arbusto	
ZCL-4 Baja densidad de gran altura		ZCL-D Cobertura vegetal baja	
ZCL-5 Baja densidad de media altura		ZCL-E Suelo rocoso o pavimentado	
ZCL-6 Baja densidad de baja altura		ZCL-F Suelo desnudo o arena	
ZCL-7 Peso ligero de baja altura		ZCL-G Cuerpos de agua	
ZCL-8 Extensivo de baja altura			
ZCL-9 Disperso de baja altura			
ZCL-10 Industria			

Fuente: Stewart y Oke (2012) en Mondaca, (2019).

Tal como definen los autores Oke y Stewart, la clasificación Zonas Climáticas Locales (ZCL) (2012), guía y guiará los estudios sobre islas de calor, permitiendo comparar los resultados obtenidos a un sistema estandarizado a nivel mundial, es decir, entrega la posibilidad de hablar un mismo idioma dentro de los estudios de climatología urbana local o incluso aún en estudios en escala microlocal.

Donde cada una de las ZCL presentadas en la Figura 5 poseen distintas características, las cuales serán abordadas a continuación según su serie de clasificación.

2.6.1 Series Construidas:

- **Alta densidad de gran altura (ZCL 1):** Corresponde a zonas de edificación densa con más de 10 pisos. La cual presenta pocos o no presenta árboles. La cubierta se presenta mayormente pavimentada. En lo que respecta a los materiales de construcción predomina el concreto, hierro, roca y vidrio. Cabe destacar que estas áreas también son denominadas como ZCL B1.
- **Alta densidad de media altura (ZCL 2):** Corresponde a zonas de edificación densa de media altura (3 a 9 pisos). La cual presenta pocos o no presenta árboles. La cubierta se presenta mayormente pavimentada. En lo que respecta a los materiales de construcción predomina el concreto, ladrillos, roca y cerámica. Cabe destacar que estas áreas también son denominadas como ZCL B2.
- **Alta densidad de baja altura (ZCL 3):** Corresponde a zonas de edificación densa de baja altura (1 a 3 pisos). La cual presenta pocos o no presenta árboles. La cubierta se presenta mayormente pavimentada. En lo que respecta a los materiales de construcción predomina el concreto, ladrillos, roca y cerámica. Cabe destacar que estas áreas también son denominadas como ZCL B3.
- **Baja densidad de gran altura (ZCL 4):** Edificios de más de 10 pisos que se encuentran separados (baja densidad). En la que abundan las cubiertas permeables (plantas bajas y árboles dispersos). En lo que respecta a los materiales de construcción predomina el concreto, hierro, roca y vidrio. Cabe destacar que estas áreas también son denominadas como ZCL B4.
- **Baja densidad de media altura (ZCL 5):** Corresponde a zonas de edificación de baja densidad de media altura (3 a 9 pisos). En la que abundan las cubiertas permeables (plantas bajas y árboles dispersos). En lo que respecta a los materiales de construcción predomina el concreto, hierro, roca y vidrio. Cabe destacar que estas áreas también son denominadas como ZCL B5.
- **Abierto de baja altura (ZCL 6):** Corresponde a zonas de edificación de baja densidad de media altura (1 a 3 pisos). En la que abundan las cubiertas permeables (plantas bajas y árboles dispersos). En lo que respecta a los materiales de construcción predomina la madera, concreto, ladrillos, roca y cerámica. Cabe destacar que estas áreas también son denominadas como ZCL B6.
- **Peso ligero de baja altura o construcciones bajas (ZCL 7):** Corresponde a zonas de edificación densas de 1 piso. La cual presenta pocos o no presenta árboles. La cubierta se presenta mayormente por tierra compactada. En lo que respecta a los materiales de construcción livianos, principalmente madera, metal corrugado y paja. Cabe destacar que estas áreas también son denominadas como ZCL B7
- **Extensivo de baja altura (ZCL 8):** Corresponde a zonas de edificación baja de baja densidad (1 a 3 pisos). La cual presenta pocos o no presenta árboles. La cubierta se presenta mayormente pavimentada. En lo que respecta a los materiales de construcción predomina el hierro, concreto, roca y metal. Cabe destacar que estas áreas también son denominadas como ZCL B8.

- **Disperso de baja altura (ZCL 9):** Corresponde a zonas de edificación pequeñas o medianas dispersas en áreas naturales. La cual presenta abundancia de zonas permeables (plantas bajas y árboles dispersos). En lo que respecta a los materiales de construcción no presenta predominancia de ningún material. Cabe destacar que estas áreas también son denominadas como ZCL B9.
- **Área industrial (ZCL 10):** Corresponde a zonas de edificación industrial de baja y media altura (torres, estanques y chimeneas). La cual presenta pocos o no presenta árboles. La cubierta puede ser pavimentada o tierra compacta. En lo que respecta a los materiales de construcción predomina el metal, hierro y concreto. Cabe destacar que estas áreas también son denominadas como ZCL B10.

2.6.2 Series naturales:

- **Cobertura arbórea compacta (ZCL A):** Corresponde a una zona densamente arbolada por especies perennes o caducifolias. La cobertura terrestre es principalmente permeable (plantas bajas). Corresponde en general a terrenos de bosques naturales, parques urbanos o actividad forestal. Cabe destacar que estas áreas también son denominadas como ZCL N1.
- **Cobertura arbórea dispersa (ZCL B):** Corresponde a una zona de arboleado disperso de especies perennes o caducifolias. La cobertura terrestre es principalmente permeable (plantas bajas). Corresponde en general a terrenos de bosques naturales, parques urbanos o actividad forestal. Cabe destacar que estas áreas también son denominadas como ZCL N2.
- **Matorral o arbusto (ZCL C):** Corresponde a una zona de arbustos, matas y arboles leñosos bajos y dispersos. La cobertura terrestre es principalmente permeable (suelo desnudo o arenas). Corresponde en general a terrenos de matorrales o agricultura. Cabe destacar que estas áreas también son denominadas como ZCL N3.
- **Cobertura vegetal baja (ZCL D):** Corresponde a una zona de cultivos, plantas bajas y/o césped. La cual presenta pocos o no presenta árboles. Corresponde en general a terrenos de praderas, a parques urbanos y actividad agrícola. Cabe destacar que estas áreas también son denominadas como ZCL N4.
- **Suelo Rocoso o pavimento (ZCL E):** Corresponde a un paisaje sin rasgos distintivos de roca o pavimentado. La cual presenta pocos o no presenta árboles. Corresponde en general a zonas rocosas o estacionamientos
- **Suelo desnudo o arena (ZCL F):** Corresponde a un sin rasgos distintivos. La cual presenta pocos o no presenta árboles. Corresponde en general a zonas de desierto o agrícola post cultivo. Cabe destacar que estas áreas también son denominadas como ZCL N5.
- **Cuerpos de agua (ZCL G):** Corresponde a grandes cuerpos de agua libres como lagos o mares, o pequeñas áreas como ríos, reservorios y lagunas.

CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

3.1 Recopilación de antecedentes locales

A través de la revisión bibliográfica se definieron los conceptos atingentes para esta investigación y el marco por el cual serían comprendidos para el desarrollo y análisis de los resultados de las ICUs, tanto para MODIS como Landsat 8. Además de otorgar las bases para la identificación de las zonas climáticas locales en el área de interés.

Se realizó una revisión bibliográfica del área de estudio, que permitió conocer y reconocer las comunas de Concepción, Hualpén y Talcahuano, y se examinó su estado actual a través de investigaciones y artículos científicos, como también de artículos de prensa que permitieron conocer información pertinente sobre sus componentes geográficas (demografía, clima, etc.), además de la infraestructura de datos geoespaciales en formato *shapefile (.shp)* de la Provincia de Concepción que permitió extraer las comunas de interés ya mencionadas anteriormente.

3.2 Pasos metodológicos para determinar los patrones espaciales e intensidades las ICUs diurnas y nocturnas

Para el desarrollo se realizó la extracción de imágenes satélites de Google Earth Engine, para luego, ser procesado a través del programa ArcGis y su visualizador Arcmap.

3.2.1 Selección de imágenes satelitales MODIS para el periodo (2002 - 2019).

Para la obtención de imágenes satelitales se utilizó la plataforma de geomática basada en la nube que permite visualizar y analizar imágenes de satélite de nuestro planeta, Google Earth Engine (GEE). Las imágenes satelitales utilizadas corresponden al sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), específicamente de los satélites de **Terra** (*MODIS/006/MOD11A1*) (EOS a.m.) y **Aqua** (*MODIS/006/MYD11A1*) (EOS p.m.). Entre sus características destacan: una resolución de 1km x 1km, su cadencia es de un día y su objetivo es describir la temperatura superficial diurna y nocturna en grados Kelvin.

3.2.2 Programación de códigos para la extracción de imágenes satelitales de temperatura.

En una primera instancia se realizó la definición del área de interés en la plataforma GEE. Esta área corresponde a un polígono que abarca las comunas de Concepción, Hualpén y Talcahuano. Delimitando esta área se seleccionaron los satélites a utilizar con sus respectivas bandas, ya sea para las temperaturas superficiales nocturnas (de código "*LST_NIGHT_1km*") y las temperaturas superficiales diurnas (de código "*LST_DAY_1km*"). Posteriormente se realizó el proceso de unión de ambas colecciones (Terra y Aqua) con el fin de obtener un mayor registro y mejor determinación de las temperaturas superficiales. Este proceso fue realizado con la herramienta "*merge*".

Estos resultados fueron filtrados según la fecha de interés del presente estudio, donde se selecciona desde el año 2002 a 2019, y considerando además las estaciones de cada año, logrando así extraer un resultado promedio para cada estación (invierno, otoño, primavera y verano). A continuación, se presenta un ejemplo del código de programación utilizado en la plataforma Google Earth Engine (*Figura 6*), aplicado para el caso de la estación de primavera. Este contempla los pasos de carga de satélites, filtro de fecha y promedio de estación (de código “LST_mean”).

Figura 6: Ejemplo código de programación (GEE) para la estación de primavera.

```

1 // Imports (1 entry)
2 var Conca: Polygon, 4 vertices
3 // Cargar MODIS LST Night Terra y Aqua.
4 var TerraMODIS = ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD11A1').select('LST_Night_1km');
5 var AquaMODIS = ee.ImageCollection('MODIS/006/HYD11A1').select('LST_Night_1km');
6 var merged = ee.ImageCollection(TerraMODIS.merge(AquaMODIS));
7 // Definición de fechas según estación del año
8 var primavera1 = merged.filterDate('2002-06-01', '2002-08-30');
9 var primavera2 = merged.filterDate('2003-06-01', '2003-08-30');
10 var primavera3 = merged.filterDate('2004-06-01', '2004-08-30');
11 var primavera4 = merged.filterDate('2005-06-01', '2005-08-30');
12 var primavera5 = merged.filterDate('2006-06-01', '2006-08-30');
13 var primavera6 = merged.filterDate('2007-06-01', '2007-08-30');
14 var primavera7 = merged.filterDate('2008-06-01', '2008-08-30');
15 var primavera8 = merged.filterDate('2009-06-01', '2009-08-30');
16 var primavera9 = merged.filterDate('2010-06-01', '2010-08-30');
17 var primavera10 = merged.filterDate('2011-06-01', '2011-08-30');
18 var primavera11 = merged.filterDate('2012-06-01', '2012-08-30');
19 var primavera12 = merged.filterDate('2013-06-01', '2013-08-30');
20 var primavera13 = merged.filterDate('2014-06-01', '2014-08-30');
21 var primavera14 = merged.filterDate('2015-06-01', '2015-08-30');
22 var primavera15 = merged.filterDate('2016-06-01', '2016-08-30');
23 var primavera16 = merged.filterDate('2017-06-01', '2017-08-30');
24 var primavera17 = merged.filterDate('2018-06-01', '2018-08-30');
25 var primavera18 = merged.filterDate('2019-06-01', '2019-08-30');
26
27
28 //Promedio LST Night según estación del año
29 var LST_mean = (primavera1, primavera2, primavera3, primavera4, primavera5, primavera6, primavera7, primavera8, primavera9,
30 primavera10, primavera11, primavera12, primavera13, primavera14, primavera15, primavera16, primavera17, primavera18).mean();
31 print(LST_mean);
32

```

Fuente: Elaboración propia (2021)

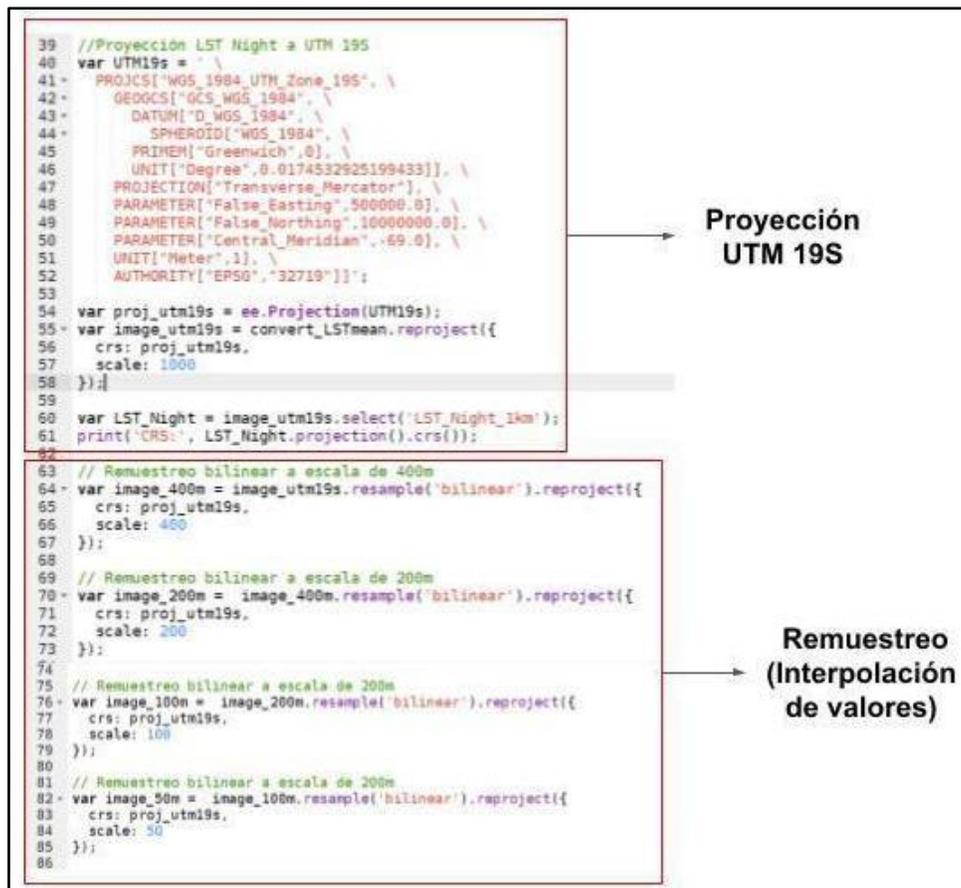
Los resultados recopilados hasta este punto fueron entregados en grados Kelvin. Por este motivo, se necesitó realizar una conversión de escalas por medio de la expresión matemática que permite transformar de grados Kelvin a Celsius:

$$^{\circ}\text{C} = \text{K}(0,02) - 273.15$$

Las bandas utilizadas presentan un factor de escala de 0,02, es por ello que la variable de temperaturas ya sea para el promedio de estación o anual (variable que contiene la banda LST), se debió multiplicar por este factor para ajustar los datos.

Obtenida la imagen en la escala Celsius, se realizó una proyección para las imágenes satelitales en coordenadas UTM de la zona 19 sur (19S). Junto con esto, se realizó un *remuestreo o resample bilineal*, el cual consiste en una interpolación de valores de las celdas más cercanas, logrando así suavizar los valores de píxeles de 1 km. En primera instancia estos valores se suavizaron a una escala de 400x400 m., y, posteriormente, se llevaron a una escala de 200x200 m. Estos pasos quedan expuestos en la *Figura 7*:

Figura 7: Procesos de proyección y remuestreo en Google Earth Engine.

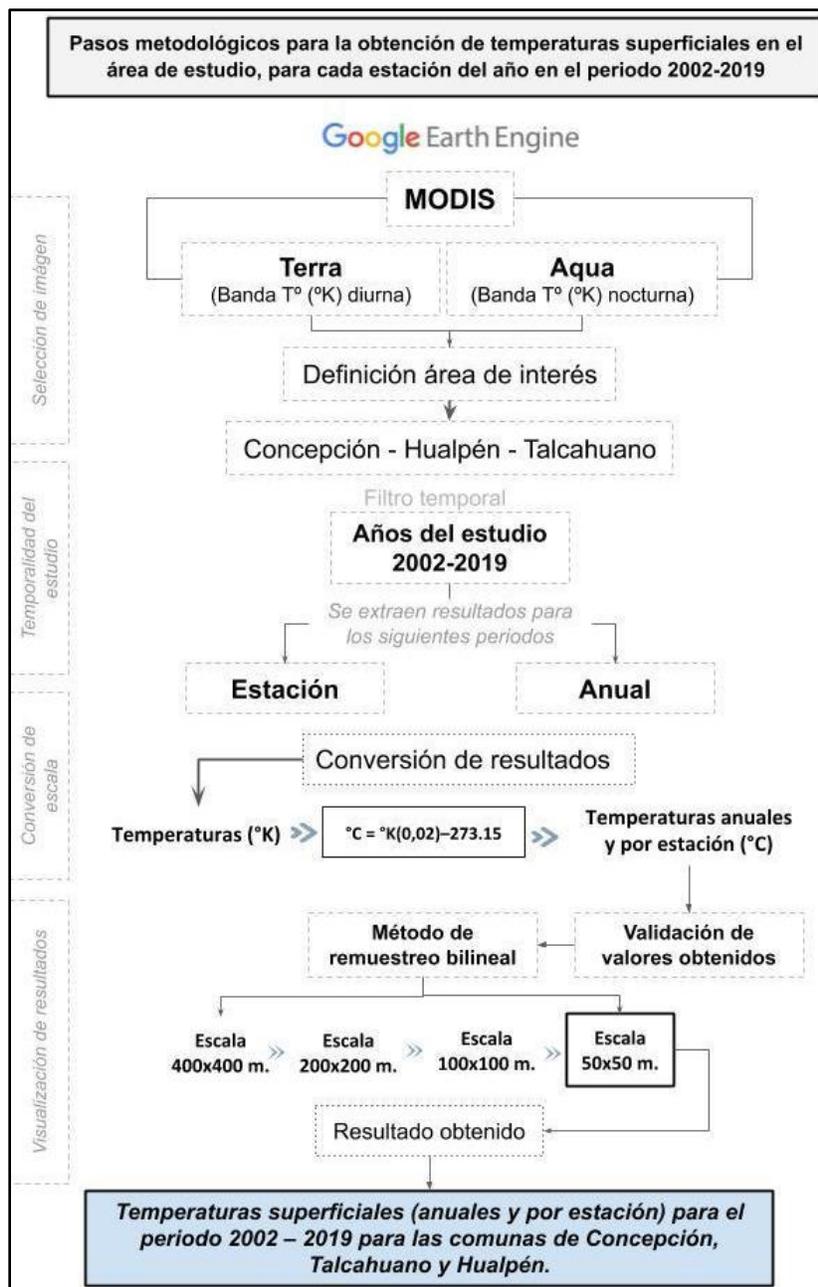


Fuente: Elaboración propia (2021)

Finalmente, se exportaron estos resultados a una carpeta *Drive* para su posterior descarga. Los archivos resultantes corresponden a las temperaturas superficiales para el periodo 2002 – 2019 para el área de estudio que contempla las comunas de Concepción, Talcahuano y Hualpén, con un archivo de salir en formato *Raster*.

El resumen de los pasos metodológicos aplicados en esta sección queda expuesto en la *Figura 8*.

Figura 8: Esquema metodológico para la obtención de temperaturas superficiales en el área de estudio, para el periodo 2002-2019



Fuente: Elaboración propia (2021).

3.2.3 Tratamiento de las imágenes satelitales en las plataformas ArcGis para el cálculo de ICUs.

Los productos resultantes del paso anterior corresponden a información de entrada para determinar los patrones espaciales y las intensidades de las ICUs, tanto diurnas como nocturnas. El primer paso de este proceso corresponde a la evaluación de variables geográficas presentes en el

área de estudio, las cuales deben cumplirse tanto en una determinada zona urbana como en una rural. Las variables geográficas que considerar corresponden a la altitud, exposición y distancia a cuerpos de agua.

Para realizar una evaluación de las altitudes presentes en el área de estudio, se utilizó un Modelo de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés) el cual corresponde a un SRTM con una resolución de escala de 30m., extraído de la plataforma GEE. El código GEE utilizado en este proceso se presenta en la *Figura 9*.

Figura 9: Código GEE de selección y proyección de SRTM.

```
1
2 //Imagen SRTM
3 var dataset = ee.Image("USGS/SRTMGL1_003")
4 var elevation = dataset.select('elevation');
5
6 //Proyección DEM a UTM 19S
7 var UTM19s = \
8- PROJCS["WGS_1984_UTM_Zone_19S", \
9- GEOGCS["GCS_WGS_1984", \
10- DATUM["D_WGS_1984", \
11- SPHEROID["WGS_1984", \
12- PRIMEM["Greenwich",0], \
13- UNIT["Degree",0.0174532925199433]], \
14- PROJECTION["Transverse_Mercator"], \
15- PARAMETER["False_Easting",500000.0], \
16- PARAMETER["False_Northing",1000000.0], \
17- PARAMETER["Central_Meridian",-69.0], \
18- UNIT["Meter",1], \
19- AUTHORITY["EPSG","32719"]];
```

Selección de Modelo de Elevación Digital a utilizar (SRTM)

Proyección a coordenadas UTM (19S)

Fuente: Elaboración propia (2021).

Al igual que en el caso anterior, se utilizó el DEM SRTM para conocer la exposición presente en el área de interés, este procedimiento fue realizado a través de Arcmap y fue ejecutado con la herramienta “Aspect”, lo cual entregó las diferentes exposiciones que presentaba el área de estudio. Finalmente, para delimitar la zona de interés, a ambos resultados de altitud y exposición se les aplicó, a través de Arcmap, un proceso de “Extract By Mask”, lo que permitió conocer la altitud y exposición solo de la zona delimitada para la posterior selección de las áreas rurales y urbanas. Dichos resultados están expresados en un formato raster (Ver Anexo 1 y 2)

Para la selección del área urbana y rural, se realizó un análisis multicriterio a través de Arcmap, el cual evaluaba la altitud y exposición, para así generar áreas de 2Kmx2Km que cumplieran las condiciones definidas por Sarricolea y Romero (2010), **presentadas en el ítem N°X**. Dicho resultado no arrojó áreas que cumplieran con las condiciones esperadas, por lo tanto, se definieron las áreas en base a una clasificación visual, identificando así un área de 500 m x 500 m., para el sector urbano y rural. Posteriormente, se sumó el criterio de distancia a cuerpos de agua (distancia de hasta 800 m.), el cual fue medido a través de la herramienta “Measure”. Cabe destacar, que para la selección de dichas áreas la geografía compleja, no permitieron generar zonas homogéneas en cuanto a sus características geográficas. Si bien las áreas seleccionadas presentan características de altitud y exposición similares, la altitud no varía más de 30 metros y ambos presentan la misma exposición. En el caso de la distancia a los cuerpos de agua no fue posible cumplirlo dado que el área de estudio corresponde a un sector costero y al estimar todos los criterios, no era posible determinar ningún

área para el cálculo de la ICUs. Por lo cual, se ajustó la distancia establecida anteriormente de 800 m. por una distancia de 2000 m. para la determinación del área urbana y rural (Anexo 3)

Obtenida tanto el área urbana como rural, se aplicó la fórmula:

$$\text{ICU} = \text{Temperatura (}^{\circ}\text{C) zona urbana} - \text{Temperatura (}^{\circ}\text{C) de zonas rurales aledañas}$$

Luego, mediante las opciones de “3D Analyst” de Arcmap, se realiza esta operación utilizando la herramienta “Minus”, donde a las temperaturas superficiales obtenidas para el área de estudio en las fechas indicadas, se realiza una resta de la temperatura para cada punto de la imagen raster. De esta forma se obtiene la intensidad de la isla de calor para cada año y sus respectivas estaciones en el periodo 2002-2019.

Finalmente, para identificar las intensidades en el área de estudio, se reclasificaron los valores obtenidos según las categorías propuestas por Fernández (1996) y adaptadas por Williams (2019), la cual se basa en las diferencias de temperaturas registradas. De esta forma, se logra obtener los valores dentro de siete categorías, presentadas en la Tabla 2.

Tabla 2: Rango de intensidades de ICUS

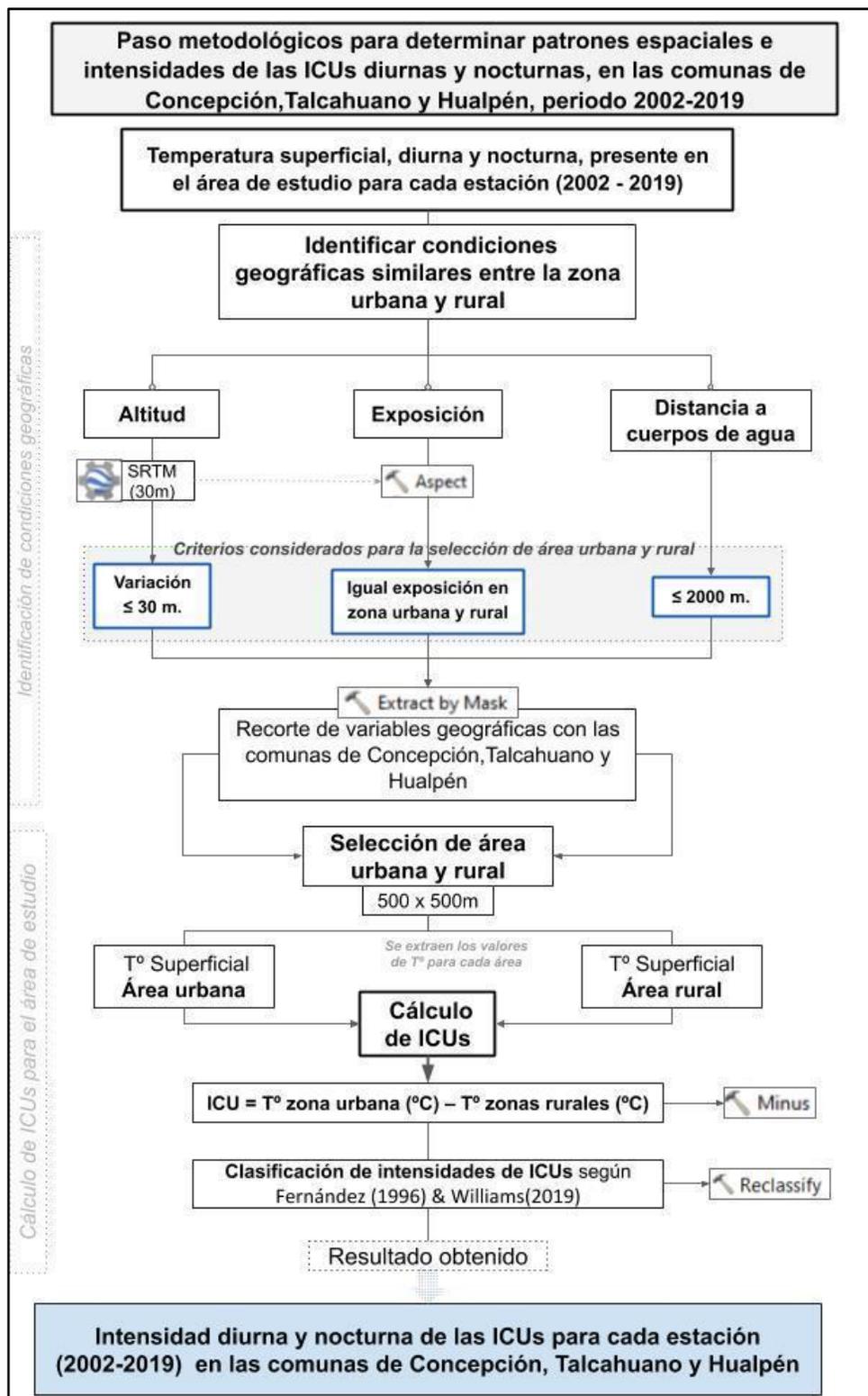
Rango intensidades ICUS	Categoría
0° - 1°	Muy débil
1° - 2°	Débil
2° - 3°	Moderadamente débil
3° - 4°	Moderada
4° - 5°	Moderadamente fuerte
5° - 6°	Fuerte
6° y más	Muy Fuerte

Fuente: Fernández (1996), adaptada por Williams (2019)

Esta reclasificación fue realizada a través de la herramienta “Reclassify”, en base a estas categorías. Finalmente, se obtuvieron las imágenes de las intensidades máximas de las ICU diurnas y nocturnas para el periodo 2002-2019 en las comunas Concepción, Hualpén y Talcahuano.

El resumen de los pasos metodológicos aplicados en esta sección queda expuesto en la siguiente Figura 10.

Figura 10: Esquema metodológico para la Intensidad diurna y nocturna de las ICUs para cada estación (2002-2019) en las comunas de Concepción, Talcahuano y Hualpén.



Fuente: Elaboración propia (2021)

3.2.4 Resultado Cartográfico.

Con el fin de espacializar la información y sistematizarla de forma ordenada para su posterior análisis, se realizaron cartografías de las intensidades máximas de las ICU diurna para cada año y estación del periodo 2002-2019. Para ello fue necesario complementar la información obtenida de las imágenes satelitales con archivos en formato *shapefile* que permitieran dar referencia a dicha información. Estos archivos son de la página de Infraestructura de Datos espaciales (IDE) correspondiente al año 2017, la Biblioteca del Congreso (2018) y CEDEUS (2020), tales como la red vial, red hidrográfica, zona urbana consolidada y los barrios, entre otros. De esta forma se presentan gráficamente los resultados en el área de estudio.

3.3 Paso metodológicos para optimizar la resolución espacial de la Isla de calor con un sensor de mayor resolución (Landsat 8) para el periodo (2015 -2020).

En esta sección de la investigación se realizó un cálculo de Islas de calor de verano diurnas con un sensor de mayor resolución para su análisis espacial. Para el desarrollo de esto, se realizó la extracción de imágenes satelitales en la plataforma GEE, para luego, ser procesado a través del programa ArcGis y su visualizador Arcmap

3.3.1 Selección de imágenes satelitales: Plataforma Google Earth Engine.

Para la obtención de imágenes satelitales se utilizó nuevamente la plataforma de geomática online de libre acceso Google Earth Engine (GEE). En este caso, las imágenes satelitales utilizadas corresponden al sensor Landsat 8 (Land: Tierra y Sat: Satélite), específicamente a través del sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor), el cual proporciona información específica de la energía térmica de la superficie. Entre sus características destacan: una resolución de 100 m., su cadencia es de un día y su objetivo es realizar un mapeo térmico estimado del suelo.

3.3.2 Programación de códigos para la extracción de imágenes satelitales de temperatura.

Al igual que para cumplir el objetivo anterior de la investigación, se utiliza la plataforma GEE para definir el área de interés que contempla las comunas de Concepción, Hualpén y Talcahuano. Se selecciona el satélite a utilizar - *Landsat 8* - específicamente la banda 10 (TIRS), la cual contempla las temperaturas diurnas de verano. Además, se realizó un filtro de fecha verano diurno para cada año del periodo 2015-2020, presentado en la *Figura 11*. Cabe destacar que la elección de imágenes se realizó de forma manual con el fin de evitar imágenes que tuvieran nubosidad.

Figura 11: Código GEE para la selección y filtro de fecha para la imagen Landsat 8 en el área de estudio



Fuente: Elaboración propia (2021).

Posteriormente, se realizó el cálculo de la reflectancia calibrada de la parte superior de la atmósfera (TOA, *por sus siglas en inglés*), y así a partir de esta poder calcular la temperatura de brillo. Este proceso queda representado en la Figura 12.

Figura 12: Cálculo de TOA y conversión de temperatura de brillo



Fuente: Elaboración propia (2021).

Luego, se realizó el cálculo del Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI, *por sus siglas en inglés*), este cálculo es fundamental dado que el NDVI está altamente relacionado con la Proporción Vegetal (Pv) y la Emisividad (ϵ), presentado en la Figura 13.

Figura 13: Código GEE para el cálculo de NDVI.

```

30 // Cálculo de NDVI
31 var ndvi = images.normalizedDifference(['B5', 'B4']).rename('NDVI');
32 var ndviParams = {min: -1, max: 1, palette: ['blue', 'white', 'green']};
33 print(ndvi, 'ndvi');
34
35 {
36 var ndvi_min = ee.Number(ndvi.reduceRegion({
37   reducer: ee.Reducer.min(),
38   geometry: geometry,
39   scale: 30,
40   maxPixels: 1e9
41 }).values().get(0));
42
43 var ndvi_max = ee.Number(ndvi.reduceRegion({
44   reducer: ee.Reducer.max(),
45   geometry: geometry,
46   scale: 30,
47   maxPixels: 1e9
48 }).values().get(0));

```

Función de diferencia normalizada
Selección de bandas 4 y 5 (B5-B4)
Nombre del índice: NDVI

Parámetros de visualización

Visualización de resultados

Valores mínimos de NDVI

Valores máximos de NDVI

Fuente: Elaboración propia (2021)

La Proporción Vegetal, corresponde a la proporción de vegetación presente en cada píxel, y su cálculo se basa en el NDVI, específicamente, se utilizan los valores máximos y mínimos obtenidos de este índice. Finalmente, se realizó el cálculo de la emisividad de superficie (ϵ) la cual depende directamente del sensor y banda espectral utilizada, y su resultado se utiliza como input para el cálculo de temperatura de brillo de la tierra. Cabe destacar que la temperatura entregada por la imagen se encuentra en grados Kelvin ($^{\circ}\text{K}$), por lo cual se realizó una conversión de escala a grados celsius. Los cálculos de los procesos mencionados anteriormente son presentados en la Figura 14.

Figura 14: Código GEE para el cálculo de proporción vegetal, emisividad y temperatura superficial.

```

51 //Cálculo de Proporción Vegetal (Fv, por sus siglas en inglés)
52 var fv = ndvi.subtract(ndvi_min).divide(ndvi_max.subtract(ndvi_min)).rename('FV');
53
54 var fvParams = {min: 0.0, max: 1.0, palette: ['FF0000', '00FF00']};
55
56
57 //Cálculo de Emisividad
58 var a = ee.Number(0.004);
59 var b = ee.Number(0.986);
60 var EM=fv.multiply(a).add(b).rename('EMM');
61 var imageVisParam2 = {min: 0.986, max: 0.99, palette: ['blue', 'white', 'green']};
62
63
64 ///Cálculo de temperatura superficial
65 var LST = thermal.expression(
66   '(Tb/(1 + (0.00108 * (Tb / 1.438)) * log(Ep))) - 273.15', {
67     'Tb': thermal,
68     'Ep': EM.select('EMM')
69 });

```

Cálculo de FV en base a los valores máximos y mínimos obtenidos del NDVI

Parámetros de visualización

A y B valores constantes

Aplicación fórmula de emisividad (EMM)

Parámetros de visualización

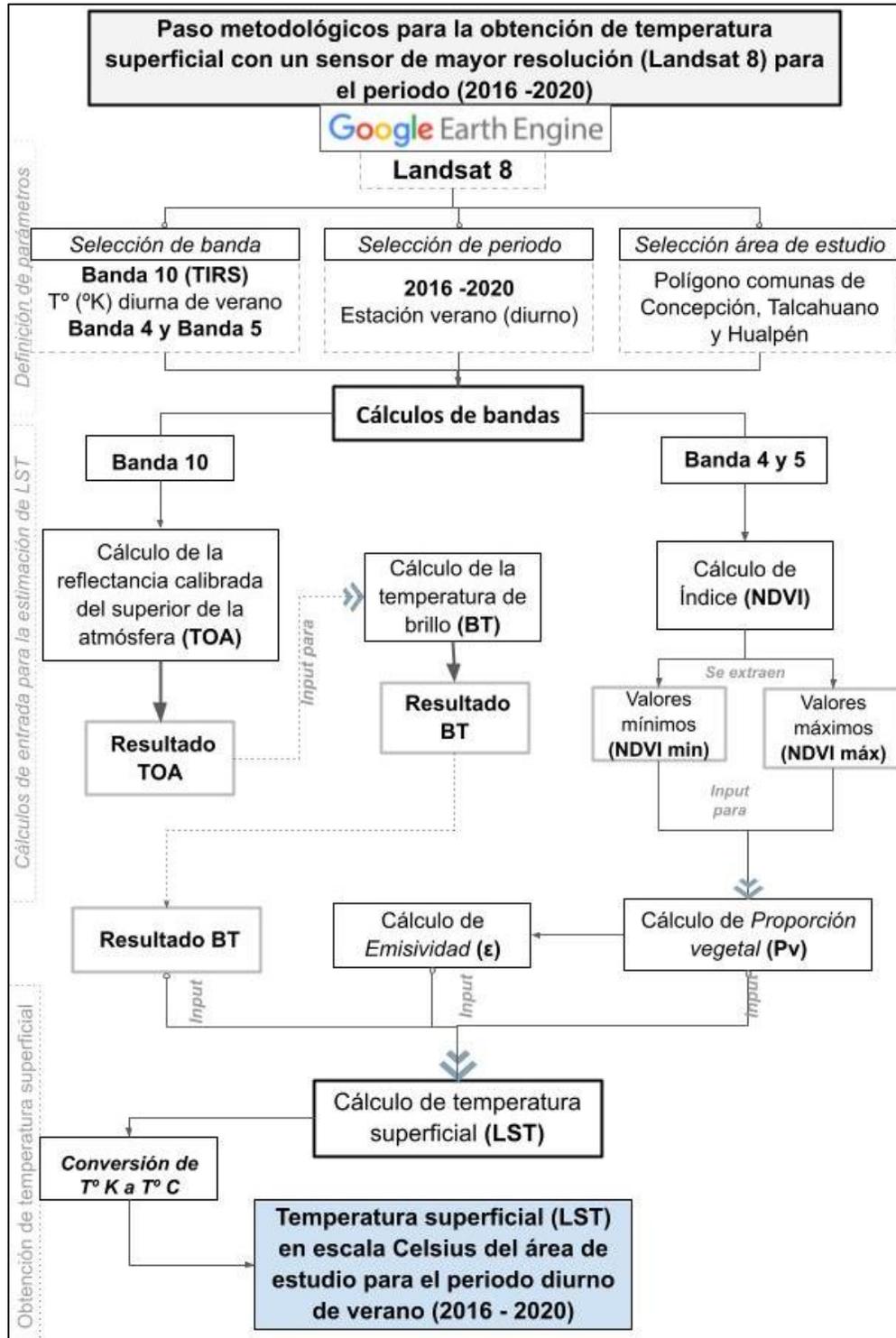
Aplicación fórmula de temperatura superficial y conversión a $^{\circ}\text{C}$
TB: Temperatura de brillo
EP: Emisividad

Fuente: Elaboración propia (2021)

Finalmente se exportan estos resultados a una carpeta *Drive* para su posterior descarga. Los archivos resultantes corresponden a las temperaturas superficiales para el periodo 2016 – 2020 para el área de estudio que contempla las comunas de Concepción, Talcahuano y Hualpén, con un archivo de salir en formato *Raster* para cada año del periodo diurno de verano.

El resumen de los pasos metodológicos aplicados en esta sección queda expuesto en la *Figura 15*.

Figura 15: Esquema metodológico para la obtención de temperatura superficial diurna en el área de estudio, para el periodo 2016 - 2020.



Fuente: Elaboración propia (2021).

3.3.3 Procesamiento de las imágenes satelitales en las plataformas: ArcGis – Arcmap – Google Earth Pro.

Para procesar las imágenes satelitales se utilizó el software ArcGis a través del visualizador Arcmap. En una primera instancia se realizó un corte de la imagen satelital con el contorno de las comunas de Concepción, Hualpén y Talcahuano a través de la herramienta “Extract by mask”. Una vez definida el área final se procedió a dos procesos: primero identificar las condiciones geográficas con el fin de identificar zonas rurales y urbanas que cumplieran similares características, para la posterior elección de la zona urbana y rural para el cálculo de ICUs. Las condiciones geográficas a considerar corresponden a exposición, altitud y distancia a cuerpos de agua. Segundo, realizar un *remuestreo o resample bilineal*, lo cual consiste en una interpolación de valores de las celdas más cercanas, logrando así suavizar los valores de píxeles de 100m. Dicho proceso fue realizado en el software Arcgis y su visualizador Arcmap, a través de la herramienta RESAMPLE. Dicha interpolación fue realizada a 30m.

Para la evaluación de la altitud se utilizó un Modelo de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés), el cual corresponde a un SRTM con una resolución de escala de 30m., extraído de la plataforma GEE. El código GEE utilizado en este proceso se presenta en la *Figura 16*.

Figura 16: Código GEE de selección y proyección de SRTM.

```
1 //Imagen SRTM
2 var dataset = ee.Image("USGS/SRTMGL1_003");
3 var elevation = dataset.select('elevation');
4
5
6 //Proyección DEM a UTM 19S
7 var UTM19s = \
8- PROJCS["WGS_1984_UTM_Zone_19S", \
9-   GEOGCS["GCS_WGS_1984", \
10-    DATUM["D_WGS_1984", \
11-     SPHEROID["WGS_1984", \
12-      PRIMEM["Greenwich",0], \
13-      UNIT["Degree",0.0174532925199433]], \
14-    PROJECTION["Transverse_Mercator"], \
15-    PARAMETER["False_Easting",500000.0], \
16-    PARAMETER["False_Northing",1000000.0], \
17-    PARAMETER["Central_Meridian",-69.0], \
18-    UNIT["Meter",1], \
19-    AUTHORITY["EPSG","32719"]];
```

Selección de Modelo de Elevación Digital a utilizar (SRTM)

Proyección a coordenadas UTM (19S)

Fuente: Elaboración propia (2021).

Al igual que en el caso anterior, se utilizó el DEM SRTM para conocer la exposición del área de interés, este procedimiento fue realizado a través de Arcmap y fue ejecutado con la herramienta “Aspect”, lo cual entregó las diferentes exposiciones que presentaba el área de estudio. Finalmente, para delimitar la zona de interés, a ambos resultados de altitud y exposición se les aplicó a través de Arcmap un proceso de “Extract By Mask”, lo que permitió conocer la altitud y exposición solo de la zona delimitada para la selección de las áreas rurales y urbanas. Dichos resultados están expresados en un formato raster.

Para la selección del área urbana y rural, se realizó un análisis multicriterio a través de Arcmap, el cual evaluaba la altitud y exposición, para así generar áreas de 2Kmx2Km que cumplieran las condiciones definidas por Sarricolea y Romero (2010), **presentadas en el ítem N°X**. Dicho resultado no arrojó áreas que cumplieran con las condiciones esperadas, por lo tanto, se definieron las áreas

en base a una clasificación visual. Identificando así un área de 500 m x 500 m., para el sector urbano y rural. Posteriormente, se sumó el criterio de distancia a cuerpos de agua (distancia de hasta 800 m.), el cual fue medido a través de la herramienta “*Measure*”. Cabe destacar, que para la selección de dichas áreas la geografía compleja, no permitieron generar zonas homogéneas en cuanto a sus características geográficas. Si bien las áreas seleccionadas presentan características de altitud y exposición similares, la altitud no varía más de 30 metros y ambos presentan la misma exposición. En el caso de la distancia a los cuerpos de agua no fue posible cumplirlo dado que el área de estudio corresponde a un sector costero y al estimar todos los criterios, no era posible determinar ningún área para el cálculo de la ICUs. Por lo cual, se ajustó la distancia establecida anteriormente de 800 m. por una distancia de 2000 m. para la determinación del área urbana y rural.

Obtenida tanto el área urbana como rural, se aplicó la fórmula:

$$\text{ICU} = \text{Temperatura zona urbana (}^{\circ}\text{C)} - \text{Temperatura de zonas rurales aledañas (}^{\circ}\text{C)}$$

Para realizar este cálculo de esto se utilizó la herramienta “*Minus*” de Arcmap, donde a la imagen satelital en formato *raster* se le resta la temperatura de las zonas rurales para cada punto de la imagen. Obteniendo así, el resultado de la intensidad de la isla de calor. Dicho proceso se realizó para el periodo 2015-2020 en la estación de verano - diurno.

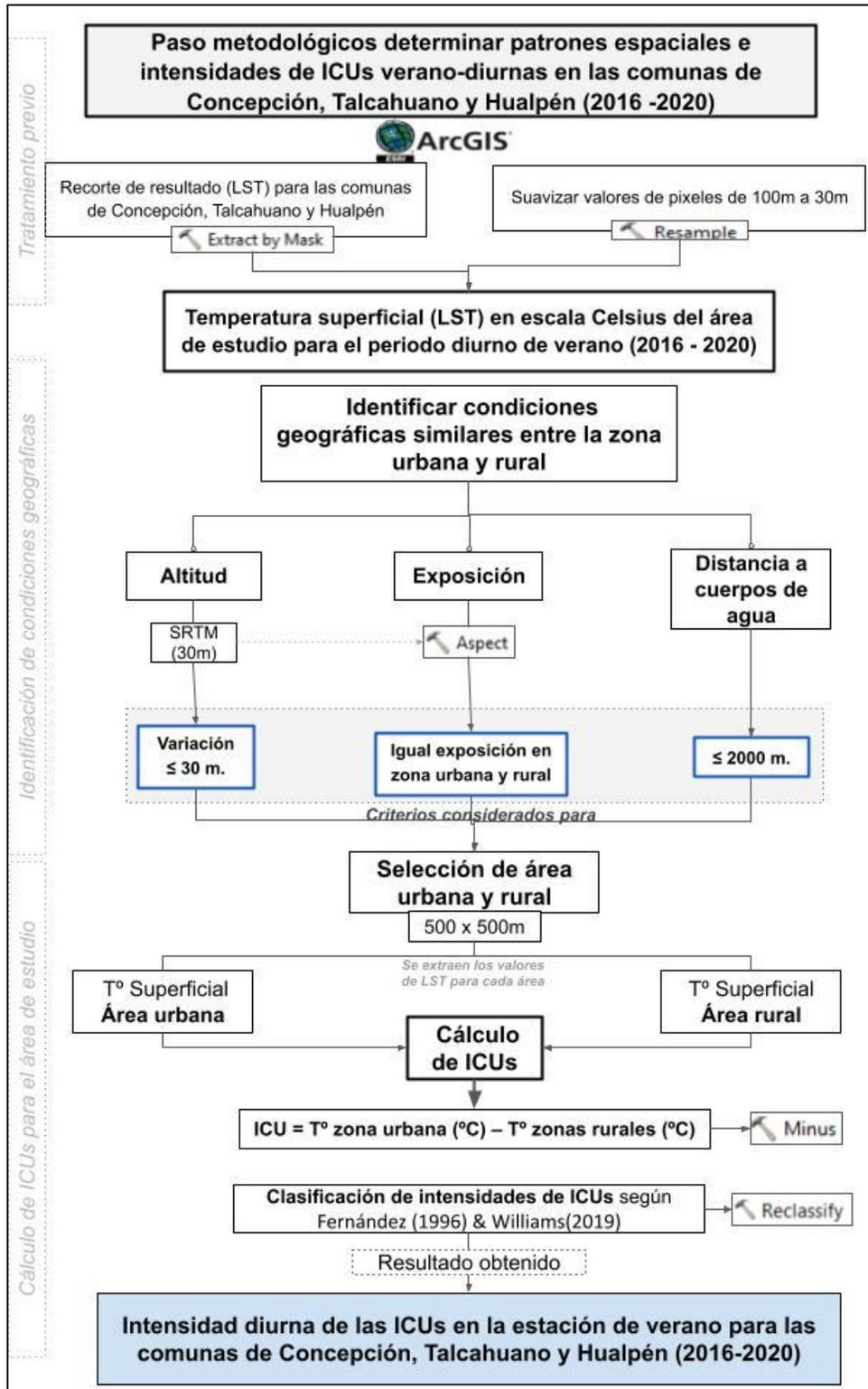
Finalmente, para conocer las máximas intensidades de las islas de calor urbana diurnas, se realizó una reclasificación según las categorías propuestas por Fernández (1996) y adaptadas por Williams (2019) que propone una clasificación respecto a las diferencias de temperatura. La reclasificación fue realizada a través de herramienta “*Reclassify*” y se categorizó según 7 rangos (*Tabla 2*). Finalmente, se obtuvieron las imágenes de las intensidades máximas de las ICUs verano - diurna para el periodo 2015-2020 en las comunas Concepción, Hualpén y Talcahuano.

El resumen de los pasos metodológicos aplicados en esta sección queda expuesto en *la Figura 17*.

3.3.4 Resultado Cartográfico

Con el fin de espacializar la información y sistematizarla de forma ordenada para su posterior análisis, se realizaron cartografías de las intensidades máximas de las ICUs verano - diurna para cada año del periodo 2015-2020. Para ello fue necesario complementar la información obtenida de las imágenes satelitales con archivos en formato *shapefile* que permitan espacializar dicha información. Estos archivos son de la página de Infraestructura de Datos espaciales (IDE) correspondiente al año 2017 y la Biblioteca del Congreso (2018).

Figura 17: Esquema metodológico para la identificación de la intensidad de las ICUs diurnas de verano en el área de estudio, para el periodo 2016 - 2020.



Fuente: Elaboración propia (2021)

3.4 Pasos metodológicos para la comparación de las Islas de Calor Urbana superficial (ICUs) con las Zonas Climáticas Locales (ZCL)

En esta sección de la investigación se realizó una comparación de Islas de Calor Urbano superficial (ICUs) de verano diurnas para el periodo 2016 - 2020 con las Zonas Climáticas Locales del área de estudio. Para el desarrollo de esto, se realizó la actualización de la ZCL a través del software ArcGIS Pro y la plataforma Google Earth Pro. Luego, se compararon los resultados de este con las intensidades de ICUs obtenidas en el paso metodológico 3.3. Finalmente, a través del software ArcGIS Pro se relaciona estadísticamente la variable ICUs promedio verano 2016-2020 con las ZCL de Concepción, Talcahuano y Hualpén.

3.4.1 Actualización y corrección de ZCL:

Para la realización de este paso se visualizaron las Zonas Climáticas Locales (ZCL), a través del Software ArcGIS Pro. Para posteriormente, proyectar imágenes recientes del área de estudio, más específicamente del año 2020, en el Software Google Earth Pro con el fin de realizar una comparación de los cambios en los usos de suelo y poder graficar el crecimiento urbano de estas zonas. En las zonas que se identificaron variaciones en los límites de las ZCL en comparación de las imágenes satelitales de Google Earth Pro, se procedió a realizar un ajuste de área a través de ArcGIS Pro. Esto se realizó a través de la edición de la capa ZCL (.shp), a través de la herramienta *Editar Polígono* que permite editar los vértices de las capas. Finalmente, se obtuvo la capa de ZCL actualizada para el año 2020.

3.4.2 Transformación imágenes ICUs Verano Diurna 2016-2020 a formato vectorial

En este paso metodológico se realizó la transformación de archivos raster de temperatura verano-diurna promedio para el periodo 2016-2020 a formato vectorial para realizar una comparación con la capa vectorial ZCL. En primera instancia, se realizó una conversión de datos raster a vectorial a través del software ArcGIS 10.3, utilizando la herramienta *Raster to point*, obteniéndose así una capa vectorial de puntos que contenían las intensidades ICUs para el periodo ya mencionado.

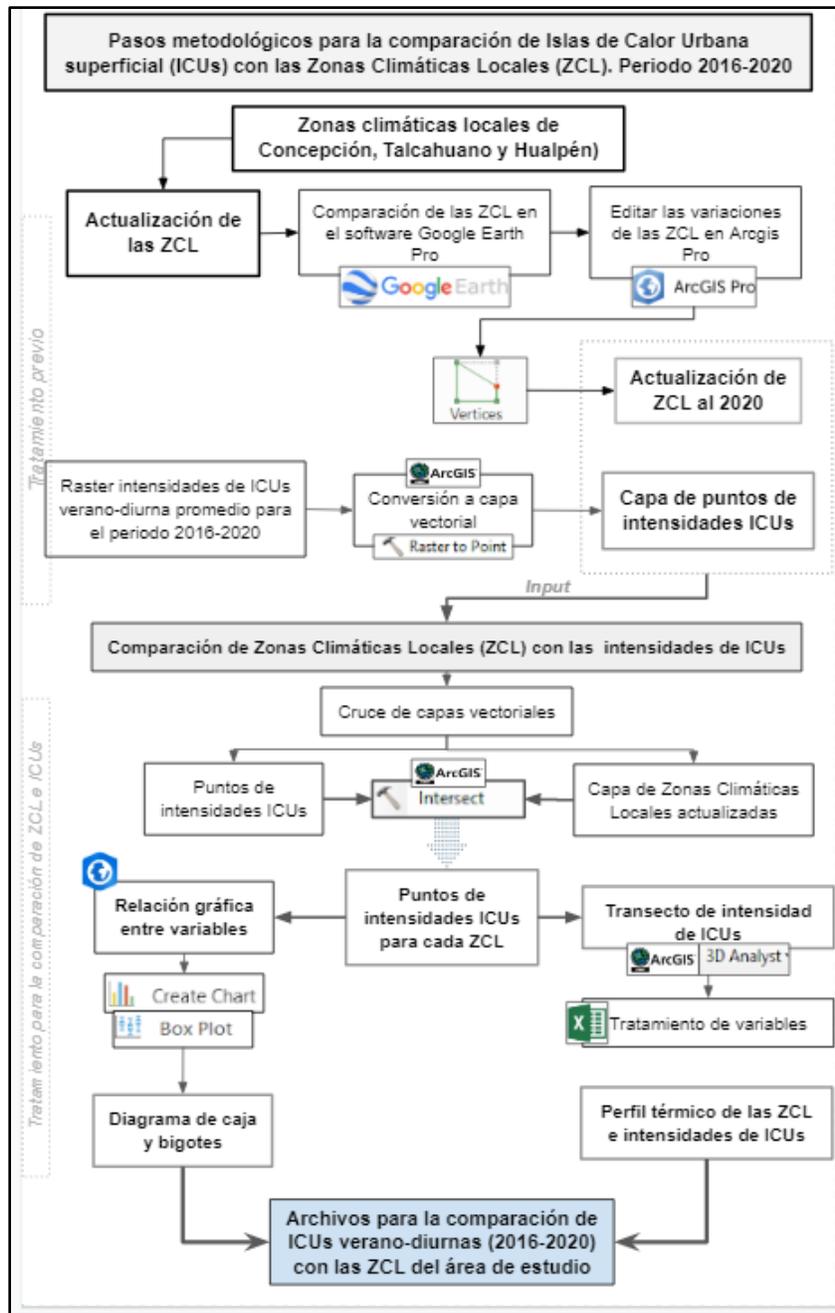
3.4.3 Comparación de Zonas Climáticas Locales (ZCL) con las intensidades de ICUs

En una primera instancia utilizando la capa vectorial de intensidades ICUs obtenida anteriormente se procedió a realizar un cruce de información con las ZCL. Este proceso fue realizado a través del software ArcGIS 10.3, utilizando la herramienta *Intersect*. Resultando así una capa vectorial de puntos que contenía la clasificación de ZCL y las intensidades promedio verano-diurna para el periodo 2016-2020. Finalmente, para la realización de la comparación entre las variables ya mencionadas, se realizó un proceso estadístico a través del software ArcGIS PRO, utilizando la herramienta *create chart* para la elaboración de un diagrama de caja y bigotes. Este diagrama gráfico la relación entre las intensidades de ICUs y las ZCL de Concepción, Talcahuano y Hualpén para el periodo 2016-2020.

Por otra parte, a través del software ArcGIS 10.3, utilizando la herramienta *3D Analyst*, se procedió a elaborar un transecto a través de la imagen raster de intensidades ICUs verano diurna 2016-2020 y la capa de ZCL. Luego, este transecto fue extraído del software ArcGIS 10.3 a través de la herramienta *Export Dialog* en un formato de texto(.txt) para su posterior tratamiento en el software Excel. A través del software Excel se hizo un tratamiento de datos para generar las variables X e Y

del perfil térmico. Finalmente, en el software Excel se utilizó la herramienta *insertar gráfico de líneas*, y así se obtuvo el perfil térmico de las ZCL con las intensidades ICUs. Además, el perfil térmico fue editado con imágenes explicativas para cada ZCL, las cuales se relacionaban estrechamente con las variaciones de intensidad. El resumen de los pasos metodológicos aplicados en esta sección queda expuesto en la *Figura 18*.

Figura 18: Esquema metodológico para la comparación de las temperaturas interurbanas con las zonas climáticas locales



Fuente: Elaboración propia (2021)

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

Los siguientes resultados describen los patrones espaciales e intensidades de la temperatura del aire, tanto nocturnas como diurnas, en las comunas estudiadas para cada estación del año en el periodo 2002-2019. Estos resultados son divididos para

4.1. Intensidades de las ICUs nocturnas

Las intensidades de las ICUs nocturnas presentan características muy similares en todas las estaciones del año. Los máximos valores de intensidad presentan una variación que fluctúan entre los 3°C (invierno) y 1°C (otoño). Por otra parte, los mínimos valores de intensidad, fluctuaban entre -2°C (otoño) y 2°C (verano).

Para efectos del análisis de resultados, las intensidades de las islas de calor son representadas gráficamente por una paleta de colores que contempla desde colores fríos, es decir, las menores intensidades registradas (Islas de frescor urbano superficial), variando hacia colores amarillos para graficar las intensidades intermedias, hasta colores cálidos, siendo estos correspondientes a las mayores intensidades registradas de las ICUs.

4.1.1 Invierno noche:

A modo general, en lo que concierne a la configuración espacial de las intensidades de las Islas de Calor Urbano Superficial e Islas de Frescor Urbano Superficial para la estación de invierno durante la noche, la *Figura 19* muestra una importante concentración de ICUs en toda la zona costera de Concepción, Talcahuano y Hualpén. Lo anterior, es graficado a través de colores cálidos, tal como el rojo que indica los máximos valores, y el amarillo que indica las intensidades medias.

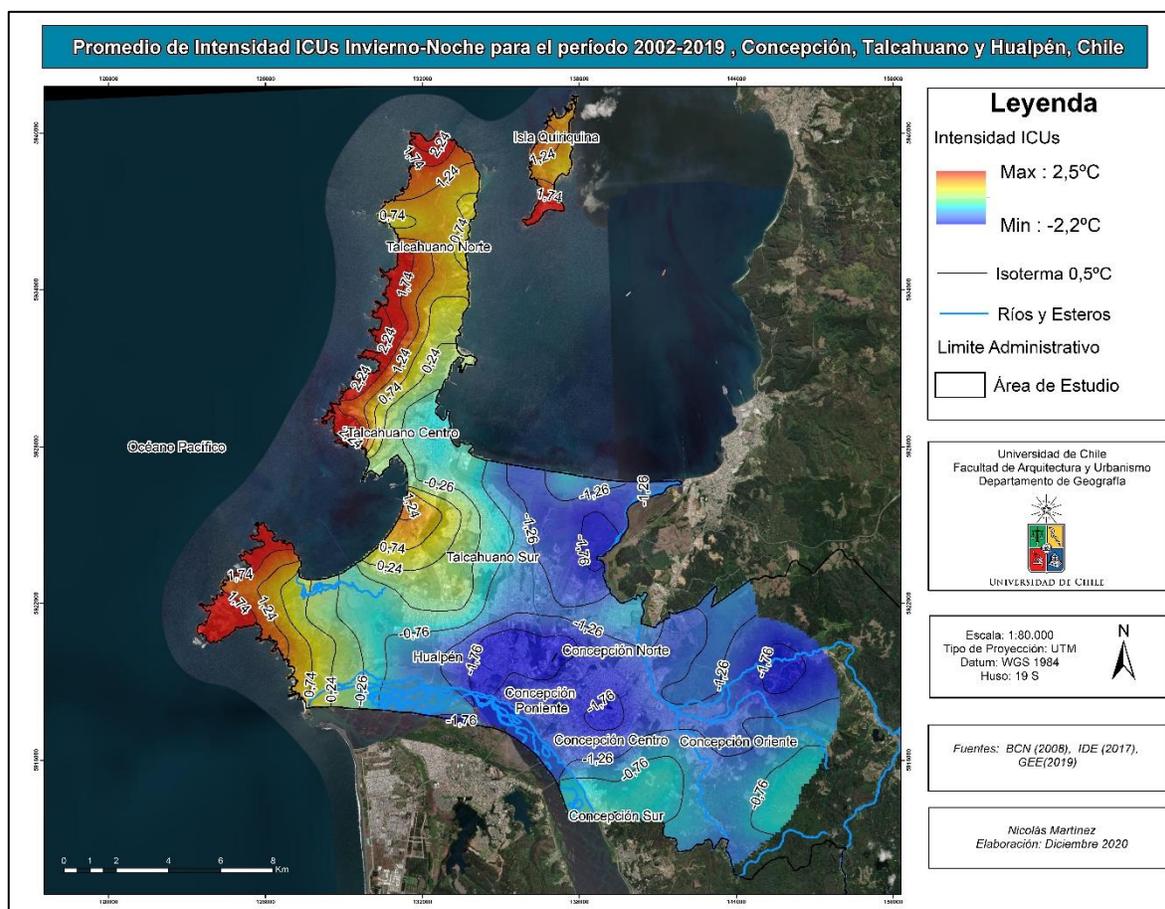
Las zonas que se ven expresadas a través de estos colores cálidos corresponden a la zona de Talcahuano Norte, la cual presenta las mayores intensidades de ICUs registradas en el área de estudio. En contraste, las menores intensidades de ICUs se presentaron en Caleta Lengua, en el sector de Hualpén.

Para el caso de Concepción, donde se presenta una mayor concentración de colores fríos, estos representan las Islas de frescor urbano superficial, las cuales se localizan principalmente en la zona centro poniente y norte de dicha comuna.

En lo que respecta a la estación de invierno, las mayores intensidades de ICUs se localizaron a lo largo de la zona costera de Talcahuano, Hualpén y Concepción, siendo las zonas de mayor intensidad los sectores costeros de la zona norte de Talcahuano, las cuales presentaron intensidades de ICUs que fluctúan entre los 1,7° C y 2,5° C. En base a los valores expresados según la clasificación de Fernández (1996), adaptada por Williams (2019), se presentan intensidades de ICUs que pueden definirse como *Débiles y Moderadamente débiles*, las cuales fluctúan entre 1° C – 2° C (Débil) y 2° C – 3° C (Moderadamente Débil). En lo que respecta a la zona centro de Talcahuano, presenta intensidades de ICUs que pueden ser definidas como Muy débiles, con valores máximos de intensidad, cercanos a 0,1°C. Por otra parte, en la zona sur de Talcahuano, las mayores intensidades

de ICUs se presentaron en la zona costera industrial de Talcahuano Sur, las cuales presentaron valores de intensidad de ICUs que fluctuaron entre los 0,7° C y los 1,2 ° C, las cuales pueden categorizar como intensidades Débiles y Muy débiles. En el caso de Hualpén, las mayores intensidades de ICUs se localizaron en la zona costera, específicamente en el sector de Caleta Lengua, la cual presentaba valores de intensidad de ICUs que fluctuaron entre los 1,2° C y los 0,2 ° C, las cuales pueden categorizarse como intensidades Muy débiles y Débiles.

Figura 19: Promedio de intensidad ICUs Invierno-noche



Fuente: Elaboración propia (2021)

En el caso de Hualpén se registraron Islas de frescor urbano, las cuales se localizaron en la zona suroriente del área de interés, donde se presentaron valores de intensidad de Islas de Frescor Urbanos que fluctuaron entre -1,7°C y -2,2°C.

4.1.2 Otoño noche

A modo general, en lo que concierne a la configuración espacial de las intensidades de las Islas de Calor Urbano Superficial e Islas de Frescor Urbano Superficial para la estación de otoño durante el periodo nocturno, es posible observar en la Figura 20 que las ICUs de mayor intensidad se localizan principalmente en la zona costera de Concepción, Talcahuano y Hualpén, más específicamente en la zona de Talcahuano norte.

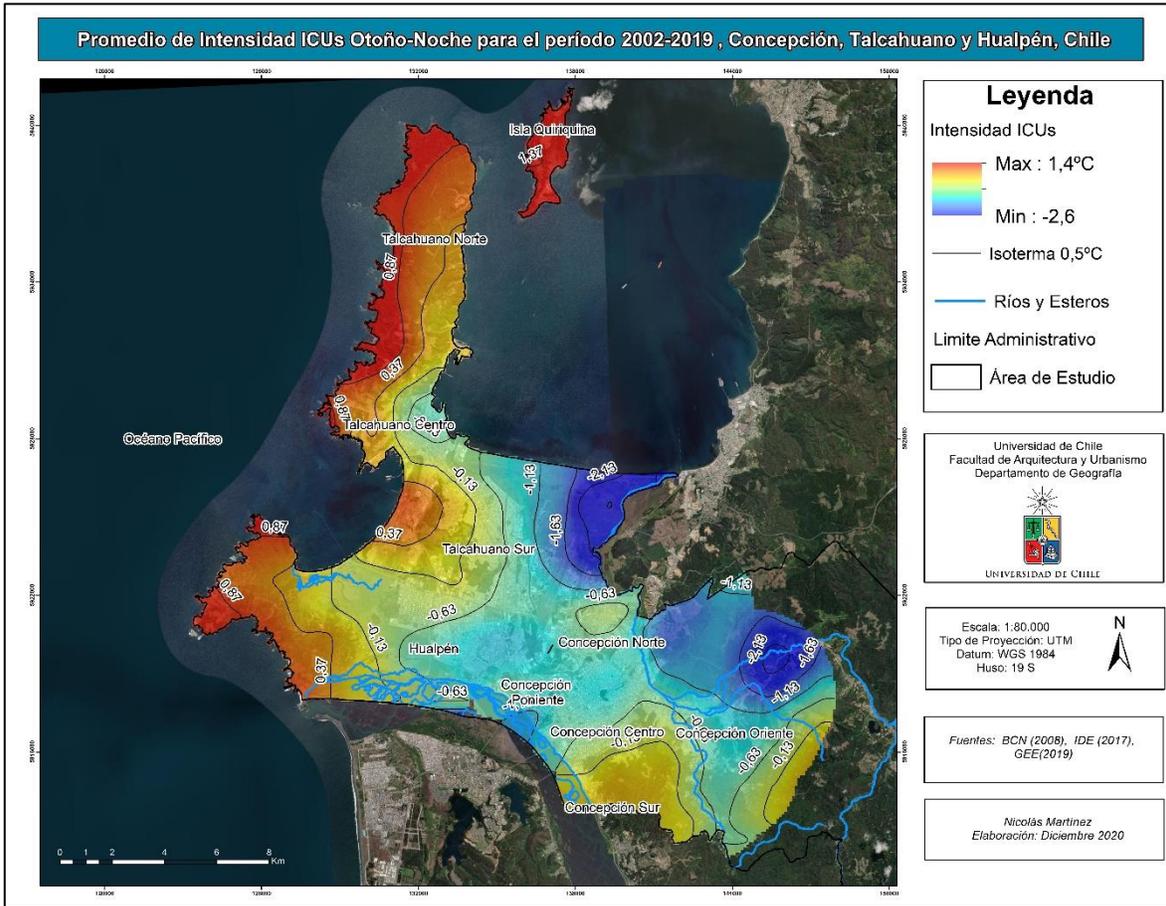
Las zonas que se ven expresadas a través de estos colores cálidos, es decir, las mayores intensidades de ICUs registradas, corresponden a la zona de Talcahuano Norte. Así mismo, con menores intensidades de ICUs se presentan el sector de Caleta Lengua, graficado a través de colores amarillos, es decir, intensidades intermedias, en el sector de Hualpén y la zona de Talcahuano sur.

Por el contrario, en el caso de Concepción se presentan colores más fríos, indicando Islas de frescor urbano superficial, las cuales se localizan principalmente en los sectores sur poniente de Concepción Norte.

En lo que respecta a la estación de otoño en el periodo nocturno, las mayores intensidades de ICUs se localizaron a lo largo de la zona de costera de Talcahuano, Hualpén y Concepción, siendo las zonas de mayor intensidad los sectores costeros de Tumbes y Las Canchas (Talcahuano norte) del norponiente de Talcahuano, las cuales presentaron intensidades de ICUs que fluctuaban entre los $0,8^{\circ}\text{C}$ y $1,4^{\circ}\text{C}$. En base a los valores expresados según la clasificación de Fernández (1996), adaptada por Williams (2019), presenta intensidades de ICUs que pueden definirse como Muy Débil a Débil, las cuales fluctúan entre $0^{\circ}\text{C} - 1^{\circ}\text{C}$ (muy Débil) y $1^{\circ}\text{C} - 2^{\circ}\text{C}$ (débil). En lo que respecta a la zona centro de Talcahuano, presenta intensidades de ICUs que pueden ser definidas como muy débiles, con valores de intensidad cercanos a 1°C . Sin embargo, en el sector costero oriente presenta intensidades que pueden definirse como islas de frescor urbano, con valores de intensidad cercanos a -1°C . Por otra parte, en la zona sur de Talcahuano, se presentaron las mayores intensidades de ICUs, las cuales presentaron valores de intensidad de ICUs que fluctuaron entre los $0,3^{\circ}\text{C}$ y los $0,7^{\circ}\text{C}$, las cuales pueden categorizar como intensidades muy débiles. En el caso de Hualpén, las mayores intensidades de ICUs se localizaron en la zona de Caleta Lengua, específicamente en el sector norponiente de esta, la cual presentaba valores de intensidad de ICUs que fluctuaron entre los $0,3^{\circ}\text{C}$ y los $0,9^{\circ}\text{C}$, las cuales pueden categorizarse como intensidades muy débiles. En el caso de Concepción se registraron Islas de frescor urbano de mayor intensidad hacia el sector de Concepción Norte, las cuales presentaron valores de intensidad de Islas de Frescor Urbanos que fluctuaron entre $-1,1^{\circ}\text{C}$ y $-1,5^{\circ}\text{C}$.

Así mismo, en Hualpén se presentaron zonas de frescor urbano en la zona oriente, donde se registró intensidades que fluctuaron entre $-0,6^{\circ}\text{C}$ y $-1,1^{\circ}\text{C}$.

Figura 20: Promedio de intensidad ICUs otoño-noche



Fuente: Elaboración propia (2021)

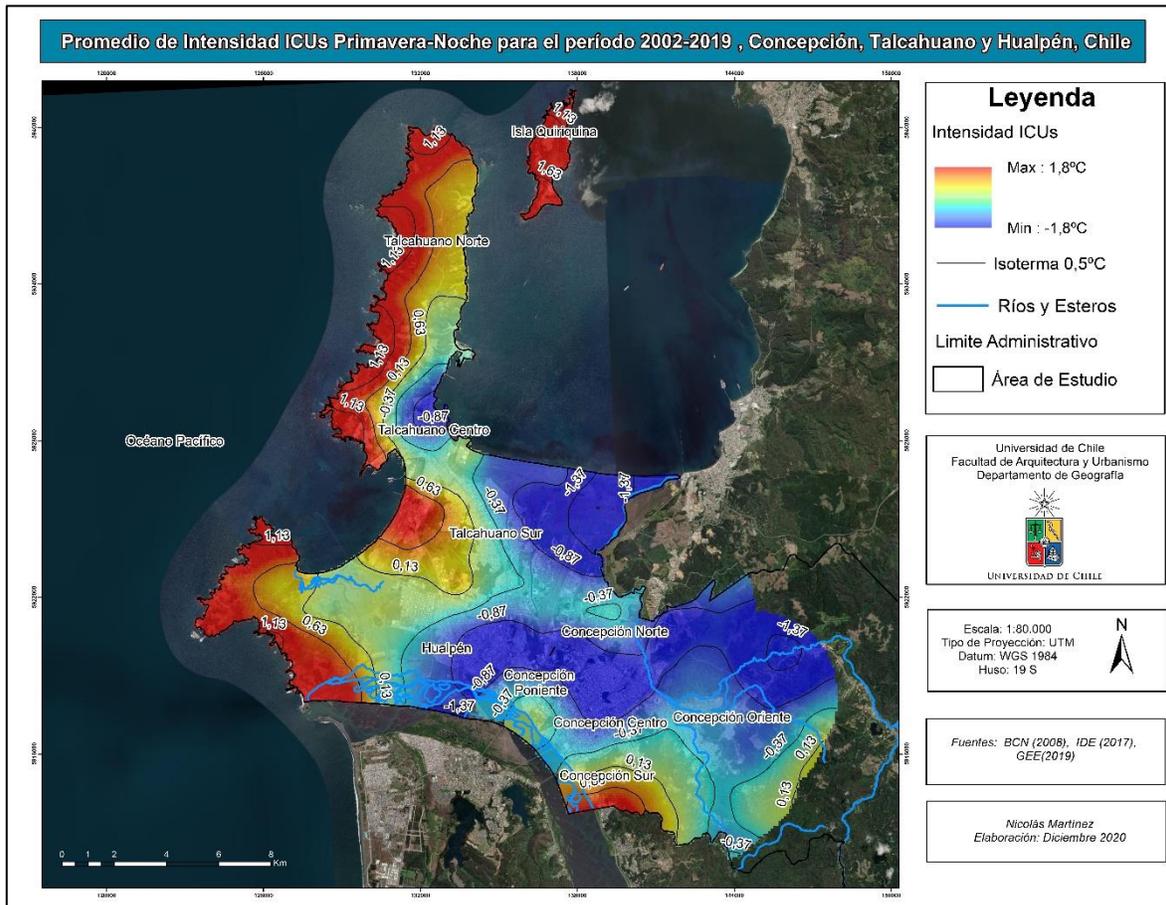
4.1.3 Primavera Noche

A modo general, en lo que concierne a la configuración espacial de las intensidades de las Islas de Calor Urbano Superficial e Islas de Frescor Urbano Superficial para la estación de primavera durante el periodo nocturno, es posible observar en la *Figura 21* que las ICUs de mayor intensidad se localizan principalmente en la zona costera de Concepción, Talcahuano y Hualpén, más específicamente en el sector de Talcahuano norte.

Las zonas resultantes que presentan las mayores intensidades de ICUs, corresponden a Talcahuano Norte y la Isla Quiriquina. Así mismo, con menores intensidades de ICUs se presentan el sector de Caleta Lengua, presentando intensidades intermedias en el sector de Hualpén y el sector de Talcahuano sur. A lo que se suma, en tonalidades amarillas el sector de Pedro de Valdivia en Concepción sur. Por el contrario, la zona sur de Hualpén presenta colores más fríos, los cuales grafican Islas de frescor urbano superficial. Así mismo, se observa este fenómeno en la zona de Concepción norte.

En el periodo nocturno de la estación de primavera, las mayores intensidades de ICUs se localizaron a lo largo de la zona de costera de Talcahuano, Hualpén y Concepción, siendo las zonas de mayor intensidad los sectores costeros de Talcahuano norte y la Isla Quiriquina, las cuales presentaron intensidades de ICUs que fluctuaban entre los 0,6 ° C y 1,8 ° C. En base a los valores expresados según la clasificación de Fernández (1996), adaptada por Williams (2019), presenta intensidades de ICUs que pueden definirse como Muy Débil a Débil, las cuales fluctúan entre 0 ° C – 1 ° C (muy Débil) y 1 ° C – 2 ° C (débil). En lo que respecta a la zona centro oriente de Talcahuano, presenta intensidades de ICUs que pueden ser definidas como islas de frescor urbano, con valores de intensidad que fluctúan entre los -0,3 ° C y los -0,8 ° C. Por otra parte, en la zona sur de Talcahuano, las mayores intensidades de ICUs se presentaron en la zona de Las Higueras e Industrias, las cuales presentaron valores de intensidad de ICUs que fluctuaron entre los 0,6 ° C y los 0,9 ° C, las cuales pueden categorizar como intensidades muy débiles. En el caso de Hualpén, las mayores intensidades de ICUs se localizaron en la zona norponiente de Caleta Lengua, la cual presentaba valores de intensidad de ICUs que fluctuaron entre los 0,1 ° C y los 0,6 ° C, las cuales pueden categorizarse como intensidades muy débiles. Sin embargo, también se registraron islas de frescor urbano en Hualpén, con intensidades que varían entre los -0,8 ° C y -1,2 ° C. De la misma forma, se registraron que las Islas de frescor urbano se localizan en la zona norte de Concepción, las cuales presentaron valores de intensidad de Islas de Frescor Urbanos que fluctuaron entre -0,8 ° C y -1,1 ° C. Finalmente, en Talcahuano se presentaron zonas de frescor urbano principalmente en la zona oriente, las cuales presentan intensidades que fluctuaron entre - 0,6 ° C y - 1,1 ° C.

Figura 21: Promedio de intensidad ICUs primavera-noche



Fuente: Elaboración propia (2021)

4.1.4 Verano Noche

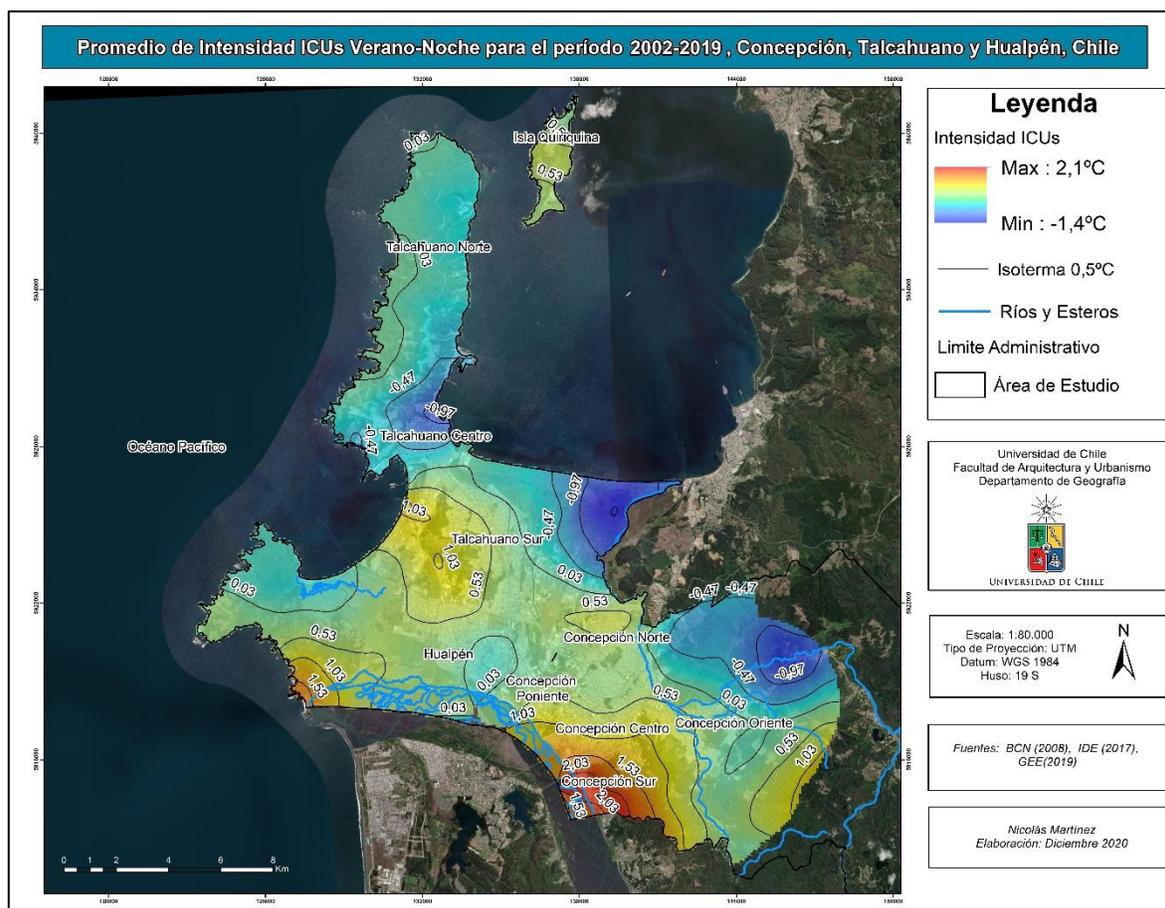
A modo general, en lo que concierne a la configuración espacial de las intensidades de las Islas de Calor Urbano Superficial e Islas de Frescor Urbano Superficial para la estación de verano durante el periodo nocturno, es posible observar en la *Figura 22* que las ICUs de mayor intensidad se localizan principalmente en la zona centro de Concepción.

Las zonas que presentan mayores intensidades corresponden al sector Concepción sur, siendo estas las zonas con las intensidades de ICUs más altas. Por otra parte, las menores intensidades de ICUs se presentan en el sector de Concepción centro. Las intensidades intermedias, es decir, sectores en tonalidades amarillas, destaca el sector de Talcahuano sur. Por el contrario, la zona sur de Hualpén presenta colores más fríos, los cuales grafican Islas de frescor urbano superficial. Así mismo, se observa este fenómeno en la zona del norte de Concepción.

En el periodo nocturno de la estación de verano, las mayores intensidades de ICUs se localizaron a lo largo de la zona de Concepción sur, las cuales presentaron intensidades que fluctuaron entre los

1,5 °C y 2,1 °C. En base a los valores expresados según la clasificación de Fernández (1996), adaptada por Williams (2019), presenta intensidades de ICUs que pueden definirse como débil a moderadamente débil, las cuales fluctúan entre 1° C – 2°C (débil) y 2°C – 3°C (moderadamente débil). Así mismo, pero con menor intensidad de ICUs se presentaron la zona de Concepción centro con intensidades que fluctuaron entre 0,5 °C y los 1,5°C, las cuales se pueden categorizar desde intensidades muy débiles a débiles respectivamente. Además, con similares características se presenta la zona sur de Talcahuano, con intensidades que fluctúan entre 0,5°C y 1°C, intensidades que se categorizan como muy débiles. En el caso de la zona centro oriente y norte de Talcahuano, presenta intensidades de ICUs que pueden ser definidas como como islas de frescor urbano, con valores de intensidad que fluctúan entre los -0,4°C y los -1°C. En lo que respecta a Hualpén, también se registraron islas de frescor urbano con intensidades poco significativas que fluctuaban entre los -0,1°C y -0,2°C. Así mismo, en la zona norte de Concepción se registraron Islas de frescor urbano, las cuales presentaron valores que fluctuaron entre -0,1°C y -0,4°C.

Figura 22: Promedio de intensidad ICUs Verano-noche.



Fuente: Elaboración propia (2021)

Las ICUs nocturnas no presentaron importantes variaciones de máximos y mínimos respecto a la estacionalidad, esto se debe principalmente a la presencia del mar en las zonas costeras. La cual,

por su característica de poseer un elevado calor específico, es decir, la alta capacidad de absorber calor sin aumentar su temperatura. Este fenómeno genera en el sector costero del área una mayor temperatura en la zona aleada a la franja costera dado que por diferencia de calor y emisividad el agua le entrega calor al ambiente, es por esto que las mayores intensidades tienden a darse en la zona costera del área de interés, a lo que se suma la presencia de importantes zonas industriales, más específicamente Huachipato, Empresa Nacional de Petróleo (ENAP), las cuales generan una importante cantidad de calor residual al ambiente. A lo que suma, el caso de los vientos por los centros de alta y baja presión por las diferencias de temperatura ya que durante la noche la tierra tiende a irradiar el calor y el mar presenta una mayor temperatura por lo cual atrae el centro de baja presión de la tierra y así el viento se dirige desde el continente hacia el mar. Lo que explicaría una mayor intensidad de ICUs en la zona costera de Concepción, Talcahuano y Hualpén respecto a la zona centro del área de interés. En lo que respecta a los valores específicos de las mínimas y máximas intensidades de las ICUs nocturnas para cada estación, evidenciaron que las máximas para todas las estaciones del año se presentaron en Talcahuano Norte, exceptuando el mes de verano que se presentó en Concepción Centro. Por el contrario, las mínimas intensidades se observaron en el sector de Concepción Norte. Lo anteriormente mencionado se ve expresado a través de la siguiente tabla:

Tabla 3: Intensidades promedio ICUs nocturna para Talcahuano, Hualpén y Concepción (Periodo 2002-2019)

MODIS - Nocturna				
Zona	ICUs Invierno	ICUs Otoño	ICUs Primavera	ICUs Verano
Talcahuano Norte	(0,2°C) - (2,2°C)	(0,3°C) - (1,4°C)	(0,1°C) - (1,6°C)	(-0,4°C) - (0,1°C)
Talcahuano Centro	(-0,6°C) - (0,2°C)	(-0,6°C) - (0,3°C)	(-1°C) - (0,1°C)	(-1°C) - (-0,4°C)
Talcahuano Sur	(-1,2°C) - (1,3°C)	(-1,1°C) - (0,7°C)	(-0,8°C) - (0,9°C)	(0,1°C) - (1°C)
Hualpén Poniente	(-0,8°C) - (1,7°C)	(-0,4°C) - (0,9°C)	(-0,1°C) - (1,3°C)	(-0,1°C) - (1,5°C)
Hualpén Oriente	(-0,8°C) - (2,1°C)	(-1,1°C) - (-0,2°C)	(-1,2°C) - (0,1°C)	(-0,1°C) - (0,5°C)
Concepción Norte	(-1,7°C) - (-1,2°C)	(-1,1°C) - (-0,4°C)	(-1,2°C) - (-0,3°C)	(-0,1°C) - (0,6°C)
Concepción Centro	(-0,7°C) - (1,7°C)	(-0,8°C) - (-0,1°C)	(-1,1°C) - (-0,1°C)	(0,3°C) - (1,8°C)
Concepción Poniente	(-1°C) - (0,8°C)	(-1,1°C) - (-0,8°C)	(-1°C) - (-0,1°C)	(0,3°C) - (1°C)
Concepción Oriente	(-1,7°C) - (-1,5°C)	(-1,1°C) - (-0,1°C)	(-0,8°C) - (-0,1°C)	(-0,4°C) - (1°C)
Concepción Sur	(-1,2°C) - (-0,4°C)	(-0,6°C) - (0,2°C)	(-0,3°C) - (0,8°C)	(1,5°C) - (2°C)

Fuente: Elaboración propia (2021)

4.2 Intensidades de las CUs diurnas

4.2.1 Invierno Día

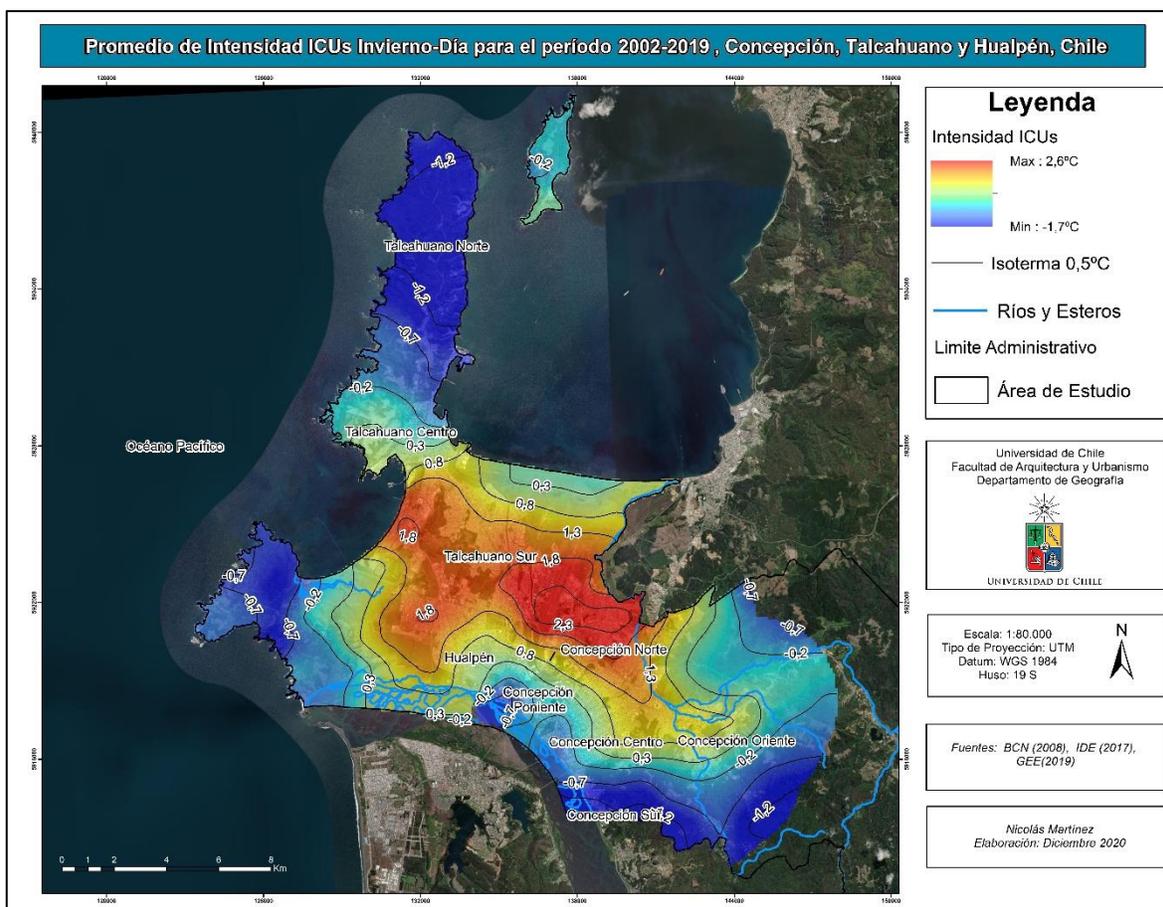
A modo general, en lo que concierne a la configuración espacial de las intensidades de las Islas de Calor Urbano Superficial e Islas de Frescor Urbano Superficial para la estación de invierno durante el periodo diurno, es posible observar en la *Figura 23* que las ICUs de mayor intensidad se localizan principalmente en la zona norte de Concepción.

Las zonas que comprenden las mayores intensidades de ICUs corresponden al sector de Concepción norte y Talcahuano Sur, siendo estas las zonas con las intensidades de ICUs más altas. Por otra parte, con menores intensidades de ICUs se presenta sector sur de la zona norte, graficado a través de colores cálidos amarillos.

A lo que se suma, en tonalidades amarillas representando intensidades intermedias, el sector de Concepción oriente. Así mismo, se presenta el caso del Talcahuano Sur donde las tonalidades amarillas y naranjas son protagonistas en la imagen. En el caso de Hualpén, se observan principalmente tonalidades amarillas. Por el contrario, la zona de Concepción oriente presenta colores más fríos, los cuales grafican Islas de frescor urbano superficial. Así mismo, se observa este fenómeno en la zona de Talcahuano Centro y Norte.

En el periodo diurno de la estación de invierno, las mayores intensidades de ICUs se localizaron a lo largo de la zona norte de Concepción y Talcahuano sur, las cuales presentaron intensidades de ICUs que fluctuaban entre los $1,8^{\circ}\text{C}$ y $2,6^{\circ}\text{C}$. En base a los valores expresados según la clasificación de Fernández (1996), adaptada por Williams (2019), presenta intensidades de ICUs que pueden definirse como débiles a moderadamente débiles, las cuales fluctúan entre $1^{\circ}\text{C} - 2^{\circ}\text{C}$ (débil) y $2^{\circ}\text{C} - 3^{\circ}\text{C}$ (moderadamente débil). Así mismo, pero con menor intensidad de ICUs se presentó en la zona de Talcahuano Sur, las cual presenta intensidades que fluctuaron entre $0,8^{\circ}\text{C}$ y los $1,8^{\circ}\text{C}$, estas se pueden categorizar como intensidades muy débiles a débil respectivamente. Además, con similares características se presenta la zona oriente y poniente de Concepción, con intensidades que fluctúan entre $0,8^{\circ}\text{C}$ y $1,3^{\circ}\text{C}$, intensidades que se categorizan como muy débiles a débiles. En el caso de la zona centro oriente y norte de Talcahuano, presenta intensidades de ICUs que pueden ser definidas como como islas de frescor urbano, con valores de intensidad que fluctúan entre los $-0,2^{\circ}\text{C}$ y los $-1,7^{\circ}\text{C}$. Así mismo, en Concepción se registraron Islas de frescor urbano se localizan en la zona oriente de la misma, pero con mayor intensidad en el sector de Pedro de Valdivia, la cual presentó valores de intensidad de Islas de Frescor Urbanos que fluctuaron entre $-0,7^{\circ}\text{C}$ y $-1,4^{\circ}\text{C}$.

Figura 23: Promedio de intensidad ICUs Invierno-día.



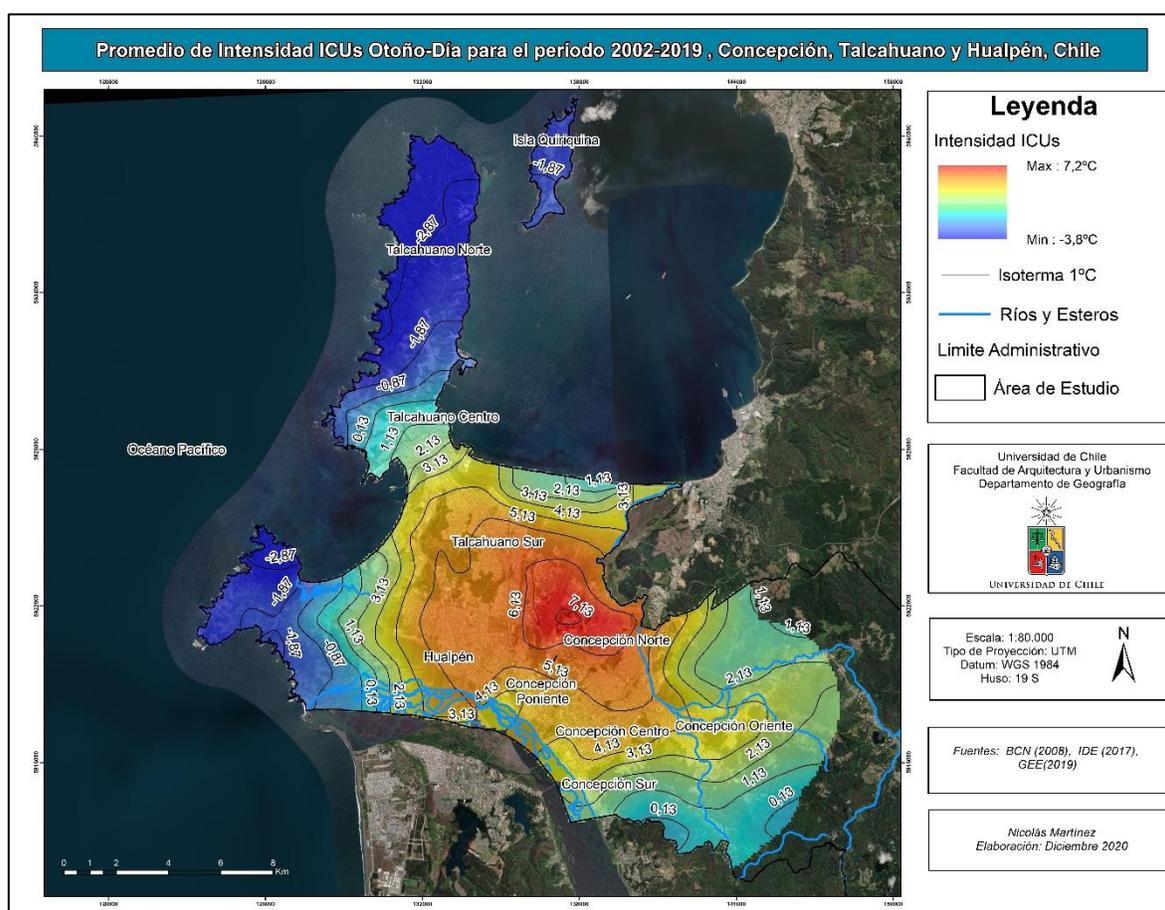
Fuente: Elaboración propia (2021)

4.2.2 Otoño día

A modo general, en lo que concierne a la configuración espacial de las intensidades de las Islas de Calor Urbano Superficial e Islas de Frescor Urbano Superficial para la estación de otoño durante el periodo diurno, es posible observar en la *Figura 24* que las ICUs de mayor intensidad se localizan principalmente en la zona norte de Concepción, Hualpén oriente y Talcahuano sur, siendo estas las zonas de las tres comunas mencionadas con las intensidades de ICUs más altas, lo cual es graficado a través de colores cálidos, ya sea a través del rojo que indica los máximos valores o el amarillo que indica las intensidades medias. Por otra parte, con menores intensidades de ICUs se presentan los sectores de Concepción centro, nororiente y poniente, graficado a través de colores naranjos y amarillos. A lo que se suma, en tonalidades amarillas el sector suroriente de Hualpén y el sector sur de Talcahuano Centro. Por el contrario, la zona norte de Talcahuano presenta colores más fríos, los cuales grafican Islas de frescor urbano superficial.

En el periodo diurno de la estación de otoño, las mayores intensidades de ICUs se localizaron a lo largo de la zona norte de Concepción, Hualpén oriente y Talcahuano sur, las cuales presentaron intensidades de ICUs que fluctuaban entre los 5,1°C y 7,2°C. En base a los valores expresados según la clasificación de Fernández (1996), adaptada por Williams (2019), presenta intensidades de ICUs que pueden definirse como fuerte a muy fuerte, las cuales fluctúan entre 5°C – 6°C (fuerte) y 6°C o más (muy fuerte). Así mismo, pero con menor intensidad de ICUs se presentaron las zonas de Concepción centro, nororiente y poniente, con intensidades que fluctuaron entre 3,1°C y los 5°C, las cuales se pueden categorizar como intensidades moderadas a moderadamente fuerte respectivamente. Además, con similares características se presenta la zona suroriente de Hualpén, con intensidades que fluctúan entre 4,1°C y 5°C, la cual se categoriza como una intensidad moderadamente fuerte, y el sector sur de Talcahuano, con intensidades que fluctúan entre 2°C y 4°C, intensidades que se categorizan como moderada a moderadamente débil. Por el contrario, la zona norte de Talcahuano presenta intensidades de ICUs que pueden ser definidas como como islas de frescor urbano, con valores de intensidad que fluctúan entre los -2°C y los -3,8°C.

Figura 24: Promedio de intensidad de ICUs Otoño-Día



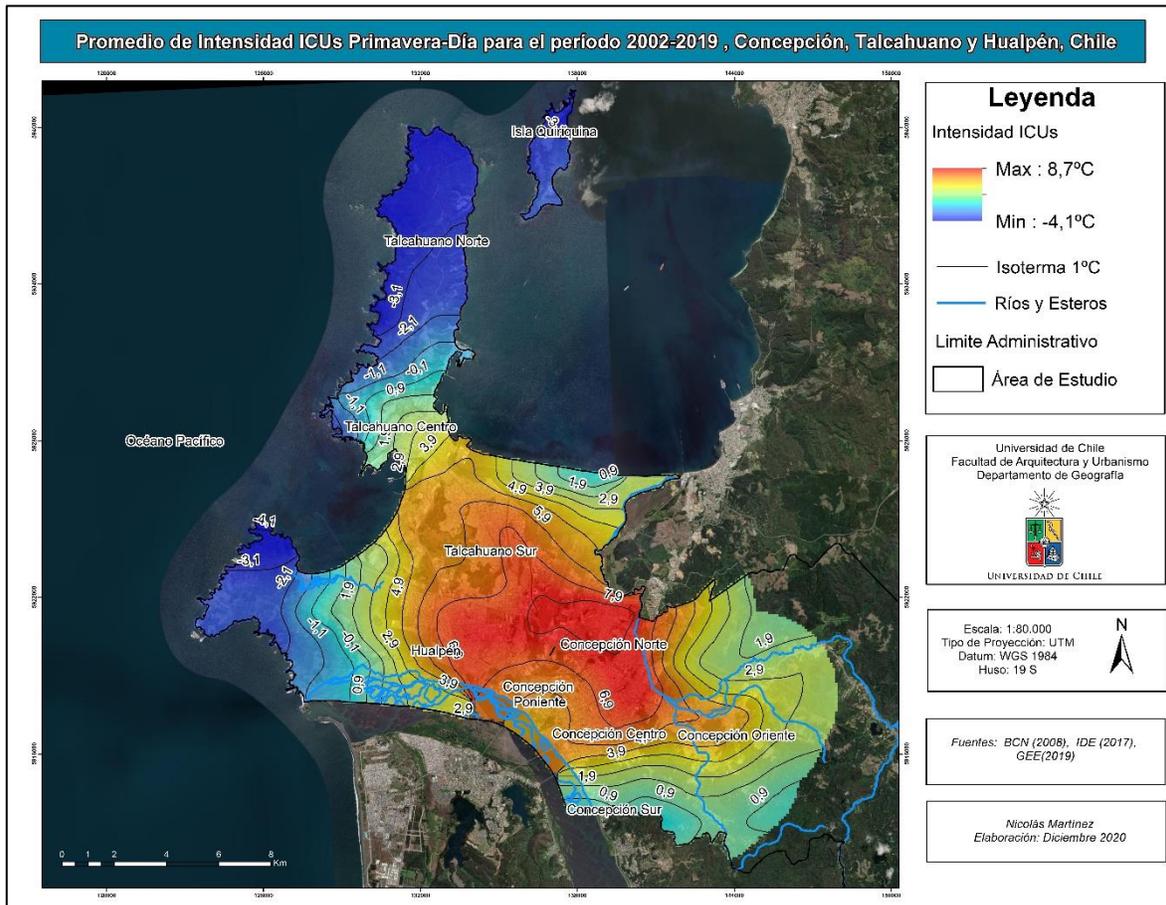
Fuente: Elaboración propia (2021)

4.2.3 Primavera día

A modo general, en lo que concierne a la configuración espacial de las intensidades de las Islas de Calor Urbano Superficial e Islas de Frescor Urbano Superficial para la estación de primavera durante el periodo diurno, es posible observar en la *Figura 25* que las ICUs de mayor intensidad se localizan principalmente en la zona norte, poniente y centro de Concepción, Hualpén oriente y Talcahuano sur. Siendo estas las zonas de las tres comunas anteriormente mencionadas con las intensidades de ICUs más altas. Lo cual, es graficado a través de colores cálidos, ya sea a través del rojo que indica los máximos valores o el amarillo que indica las intensidades medias. Por otra parte, con menores intensidades de ICUs se presenta la zona centro de Talcahuano. Por el contrario, la zona norte de Talcahuano y la zona costera de Hualpén, en Caleta Lengua, presentan colores más fríos, los cuales grafican Islas de frescor urbano superficial.

En el periodo diurno de la estación de primavera, las mayores intensidades de ICUs se localizaron a lo largo de la zona norte, centro y oriente de Concepción, Hualpén oriente y Talcahuano sur, las cuales presentaron intensidades de ICUs que fluctuaban entre los 5°C y 8,7°C. En base a los valores expresados según la clasificación de Fernández (1996), adaptada por Williams (2019), presenta intensidades de ICUs que pueden definirse como fuerte a muy fuerte, las cuales fluctúan entre 5°C – 6°C (fuerte) y 6°C o más (muy fuerte). Por el contrario, la zona norte de Talcahuano y poniente de Hualpén presenta intensidades de ICUs que pueden ser definidas como como islas de frescor urbano, con valores de intensidad que fluctúan entre los -1°C y los -3,5°C.

Figura 25: Promedio de intensidad ICUs Primavera-día.



Fuente: Elaboración propia (2021)

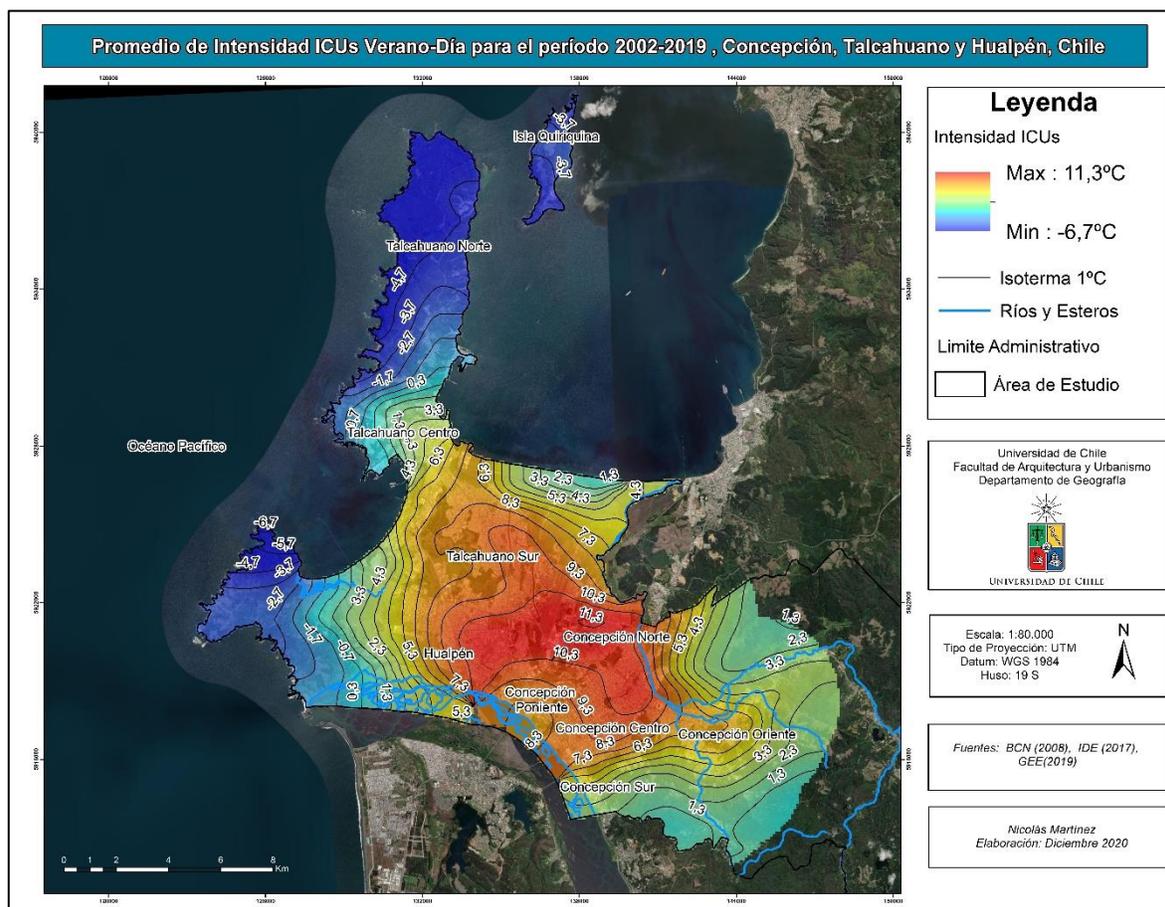
4.2.4 Verano día

A modo general, en lo que concierne a la configuración espacial de las intensidades de las Islas de Calor Urbano Superficial e Islas de Frescor Urbano Superficial para la estación de verano durante el periodo diurno, es posible observar en la imagen (Figura 26) que las ICUs de mayor intensidad se localizan principalmente en la zona norte, poniente y centro de Concepción, Hualpén oriente y Talcahuano sur. Siendo estas las zonas de las tres comunas anteriormente mencionadas con las intensidades de ICUs más altas Lo cual, es graficado a través de colores cálidos, ya sea a través del rojo que indica los máximos valores o el amarillo que indica las intensidades medias. Por otra parte, con menores intensidades de ICUs se presenta la zona centro de Talcahuano. Por el contrario, la zona norte de Talcahuano y la zona costera de Hualpén, en Caleta Lengua, presentan colores más fríos, los cuales grafican Islas de frescor urbano superficial.

En el periodo diurno de la estación de verano, las mayores intensidades de ICUs se localizaron a lo largo de la zona norte, centro y oriente de Concepción, Hualpén oriente y Talcahuano sur, las cuales presentaron intensidades de ICUs que fluctuaban entre los 6,3°C y 11,3°C. En base a los valores

expresados según la clasificación de Fernández (1996), adaptada por Williams (2019), presenta intensidades de ICUs que pueden definirse como muy fuerte, las cuales corresponden a 6°C o más (muy fuerte). Por el contrario, la zona norte de Talcahuano y poniente de Hualpén presentan intensidades de ICUs que pueden ser definidas como como islas de frescor urbano, con valores de intensidad que fluctúan entre los -1°C y los -6,7°C.

Figura 26: Promedio de intensidad ICUs Verano-día



Fuente: Elaboración propia (2021).

Las ICUs diurnas presentaron importantes variaciones de los máximos y mínimos respecto a la estacionalidad, esto se debe principalmente a la inclinación del eje de la tierra por estación, lo que genera una variación en la insolación de cada estación del año. Si bien, durante el periodo diurno existe una mayor insolación, su intensidad variará según la inclinación de la tierra. Por consiguiente, en la época de invierno la inclinación en el hemisferio sur hacia el sol es menor, por lo tanto, la insolación disminuye. Por el contrario, en verano la inclinación en el hemisferio sur es mayor y la insolación es más intensa. Lo que explicaría las mayores intensidades de ICUs en el área de interés. Cabe destacar que a medida que la insolación aumenta durante las estaciones del año (invierno, otoño, primavera y verano) las intensidades de las ICUs se mostraron en aumento. A este fenómeno se suma el caso de los vientos por los centros de alta y baja presión por las diferencias de

temperatura ya que durante el día el continente se calienta más rápido y así se genera un centro de baja presión, por lo tanto, los vientos van desde la costa hacia el interior. Lo que también explicaría, las menores intensidades, o más bien las Islas de Frescor Urbano en la zona costera, las que están dadas por las buenas condiciones de viento. Las cuales se intensifican respecto a las estaciones del año, ya que durante el invierno son menores, pero a medida que la insolación es mayor, los sistemas de viento se intensifican lo que explicaría una mayor ventilación de la zona costera en los meses más cálidos. Tal como se puede observar en los mapas de ICUs, que tanto las intensidades máximas de ICUs como las Islas de Frescor Urbano, se fueron intensificando a medida que se avanzaba de los meses más fríos a los más cálidos, por lo que explicaba anteriormente.

En lo que respecta a los valores específicos de las mínimas y máximas intensidades de las ICUs nocturnas para cada estación, evidenciaron que las máximas para todas las estaciones del año se presentaron en Talcahuano Norte, exceptuando el mes de verano que se presentó en Concepción Centro. Por el contrario, las mínimas intensidades se observaron en el sector de Concepción Norte. Lo anteriormente mencionado se ve expresado a través de la siguiente *Tabla 4*:

Tabla 4: Intensidades promedio ICUs diurnas para Talcahuano, Hualpén y Concepción (Periodo 2002-2019)

MODIS - Diurna				
Zona	ICUs Invierno	ICUs Otoño	ICUs Primavera	ICUs Verano
Talcahuano Norte	(-0,2°C) - (-1,7°C)	(-0,8°C) - (-3,4°C)	(-1,1°C) - (-3,5°C)	(-5,5°C) - (0,3°C)
Talcahuano Centro	(-0,2°C) - (0,8°C)	(0,1°C) - (3,1°C)	(0,9°C) - (3,9°C)	(0,3°C) - (6,3°C)
Talcahuano Sur	(0,8°C) - (1,8°C)	(3,1°C) - (6,1°C)	(3,9°C) - (7,9°C)	(6,3°C) - (10,3°C)
Hualpén Poniente	(-1°C) - (0,8°C)	(-2,8°C) - (3,1°C)	(-4,1°C) - (2,9°C)	(-5,7°C) - (5,3°C)
Hualpén Oriente	(0,3°C) - (1,8°C)	(3,1°C) - (6,1°C)	(2,9°C) - (7,9°C)	(5,3°C) - (11,2°C)
Concepción Norte	(0,8°C) - (2,6°C)	(5,1°C) - (7,2°C)	(6,9°C) - (8,7°C)	(10,1°C) - (11,3°C)
Concepción Centro	(-0,4°C) - (1,1°C)	(3,1°C) - (5,1°C)	(3,9°C) - (7,3°C)	(-1°C) - (0,8°C)
Concepción Poniente	(-0,5°C) - (0,8°C)	(4,1°C) - (5,1°C)	(5,3°C) - (6,9°C)	(4,3°C) - (10,3°C)
Concepción Oriente	(-0,3°C) - (1,3°C)	(2,1°C) - (5,1°C)	(2,9°C) - (7,3°C)	(3,3°C) - (10,3°C)
Concepción Sur	(-0,2°C) - (-1,5°C)	(1,1°C) - (3,8°C)	(0,9°C) - (5,5°C)	(2,3°C) - (8,7°C)

Fuente: Elaboración propia (2021).

4.3 Optimización de la resolución espacial de la Isla de calor superficial con un sensor de mayor resolución (Landsat 8) para la estación de mayor intensidad

Las intensidades de las ICUs verano-diurnas presentan características muy similares para el periodo 2015-2020. Los máximos valores de intensidad no presentan una variación significativa y no existe un patrón de aumento ni disminución a lo largo del periodo. El valor máximo de intensidad de ICUs se presentó el año 2020, con un valor de 11,5°C. Así mismo, este año presentó la máxima intensidad para las Islas de frescor urbano, las cuales mostraban valores de -13,4°C. El resumen de temperaturas máximas y mínimas por años son expuestas en la siguiente *Tabla 5*. Además, es posible observar las cartografías de ICUs Landsat para cada año: 2016 (*Anexo 4*), 2017 (*Anexo 5*), 2018 (*Anexo 6*), 2019 (*Anexo 7*) y 2020 (*Anexo 8*).

Tabla 5: Intensidades promedio ICUs diurnas para Talcahuano, Hualpén y Concepción. (Periodo 2016-2020)

Verano	ICUs
2016	(-9,5°C) - (10,6°C)
2017	(-12,1°C) - (10,3°C)
2018	(-11,8 °C) - (10,3°C)
2019	(-10,1°C) - (10,7°C)
2020	(-13,4°C) - (11,5°C)

Fuente: Elaboración propia (2021).

Para efectos del análisis de resultados, las intensidades de las islas de calor son representadas gráficamente por una paleta de colores que contempla desde colores fríos, es decir, las menores intensidades registradas (Islas de frescor urbano superficial), variando hacia colores amarillos para graficar las intensidades intermedias, hasta colores cálidos, siendo estos correspondientes a las mayores intensidades registradas de las ICUs.

A modo general, en lo que concierne a las intensidades y la configuración espacial de las ICUs en el periodo 2016-2020, no presentan importantes variaciones. Si bien, existen diferencias en cuanto a las máximas y mínimas intensidades, la configuración espacial de la ICUs muestra un patrón de conformación respecto a la zona urbana consolidada para todos los años del periodo mencionado. Por lo tanto, se considerará la imagen promedio verano diurno del periodo 2016 - 2020 puesto que esta es representativa para el análisis del periodo año por año.

4.3.1 Promedio 2016-2020 verano - diurno (Intensidad máxima).

En lo que respecta a la configuración espacial de las intensidades de las Islas de Calor Urbano Superficial e Islas de Frescor Urbano Superficial para la estación de verano durante el periodo diurno, es posible observar en la imagen (*Figura 27*) que las ICUS de mayor intensidad se localizan en la comuna de Talcahuano, principalmente en tres zonas de la misma: la zona costera (Huachipato, Puerto de Talcahuano, Zona Industrial) la cual presenta intensidades que oscilan entre 4°C y 9°C, corresponde a intensidades que van desde moderadamente fuerte a muy fuerte; La segunda

corresponde al aeropuerto Carriel Sur la cual presenta intensidades que oscilan entre los 6° y 9°C, la cual corresponde a una intensidad muy fuerte; La zona del Mall Plaza Trébol presenta intensidades que oscilan entre los 4° y 9°C, corresponde a intensidades que van desde moderadamente fuerte a muy fuerte. Cabe destacar que en esta comuna también es posible observar importantes intensidades en la zona residencial de Talcahuano Centro y Sur. En el caso de Talcahuano Centro los barrios que presentaron mayores intensidades de ICUs fueron San Vicente y el Arenal, las cuales presentaron intensidades que oscilaron entre los 2°C a los 6,5°C, las cuales corresponden a intensidades que van desde moderadamente débil a muy fuerte. Así mismo, en Talcahuano Sur los barrios más afectados corresponden a 7: los primeros corresponden a los barrios de Libertad, Gaete, Leonor Mascayano y Santa clara presentan intensidades de ICUs que oscilaron entre 3°C y 6°C, las cuales corresponden a intensidades que van desde moderada a fuerte. Estas altas intensidades podrían explicarse por la cercanía que se observa de estos barrios con el sector industrial de la comuna, la cual también presenta importantes intensidades como se mencionó anteriormente. También, dentro de los barrios que presentaron importantes intensidades ICUs se encuentra Santa Cecilia, Industrial de Talcahuano y Brisas del sol, las cuales presentaron intensidades que oscilaron entre los 2°C y 7,8°C, las cuales corresponden a intensidades que van desde moderadamente débil a muy fuerte. Estas altas intensidades se podrían explicar por tres importantes razones: la primera corresponde a la presencia de un conjunto de canchas de cemento, las cuales marcan las mayores intensidades para el barrio de Santa Cecilia, la segunda corresponde a que el barrio Industrial de Talcahuano presenta tanto la presencia de casas como un sector de comercio industrial y la última corresponde a la cercanía del barrio Brisas del Sol con el aeropuerto Carriel Sur, la cual es la zona que presenta las mayores intensidades de ICUs para el periodo 2015-2020. Cabe destacar que, además de lo mencionado anteriormente existen condiciones de materialidad y usos de suelo que condicionan la intensidad de las ICUs en los sectores mencionados.

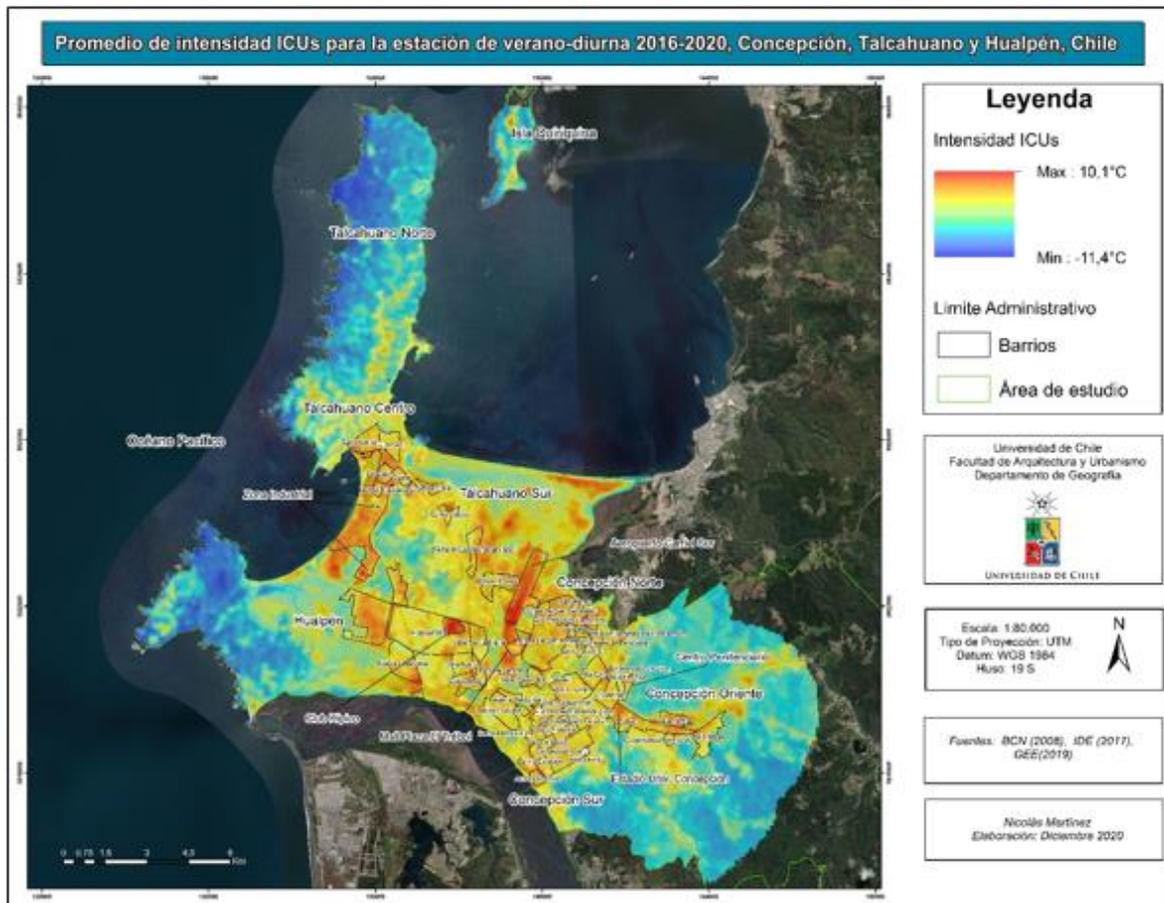
En el caso de Hualpén también fue posible observar altas intensidades de ICUs, las cuales se observaron principalmente en 2 zonas de la comuna: la primera corresponde a la zona costera de la comuna más específicamente el sector de la Refinería de la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) presenta intensidades que oscilan entre los 3°C y 7,5°C, corresponden a intensidades que van desde moderada a muy fuerte y la segunda corresponde al sector del Club Hípico de Concepción el cual presenta intensidades que oscilan entre los 6°C hasta los 9°C, la cual corresponde a intensidades que se pueden clasificar como muy fuertes. Cabe destacar que en esta comuna también es posible observar importantes intensidades en la zona residencial. En Hualpén los barrios más afectados por altas intensidades de ICUs corresponden a Hualpencillo, Nueva Costanera, Valle Santa María, Villa Acero, Colón 9000 y Parque central, las cuales presentan intensidades oscilan entre 2°C y los 9°C, estas se clasifican como intensidades moderadamente débiles a muy fuertes. Estas altas intensidades se podrían explicar por dos importantes razones: la primera corresponde a la presencia de un conjunto de canchas de cemento, las cuales marcan unas de las mayores intensidades para el barrio de Hualpencillo, específicamente en el sector sur y la segunda corresponde a la presencia del Club hípico de Concepción, la cual presenta una importante explanada de suelo desnudo, convirtiéndose así en un lugar propicio para la concentración de calor. Cabe destacar que, además

de lo mencionado anteriormente existen condiciones de materialidad y usos de suelo que condicionan la intensidad de las ICUs en los sectores mencionados.

En el caso de Concepción fue posible observar altas intensidades de ICUs en toda la comuna, estas se pudieron observar principalmente en la zona residencial de todas las zonas de Concepción. El caso Concepción Norte corresponde a uno de los más afectados por las altas intensidades de ICUs, principalmente los barrios de Lomas de San Sebastián, San Remo, Las Princesas, Torreones, Lomas de San Andrés, Valle Alto, Villa Universidad de Concepción, Barrio Modelo, Cipreses de la Bellavista, Valle Escondido Paicaví, Barrio Norte, Villa CAP, Jardines de Andalién, Villa Endesa y Chillancito, las cuales presentan intensidades de ICUs que oscilan entre 2,3°C y 7,2°C, estas pueden categorizarse como intensidades que van desde moderadamente débil a muy fuerte. Cabe destacar, que en esta misma zona se encuentra el Centro penitenciario El Manzano, la cual marca la mayor intensidad de ICUs para la zona de 7,2°C. Del mismo modo, se presenta el caso de Concepción Centro que presentó las mayores intensidades de ICUs en los barrios de Plaza La Cruz, Estación, Cerro Amarillo, Casco Histórico, Remodelación Paicaví, Concepción Centro y Plaza Perú, las cuales presentan intensidades de ICUs que oscilan entre 2,6°C a 7,3°C, estas pueden categorizarse como intensidades que van desde moderadamente débil a muy fuerte. Cabe destacar que la zona más afectada corresponde al sector de Barrio Estación, más específicamente en el sector sur del mismo, donde se ubica el supermercado de la empresa Walmart S.A. También, fue posible observar altas intensidades de ICUs en Concepción Oriente, principalmente en los barrios de Collao, Valle Noble, Cooperativa Puchacay y Palomares, las cuales presentan intensidades de ICUs que oscilan entre 2,2°C y 7,9°C, estas pueden categorizarse como intensidades que van desde moderadamente débil a muy fuerte. Cabe destacar que la zona más afectada corresponde al sector del Campo Deportivo del Club Universidad de Concepción, la cual marca 7,9°C de intensidad de ICUs. Finalmente, se encuentra el caso de Concepción Sur donde el sector más afectado es el barrio de Aurora de Chile, la cual presenta intensidades que oscilan entre 3,9°C y 6,2°C, estas pueden categorizarse como intensidades que van desde moderadamente fuerte a muy fuerte. Cabe destacar que la mayor intensidad se registró en unos terrenos baldíos aledaños al Parque Bicentenario, con intensidades de ICUs de 6,2°C.

En lo que respecta las islas de frescor urbano se caracterizan por encontrarse fuera de la zona urbana consolidada, principalmente en la zona rural de Concepción como en toda la costera próxima de Talcahuano y Hualpén. Sin embargo, en la zona urbana fue posible observar zonas que presentaban Islas de Frescor Urbano, en los sectores que poseían cuerpos de agua como es el caso de la Laguna redonda, Laguna Tres Pascuas, Laguna Lo Méndez, Laguna Lo Galindo y el humedal Price, las cuales presentaban Islas de Frescor Urbano que fluctuaban entre los -0,2°C hasta los -2,1°C. A esto se suma el caso del sector del Santuario del Cerro la Virgen la cual presenta intensidades de Islas de Frescor Urbana de que oscilan entre -1,9°C hasta -3,1°C. Por otra parte, en el área de interés las menores intensidades se localizaron principalmente en la zona costera tanto de Talcahuano como Hualpén, las cuales presentaban Islas de Frescor que fluctuaban entre los -2°C hasta los -9°C. Esto se debe a que estas zonas se caracterizan por tener importantes condiciones de viento poniente.

Figura 27: Promedio de intensidad ICUs verano-diurna 2016-2020



Fuente: Elaboración propia (2021)

4.4 Comparación de las intensidades de Islas de Calor Urbana superficial (ICUs) con las Zonas Climáticas Locales (ZCL)

A modo general la actualización de las Zonas Climáticas Locales (ZCL) establecidas por Romero (2012) arrojaron una serie de transformaciones respecto al uso del suelo, evidenciándose un importante cambio en los que respecta a las series naturales, quienes fueron las que sufrieron más cambios para el año 2020. Las cuales fueron reemplazadas por principalmente por series construidas del tipo B3 (Alta densidad de baja altura). Por otra parte, las ZCL más afectadas por ICUs corresponde a las ZCL B7 (Construcción ligera de baja altura, B10 (Industrial) y N5 (Suelo desnudo), las cuales presentaban intensidades que según Fernández (1996), adaptado por Williams (2019) se pueden definir como muy fuertes (mayor a 6°C).

4.4.1 Actualización y descripción de las Zonas Climáticas Locales (2012) de Concepción, Talcahuano y Hualpén

Las Zonas Climáticas Locales (ZCL) establecidas por Romero en (2012) están definidas por dos series esenciales: las series construidas y naturales. El área para cada una de ellas queda expresada en la siguiente *Tabla 6*.

Tabla 6: Extensión total (m²) de las series construidas y naturales para el año (2012)

Series construidas totales (m ²)
63.762.229
Series naturales totales (m ²)
16.861.123

Fuente: Elaboración propia (2021) en base a Romero (2012)

La primera de esta muestra una superficie total de 63.762.229 m², la cual está compuesta principalmente por una ZCL de Alta densidad de baja altura (ZCL B3) y muestra una superficie total de 34.438.852 m², es decir, un 54% del total de las series construidas. La totalidad de las series construidas son expresadas en la *Tabla 6*. Por otra parte, las series naturales muestran una superficie total de 16.861.123 m², la cual está compuesta principalmente por una ZCL de Cobertura vegetal baja (ZCL N4) y muestra una superficie total de 5.206.139 m², es decir, un 30% del total de las series naturales. Cabe destacar, que también muestra una superficie importante las áreas definidas como Suelo desnudo (N5), las cuales presentan una superficie total de 4.896.677 m², es decir, un 29% del total de las series naturales. La totalidad de las series naturales son expresadas a través de la *Tabla 6*. Por otra parte, las áreas de cada serie de las Zonas Climáticas Locales (2012) queda expresada en la *Tabla 7*.

Tabla 7: Área de las series de las Zonas Climáticas Locales para el año 2012.

TOTAL	
ZCL	Área(m ²)
B3	34.438.852
B9	9.599.571
B7	6.743.494
B10	5.934.498
N4	5.206.139
N5	4.896.677
B6	4.049.646
N3	3.791.555
N2	2.807.841
B5	2.480.159
B2	436.194
N1	158.912
B1	79.816

Fuente: Elaboración propia (2021) en base a Romero (2012)

En el caso particular de cada comuna (*Anexo 9*), se encuentra un punto en común y es que la ZCL B3 corresponde en las 3 comunas (Concepción, Talcahuano y Hualpén), se presenta como la que posee mayor superficie. En el caso de Concepción (*Anexo 9.1*) la ZCL B3 muestra una superficie total de 15.642.167 m², lo que corresponde a un 45,4% del total de las series construidas B3 del área de interés. En lo que respecta a Hualpén (*Anexo 9.2*) la ZCL B3 muestra una superficie total de 11.778.268 m², lo que corresponde a un 18,5% del total de series construidas para el área de interés. Finalmente, en el caso de Talcahuano (*Anexo 9.3*) la ZCL B3 muestra una superficie total de 7.018.417 m², lo que corresponde a un 11% del área total de series construidas para el área de interés.

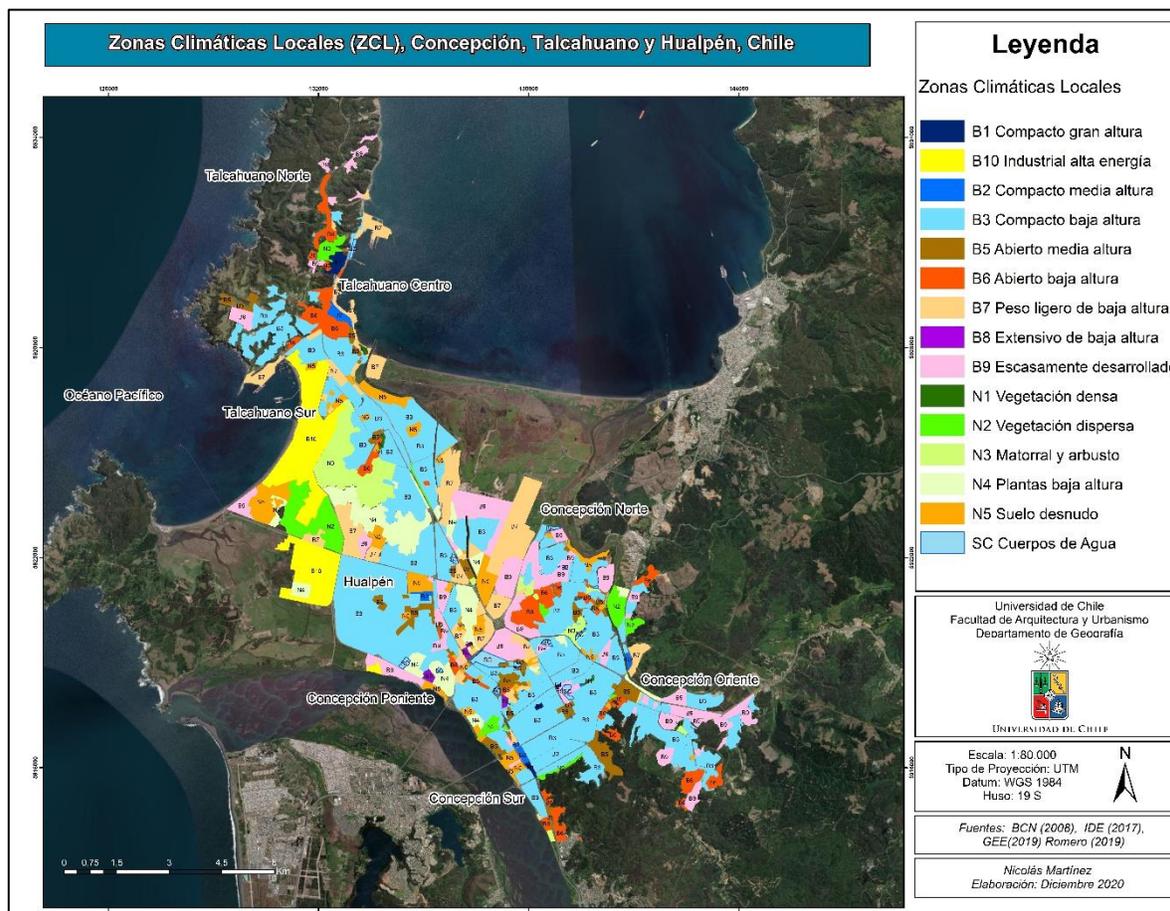
En lo que concierne a las series naturales para cada comuna, se presentan con una superficie mucho menor a las series construidas. En el caso de la comuna de Talcahuano se presentan las series naturales de mayor superficie en el área total, las cuales corresponden a ZCL N4 y ZCL N3, las que presentan respectivamente 2.780.903 m² (N4) y 2.778.581 (N3), ambas representan el 33% del total de las series naturales de las 3 comunas. Cabe destacar que la ZCL N5 muestra una importante superficie en el caso de Talcahuano, esta corresponde a 2.695.667 m², es decir, un 16% de las series naturales totales del área de interés.

En el caso de Concepción y Hualpén, dentro de las series naturales la que presenta mayor superficie corresponde a la ZCL N5. Para el caso de Concepción presenta una superficie total de 1.232.491 m², es decir un 7,3% del área total de series naturales. Así mismo, en el caso de Hualpén esta serie presenta una superficie total de 968.518 m², lo que corresponde a un 5,7% del área total de series naturales.

4.4.2 Resultados de la actualización (2021) de las Zonas Climáticas Locales de Concepción, Talcahuano y Hualpén

Las Zonas Climáticas Locales (ZCL) establecidas por Romero en (2012) fueron actualizadas para el año 2021. Esta actualización queda expuesta en la *Figura 28*.

Figura 28: Zonas Climáticas Locales (ZCL) actualizadas (2021) para las comunas de Concepción, Talcahuano y Hualpén.



Fuente: Elaboración propia (2021)

Al igual que el caso de las ZCL 2012 (Romero) las actualizadas están definidas por dos series esenciales: las series construidas y naturales.

Tabla 8: Extensión total (m²) actualizada (2021) de las series construidas y naturales para el año (2012)

Series Contruidas totales (m ²)
65.717.584
Series naturales totales (m ²)
15.548.935

Fuente: Elaboración propia (2021)

La primera de esta muestra una superficie total de 65.717.584 m², la cual está compuesta principalmente por una ZCL de Alta densidad de baja altura (ZCL B3) y muestra una superficie total de 35.529.945 m², es decir, un 54,1% del total de las series construidas. La totalidad de las series construidas son expresadas en la *Tabla 8*. Por otra parte, las series naturales muestran una superficie total de 15.548.935 m², la cual está compuesta principalmente por una ZCL de Cobertura vegetal baja (ZCL N4) y muestra una superficie total de 4.616.016 m², es decir, un 29,7% del total de las series naturales. La totalidad de las series naturales son expresadas a través de la *Tabla 8*.

Tabla 9: Área de las series de las Zonas Climáticas Locales para el año 2020

Total		
ZCL	Área(m2)	Porcentaje (%)
B3	35.529.945	54,1
B9	8.831.488	13,4
B7	7.373.577	11,2
B10	6.037.991	9,2
N4	4.616.016	29,7
B6	4.188.746	6,4
N5	3.923.362	25,2
N3	3.269.683	21,0
N2	2.923.996	18,8
B5	2.772.800	4,2
SC	666.951	4,3
B2	465.366	0,7
B1	311.762	0,5
B8	205.910	0,3
N1	148.926	1,0

Fuente: Elaboración propia (2021)

En el caso particular de cada comuna (*Anexo 10*), coinciden en que la ZCL B3 corresponde en las 3 comunas (Concepción, Talcahuano y Hualpén), se presenta como la que posee mayor superficie. En el caso de Concepción (*Anexo 10.1*) la ZCL B3 muestra una superficie total de 16.382.942 m², lo que corresponde a un 24,9% del total de las series construidas del área de interés. En lo que respecta a Hualpén (*Anexo 10.2*) la ZCL B3 muestra una superficie total de 12.124.236 m², lo que corresponde a un 18,4% del total de series construidas B3 para el área de interés. Finalmente, en el caso de Talcahuano (*Anexo 10.3*) la ZCL B3 muestra una superficie total de 7.021.266 m², lo que corresponde a un 10,7% del área total de series construidas para el área de interés.

En lo que concierne a las series naturales para cada comuna, se presentan con una superficie mucho menor a las series construidas. En el caso de la comuna de Talcahuano se presentan las series naturales de mayor superficie en el área total, las cuales corresponden a ZCL N3 y ZCL N4, las que presentan respectivamente 2.790.390 m² (N3) y 2.600.574 (N4), ambas representan el 31,9% del total de las series naturales de las 3 comunas. Cabe destacar que la ZCL N5 también muestra una importante superficie en el caso de Talcahuano, esta corresponde a 2.360.018 m², es decir, un 15,2% de las series naturales totales del área de interés.

En el caso de Hualpén, dentro de las series naturales la que presenta mayor superficie corresponde a la ZCL N4. Esta zona presenta una superficie total de 1.623.941 m², es decir un 10,4% del área total de las series naturales. Distinto es el caso que se presenta en Concepción la ZCL que se presenta con mayor superficie corresponde a N2 con un total de 959.152 m², el cual corresponde al 6,2% de las series naturales totales del área de interés (*Anexo 10.3*).

Al observar los porcentajes de cada ZCL para el año 2012 y 2021 pueden mostrar que no existen importantes variaciones, pero también existió un aumento de ZCL que fueron integradas dentro de la zona urbana. Por lo cual, se genera una cierta proporcionalidad de valores lo que genera esta estabilidad en los porcentajes. Sin embargo, si se evalúan las variaciones de las ZCL por m² es posible observar una variación sustancial en alguna de ellas. Principalmente, se puede observar el aumento de las series construidas en desmedro de las series naturales.

El primer punto donde se puede observar esto corresponde al aumento de las series construidas, las cuales para el año 2012 mostraban una superficie total de 63.762.229 m² y para el año 2020 muestra una superficie total de 65.717.584 m², lo que muestra un aumento de 1.955.335 m² en un periodo de 8 años. En consecuencia, este aumento significó una disminución de las series naturales, las cuales para el año 2012 mostraban una superficie total de 16.861.123 m² y para el año 2020 muestra una superficie total de 15.548.935 m², lo que muestra una importante disminución de 1.312.188 m². Si bien, existe una diferencia respecto al aumento de series construidas y series naturales, más específicamente de 643.147 m² esto se debió principalmente a que zonas rurales no se encontraban zonificadas para las ZCL del 2012. Por lo tanto, no se consideraron en la variación de series naturales. Sin embargo, se puede considerar que cada m² que aumentaron las series construidas generó la misma disminución en series naturales.

4.5 Configuración Espacial e intensidades de las ICUs según las Zonas Climáticas Locales

Las intensidades de ICUs han mostrado diversos comportamientos según la Zona Climática Local (ZCL), ya sean diferencias por clasificación, es decir, series construidas y naturales o por características únicas de cada ZCL. Esto se debe, a que, dentro de las ZCL, tanto en las construidas como las naturales existen características únicas. En lo que respecta a las zonas más afectadas destaca en las Series construidas la ZCL B10, la cual corresponde a áreas industriales y en el caso de las Series naturales destaca el caso de la ZCL N5, la cual corresponde a suelo desnudo. Las ZCL serán descritas por serie (Construida y Naturales) y según el orden de definición que propone Stewart y Oke (2012).

4.5.1 Series Construidas

Para el análisis del presente apartado se observan los valores obtenidos para las series construidas, los cuales se observan en la *Tabla 10* y *Tabla 11*, presentando esta última los resultados para cada serie sin valores atípicos. Con dichos valores se elaboró el diagrama presentado en la *Figura 29*, el cual grafica la relación de las ICUs verano-diurna 2016-2020 con las Zonas Climáticas Locales.

Tabla 10: Tabla descriptiva de relación de las ICUs verano-diurna 2016-2020 con las series construidas Zonas Climáticas Locales (ZCL)

Series construidas	B1	B2	B3	B5	B6	B7	B8	B9	B10
Mínimo (°C)	-3,39	-0,05	-4,21	-4,15	-3,53	-4,91	1,9	-4,36	-0,56
1er Cuartil (°C)	-2,69	2,93	2,37	2,12	0,9	3,42	2,97	1,91	4,1
Mediana (°C)	1,97	3,85	3,26	3,24	2,08	4,61	3,49	3,72	5,26
3er Cuartil (°C)	3,11	5,21	3,99	4,29	3,64	5,82	4,06	4,78	6,14
Máximo (°C)	4,83	7,98	9,02	8,01	6,19	9,72	7,35	7,76	9,4
IQR (°C)	5,81	2,28	1,62	2,17	2,74	2,4	1,09	2,87	2,05

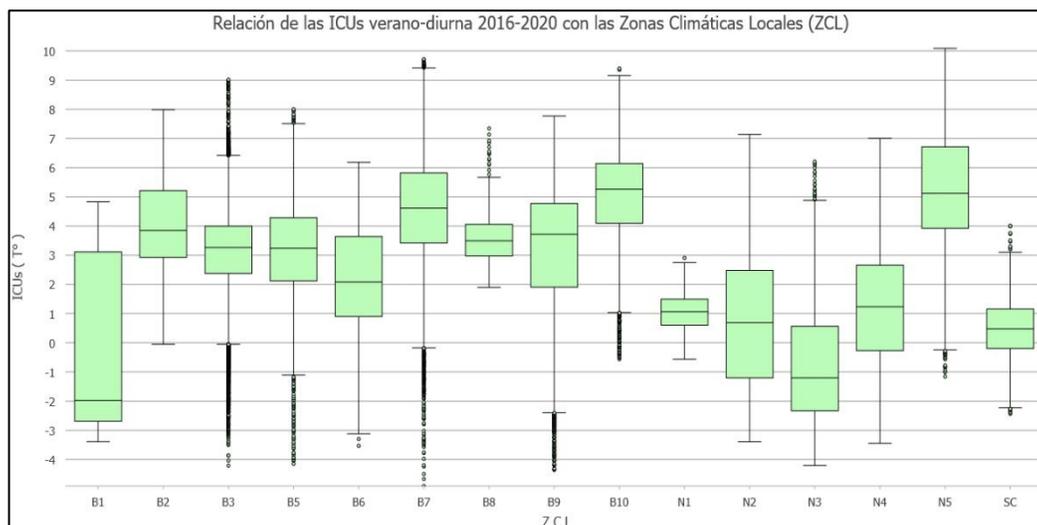
Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla 11: Tabla descriptiva de las series construidas sin valores atípicos.

Series construidas sin valores atípicos	B1	B2	B3	B5	B6	B7	B8	B9	B10
Mínimo (°C)	-3,39	-0,05	-0,1	-1,03	-3,12	-0,12	1,9	-2,14	1,02
Máximo (°C)	4,83	7,98	6,5	7,82	6,19	9,34	5,92	7,76	9,1

Fuente: Elaboración propia (2021)

Figura 29: Gráfico de relación de las ICUs verano-diurna 2016-2020 con las Zonas Climáticas Locales.



Fuente: Elaboración propia (2021)

La primera ZCL corresponde a Alta densidad de gran altura (B1): estas zonas se presentan principalmente como áreas de coberturas poco permeables. En lo que respecta a sus intensidades ICUs presenta una mínima de $-3,39^{\circ}\text{C}$ y una máxima de $4,83^{\circ}\text{C}$.

En cuanto a su distribución en el diagrama los datos están divididos según la cantidad de datos por las variables de mínimo, primer cuartil, mediana, tercer cuartil y máximo. Estas variables para B1 nos indican que las intensidades que van desde $-3,39^{\circ}\text{C}$ a $-2,69^{\circ}\text{C}$ corresponden al 25% de la muestra total, dado que $2,69^{\circ}\text{C}$ corresponde al primer cuartil que divide los datos. Así mismo, sucede con los datos que oscilan entre $-2,69^{\circ}\text{C}$ y $-1,97^{\circ}$, los cuales también corresponde al 25% y están marcados por la mediana. También sucede así para las intensidades que oscilan desde $-1,97^{\circ}\text{C}$ a $3,11^{\circ}\text{C}$ y están marcado por el 3er cuartil, los cuales expresan el 25% de la muestra. El mismo caso corresponde para para las intensidades que oscilan entre $3,11^{\circ}\text{C}$ y $4,83^{\circ}\text{C}$, las cuales están definidas por la máxima intensidad. Entonces, respecto a la ZCL B1 muestra que existe un rango de intensidades que corresponde a $8,22^{\circ}\text{C}$ (oscilación entre $-3,39^{\circ}\text{C}$ a $4,83^{\circ}\text{C}$). Además, de presentar un rango de intensidades InterCuartil (IQR) de $5,81^{\circ}\text{C}$, la cual corresponde a la distancia que existe entre los dos extremos de la caja. Cabe destacar, que la distribución de la *caja* dentro del diagrama no se presenta de forma equitativa para las distribuciones de la mediana ($-1,97^{\circ}\text{C}$) y esto se debe a que las intensidades a partir de la mediana hacia el máximo se encuentran más separados en la zona superior de la *caja*, es decir, las intensidades de ICUs muestran valores que son menos constantes a diferencia de la mitad inferior de la *caja*, la cual se muestra más compacta y por ende, sus datos de ICUs son más constantes en su distribución. A partir de lo definido anteriormente se puede extraer que al menos el 25% de la ZCL B1 muestra intensidades sobre los 3°C hasta casi los 5°C , estas intensidades fluctúan entre moderadas a moderadamente fuerte, lo que se ve expresado en la *Tabla 2*. Así mismo, se puede extraer que la ZCL B1 presenta intensidades de ICUs negativas al menos para el 50% de los datos de la muestra, las cuales oscilan entre $-3,39^{\circ}\text{C}$ y $-1,97^{\circ}\text{C}$ de intensidades ICUs. Todo lo expuesto anteriormente se ve graficado en la *figura 29*.

La segunda ZCL corresponde a Alta densidad de media altura (B2): estas zonas se presentan principalmente como áreas de coberturas poco permeables. En lo que respecta a sus intensidades ICUs presenta una mínima de $-0,05^{\circ}\text{C}$ y una máxima de $7,98^{\circ}\text{C}$.

En cuanto a su distribución en el diagrama los datos están divididos según la cantidad de datos por las siguientes variables: mínimo, primer cuartil, mediana tercer cuartil y máximo, las cuales sumadas expresan el 100% de los datos de ICUs en la muestra. Estas variables para B2 nos indican que las intensidades ICUs que van desde $-0,05^{\circ}\text{C}$ a $2,93^{\circ}\text{C}$ corresponden al 25% de la muestra total, dado que $2,93^{\circ}\text{C}$ corresponde al primer cuartil que divide los datos. Así mismo, sucede con los datos que oscilan entre $2,93^{\circ}\text{C}$ y $3,85^{\circ}$, los cuales también corresponde al 25% y están marcados por la mediana. También sucede así para las intensidades que oscilan desde $3,85^{\circ}\text{C}$ a $5,21^{\circ}\text{C}$ y están marcado por el 3er cuartil, los cuales expresan el 25% de la muestra. El mismo caso corresponde para las intensidades que oscilan entre $5,21^{\circ}\text{C}$ y $7,98^{\circ}\text{C}$, las cuales están definidas por la máxima intensidad representando así el 25% de la muestra total. Entonces, respecto a la ZCL B2 muestra que existe un rango de intensidades que corresponde a $8,03^{\circ}\text{C}$ (oscilación entre $-0,05^{\circ}\text{C}$ y $7,98^{\circ}\text{C}$). Además, de presentar un rango de intensidades InterCuartil (IQR) de $2,28^{\circ}\text{C}$, la cual corresponde a

la distancia que existe entre los dos extremos de la *caja* del diagrama. Cabe destacar, que la distribución de la *caja* dentro del diagrama no se presenta de forma equitativa para las distribuciones de la mediana ($3,85^{\circ}\text{C}$) y esto se debe a que las intensidades a partir de la mediana hacia el máximo se encuentran más separados en la zona superior de la *caja*, es decir, las intensidades de ICUs muestran valores que son menos constantes a diferencia de la mitad inferior de la *caja*, la cual se muestra más compacta y por ende, sus datos de ICUs son más constantes en su distribución. A partir de lo definido anteriormente se puede extraer que al menos el 75% de la ZCL B2 muestra intensidades sobre casi los 3°C hasta casi los 8°C , estas intensidades fluctúan entre moderadas a muy fuerte, lo que se ve expresado en la *Tabla 2*. Todo lo expuesto anteriormente se ve graficado en la *figura 29*.

La tercera ZCL corresponde a Alta densidad de baja altura (B3): estas zonas se presentan principalmente como áreas de coberturas poco permeables. En lo que respecta a sus intensidades ICUs presenta una mínima de $-0,05^{\circ}\text{C}$ y una máxima de $7,98^{\circ}\text{C}$.

En cuanto a su distribución en el diagrama los datos están divididos según la cantidad de datos por las siguientes variables: mínimo, primer cuartil, mediana tercer cuartil y máximo, las cuales sumadas expresan el 100% de los datos de ICUs en la muestra. Estas variables para B3 nos indican que las intensidades ICUs que van desde $-4,21^{\circ}\text{C}$ a $2,37^{\circ}\text{C}$ corresponden al 25% de la muestra total, dado que $2,37^{\circ}\text{C}$ corresponde al primer cuartil que divide los datos. Así mismo, sucede con los datos que oscilan entre $2,37^{\circ}\text{C}$ y $3,26^{\circ}\text{C}$, los cuales también corresponde al 25% y están marcados por la mediana. También sucede así para las intensidades que oscilan desde $3,26^{\circ}\text{C}$ a $3,99^{\circ}\text{C}$ y están marcado por el 3er cuartil, los cuales expresan el 25% de la muestra. El mismo caso corresponde para las intensidades que oscilan entre $3,99^{\circ}\text{C}$ y $9,02^{\circ}\text{C}$, las cuales están definidas por el máximo representando así el 25% de la muestra total. Entonces, respecto a la ZCL B3 muestra que existe un rango de intensidades que corresponde a $13,23^{\circ}\text{C}$ (oscilación entre $-4,21^{\circ}\text{C}$ y $9,02^{\circ}\text{C}$). Además, de presentar un rango de intensidades InterCuartil (IQR) de $1,62^{\circ}\text{C}$, la cual corresponde a la distancia que existe entre los dos extremos de la *caja* del diagrama. Cabe destacar, que dentro del diagrama se pueden observar valores que son clasificados como atípicos y estos son graficados a través de puntos que se encuentran externos a los *bigotes* del diagrama. Entonces, existe una variación respecto a los valores máximos y mínimos expresados en la *tabla 11*.

En el caso de la ZCL B3, se considera como valores atípicos de intensidades ICUs los mínimos que oscilan entre $-4,21^{\circ}\text{C}$ hasta $0,02$ y en el caso de los máximos presenta una variación de valores atípicos que oscila entre $6,5^{\circ}\text{C}$ a $9,2^{\circ}\text{C}$. En el caso de ZCL B3 la distribución de la *caja* en su parte inferior y superior se muestran relativamente similares, presenta una leve distribución mayor de datos para la parte superior de la *caja*, por lo cual se puede entender que para ambos cuartiles la distribución de datos se presenta de forma constante. A partir de lo definido anteriormente y eliminando los valores atípicos de las intensidades de ICUs, se puede extraer que al menos el 75% de la ZCL B3 muestra intensidades sobre los 2°C hasta casi los 7°C , estas intensidades fluctúan entre moderadamente débil a muy fuerte, lo que se ve expresado en la *Tabla 2*. Todo lo expuesto anteriormente se ve graficado en la *figura 29*.

La quinta ZCL corresponde a Baja densidad de media altura (B5): estas zonas se presentan principalmente como áreas de coberturas permeables. En lo que respecta a sus intensidades ICUs presenta una mínima de $-4,15^{\circ}\text{C}$ y una máxima de $8,01^{\circ}\text{C}$.

En cuanto a su distribución en el diagrama los datos están divididos según la cantidad de datos por las siguientes variables: mínimo, primer cuartil, mediana tercer cuartil y máximo, las cuales sumadas expresan el 100% de los datos de ICUs en la muestra. Estas variables para B5 nos indican que las intensidades ICUs que van desde $-4,15^{\circ}\text{C}$ a $2,12^{\circ}\text{C}$ corresponden al 25% de la muestra total, dado que $2,12^{\circ}\text{C}$ corresponde al primer cuartil que divide los datos. Así mismo, sucede con los datos que oscilan entre $2,12^{\circ}\text{C}$ y $3,24^{\circ}\text{C}$, los cuales también corresponde al 25% y están marcados por la división de la mediana. También sucede así para las intensidades que oscilan desde $3,24^{\circ}\text{C}$ a $4,29^{\circ}\text{C}$ y están marcado por el 3er cuartil, los cuales expresan el 25% de la muestra. El mismo caso corresponde para las intensidades que oscilan entre $3,24^{\circ}\text{C}$ y $8,01^{\circ}\text{C}$, las cuales están definidas por el máximo representando así el 25% de la muestra total. Entonces, respecto a la ZCL B5 muestra que existe un rango de intensidades que corresponde a $12,16^{\circ}\text{C}$ (oscilación entre $-4,15^{\circ}\text{C}$ y $8,01^{\circ}\text{C}$). Además, de presentar un rango de intensidades InterCuartil (IQR) de $2,17^{\circ}\text{C}$, la cual corresponde a la distancia que existe entre los dos extremos de la *caja* del diagrama. Cabe destacar, que dentro del diagrama se pueden observar valores que son clasificados como atípicos y estos son graficados a través de puntos que se encuentran externos a los *bigotes* del diagrama. Entonces, existe una variación respecto a los valores máximos y mínimos que se expresan en la *Tabla 11*.

En el caso de la ZCL B5, se considera como valores atípicos de intensidades ICUs los mínimos que oscilan entre $-4,15^{\circ}\text{C}$ hasta $-1,03$ y en el caso de los máximos presenta una variación de valores atípicos que oscila entre $7,82^{\circ}\text{C}$ a $8,01^{\circ}\text{C}$. En el caso de ZCL B5 la distribución de la caja en su parte inferior y superior se muestran relativamente similares, presenta una casi nula distribución mayor de datos para la parte superior de la *caja*, por lo cual se puede entender que para ambos cuartiles la distribución de datos se presenta de forma constante. A partir de lo definido anteriormente y eliminando los valores atípicos de las intensidades de ICUs, se puede extraer que al menos el 75% de la ZCL B5 muestra intensidades sobre los 2°C hasta casi los 8°C , estas intensidades fluctúan entre moderadamente débil a muy fuerte lo que se ve expresado en la *Tabla 2*. Todo lo expuesto anteriormente se ve graficado en la *figura 29*.

La sexta ZCL corresponde a Abierto de baja altura (B6): estas zonas se presentan principalmente como áreas de coberturas permeables. En lo que respecta a sus intensidades ICUs presenta una mínima de $-3,53^{\circ}\text{C}$ y una máxima de $6,19^{\circ}\text{C}$.

En cuanto a su distribución en el diagrama los datos están divididos según la cantidad de datos por las siguientes variables: mínimo, primer cuartil, mediana tercer cuartil y máximo, las cuales sumadas expresan el 100% de los datos de ICUs en la muestra. Estas variables para B6 nos indican que las intensidades ICUs que van desde $-3,53^{\circ}\text{C}$ a $0,9^{\circ}\text{C}$ corresponden al 25% de la muestra total, dado que $0,9^{\circ}\text{C}$ corresponde al primer cuartil que divide los datos. Así mismo, sucede con los datos que oscilan entre $0,9^{\circ}\text{C}$ y $2,08^{\circ}\text{C}$, los cuales también corresponde al 25% y están marcados por la división de la mediana. También sucede así para las intensidades que oscilan desde $2,08^{\circ}\text{C}$ a $3,64^{\circ}\text{C}$ y están marcado por el 3er cuartil, los cuales expresan el 25% de la muestra. El mismo caso corresponde

para las intensidades que oscilan entre 3,64°C y 6,19°C, las cuales están definidas por el máximo representando así el 25% de la muestra total. Entonces, respecto a la ZCL B6 muestra que existe un rango de intensidades que corresponde a 9,72°C (oscilación entre -3,53°C y 6,19°C). Además, presenta un rango de intensidades InterQuartil (IQR) de 2,74°C, la cual corresponde a la distancia que existe entre los dos extremos de la caja del diagrama. Cabe destacar, que dentro del diagrama se pueden observar valores que son clasificados como atípicos y estos son graficados a través de puntos que se encuentran externos a los bigotes del diagrama. Entonces, existe una variación respecto a los valores máximos y mínimos que se expresan en la *Tabla 11*.

En el caso de la ZCL B6, se considera como valores atípicos de intensidades ICUs los mínimos que oscilan entre -3,53°C hasta -3,12 y en el caso de los máximos no presenta valores atípicos. En el caso de ZCL B6 la distribución de la caja en su parte inferior y superior se muestran relativamente similares, presenta una leve distribución mayor de datos para la parte superior de la caja, por lo cual se puede entender que para ambos cuartiles la distribución de datos se presenta de forma constante. A partir de lo definido anteriormente y eliminando los valores atípicos de las intensidades de ICUs, se puede extraer que al menos el 50% de la ZCL B3 muestra intensidades sobre los 2°C hasta casi los 7°C, estas intensidades fluctúan entre moderadamente débil a muy fuerte, lo que se ve expresado en la *Tabla 2*. Todo lo expuesto anteriormente se ve graficado en la *figura 29*.

La séptima ZCL corresponde a construcciones ligeras o de baja altura (B7): estas zonas se presentan principalmente como áreas de coberturas de tierra compacta. En lo que respecta a sus intensidades ICUs presenta una mínima de -4,91°C y una máxima de 9,72°C.

En cuanto a su distribución en el diagrama los datos están divididos según la cantidad de datos por las siguientes variables: mínimo, primer cuartil, mediana tercer cuartil y máximo, las cuales sumadas expresan el 100% de los datos de ICUs en la muestra. Estas variables para B7 nos indican que las intensidades ICUs que van desde -4,91°C a 3,42°C corresponden al 25% de la muestra total, dado que 3,42°C corresponde al primer cuartil que divide los datos. Así mismo, sucede con los datos que oscilan entre 3,42°C y 4,61°C, los cuales también corresponde al 25% y están marcados por la división de la mediana. También sucede así para las intensidades que oscilan desde 4,61°C a 5,82°C y están marcado por el 3er cuartil, los cuales expresan el 25% de la muestra. El mismo caso corresponde para las intensidades que oscilan entre 5,82°C y 9,72°C, las cuales están definidas por el máximo representando así el 25% de la muestra total. Entonces, la ZCL B7 muestra que existe un rango de intensidades que corresponde a 14,63°C (oscilación entre -4,95°C y 9,72°C). Además, de presentar un rango de intensidades InterQuartil (IQR) de 2,4°C, la cual corresponde a la distancia que existe entre los dos extremos de la *caja* del diagrama. Cabe destacar, que dentro del diagrama se pueden observar valores que son clasificados como atípicos y estos son graficados a través de puntos que se encuentran externos a los *bigotes* del diagrama. Entonces, existe una variación respecto a los valores máximos y mínimos que se expresan en la *Tabla 11*. En el caso de la ZCL B7, se considera como valores atípicos de intensidades ICUs los mínimos que oscilan entre -4,91°C hasta -0,12 y en el caso de los máximos presenta una variación de valores atípicos que oscila entre 9,34°C a 9,72°C.

En el caso de ZCL B7 la distribución de la caja en su parte inferior y superior se muestran relativamente similares, presenta una leve distribución mayor de datos para la parte superior de la *caja*, por lo cual se puede entender que para ambos cuartiles la distribución de datos se presenta de forma constante. A partir de lo definido anteriormente y eliminando los valores atípicos de las intensidades de ICUs, se puede extraer que al menos el 75% de la ZCL B7 muestra intensidades sobre los 3°C hasta casi los 9,5°C, estas intensidades fluctúan entre moderada a muy fuerte, lo que se ve expresado en la *Tabla 2*. Todo lo expuesto anteriormente se ve graficado en la *figura 29*.

La octava ZCL corresponde a Extensivo de baja altura (B8): estas zonas se presentan principalmente como áreas de coberturas poco permeables. En lo que respecta a sus intensidades ICUs presenta una mínima de 1,9°C y una máxima de 7,35°C.

En cuanto a su distribución en el diagrama los datos están divididos según la cantidad de datos por las siguientes variables: mínimo, primer cuartil, mediana tercer cuartil y máximo, las cuales sumadas expresan el 100% de los datos de ICUs en la muestra. Estas variables para B8 nos indican que las intensidades ICUs que van desde 1,9°C a 2,97°C corresponden al 25% de la muestra total, dado que 2,97°C corresponde al primer cuartil que divide los datos. Así mismo, sucede con los datos que oscilan entre 2,97°C y 3,49°C, los cuales también corresponde al 25% y están marcados por la división de la mediana. También sucede así para las intensidades que oscilan desde 3,49°C a 4,06°C y están marcado por el 3er cuartil, los cuales expresan el 25% de la muestra. El mismo caso corresponde para las intensidades que oscilan entre 4,06°C y 7,35°C, las cuales están definidas por el máximo representando así el 25% de la muestra total. Entonces, respecto a la ZCL B8 muestra que existe un rango de intensidades que corresponde a 5,45°C (oscilación entre 1,9°C y 7,35°C). Además, presenta un rango de intensidades InterCuartil (IQR) de 1,09°C, la cual corresponde a la distancia que existe entre los dos extremos de la caja del diagrama. Cabe destacar, que dentro del diagrama se pueden observar valores que son clasificados como atípicos y estos son graficados a través de puntos que se encuentran externos a los bigotes del diagrama. Entonces, existe una variación respecto a los valores máximos y mínimos que se expresan en la *Tabla 11*.

En el caso de la ZCL B8, se considera como valores atípicos de intensidades ICUs los mínimos no presentaron valores atípicos y en el caso de los máximos presenta valores atípicos que oscilan entre 5,92°C a 7,35°C. En el caso de ZCL B8 la distribución de la caja en su parte inferior y superior se muestran relativamente similares, presenta una casi nula distribución mayor de datos para la parte superior de la caja, por lo cual se puede entender que para ambos cuartiles la distribución de datos se presenta de forma constante. A partir de lo definido anteriormente y eliminando los valores atípicos de las intensidades de ICUs, se puede extraer que al menos el 75% de la ZCL B8 muestra intensidades sobre casi los 3°C hasta casi los 6°C, estas intensidades fluctúan entre moderada a fuerte lo que se ve expresado en la *Tabla 2*. Todo lo expuesto anteriormente se ve graficado en la *figura 29*.

La novena ZCL corresponde a Disperso de baja altura (B9): estas zonas se presentan principalmente como áreas de coberturas permeables. En lo que respecta a sus intensidades ICUs presenta una mínima de -4,36°C y una máxima de 7,76°C.

En cuanto a su distribución en el diagrama los datos están divididos según la cantidad de datos por las siguientes variables: mínimo, primer cuartil, mediana tercer cuartil y máximo, las cuales sumadas expresan el 100% de los datos de ICUs en la muestra. Estas variables para B9 nos indican que las intensidades ICUs que van desde $-4,36^{\circ}\text{C}$ a $1,91^{\circ}\text{C}$ corresponden al 25% de la muestra total, dado que $1,91^{\circ}\text{C}$ corresponde al primer cuartil que divide los datos. Así mismo, sucede con los datos que oscilan entre $1,91^{\circ}\text{C}$ y $3,72^{\circ}\text{C}$, los cuales también corresponde al 25% y están marcados por la división de la mediana. También sucede así para las intensidades que oscilan desde $3,72^{\circ}\text{C}$ a $4,78^{\circ}\text{C}$ y están marcado por el 3er cuartil, los cuales expresan el 25% de la muestra. El mismo caso corresponde para las intensidades que oscilan entre $4,78^{\circ}\text{C}$ y $7,76^{\circ}\text{C}$, las cuales están definidas por el máximo representando así el 25% de la muestra total. Entonces, respecto a la ZCL B9 muestra que existe un rango de intensidades que corresponde a $12,12^{\circ}\text{C}$ (oscilación entre $-4,36^{\circ}\text{C}$ y $7,76^{\circ}\text{C}$). Además, presenta un rango de intensidades InterCuartil (IQR) de $2,87^{\circ}\text{C}$, la cual corresponde a la distancia que existe entre los dos extremos de la caja del diagrama. Cabe destacar, que dentro del diagrama se pueden observar valores que son clasificados como atípicos y estos son graficados a través de puntos que se encuentran externos a los bigotes del diagrama. Entonces, existe una variación respecto a los valores máximos y mínimos que se expresan en la *Tabla 11*.

En el caso de la ZCL B9, se considera como valores atípicos de intensidades ICUs los mínimos que oscilan entre $-4,36^{\circ}\text{C}$ hasta $-2,14$ y en el caso de los máximos no presenta valores atípicos. Por otra parte, la distribución de la *caja* dentro del diagrama no se presenta de forma equitativa para las distribuciones de la mediana ($3,72^{\circ}\text{C}$) y esto se debe a que las intensidades a partir de la mediana hacia el mínimo se encuentran más separados en la zona inferior de la *caja*, es decir, las intensidades de ICUs muestran valores que son menos constantes a diferencia de la mitad superior de la *caja*, la cual se muestra más compacta y por ende, sus datos de ICUs son más constantes en su distribución. A partir de lo definido anteriormente y eliminando los valores atípicos de las intensidades de ICUs, se puede extraer que al menos el 75% de la ZCL B9 muestra intensidades casi sobre los 2°C hasta casi los 8°C , estas intensidades fluctúan entre moderadamente débil a muy fuerte, lo que se ve expresado en la *Tabla 2*. Todo lo expuesto anteriormente se ve graficado en la *figura 29*.

La décima ZCL corresponde a Industrial (B10): estas zonas se presentan principalmente como áreas de coberturas poco permeables. En lo que respecta a sus intensidades ICUs presenta una mínima de $-0,56^{\circ}\text{C}$ y una máxima de $9,4^{\circ}\text{C}$.

En cuanto a su distribución en el diagrama los datos están divididos según la cantidad de datos por las siguientes variables: mínimo, primer cuartil, mediana tercer cuartil y máximo, las cuales sumadas expresan el 100% de los datos de ICUs en la muestra. Estas variables para B10 nos indican que las intensidades ICUs que van desde $-0,56^{\circ}\text{C}$ a $4,1^{\circ}\text{C}$ corresponden al 25% de la muestra total, dado que $4,1^{\circ}\text{C}$ corresponde al primer cuartil que divide los datos. Así mismo, sucede con los datos que oscilan entre $4,1^{\circ}\text{C}$ y $5,26^{\circ}\text{C}$, los cuales también corresponde al 25% y están marcados por la división de la mediana. También sucede así para las intensidades que oscilan desde $5,26^{\circ}\text{C}$ a $6,14^{\circ}\text{C}$ y están marcado por el 3er cuartil, los cuales expresan el 25% de la muestra. El mismo caso corresponde para las intensidades que oscilan entre $6,14^{\circ}\text{C}$ y $9,4^{\circ}\text{C}$, las cuales están definidas por el máximo

representando así el 25% de la muestra total. Entonces, respecto a la ZCL B10 muestra que existe un rango de intensidades que corresponde a 9,96°C (oscilación entre -0,56°C y 9,4°C). Además, presenta un rango de intensidades InterCuartil (IQR) de 2,05°C, la cual corresponde a la distancia que existe entre los dos extremos de la caja del diagrama. Cabe destacar, que dentro del diagrama se pueden observar valores que son clasificados como atípicos y estos son graficados a través de puntos que se encuentran externos a los bigotes del diagrama. Entonces, existe una variación respecto a los valores máximos y mínimos que se expresan en la *Tabla 11*.

En el caso de la ZCL B10, se considera como valores atípicos de intensidades ICUs los mínimos que oscilan entre -0,56°C hasta 1,02°C y en el caso de los máximos presenta una variación de valores atípicos que oscila entre 9,1°C a 9,4°C. En el caso de ZCL B10 la distribución de la caja en su parte inferior y superior se muestran relativamente similares, presenta una leve distribución mayor de datos para la parte inferior de la caja, por lo cual se puede entender que para ambos cuartiles la distribución de datos se presenta de forma constante. A partir de lo definido anteriormente y eliminando los valores atípicos de las intensidades de ICUs, se puede extraer que al menos el 75% de la ZCL B3 muestra intensidades sobre los 4°C hasta casi los 10°C, estas intensidades fluctúan entre moderadamente fuerte a muy fuerte, lo que se ve expresado en la *Tabla 2*. Todo lo expuesto anteriormente se ve graficado en la *figura 29*.

4.5.2 Series naturales

Para el análisis del presente apartado se observan los valores obtenidos para las series naturales, los cuales se observan en la *Tabla 12 y 13*, presentando esta última los resultados para cada serie sin valores atípicos. Con los valores típicos se elaboró el diagrama presentado en la *figura 29*, el cual grafica la relación de las ICUs verano-diurna 2016-2020 con las Zonas Climáticas Locales.

Tabla 12: Tabla descriptiva de relación de las ICUs verano-diurna 2016-2020 con las series naturales de las Zonas Climáticas Locales (ZCL)

Series naturales	N1	N2	N3	N4	N5	SC
Mínimo (°C)	-0,56	-3,39	-4,21	-3,45	-1,16	-2,24
1er Cuartil (°C)	0,6	-1,21	-2,33	-0,27	3,92	-0,2
Mediana (°C)	1,06	0,69	-1,21	1,23	5,12	0,47
3er Cuartil (°C)	1,49	2,48	0,56	2,66	6,71	1,16
Máximo (°C)	2,91	7,13	6,21	7,01	10,09	4,01
IQR (°C)	0,9	3,68	2,89	2,93	2,79	1,35

Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla 13: Tabla descriptiva de las series naturales sin valores atípicos.

Series naturales sin valores atipicos	N1	N2	N3	N4	N5	SC
Mínimo (°C)	-0,56	-3,39	-4,21	-3,45	-0,2	-2,24
Máximo (°C)	2,53	7,13	4,92	7,05	10,09	3,06

Fuente: Elaboración propia (2021)

La primera ZCL corresponde a Cobertura arbórea compacta (N1): estas zonas se presentan principalmente como áreas de coberturas muy permeables. En lo que respecta a sus intensidades ICUs presenta una mínima de $-0,56^{\circ}\text{C}$ y una máxima de $2,91^{\circ}\text{C}$.

En cuanto a su distribución en el diagrama los datos están divididos según la cantidad de datos por las siguientes variables: mínimo, primer cuartil, mediana tercer cuartil y máximo, las cuales sumadas expresan el 100% de los datos de ICUs en la muestra. Estas variables para N1 nos indican que las intensidades ICUs que van desde $-0,56^{\circ}\text{C}$ a $0,6^{\circ}\text{C}$ corresponden al 25% de la muestra total, dado que $0,6^{\circ}\text{C}$ corresponde al primer cuartil que divide los datos. Así mismo, sucede con los datos que oscilan entre $0,6^{\circ}\text{C}$ y $1,06^{\circ}\text{C}$, los cuales también corresponde al 25% y están marcados por la división de la mediana. También sucede así para las intensidades que oscilan desde $1,06^{\circ}\text{C}$ a $1,49^{\circ}\text{C}$ y están marcado por el 3er cuartil, los cuales expresan el 25% de la muestra. El mismo caso corresponde para las intensidades que oscilan entre $1,49^{\circ}\text{C}$ y $2,91^{\circ}\text{C}$, las cuales están definidas por el máximo representando así el 25% de la muestra total. Entonces, respecto a la ZCL N1 muestra que existe un rango de intensidades que corresponde a $3,47^{\circ}\text{C}$ (oscilación entre $-0,56^{\circ}\text{C}$ y $2,91^{\circ}\text{C}$). Además, presenta un rango de intensidades InterCuartil (IQR) de $0,9^{\circ}\text{C}$, la cual corresponde a la distancia que existe entre los dos extremos de la caja del diagrama. Cabe destacar, que dentro del diagrama se pueden observar valores que son clasificados como atípicos y estos son graficados a través de puntos que se encuentran externos a los bigotes del diagrama. Entonces, existe una variación respecto a los valores máximos y mínimos que se expresan en la *Tabla 13*.

En el caso de la ZCL N1, no se encuentran importantes valores atípicos de intensidades ICUs, en los mínimos no presenta y en el caso de los máximos presenta una variación de valores atípicos que oscila entre $2,53^{\circ}\text{C}$ a $2,91^{\circ}\text{C}$. En el caso de ZCL N1 la distribución de la caja en su parte inferior y superior se muestran relativamente similares, presenta una leve distribución mayor de datos para la parte inferior de la caja, por lo cual se puede entender que para ambos cuartiles la distribución de datos se presenta de forma constante. A partir de lo definido anteriormente, se puede extraer que en general las ZCL N1 presentan más bien bajas intensidades, sus máximas intensidades obviando los valores atípicos alcanzan los $2,53^{\circ}\text{C}$, es decir, una intensidad que puede definirse como moderadamente débil. En el 75% de la ZCL de la muestra las intensidades se clasifican como muy débiles a débiles, lo que se ve expresado en la *Tabla 2*. Todo lo expuesto anteriormente se ve graficado en la *figura 29*.

La segunda ZCL corresponde a Cobertura arbórea dispersa (N2): estas zonas se presentan principalmente como áreas de coberturas muy permeables. En lo que respecta a sus intensidades ICUs presenta una mínima de $-3,39^{\circ}\text{C}$ y una máxima de $7,13^{\circ}\text{C}$.

En cuanto a su distribución en el diagrama los datos están divididos según la cantidad de datos por las siguientes variables: mínimo, primer cuartil, mediana tercer cuartil y máximo, las cuales sumadas expresan el 100% de los datos de ICUs en la muestra. Estas variables para N2 nos indican que las intensidades ICUs que van desde $-3,39^{\circ}\text{C}$ a $-1,21^{\circ}\text{C}$ corresponden al 25% de la muestra total, dado que $-1,21^{\circ}\text{C}$ corresponde al primer cuartil que divide los datos. Así mismo, sucede con los datos que oscilan entre $-1,21^{\circ}\text{C}$ y $0,69^{\circ}\text{C}$, los cuales también corresponde al 25% y están marcados por la

división de la mediana. También sucede así para las intensidades que oscilan desde 0,69°C a 2,48°C y están marcado por el 3er cuartil, los cuales expresan el 25% de la muestra. El mismo caso corresponde para las intensidades que oscilan entre 2,48°C y 7,13°C, las cuales están definidas por el máximo representando así el 25% de la muestra total. Entonces, respecto a la ZCL N2 muestra que existe un rango de intensidades que corresponde a 10,52°C (oscilación entre -3,39°C y 7,13°C). Además, presenta un rango de intensidades InterCuartil (IQR) de 3,68°C, la cual corresponde a la distancia que existe entre los dos extremos de la caja del diagrama (Figura X). Cabe destacar, que dentro del diagrama se pueden observar valores que son clasificados como atípicos y estos son graficados a través de puntos que se encuentran externos a los bigotes del diagrama. Entonces, existe una variación respecto a los valores máximos y mínimos que se expresan en la *Tabla 13*.

En el caso de la ZCL N2, no presenta valores atípicos de intensidades ICUs, (Figura N°x2). En el caso de ZCL N2 la distribución de la caja en su parte inferior y superior se muestran relativamente similares, presenta una leve distribución mayor de datos para la parte superior de la caja, por lo cual se puede entender que para ambos cuartiles la distribución de datos se presenta de forma constante (Figura N°X). A partir de lo definido anteriormente se puede extraer que al menos el 25% de las intensidades ICUs se presentan negativas (Islas de frescor urbano), con intensidades que oscilaron entre -3,39 a -1,21. Incluso, el 50% de las intensidades no superaron el 1°C de intensidad, por lo tanto, la mitad del área de la ZCL1 N2 se definiría como intensidades negativas a muy débiles, lo que se ve expresado en la *Tabla 2*. Cabe destacar que se presentaron importantes intensidades, con oscilaciones de 2,48°C A 7,13°C, las que pueden definirse como moderadamente débil a muy fuerte, lo que se ve expresado en la *Tabla 2*. Sin embargo, esta sección de la muestra intensidades de ICUs para la ZCL N2 solo representa el 25% y puede tener estrecha relación con que en la zona catastrada al ser la temporada de verano mostrara la vegetación dispersa dentro un predio de suelo desnudo, aumentando así la intensidad para la ZCL N2. Todo lo expuesto anteriormente se ve graficado en la *figura 29*.

La tercera ZCL corresponde a Matorral o arbusto (N3): estas zonas se presentan principalmente como áreas de coberturas muy permeables. En lo que respecta a sus intensidades ICUs presenta una mínima de -4,21°C y una máxima de 6,21°C.

En cuanto a su distribución en el diagrama los datos están divididos según la cantidad de datos por las siguientes variables: mínimo, primer cuartil, mediana tercer cuartil y máximo, las cuales sumadas expresan el 100% de los datos de ICUs en la muestra. Estas variables para N3 nos indican que las intensidades ICUs que van desde -4,21°C a -2,33°C corresponden al 25% de la muestra total, dado que -2,33°C corresponde al primer cuartil que divide los datos. Así mismo, sucede con los datos que oscilan entre -2,33°C y -1,21°C, los cuales también corresponde al 25% y están marcados por la división de la mediana. También sucede así para las intensidades que oscilan desde -1,21°C a 0,56°C y están marcado por el 3er cuartil, los cuales expresan el 25% de la muestra. El mismo caso corresponde para las intensidades que oscilan entre 0,56°C y 6,21°C, las cuales están definidas por el máximo representando así el 25% de la muestra total. Entonces, respecto a la ZCL N3 muestra que existe un rango de intensidades que corresponde a 10,42°C (oscilación entre -4,21°C y 6,21°C).

Además, presenta un rango de intensidades InterCuartil (IQR) de $2,89^{\circ}\text{C}$, la cual corresponde a la distancia que existe entre los dos extremos de la caja del diagrama. Cabe destacar, que dentro del diagrama se pueden observar valores que son clasificados como atípicos y estos son graficados a través de puntos que se encuentran externos a los bigotes del diagrama. Entonces, existe una variación respecto a los valores máximos y mínimos que se expresan en la *Tabla 13*.

En el caso de la ZCL N3, no se encuentran importantes valores atípicos de intensidades ICUs, en los mínimos no presenta y en el caso de los máximos presenta una variación de valores atípicos que oscila entre $4,92^{\circ}\text{C}$ a $6,21^{\circ}\text{C}$. Por otra parte, la distribución de la caja de ZCL N3 dentro del diagrama no se presenta de forma equitativa para las distribuciones de la mediana ($1,21^{\circ}\text{C}$) y esto se debe a que las intensidades a partir de la mediana hacia el máximo se encuentran más separados en la zona superior de la caja, es decir, las intensidades de ICUs muestran valores que son menos constantes a diferencia de la mitad inferior de la caja, la cual se muestra más compacta y por ende, sus datos de ICUs son más constantes en su distribución. A partir de lo definido anteriormente se puede extraer que al menos el 50% de las intensidades ICUs se presentan negativas (Islas de frescor urbano), con intensidades que oscilaron entre $-4,2$ a $-1,21$. Incluso, el 75% de las intensidades no superaron el 1°C de intensidad, por lo tanto, tres cuartas partes del área de la ZCL1 N3 se definiría como intensidades negativas a muy débiles, lo que se ve expresado en la *Tabla 2*. Cabe destacar que se presentaron importantes intensidades, con oscilaciones de $0,56^{\circ}\text{C}$ A $6,21^{\circ}\text{C}$, las que pueden definirse como muy débil a muy fuerte, lo que se ve expresado en la *Tabla 2*. Sin embargo, esta sección de la muestra intensidades de ICUs para la ZCL N3 solo representa el 25% y puede tener estrecha relación con que en la zona catastrada al ser la temporada de verano mostrara la zona de matorrales dentro un predio de suelo desnudo, aumentando así la intensidad para la ZCL N3. Todo lo expuesto anteriormente se ve graficado en la *figura 29*.

La cuarta ZCL corresponde a Cobertura vegetal baja (N4): estas zonas se presentan principalmente como áreas de coberturas muy permeables. En lo que respecta a sus intensidades ICUs presenta una mínima de $-3,45^{\circ}\text{C}$ y una máxima de $7,01^{\circ}\text{C}$.

En cuanto a su distribución en el diagrama los datos están divididos según la cantidad de datos por las siguientes variables: mínimo, primer cuartil, mediana tercer cuartil y máximo, las cuales sumadas expresan el 100% de los datos de ICUs en la muestra. Estas variables para N4 nos indican que las intensidades ICUs que van desde $-3,45^{\circ}\text{C}$ a $-0,27^{\circ}\text{C}$ corresponden al 25% de la muestra total, dado que $-0,27^{\circ}\text{C}$ corresponde al primer cuartil que divide los datos. Así mismo, sucede con los datos que oscilan entre $-0,27^{\circ}\text{C}$ y $1,23^{\circ}\text{C}$, los cuales también corresponde al 25% y están marcados por la división de la mediana. También sucede así para las intensidades que oscilan desde $1,23^{\circ}\text{C}$ a $2,66^{\circ}\text{C}$ y están marcado por el 3er cuartil, los cuales expresan el 25% de la muestra. El mismo caso corresponde para las intensidades que oscilan entre $2,66^{\circ}\text{C}$ y $7,01^{\circ}\text{C}$, las cuales están definidas por el máximo representando así el 25% de la muestra total. Entonces, respecto a la ZCL N4 muestra que existe un rango de intensidades que corresponde a $10,46^{\circ}\text{C}$ (oscilación entre $-3,45^{\circ}\text{C}$ y $7,01^{\circ}\text{C}$). Además, presenta un rango de intensidades InterCuartil (IQR) de $2,93^{\circ}\text{C}$, la cual corresponde a la distancia que existe entre los dos extremos de la caja del diagrama. Cabe destacar, que dentro del

diagrama no se pueden observar valores que son clasificados como atípicos. Entonces, en este caso no una existe una variación respecto a los valores máximos y mínimos que se expresan en la *Tabla 13*.

En el caso de la ZCL N4, no presenta valores atípicos para las intensidades ICUs. En el caso de ZCL N4 la distribución de la caja en su parte inferior y superior se muestran relativamente similares, presenta una leve distribución mayor de datos para la parte inferior de la caja, por lo cual se puede entender que para ambos cuartiles la distribución de datos se presenta de forma constante (Figura N°X). A partir de lo definido anteriormente se puede extraer que al menos el 25% de las intensidades ICUs se presentan negativas (Islas de frescor urbano), con intensidades que oscilaron entre -3,45 a -0,27. Incluso, el 75% de las intensidades no superaron el los 3°C de intensidad, por lo tanto, tres cuartas partes del área de la ZCL N4 se definiría como intensidades negativas a moderadamente débiles, lo que se ve expresado en la *Tabla 2*. Cabe destacar que se presentaron importantes intensidades, con oscilaciones de 2,66°C A 7,01°C, las que pueden definirse como moderadamente débil a muy fuerte, lo que se ve expresado en la *Tabla 2*. Sin embargo, esta sección de la muestra intensidades de ICUs para la ZCL N4 solo representa el 25% y puede tener estrecha relación con que en la zona catastrada al ser la temporada de verano mostrara la zona de cobertura vegetal baja con características similares a un predio de suelo desnudo, aumentando así la intensidad para la ZCL N4. Todo lo expuesto anteriormente se ve graficado en la *figura 29*.

La quinta ZCL corresponde a suelo desnudo o arena (N5): estas zonas se presentan principalmente como áreas de coberturas muy permeables. En lo que respecta a sus intensidades ICUs presenta una mínima de -1,16°C y una máxima de 10,09°C.

En cuanto a su distribución en el diagrama los datos están divididos según la cantidad de datos por las siguientes variables: mínimo, primer cuartil, mediana tercer cuartil y máximo, las cuales sumadas expresan el 100% de los datos de ICUs en la muestra. Estas variables para N5 nos indican que las intensidades ICUs que van desde -1,16°C a 3,92°C corresponden al 25% de la muestra total, dado que 3,92°C corresponde al primer cuartil que divide los datos. Así mismo, sucede con los datos que oscilan entre 3,92°C y 5,12°C, los cuales también corresponde al 25% y están marcados por la división de la mediana. También sucede así para las intensidades que oscilan desde 5,12°C a 6,71°C y están marcado por el 3er cuartil, los cuales expresan el 25% de la muestra. El mismo caso corresponde para las intensidades que oscilan entre 6,71°C y 10,09°C, las cuales están definidas por el máximo representando así el 25% de la muestra total. Entonces, respecto a la ZCL N5 muestra que existe un rango de intensidades que corresponde a 11,25°C (oscilación entre -1,16°C y 10,09°C). Además, presenta un rango de intensidades InterCuartil (IQR) de 2,79°C, la cual corresponde a la distancia que existe entre los dos extremos de la caja del diagrama. Cabe destacar, que dentro del diagrama se pueden observar valores que son clasificados como atípicos y estos son graficados a través de puntos que se encuentran externos a los bigotes del diagrama. Entonces, existe una variación respecto a los valores máximos y mínimos que se expresan en la *Tabla 13*.

En el caso de la ZCL N5, no se encuentran importantes valores atípicos de intensidades ICUs, en los mínimos presenta una oscilación de valores atípicos que va desde -1,16 a -0,2 y en el caso de los

máximos no presenta. En el caso de ZCL N5 la distribución de la caja en su parte inferior y superior se muestran relativamente similares, presenta una leve distribución mayor de datos para la parte superior de la caja, por lo cual se puede entender que para ambos cuartiles la distribución de datos se presenta de forma constante. A partir de lo definido anteriormente y eliminando los valores atípicos de las intensidades de ICUs, se puede extraer que la ZCL N5 presenta importantes intensidades, incluso alcanzando la mayor intensidad de ICUs tanto para las series naturales como construidas. Las altas intensidades se registraron al menos para el 75% de las ZCL N5 y mostraban valores que oscilaban entre 3,92°C a hasta los 10,09 °C, intensidades que se clasifican desde moderadas a muy fuertes, lo que se ve expresado en la *Tabla 2*. Cabe destacar que en el caso de las menores intensidades se registraron valores que oscilaron entre los -0,2°C hasta los 3,92°C, las cuales corresponde al 25% de la muestra total. Si bien, las intensidades mínimas registran valores negativos estos no marcan una tendencia dentro de la ZCL N5 y más bien, esta tiende a marcar una tendencia hacia los altos valores de intensidad de ICUs. Todo lo expuesto anteriormente se ve graficado en la *figura 29*.

La sexta ZCL corresponde a cuerpos de agua (SC): estas zonas se presentan principalmente como áreas de coberturas muy permeables. En lo que respecta a sus intensidades ICUs presenta una mínima de -2,24°C y una máxima de 4,01°C.

En cuanto a su distribución en el diagrama los datos están divididos según la cantidad de datos por las siguientes variables: mínimo, primer cuartil, mediana tercer cuartil y máximo, las cuales sumadas expresan el 100% de los datos de ICUs en la muestra. Estas variables para SC nos indican que las intensidades ICUs que van desde -2,24°C a -0,2°C corresponden al 25% de la muestra total, dado que -0,2°C corresponde al primer cuartil que divide los datos. Así mismo, sucede con los datos que oscilan entre -0,2°C y 0,47°C, los cuales también corresponde al 25% y están marcados por la división de la mediana. También sucede así para las intensidades que oscilan desde 0,47°C a 1,16°C y están marcado por el 3er cuartil, los cuales expresan el 25% de la muestra. El mismo caso corresponde para las intensidades que oscilan entre 1,16°C y 4,01°C, las cuales están definidas por el máximo representando así el 25% de la muestra total. Entonces, respecto a la ZCL SC muestra que existe un rango de intensidades que corresponde a 6,25°C (oscilación entre -2,24°C y 4,01°C). Además, presenta un rango de intensidades InterCuartil (IQR) de 1,35°C, la cual corresponde a la distancia que existe entre los dos extremos de la caja del diagrama. Cabe destacar, que dentro del diagrama se pueden observar valores que son clasificados como atípicos y estos son graficados a través de puntos que se encuentran externos a los bigotes del diagrama. Entonces, existe una variación respecto a los valores máximos y mínimos que se expresan en la *Tabla 13*.

En el caso de la ZCL SC, no se encuentran importantes valores atípicos de intensidades ICUs, en los mínimos presenta una oscilación entre -2,24°C a -2,44°C y en el caso de los máximos presenta una variación de valores atípicos que oscila entre 3,06°C a 4,01°C. En el caso de ZCL SC la distribución de la caja en su parte inferior y superior se muestran relativamente similares, presenta una leve distribución mayor de datos para la parte superior de la caja, por lo cual se puede entender que

para ambos cuartiles la distribución de datos se presenta de forma constante. Todo lo expuesto anteriormente se ve graficado en la *figura 29*.

A partir de lo definido anteriormente, se puede extraer que en general las ZCL SC presentan más bien bajas intensidades, sus máximas intensidades obviando los valores atípicos alcanzan los $3,01^{\circ}\text{C}$, es decir, una intensidad que puede definirse como moderadamente débil. En lo que respecta a la distribución porcentual de las ICUs en los cuerpos de agua muestra que en el 25% de los casos totales se indican intensidades negativas, las cuales oscilan entre $-2,24^{\circ}\text{C}$ y $-0,2^{\circ}\text{C}$. Incluso, en el 75% de los casos las intensidades no superan los 2°C de ICUs, las cuales oscilan entre $-2,24^{\circ}\text{C}$ hasta los $1,16^{\circ}\text{C}$, por lo tanto, tres cuartas partes oscilan entre intensidades negativas a muy débiles. Cabe destacar, que presenta intensidades que oscilan entre $1,16^{\circ}\text{C}$ a $3,01^{\circ}\text{C}$, las cuales se clasifican muy débiles a moderadamente débiles. Sin embargo, aunque presente intensidades de $3,01^{\circ}\text{C}$ de cuerpos de agua no se considera tan representativo ya que esta sección representa el 25% de la muestra total.

A modo general, las mayores intensidades se registraron para las ZCL de Suelos desnudos (N5), Construcciones bajas (B7) e Industriales (B10), las cuales mostraron intensidades de ICUs que oscilaron entre los $9,1^{\circ}\text{C}$ (B10) hasta los $10,01^{\circ}\text{C}$ (N5). Cabe destacar que dentro las ZCL N5 se replicó la incorporación de canchas deportivas de fútbol tanto de cemento, pasto sintético y tierra, al igual como se hizo en el estudio de Romero (2012). Esto es de suma importancia puesto que las áreas de canchas deportivas manifiestan altas intensidades en las distintas zonas de Concepción, Talcahuano y Hualpén. También se evidenciaron altas intensidades para la ZCL B7 y está definido principalmente por la presencia del aeropuerto Carriel Sur, el cual por sus condiciones de materialidad presenta importantes intensidades. Así mismo, es el caso de la clasificación B7 de ZCL, la cual muestra altas intensidades y se debe principalmente a la labor industrial que tienen estas zonas, las cuales presentan coberturas pavimentadas como de suelo desnudo. A lo que se suma, el calor generado por las plantas industriales que caracterizan todo el sector costero de Talcahuano Sur.

Por otra parte, las menores intensidades se registraron para la ZCL de Cobertura arbórea compacta (N1), Cuerpos de agua (SC) y Matorral y arbusto (N3). Las intensidades para cada una de estas oscilaron entre: $(-4,21^{\circ}\text{C}) - (4,92)$ Matorral y arbusto, $(-2,24^{\circ}\text{C}) - (3,06^{\circ}\text{C})$ Cuerpos de agua (SC) y $(-0,56^{\circ}\text{C}) - (2,53^{\circ}\text{C})$. Si bien, N3 muestra la menor intensidad para todas las ZCL, esta también presenta el mayor rango respecto a sus intensidades mínimas y máximas. Así mismo, es el caso para las ZCL N2 y N4 que fueron desestimadas como las zonas de mayor frescor por su importante amplitud de rango de ICUs. En el caso de los cuerpos de agua, si bien no marca una de las mayores intensidades mínimas, el rango que marcan sus intensidades entre máximo y mínimo, presentan una menor fluctuación que N2, N4, B1 Y B6. En base a lo que se define anteriormente es que se incluye N1, dado que pese a que muestra una temperatura mínima muy cercana a 0 (aun así, se presenta negativa), el rango entre los valores mínimos y máximos de este es el menor registrado para todas las ZCL. Por lo tanto, a nivel general se muestra como una zona que independiente de su ubicación dentro del área de Concepción, Talcahuano y Hualpén muestra una isla de calor con muy bajas intensidades.

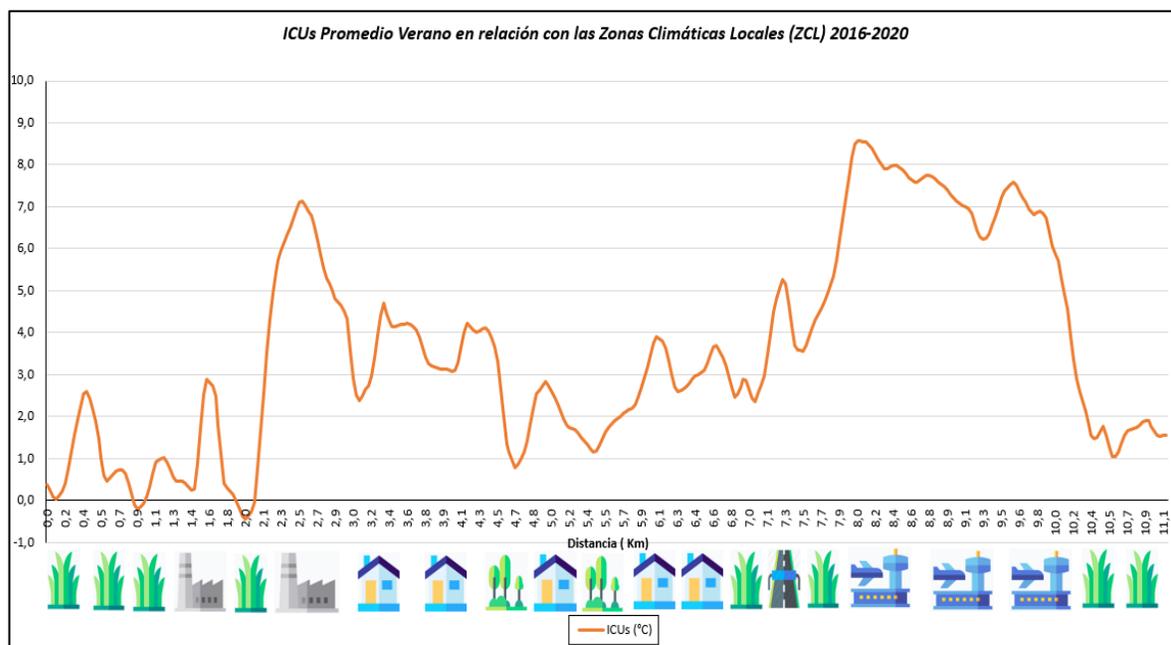
A modo de resumen para las ZCL locales con las intensidades ICUs del periodo 2016 – 2020 se obtiene un diagrama, el cual está compuesto por un perfil térmico que recorre diferentes Zonas Climáticas Locales que serán descritas a continuación en la *figura 30 y 31*. El presente perfil realiza un recorrido que va desde izquierda a derecha por series naturales, más específicamente ZCL N4 y N2. En el caso de las series construidas destaca la presencia de las ZCL B10, B3 y B7, las cuales fueron descritas como las series construidas de mayor intensidad en pasos anteriores.

Figura 30: Iconografía de Perfil térmico de las ICUs verano-diurna 2016-2020 y su relación con las Zonas Climáticas Locales.

Figura	ZCL
	Cobertura Vegetal baja (N4)
	Cobertura arbórea dispersa (N2)
	Alta densidad de baja altura (B3)
	No Aplica (Carretera)
	Construcciones bajas (B7)
	Industrial (B10)

Fuente: Elaboración propia (2021)

Figura 31: Perfil térmico de las ICUs verano-diurna 2016-2020 y su relación con las Zonas Climáticas Locales.



Fuente: Elaboración propia (2021)

Es posible extraer a través del perfil la importante diferencia que marcan las series naturales respecto a las intensidades que en el caso de las series construidas poseen intensidades de ICUs que son notablemente más altas que las anteriores. Esto se gráfica más claramente en los cambios de serie dado que se observan alzas casi perpendiculares de las intensidades ICUs en el transcurso del cambio de una serie natural a construidas. Esto es posible observarlo de mejor forma cuando el perfil se sitúa en las ZCL B10 – Industrial o en ZCL B7 – Construcciones bajas, las cuales marcan las mayores intensidades dentro del perfil.

CAPÍTULO 5: DISCUSION Y CONCLUSIONES

En el presente estudio es posible evidenciar la existencia de Islas de Calor Urbano superficiales (ICUs) para las comunas de Concepción, Talcahuano y Hualpén, las cuales se manifestaron principalmente en el área urbana de las tres comunas, tanto en los sectores interiores como en los sectores costeros de los mismos respecto a las zonas rurales aledañas. Para el caso de las ICUs 2002-2019 del sensor MODIS, mostraron una marcada estacionalidad y periodicidad. En el caso del periodo diurno, y en el transcurso de invierno a verano las máximas ICUs mostraron un aumento que fue constante, siendo invierno en el periodo diurno la de menor intensidad y verano la de mayor intensidad de ICUs. Además, las ICUs diurnas mostraron un patrón de espacialidad, localizándose principalmente en la zona centro del área de interés, lo cual se ve influenciado por las corrientes de viento anabáticos o de valle que van desde el mar hacia el continente cargados de calor. Por otra parte, las ICUs nocturnas para el periodo mencionado no presentaron una importante estacionalidad, las máximas intensidades de ICUs no mostraron un aumento de invierno a verano, es más la máxima intensidad de ICUs nocturna fue en la estación de invierno y la menor para el mes de otoño. En lo que respecta a la configuración espacial de las ICUs nocturnas, al igual que el caso de las ICUs diurnas muestra un patrón espacial, pero en este caso se localiza en el sector costero de Talcahuano y Hualpén, exceptuando el caso de la ICUs nocturna de verano que evidenció las máximas intensidades para el sector sur de Concepción. Esta localización de las ICUs nocturnas está estrechamente relacionada con la condición de viento catabático o de montaña, las cuales trasladan las masas de aire cargadas de calor desde el continente hacia la costa.

A partir de lo mencionado anteriormente fue posible evidenciar que la estación y periodicidad más afectada por las intensidades de ICUs correspondía a la estación de verano en su periodo diurno. En lo que respecta a las características técnicas de las imágenes MODIS estas poseen una resolución de 1000x1000 metros, para efectos de este estudio se les aplicó un remuestro bilinear para lograr una resolución de 200x200 metros. Si bien, fue posible especializar y analizar las ICUs para el periodo 2002-2019. Se planteó la necesidad de generar un producto de una mayor resolución para poder dimensionar de forma más detallada la espacialidad e intensidades de las ICUs para el periodo diurno de verano y así conocer la magnitud del fenómeno para Concepción, Talcahuano y Hualpén. A través del sensor Landsat fue posible acceder a una mayor resolución, específicamente 30x30 metros.

Para el caso de las ICUs del periodo diurno de verano 2016-2020 del sensor Landsat, presentaron características similares respecto a la intensidad y configuración espacial para cada año del periodo ya mencionado. Los máximos valores de intensidad de ICUs no presentaron variaciones significativas y no fue posible evidenciar un patrón de aumento o disminución a lo largo del periodo. Sin embargo, si fue posible evidenciar una espacialidad respecto a la localización de las máximas intensidades, las cuales se localizaron principalmente en la zona sur de Talcahuano, más específicamente en el sector del Aeropuerto Carriel Sur, Zona Industrial. A lo que se suma el sector oriente de Hualpén, más específicamente en la Zona industrial y el sector del Club Hípico de Concepción. Estas zonas registraron las máximas intensidades de ICUs y mostraron ese patrón espacial para cada año del periodo 2016-2020. Cabe destacar, que también hubo una serie de barrios de las comunas

mencionadas que están marcados por altas intensidades de ICUs, entre los que destacan el barrio de Hualpencillo, Nueva Costanera, Lomas de San Sebastián, Brisas del Sol, Collao, Valle Noble, entre otros. La máxima intensidad de ICUs para el periodo 2016-2020 para el periodo diurno se estableció para el año 2020 en el sector sur de Talcahuano. Por otra parte, las mínimas intensidades de ICUs, o más bien las Islas de Frescor urbano no mostraron un patrón de disminución o de aumento para el periodo mencionado. Sin embargo, al igual que las máximas intensidades mostraron un patrón de configuración espacial para las zonas costeras de Talcahuano norte y Hualpén, además de la zona rural aledaña de concepción con bajas intensidades, pero más altas que el sector costero. La mínima intensidad de ICUs se registró para el año 2020 en el sector norte de Talcahuano.

A modo general la actualización de las Zonas Climáticas Locales (ZCL) establecidas por Romero (2012) arrojaron una serie de transformaciones respecto al uso del suelo, evidenciándose un importante cambio en los que respecta a las series naturales, quienes fueron las que sufrieron más cambios para el año 2020. Las cuales fueron reemplazadas por principalmente por series construidas del tipo B3 (Alta densidad de baja altura). Por otra parte, las ZCL más afectadas por ICUs corresponde a las ZCL B7 (Construcción ligera de baja altura, B10 (Industrial) y N5 (Suelo desnudo), siendo este último el que presentaba las mayores intensidades dentro de las ZCL. Esto se debe principalmente a la incorporación de los sectores de canchas deportivas como suelos desnudos y el sector aledaño a la pista del aeropuerto Carriel Sur, las cuales marcaron importantes intensidades de ICUs por sus condiciones de materialidad, principalmente la cobertura donde destaca la cobertura pavimentada y la tierra compactada, las cuales son zonas fuertemente afectadas por las altas intensidades de ICUs.

La condición geográfica de Concepción, Talcahuano y Hualpén muestra en un contexto físico natural marcado por la geomorfología del área, lo que genera dificultades al momento de poder identificar las áreas rurales como urbanas para el estudio de las Islas de calor Urbano Superficial (ICUs). Sin embargo, adaptando las condiciones establecidas por Sarricolea y Romero (2010) se permite realizar un estudio que no esté sesgado por las condiciones geográficas.

En el área fue posible observar una importante influencia de las diferentes condiciones que presenta una ciudad en el clima local del área de interés, generando así, un aumento de la temperatura en el clima urbano respecto a sus zonas rurales aledañas. La creciente presión generada hacia los territorios naturales por el crecimiento urbano exige mantener una importante observación del clima urbano, no tan solo sobre Concepción, Talcahuano y Hualpén sino sobre las diferentes ciudades del país y así mismo, intentar incluir dentro de las áreas de planificación urbana, la climatología local y más específicamente la climatología urbana.

BIBLIOGRAFÍA

- Aliste, E., & Musset, A. (2014).** Pensar los territorios del desarrollo: sustentabilidad y acción pública en nombre de una ciudad imaginaria. Concepción (Chile), 1950-2010. *Eure (Santiago)*, 40(120), 91-110.
- Auer Jr, A. H. (1978).** Correlation of land use and cover with meteorological anomalies. *Journal of Applied Meteorology*, 17(5), 636-643.
- Arriaga, E. (1970).** Mortality Decline and its Demographic Effects in Latin America, Berkeley, Universidad de California.
- Cantú Martínez, P. C. (1992).** Contaminación ambiental. México
- Capelli, A., Piccolo, M., & Campo de Ferreras, A. (2005).** El clima urbano de Bahía Blanca. Buenos Aires: Dunken
- Carrión, F. (2001).** La ciudad construida. Urbanismo en américa latina, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Quito, Ecuador.
- CHANGE, I. I. P. O. C. (2018).** Cambio Climático. Glosario de Términos. En: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf. Consultado en Junio 2019
- Congresos Internacionales de Arquitectura Moderna (CIAM) (1957).** La Carta de Atenas. Buenos Aires: Contémpora.
- Córdova, K (2011).** Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana: Análisis estacional comparativo: Caracas, octubre- 2009, marzo- 2010. *Terra*, 27(42), 95-122. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1012-70892011000200005&lng=es&tlng=es.
- Cosío, M. E. Z. D. (1992).** La transición demográfica en América Latina y en Europa. Notas de población.
- Eliasson, I. (2000).** The use of climate knowledge in urban planning. *Landscape and urban planning*, 48(1-2), 31-44.
- Escardó, A. L. (1998).** Contribución al concepto de clima. *Territoris*, 1, 203-214.
- Garau, G. A., & Garau, J. L. (2018).** La isla de calor urbana de Palma (Mallorca, Islas Baleares): avance para el estudio del clima urbano en una ciudad litoral mediterránea. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (78), 392-418.
- García, F. F., & Martilli, A. (2012).** El clima urbano: aspectos generales y su aplicación en el área de Madrid. *Revista Indice* (50), 21-24.

García, M. C. M. (1997). Una propuesta de terminología castellana en climatología urbana. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (17), 89-97.

García, M. D. C. M. (1990). Bibliografía sobre Climatología urbana: la " isla de calor", I. *Revista de geografía*, 24(1), 99-109.

García, M. D. C. M. (1999). *Climatología urbana* (Vol. 160). Edicions Universitat Barcelona.

Guillén Mena, V., & Orellana, D. (2016). La influencia de la vegetación arbórea urbana para disminuir el nivel de polución y alcanzar el confort climático.

Gómez, N. (2014). *Climatología urbana de Copiapó como ciudad localizada en un medio ambiente árido*. Santiago: Universidad de Chile.

Hann, J. (1908). *Handbuch der Klimatologie*, 3 Bde. Stuttgart 1908—II

Honjo, T.; Narita, K-I.; Sugawara, H.; Mikami, T.; Kimura, K. & Kuwata, N (2003). Observation of cool island effect in urban park (Shinjuku Gyoen). In: 15ª Conferencia Internacional de Clima Urbano

Instituto Nacional de Estadísticas (INE), (2003). Síntesis de resultados Censo 2002 por país, regiones y comunas. Santiago: Instituto Nacional de Estadísticas. En línea: http://www.inebiobio.cl/archivos/files/pdf/poblacion/Sintesis_de_resultados_Censo_2002.pdf.

Instituto Nacional de Estadísticas (INE), (2003). Síntesis de resultados Censo 2012. Santiago: Instituto Nacional de Estadísticas. En línea: <https://www.ine.cl/docs/default-source/FAQ/s%C3%ADntesis-de-resultados-censo-2002.pdf?sfvrsn=2>

Instituto Nacional de Estadísticas (INE), (2018). Resultados Censo 2017 por país, regiones y comunas. Santiago: Instituto Nacional de Estadísticas. En línea: <https://resultados.censo2017.cl/Region?R=R16>

Instituto Nacional de Estadísticas (INE), (2018). Resultados Censo 2017 por país, regiones y comunas. Santiago: Instituto Nacional de Estadísticas. En línea: <https://resultados.censo2017.cl/Region?R=R08>

Instituto Nacional de Estadísticas (INE), (2018). Síntesis de resultados Censo 2017. Santiago: Instituto Nacional de Estadísticas. En línea: <https://www.censo2017.cl/descargas/home/sintesis-de-resultados-censo2017.pdf>

IPCC, 2013: Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático (2013). Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F.,]D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University

Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

Koepfen, W. (1948). *Climatología: con un estudio de los climas de la tierra*.

Landsberg, H. (1945). *Handbook of meteorology*. Edited by FA Berry, E. Bollay, and NR Beers, 928.

Lattes, A. E. (1995). Urbanización, crecimiento urbano y migraciones en América Latina. Notas de población.

Litvak, J. (1990). El envejecimiento de la población: un desafío que va más allá del año 2000.

Lozano Rivas, W. (2018). Clima, hidrología y meteorología: para ciencias ambientales e ingeniería. Primera Edición. Bogotá. Consultado en: <https://es.scribd.com/read/398556008/Clima-hidrologia-y-meteorologia-Para-ciencias-ambientales-e-ingenieria> Junio 2019

Manley, G. (1958). On the frequency of snowfall in metropolitan England. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 84(359), 70-72.

Martin-Vide, J., Sarricolea, P., & Moreno-García, M. C. (2015). On the definition of urban heat island intensity: the “rural” reference. Frontiers in Earth Science, 3, 24.

Mondaca Guajardo, L. (2019). Incidencia del plan regulador comunal en la formación de zonas climáticas locales: caso de ciudad de Melipilla.

Moreno García, M. C. (2010). Climatología Urbana. Barcelona: Publicacions i edicions de la Universitat de Barcelona.

Oke, T. R. (1995). The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects. In Wind climate in cities (pp. 81-107). Springer, Dordrecht.

Oke, T. R., & Cleugh, H. A. (1987). Urban heat storage derived as energy balance residuals. Boundary-Layer Meteorology, 39(3), 233-245.

Oke, T. (1982). The energetic basis of the urban heta island. Quart. J. Roy. Meteorological society. En línea: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/qj.49710845502/abstract>

Oke, T. (2006). Instruments and observing methods: Report No. 81: initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. World Meteorological Organization, WMO/TD (1250), 51.

Organización Meteorológica Mundial (OMM). (1992). Vocabulario Meteorológico Internacional. OMM N° 182. En: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=220#.XSIAY-gzZ9A Consultado en Junio de 2019

Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2011). Guía de Prácticas Climatológicas. OMM N° 100. En: http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo_100_es.pdf. Consultado en junio de 2019

Pérez Díaz, Julio (2006). “Demografía y envejecimiento”. Madrid, Portal Mayores, Informes Portal Mayores, n° 51. Lecciones de Gerontología.

Poncelet, L. (1956). Climat de la Belgique... Institut géographique militaire.

Ramos, M. M., Vide, J. M., García, M. D. C. M., & i Bonastre, J. S. (1990). Modificaciones térmicas en las ciudades. Avance sobre la isla de calor en Barcelona. Documents d'anàlisi geogràfica, (17).

- Ribeiro, A. G. (1993).** As escalas do clima. *Boletim de Geografia Teorética*, 23(45-46), 288-294.
- Rojas, C., Sepúlveda-Zúñiga, E., Barbosa, O., Rojas, O., & Martínez, C. (2015).** Patrones de urbanización en la biodiversidad de humedales urbanos en Concepción metropolitana. *Revista de Geografía Norte Grande*, (61), 181-204.
- Romero, H., & Sarricolea, P. (2006).** Patrones y factores de crecimiento espacial de la ciudad de Santiago de Chile y sus efectos en la generación de islas de calor urbanas de superficie. *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*. Zaragoza: Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (Serie A Nº 5), 827-837.
- Romero, H., Irrázaval, F., Opazo, D., Salgado, M., & Smith, P. (2010).** Climas urbanos y contaminación atmosférica en Santiago de Chile. *EURE (Santiago)*, 36(109), 35-62. En línea: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0250-71612010000300002&script=sci_arttext&tIng=en.
- Romero, H., Molina, M., Vásquez, A., & Smith, P. (2008).** El clima urbano del Puerto de Valparaíso: construcción social del espacio en ciudades costeras. *Revista da Faculdade de Letras da Universidade do Porto-Geografia*, 20.
- Romero, H. (2019).** Urban climates and the challenge of sustainable development of Chilean cities. In *Urban Climates in Latin America* (pp. 207-256). Springer, Cham.
- Rubió, M. D. S. M. (1997).** Las formas de crecimiento urbano (No. 10). Univ. Politèc. De Catalunya.
- Sarricolea, P. (Abril 2017)** Climatología Urbana [Diapositivas de PowerPoint]. Recuperado 1 Junio, 2019, de: https://www.u-cursos.cl/fau/2017/1/AUG30003/2/material_docente/
- Sarricolea, P. (Marzo 2017)** Climatología Local [Diapositivas de PowerPoint]. Recuperado 1 Junio, 2019, de: https://www.u-cursos.cl/fau/2017/1/AUG30003/2/material_docente/
- Sepúlveda Moreno, O. (2016).** Análisis de las temperaturas mínimas Del área Urbana y rural de Santiago (1911-1982): caracterización de la intensidad de la isla de calor en el contexto del calentamiento y cambio climático.
- Smith, P., & Romero, H. (2016).** Factores explicativos de la distribución espacial de la temperatura del aire de verano en Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, (63), 45-62.
- Sorre, M., Ortiz, F., de La Blache, P. V., & Gallois, L. (1936).** Antillas. Montaner y Simón.
- Steffens, A. C., Piccolo, M. C., González, J. H., & Navarrette, G. (2001).** La isla de calor estival en Temuco, Chile. *Papeles de Geografía*, (33), 49-60.
- Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012).** Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879-1900.
- Terjung, W. H., & O'Rourke, P. A. (1980).** Simulating the causal elements of urban heat islands. *Boundary-Layer Meteorology*, 19(1), 93-118.
- Tullot, I. F. (2000).** Climatología de España y Portugal (Vol. 76). Universidad de Salamanca.

Universidad Politecnica de Cataluña UPC. (1999) Meteorología y Clima. Primera Edición. Barcelona.

Vilela, M. & Moschella, P. (2017). Paisaje y expansión urbana sobre espacios naturales en ciudades intermedias. El caso de Purrumpampa en Huamachuco, La Libertad, Perú. Bulletin de l'Institut français d'études andines. Vol. 46, (3). Pp. 529- 550.

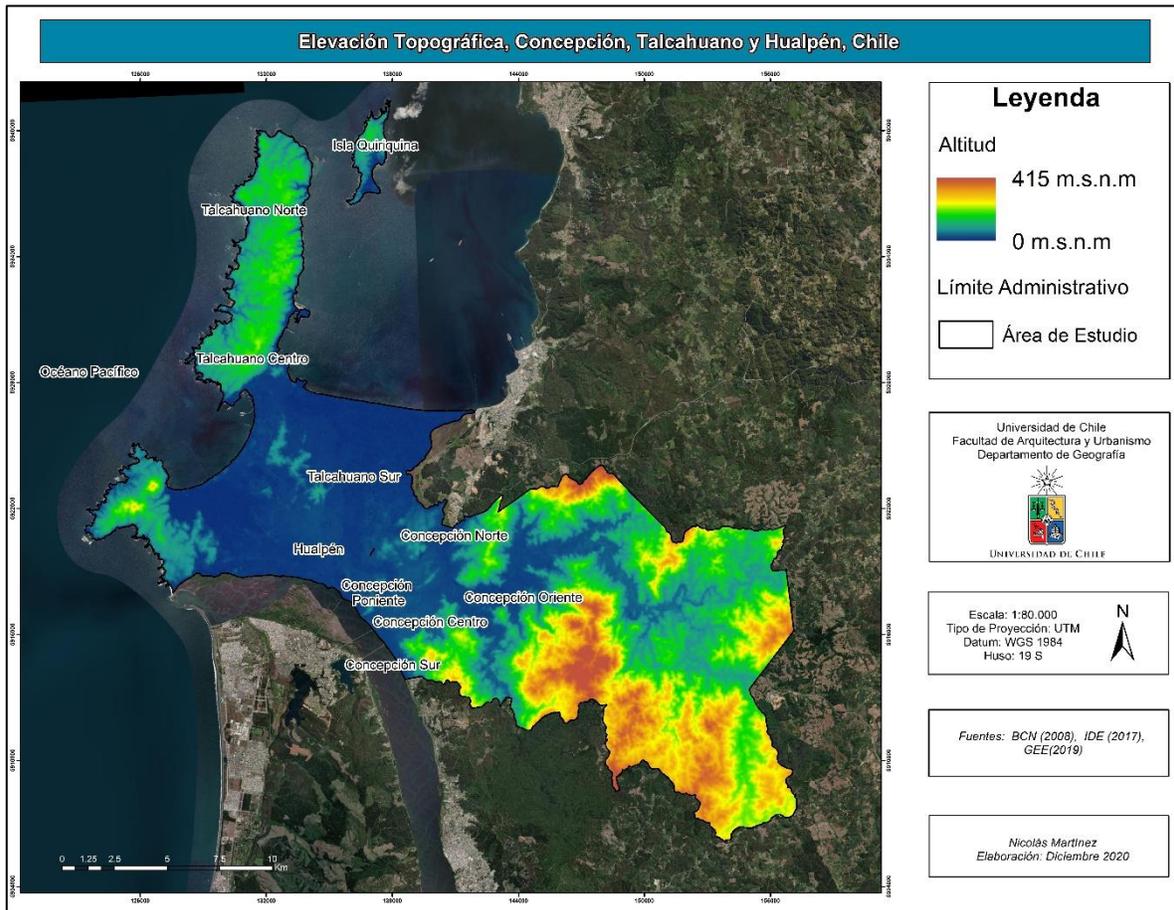
Voogt, J. A. (2008). Islas de calor en zonas urbanas: Ciudades más calientes. EEUU: American Institute of Biological Sciences.

Williams Castro, C. (2019). Intensidad de las islas de calor urbanas superficiales en las principales conurbaciones de la V región de Valparaíso y factores geográficos explicativos para el caso específico de la conurbación del gran Valparaíso.

Yoshino, M. M., & Yoshino, M. (1975). Climate in a small area: an introduction to local meteorology. University of Tokyo press.

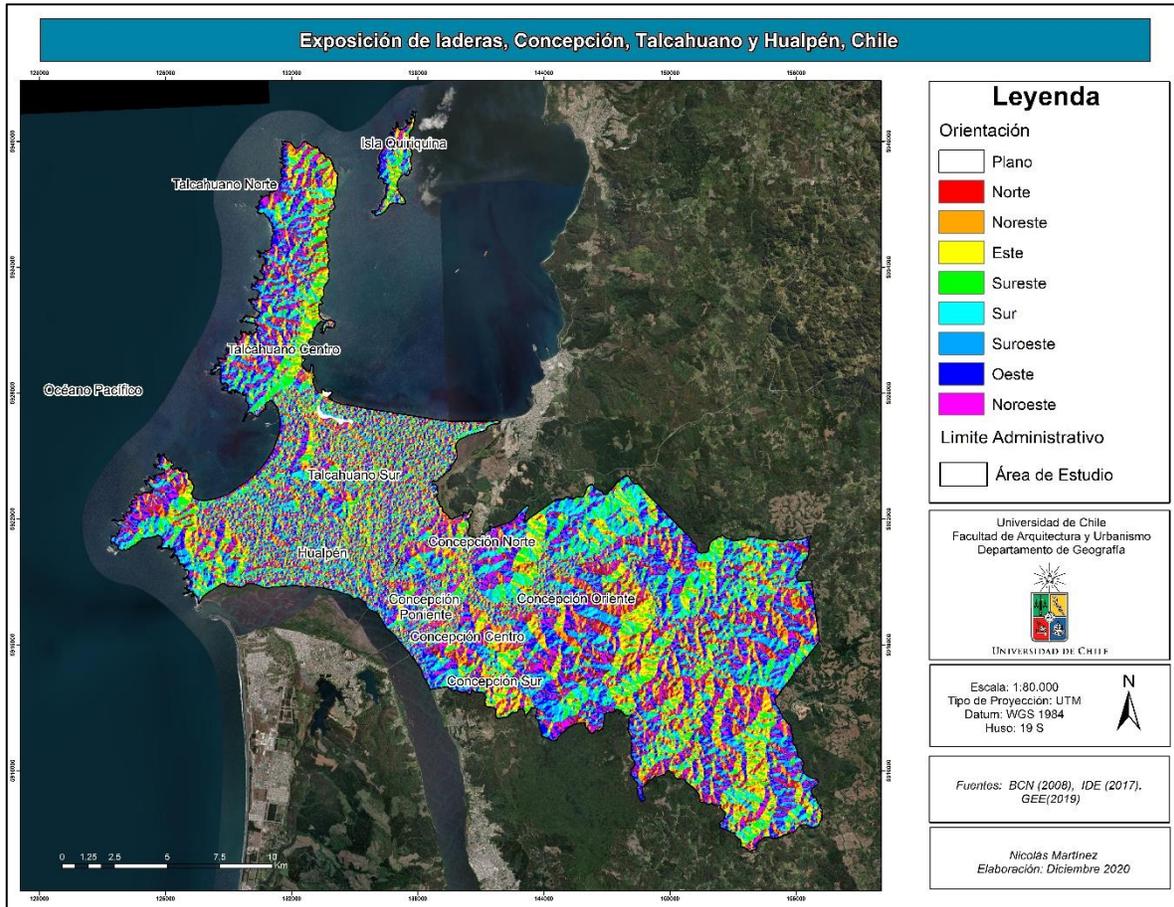
Anexos

Anexo 1: Elevación topográfica Concepción, Talcahuano y Hualpén



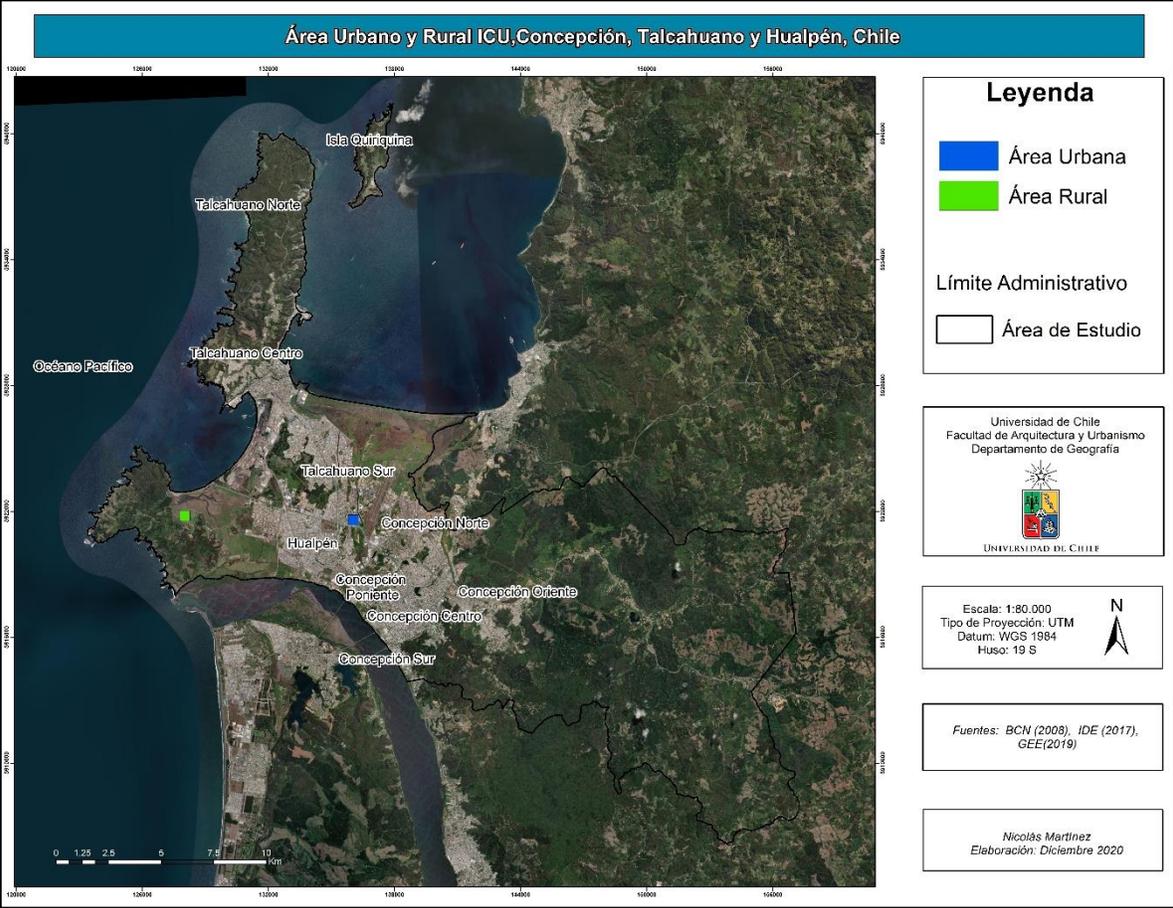
Fuente: Elaboración propia (2021).

Anexo 2: Exposición Concepción, Talcahuano y Hualpén



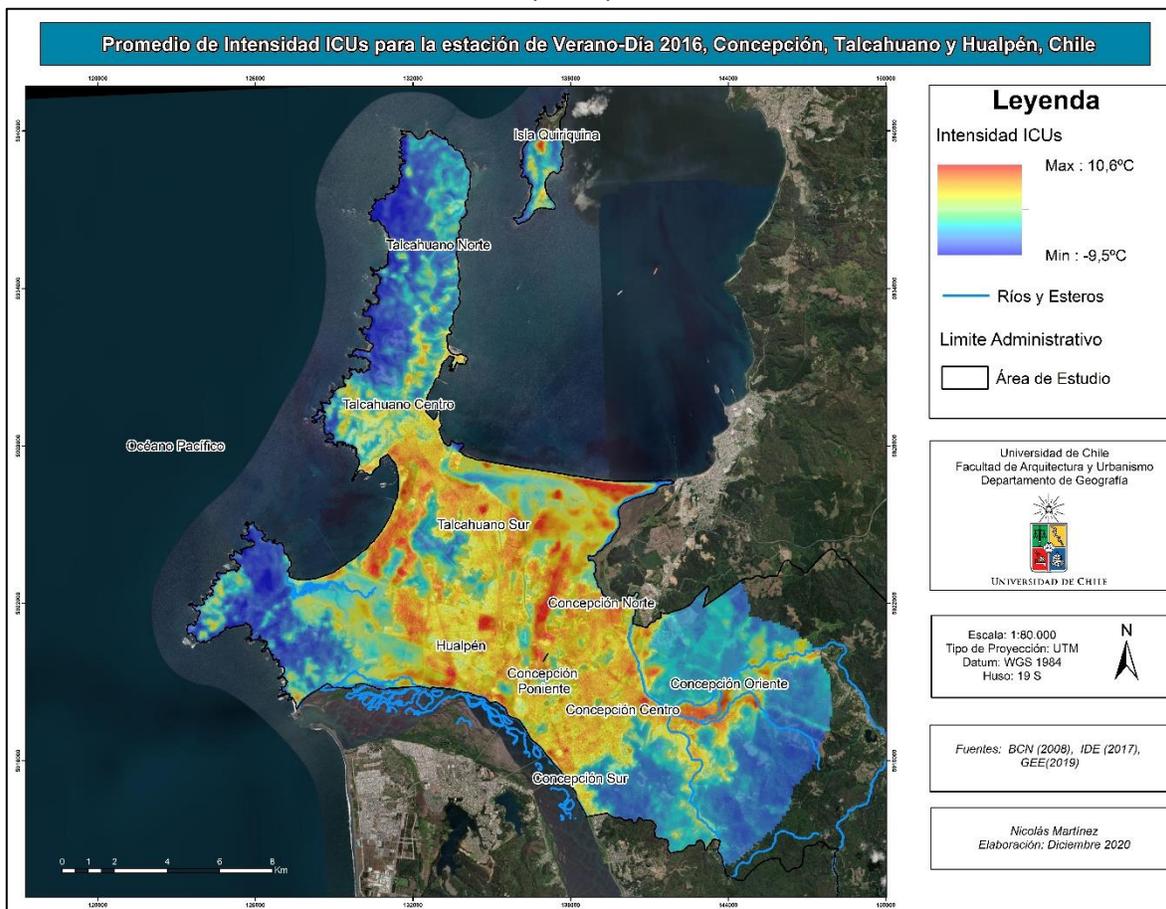
Fuente: Elaboración propia (2021).

Anexo 3: Punto urbano-Rural ICUs Concepción, Talcahuano y Hualpén



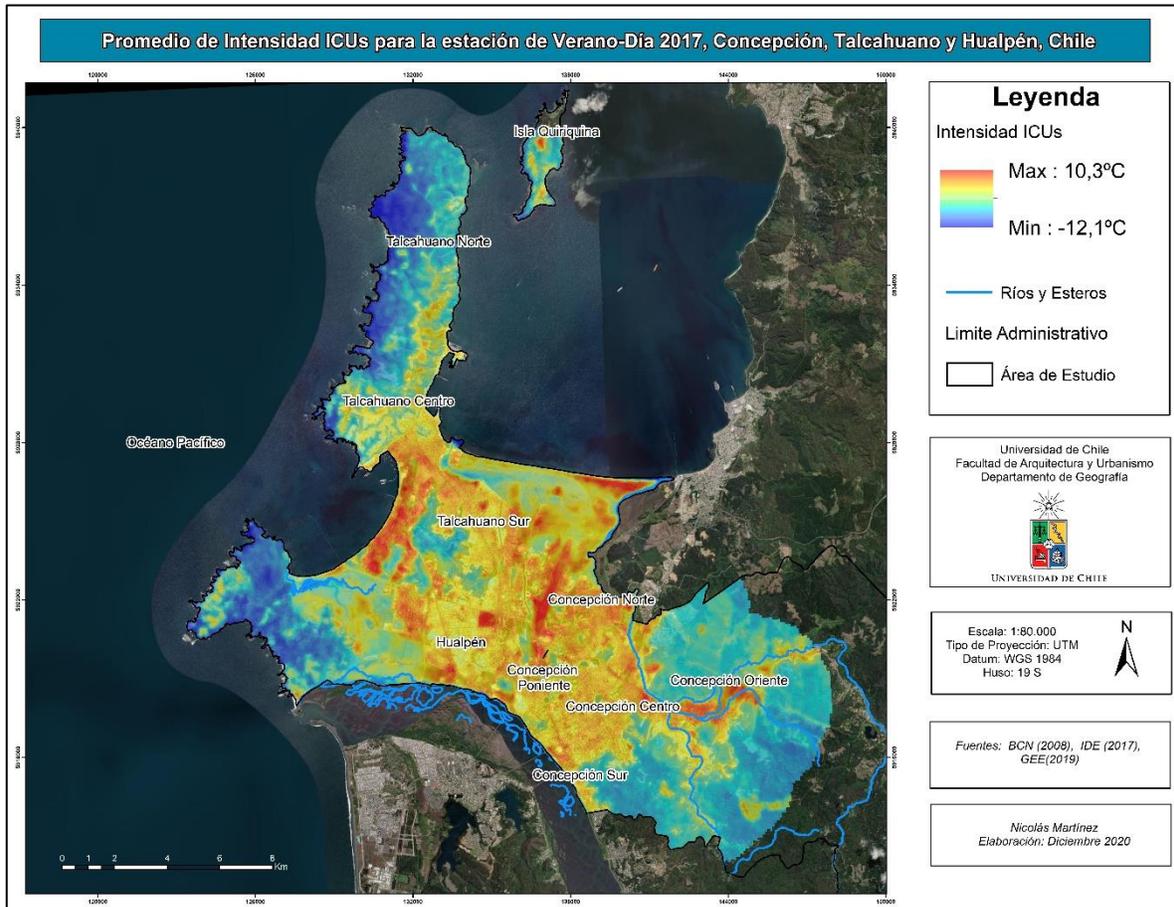
Fuente: Elaboración propia (2021).

Anexo 4: Promedio de intensidad ICUs para la estación Verano-Día 2016, Concepción, Talcahuano y Hualpén



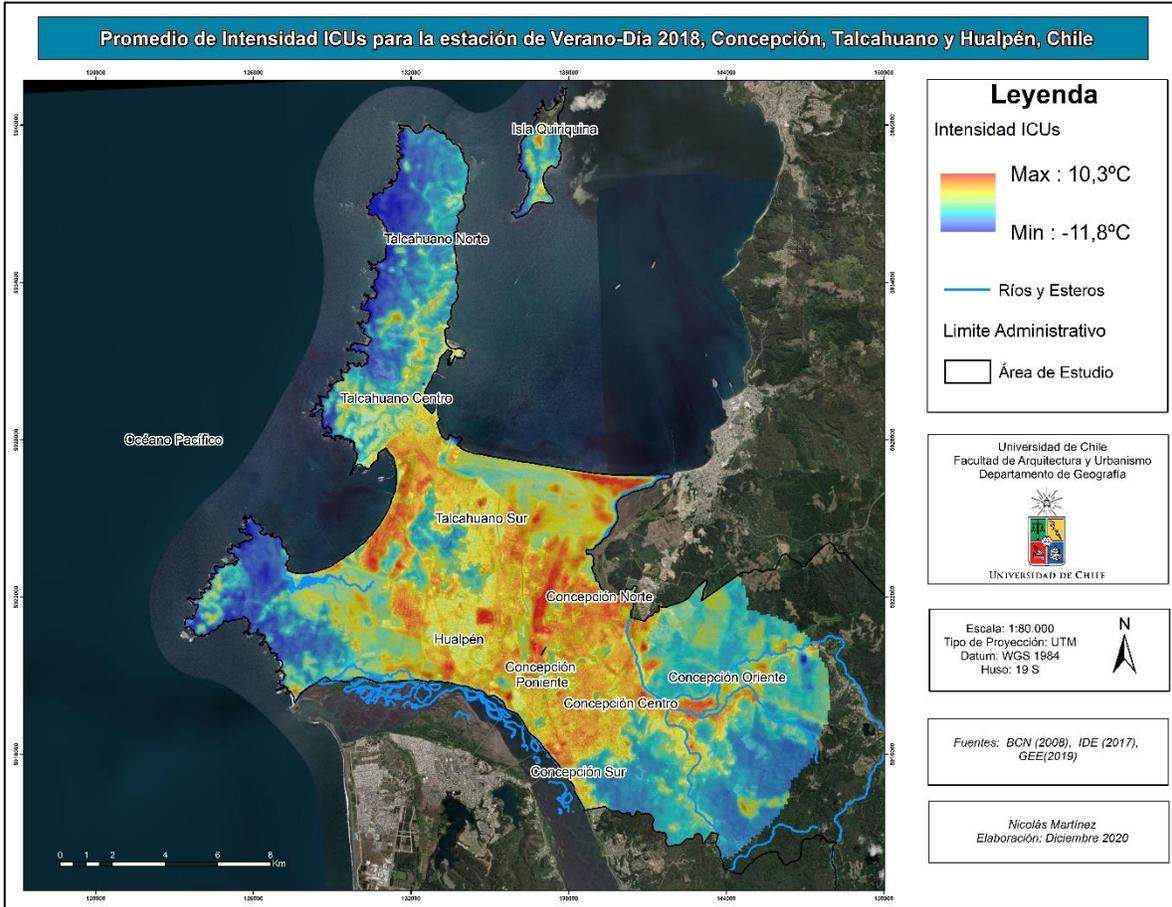
Fuente: Elaboración propia (2021).

Anexo 5: Promedio de intensidad ICUs para la estación Verano-Día 2017, Concepción, Talcahuano y Hualpén



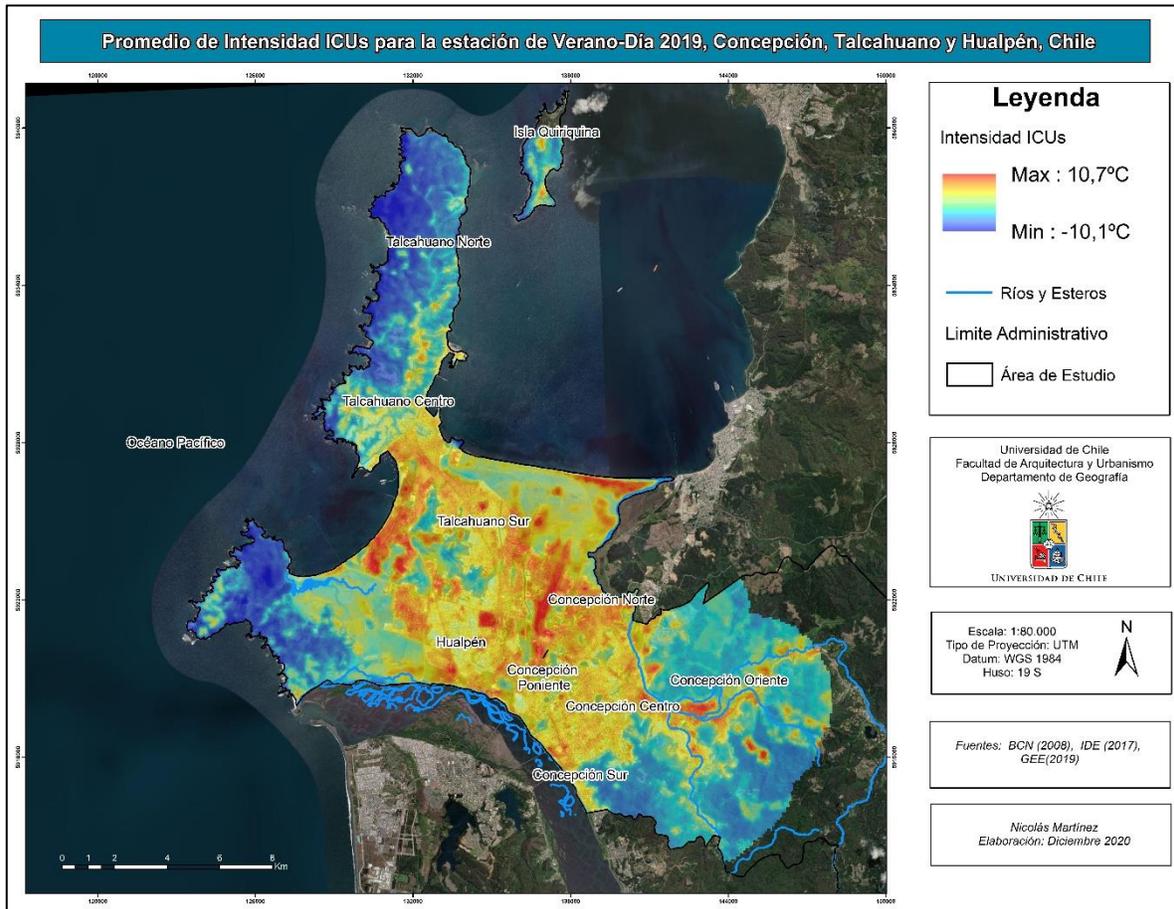
Fuente: Elaboración propia (2021).

Anexo 6: Promedio de intensidad ICUs para la estación Verano-Día 2018, Concepción, Talcahuano y Hualpén



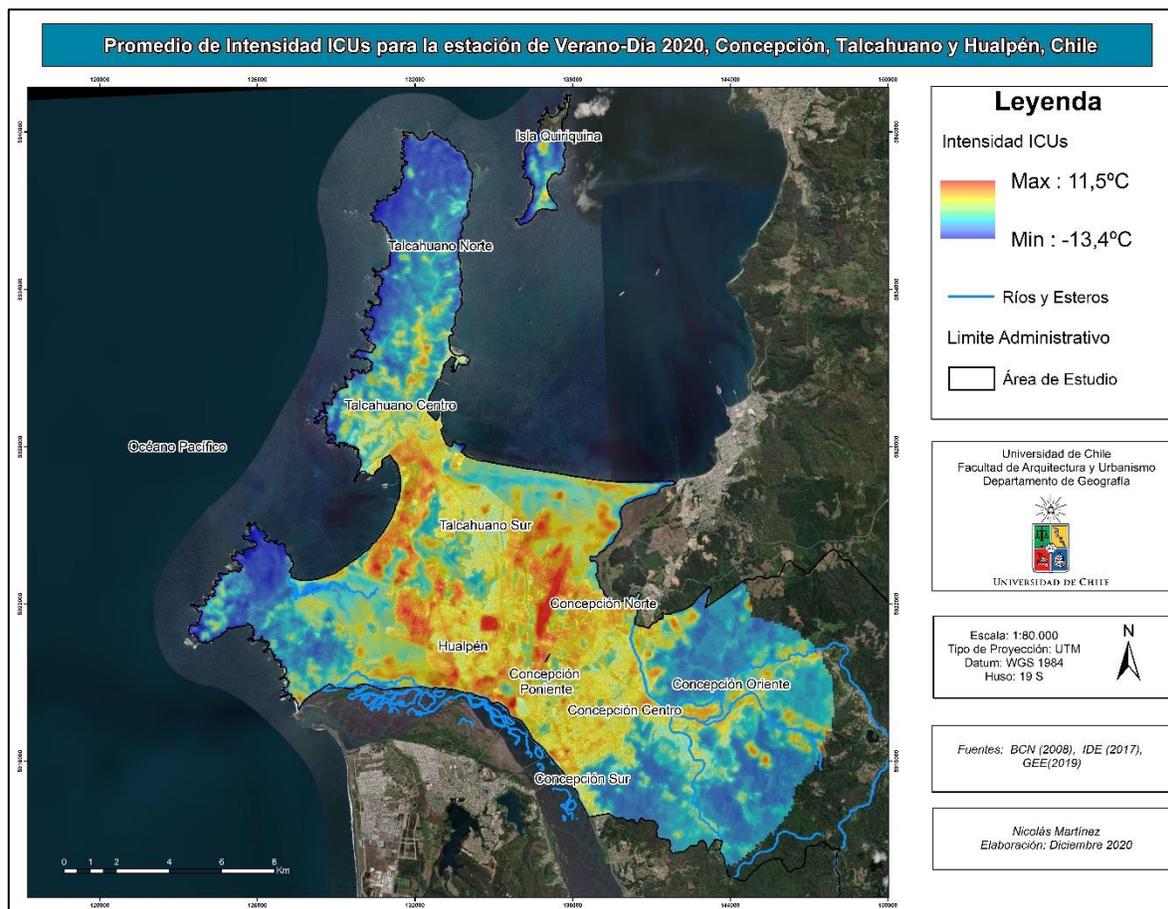
Fuente: Elaboración propia (2021).

Anexo 7: Promedio de intensidad ICUs para la estación Verano-Día 2019, Concepción, Talcahuano y Hualpén



Fuente: Elaboración propia (2021).

Anexo 8: Promedio de intensidad ICUs para la estación Verano-Día 2020, Concepción, Talcahuano y Hualpén



Fuente: Elaboración propia (2021).

Anexo 9: Resumen de las áreas de las Zonas Climáticas Locales (ZCL) (2012) para las comunas de Concepción, Talcahuano y Hualpén.

9.1 Concepción

Concepción			Hualpén		
ZCL	Área (m2)	Porcentaje (%)	ZCL	Área(m2)	Porcentaje (%)
B3	15.642.167,05	24,5	B3	7.018.417	11,0
B9	4.999.073	7,8	B10	2.147.982	3,4
B6	2.167.314	3,4	N4	1.914.531	11,4
B5	1.574.884	2,5	B9	1.032.145	1,6
N5	1.232.491	7,3	N5	968.518	5,7
N3	1.011.928	6,0	B7	610.855	1,0
N2	881.922	5,2	B5	486.738	0,8
B7	807.081	1,3	B6	112.539	0,2
N4	510.704	3,0	B2	101.324	0,2
B2	165.605	0,3	N2	17.335	0,1
B1	79.816	0,1	N3	1.047	0,01
N1	66.885	0,4			

Fuente: Elaboración propia (2021).

Fuente: Elaboración propia (2021).

9.3 Talcahuano

Talcahuano		
ZCL	Área(m2)	Porcentaje (%)
B3	11.778.268	18,5
B7	5.325.557	8,4
B10	3.786.516	5,9
B9	3.568.353	5,6
N4	2.780.903	16,5
N3	2.778.581	16,5
N5	2.695.667	16,0
N2	1.908.584	11,3
B6	1.769.793	2,8
B5	418.537	0,7
B2	169.265	0,3
N1	92.026	0,5

Fuente: Elaboración propia (2021).

Anexo 10: Resumen de las áreas de las Zonas Climáticas Locales (ZCL) (2020) para las comunas de Concepción, Talcahuano y Hualpén.

10.1 Concepción

10.2 Hualpén

Concepción			Hualpén		
ZCL	Área(m2)	Porcentaje (%)	ZCL	Área(m2)	Porcentaje (%)
B3	16.382.942	24,9	B3	7.021.266	10,7
B9	4.541.408	6,9	B10	2.153.676	3,3
B6	2.268.781	3,5	N4	1.623.941	10,4
B5	1.726.350	2,6	B9	1.009.769	1,5
N2	959.152	6,2	N5	743.160	4,8
B7	852.913	1,3	B7	601.905	0,9
N5	819.887	5,3	B5	483.123	0,7
N3	479.293	3,1	B8	152.582	0,2
SC	466.255	3,0	B6	112.282	0,2
N4	391.501	2,5	B2	101.584	0,2
B2	173.769	0,3	SC	77.446	0,5
B1	94.205	0,1			
N1	62.048	0,4			
B8	53.328	0,1			

Fuente: Elaboración propia (2021)

Fuente: Elaboración propia (2021)

10.3 Talcahuano

Talcahuano		
ZCL	Área(m2)	Porcentaje (%)
B3	12.124.236	18,4
B7	5.801.068	8,8
B10	3.884.315	5,9
B9	3.270.325	5,0
N3	2.790.390	17,9
N4	2.600.574	16,7
N5	2.360.018	15,2
N2	1.964.845	12,6
B6	1.738.984	2,6
B5	563.327	0,9
B1	217.557	0,3
B2	190.013	0,3
SC	119.529	0,8
N1	86.840	0,6

Fuente: Elaboración propia (2021)