



UNIVERSIDAD DE CHILE  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
Escuela de Pregrado  
Carrera de Geografía

**ANÁLISIS DE LAS TEMPERATURAS DE EMISIÓN SUPERFICIAL: ISLAS DE CALOR Y FRESCOR EN EL PERIODO 2002-2022, Y SU RELACIÓN CON LAS ZONAS CLIMÁTICAS LOCALES Y LOS GRUPOS SOCIOECONÓMICOS EN LA CONURBACIÓN LA SERENA-COQUIMBO, CHILE**

Memoria para optar al título de Geógrafa

VALERIA CATALINA ARANCIBIA CARREÑO

Profesor guía: Dr. Pablo Sarricolea

Proyecto Fondecyt N°1221688

SANTIAGO - CHILE

2022

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a todos y todas quienes me acompañaron de alguna u otra manera a lo largo de este proceso que hoy llega a su fin.

Primeramente, a mi familia, por su apoyo incondicional y por estar presentes en cada paso. A mi mamá por enseñarme a confiar en mí, a mi papá por permitirme cuestionar, a mis hermanos por mantener vivo el asombro, a mis abuelos por su cariño genuino e inacabable. A todos ellos, por cuidarme siempre, en los momentos buenos y en los malos.

Al Andrés, por su infinito amor, por escucharme, acompañarme, cobijarme y, sobre todo, por hacerme reír todos los días y hacer que todo parezca más liviano a su lado.

A la Feña por ser mi primera amiga en la universidad, por su autenticidad, por hacerme sentir querida, cómoda y estar siempre ahí pese a la distancia. Al Mati, al Gonzalo, a la Dani por las reflexiones, las conversaciones y el ánimo durante el proceso. A mis demás compañeros y compañeras de carrera, que hicieron que mi época universitaria estuviera llena de anécdotas, de chistes y de interminables tardes conversando y riéndonos de nosotros mismos.

A la Tanya por su cariño, confianza y sabiduría en sus incontables palabras de apoyo.

Finalmente, a mi profesor Pablo, por acogerme en su proyecto y confiar en mis capacidades.

## RESUMEN

A partir del crecimiento demográfico y el proceso de urbanización en el marco del modelo económico actual, se generan ciudades segregadas en diversos aspectos, siendo las islas de calor y frescor uno de los fenómenos más relevantes desde la perspectiva socioambiental. Por lo tanto, enmarcada en el proyecto Fondecyt N°1221688, la presente investigación aborda el estudio de las islas de calor y frescor dentro del periodo 2002-2022 en la conurbación La Serena-Coquimbo (Chile), y su relación con las Zonas Climáticas Locales y los Grupos Socioeconómicos. Para ello, se procesaron imágenes satelitales MODIS (Aqua y Terra) con el fin de identificar la intensidad de las islas de calor y frescor en el área de estudio, para cada estación del año, en horario diurno y nocturno, y cuyos resultados arrojaron un patrón invertido entre día y noche. Durante el día existe una predominancia de islas de frescor en todas las estaciones del año, pero más intensas en verano; mientras que durante la noche existe una predominancia de islas de calor en todas las estaciones, pero más intensas en invierno. Así mismo, mediante fotointerpretación y posterior análisis cuantitativo, se contrastaron las islas de calor y frescor con las Zonas Climáticas Locales, obteniéndose que Suelo rocoso o pavimentado (ZCL-E), Compacto de gran altura (ZCL-1) y Abierto de gran altura (ZCL-4) son aquellas de mayor frescor durante el día, no obstante, también las de mayor calor durante la noche. Por último, utilizando una capa de niveles socioeconómicos, y en uso de la misma técnica anterior, se contrastaron las islas de calor y frescor con los Grupos Socioeconómicos, obteniéndose que la mayor intensidad de islas de frescor diurnas y mayor intensidad de islas de calor nocturnas coincide en los grupos C2, E y C1b. En vista de lo anterior, los resultados de esta memoria aportan antecedentes de las islas de calor y frescor en una ciudad intermedia, inserta en un ambiente costero y de clima semiárido, con el fin de contribuir al estudio de este fenómeno y con ello, fortalecer la importancia de la planificación territorial con perspectiva climática.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN	7
1.1. Introducción	7
1.2. Planteamiento del problema	8
1.3. Objetivos	11
1.3.1. Objetivo general	11
1.3.2. Objetivos específicos	11
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	12
2.1. Clima urbano	12
2.1.1. Isla de calor urbano (ICU)	12
2.1.2. Isla de frescor urbano (IFU)	13
2.2. Morfología urbana	14
2.3. Justicia socioambiental	15
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	16
3.1. Objetivo específico N°1	16
3.1.1. Área de estudio	16
3.1.2. Selección de área urbana y rural	18
3.1.3. Procesamiento de imágenes satelitales para el cálculo de ICUs con MODIS	19
3.2. Objetivo específico N°2	20
3.2.1. Construcción de Zonas Climáticas Locales	20
3.2.3. Elaboración de perfil térmico de intensidades de ICUs e IFUs según ZCL	23
3.3. Objetivo específico N°3	24
3.3.1. Relación entre ICUs e IFUs y distribución de grupos socioeconómicos	24
CAPÍTULO 4: RESULTADOS	26
4.1. Intensidad de islas de calor y frescor diurnas	26
4.1.1 Verano día	28
4.1.2 Otoño día	29
4.1.3 Invierno día	30
4.1.4 Primavera día	31
4.2. Intensidad de islas de calor y frescor nocturnas	34
4.2.2 Otoño noche	37
4.2.3 Invierno noche	38
4.2.4. Primavera noche	40
4.3. Zonas Climáticas Locales de la conurbación La Serena-Coquimbo	42
4.4. Relación entre la distribución de islas de calor y frescor con las Zonas Climáticas Locales en la conurbación La Serena-Coquimbo	48
4.4.1 Intensidades diurnas por estación según ZCL	48
4.4.2 Intensidades nocturnas por estación según ZCL	56

4.5. Relación entre la distribución de islas de calor y frescor con los Grupos Socioeconómicos en la conurbación La Serena-Coquimbo	63
4.5.1 Intensidades diurnas por estación según GSE	63
4.5.2 Intensidades nocturnas por estación según GSE	67
5.1. Discusión	72
5.2. Conclusiones	76
BIBLIOGRAFÍA	78
ANEXOS	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudio	18
Figura 2: Diagrama de flujo de las directrices de clasificación de ZCL	22
Figura 3: Grupos socioeconómicos	24
Figura 4: Diagrama metodológico	25
Figura 5: Intensidad de ICUs e IFUs diurna 2002-2022	27
Figura 6: Tabla de intensidades mínimas y máximas por distrito para cada estación diurna	33
Figura 7: Intensidad de ICUs e IFUs nocturna 2002-2022	35
Figura 8: Tabla de intensidades mínimas y máximas por distrito para cada estación nocturna	42
Figura 9: Zonas Climáticas Locales de la conurbación La Serena-Coquimbo, Chile	43
Figura 10: Tabla total de series naturales y construidas de las ZCL en la conurbación La Serena-Coquimbo	44
Figura 11: Tabla distribución de cada serie de Zonas Climáticas Locales en la conurbación La Serena-Coquimbo en el año 2022	45
Figura 12: Distribución de cada serie de Zonas Climáticas según distrito	48
Figura 13: Intensidad de ICUs e IFUs diurnas de Verano, Otoño, Invierno y Primavera según ZCL	49
Figura 14: Intensidad de ICUs e IFUs nocturnas de Verano, Otoño, Invierno y Primavera según ZCL	56
Figura 15: Perfil térmico transecto conurbación La Serena-Coquimbo	63
Figura 16: Intensidad de ICUs e IFUs diurnas de Verano, Otoño, Invierno y Primavera según GSE	64
Figura 17: Intensidad de ICUs e IFUs nocturnas de Verano, Otoño, Invierno y Primavera según GSE	68

# CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

## 1.1. Introducción

El crecimiento demográfico explosivo experimentado transversalmente a nivel mundial, devino a su vez en un crecimiento urbano cada vez más creciente, y cuyos impactos se manifiestan de diferentes maneras en la configuración de las ciudades. En las últimas décadas, Latinoamérica se ha constituido como la región más urbanizada del mundo en desarrollo (Cunha & Rodríguez, 2009), propiciando la diversificación de los núcleos urbanos en los países latinoamericanos, realidad que también se evidencia en Chile, destacando por un proceso de “mercantilización de lo urbano” (De Mattos, 2010). En este escenario, en Chile el proceso de urbanización expresa una relación sinérgica y concomitante con la industrialización y el desarrollo económico (Marengo & Buffalo, 2018) a causa de las prácticas del modelo neoliberal. Como consecuencia de ello, el crecimiento urbano planificado en pos de la mercantilización, desencadena desigualdades al interior de las ciudades, tanto grandes como intermedias, deteriorando la calidad de vida de sus habitantes (Jiménez et al., 2011). En vista de lo anterior, la urbanización acelerada altera estructuralmente las ciudades, en tanto cambia los usos de suelo, reemplazando coberturas naturales con edificaciones, lo cual afecta su comportamiento climático (Tang et al., 2008). En este escenario, se desencadena el fenómeno de la Isla de Calor Urbano, en la cual se constata un calentamiento mayor en las ciudades, comparado con su entorno rural, principalmente debido a la capacidad de almacenamiento de calor en las construcciones, suelos impermeabilizados, producción directa de calor por combustión y la radiación que vuelve por reflexión debido a contaminación atmosférica (Moreno & Serra, 2016). De esta forma, el fenómeno de la Isla de Calor Urbano tiene lugar en diversas escalas, tanto en ciudades grandes como medias, ciudades costeras o interiores, y a diferentes latitudes, presentando patrones particulares en cada una de ellas. Así mismo, la literatura sugiere un comportamiento diferente según diferentes Zonas Climáticas Locales, en vista de los diferentes usos que se reconocen al interior de las ciudades; así como también un mayor grado de afectación según diferentes grupos socioeconómicos, que, dado el emplazamiento y características de sus viviendas, los sitúa en situaciones de injusticia socioambiental.

Por lo tanto, la presente investigación tiene por objetivo analizar la distribución de las islas de calor y frescor en la conurbación La Serena-Coquimbo, un sistema urbano costero y semiárido, y uno de los sistemas urbanos más importantes del país. El análisis se realizó tanto en horario diurno como nocturno, así como también para cada estación del año en el período 2002-2022. Además, se realizó un contraste entre las temperaturas superficiales y las Zonas Climáticas Locales, y posteriormente una comparación con los Grupos Socioeconómicos. Esto se realizó mediante metodologías de carácter cuantitativo, utilizando como herramienta principal los Sistemas de Información Geográfica.

Los hallazgos del presente estudio, buscan aportar nuevos datos para la comprensión y alcances de este fenómeno en la conurbación La Serena-Coquimbo, de tal forma que pueda constituirse como un insumo para la planificación territorial futura en pos de ciudades más justas.

## 1.2. Planteamiento del problema

A lo largo de la historia, y de manera continua, el mundo se ha visto enfrentado a importantes cambios de carácter político, social, económico, cultural y ambiental, detonados por diversos factores, tales como el aumento sostenido de la población mundial que ha devenido en la configuración de nuevos escenarios urbanos. En las últimas décadas la celeridad del proceso de urbanización y la tendencia hacia la formación de grandes ciudades y áreas metropolitanas ha sido un rasgo característico del fenómeno de asentamientos tanto a escala global como local (Wirth, 2005).

El aumento de la población y el consumo no controlado de suelo urbano, han sido responsables del surgimiento de ciudades cada vez más grandes y densas, consolidadas como metrópolis (Organización de las Naciones Unidas, 2020), así como también, del surgimiento de nuevas ciudades y la diversificación de los núcleos urbanos.

Si en 1930 la población urbana del planeta representaba tan sólo el 20% del total, actualmente esa cifra se sitúa en un 60%, y se estima que podría superar el 75% en el año 2050 (Organización de las Naciones Unidas, 2020).

En vista de lo anterior, la realidad latinoamericana es aún más abrupta. Según datos del Banco Mundial (2020), la población urbana alcanza un 81%, siendo una de las regiones con la mayor cifra a nivel internacional. Principalmente marcados por la industrialización, los diferentes países latinoamericanos fueron sufriendo transformaciones irreversibles en la configuración y reconfiguración de su espacio urbano. El desarrollo de las ciudades y la aparición de nuevos núcleos, a impulsos de una nueva economía cada vez más tecnificada, fue ampliando paulatinamente la red de comunicaciones, haciendo desaparecer, poco a poco, el crecimiento regional autónomo, que caracterizó el desarrollo de los países hasta las primeras décadas del siglo XX (Herrera et al., 1976). En este contexto, se ha visto cada vez más, como el proceso de urbanización se ha ligado fuertemente al desarrollo económico, donde el lucro de las grandes empresas crece en función de su desarrollo en el territorio (Silveira, 2011). De esta forma, el espacio urbano de diferentes ciudades se ha modelado producto de una mercantilización de lo urbano (De Mattos, 2008), alcanzando una relevancia que, tal como señala Lukas & Durán (2020), la urbanización, en lugar de la industrialización, se ha convertido en la principal fuerza motriz del desarrollo capitalista.

De esta forma, la realidad de Chile no se queda atrás. Según el CENSO 2017, el país presenta un 87,8% de población urbana a la fecha, manteniendo el constante aumento evidenciado en años anteriores, cuyas cifras alcanzaron el 83,5% en el CENSO 1992, y 86,6% en el CENSO 2002. Paralelamente, la población rural decrece sostenidamente, tanto en términos porcentuales como absolutos (INE, 2018).

En este contexto, Harvey (2007) señala que, además, Chile fue el primer país en adoptar una plataforma estatal neoliberal, a causa de la dictadura militar en 1973 que impuso coercitivamente el modelo neoliberal, y los supuestos, prácticas y valores que lo articulan. A partir de ello, la relocalización de campamentos con fines de desarticulación política (Morales



& Rojas, 1986), la construcción masiva de viviendas sociales y condominios cerrados en las periferias (Rodríguez & Rodríguez, 2012), el crecimiento vertical principalmente en áreas céntricas (Fuentes & Pezoa, 2018); junto con la inequidad de inversión local dentro de las ciudades, deterioro urbano acelerado, insuficiencias de equipamiento urbano, precariedad o inexistencia de áreas verdes (Ducci, 1997), entre otros factores, propiciaron la creación de nuevas centralidades o subcentros, junto al surgimiento de nuevos patrones espaciales de desigualdad socioeconómica, generando consigo, ciudades altamente segregadas.

Esta tendencia evidenciada en la expansión y el fortalecimiento de áreas metropolitanas, se extrapola también a las denominadas ciudades intermedias; una escala de estudio relevante, considerando que la mayor parte de la población urbana mundial habita en ciudades intermedias (ONU-HABITAT, 2010). Este porcentaje en Chile alcanza el 47,7% (Catán, 2013).

En Latinoamérica, se han considerado como ciudades intermedias aquellas cuya cantidad de habitantes oscila entre 50 mil y 1 millón de habitantes (Jordan & Simioni, 1998). Si bien, el criterio demográfico como parámetro para la definición de ciudades intermedias, ha sido cuestionado por su condición estática, y por ser excesivamente variable entre un país y otro (Salazar et al., 2018), las ciudades intermedias tienden a situarse por debajo de las áreas metropolitanas, en cuanto a la jerarquía demográfica urbana. Sin embargo, las ciudades intermedias no se limitan a su cantidad de habitantes, sino a sus atributos propios, como procesos de metropolización más prematuros que en las áreas metropolitanas, fuerte identidad territorial o mayor interacción social (Maturana & Rojas, 2015); pero por, sobre todo, su capacidad articuladora entre las metrópolis y la producción de sus áreas rurales, atrayendo así flujos migratorios, expansión urbana y capitales de inversión (Otero & Llop, 2020).

En vista de lo anterior, las ciudades intermedias poseen una inherente tendencia a establecer relaciones con otros núcleos urbanos, por lo cual, muchas veces generan procesos de conurbación, tanto física como funcionalmente (Orellana, 2020). La conurbación se constituye como la integración territorial entre dos o más ciudades, potenciando un desarrollo en conjunto (Moreno, 2008), como consecuencia de la sinergia de dichas estructuras urbanas.

En efecto, las conurbaciones también han sido objeto de presiones inmobiliarias y víctimas del crecimiento urbano marcado por la liberalización de los mercados del suelo en Chile. Así, las conurbaciones no han estado exentas de la sustitución ilimitada de cubiertas de suelo ocupadas anteriormente por "*lechos fluviales, áreas agrícolas, plantaciones forestales, remanentes de bosques nativos, y estructuras naturales del paisaje*" (Romero & Vásquez, 2009), repercutiendo en la calidad de vida de sus habitantes, mediante el desmedro de servicios ecosistémicos, contaminación ambiental, confort térmico, entre otros. Por lo tanto, de igual forma se reproduce segregación socio-espacial al interior de estas áreas urbanas, acentuada muchas veces por valores de suelo más bajos, exclusión en los procesos de globalización, falta de infraestructura de servicios básicos, ineficiencia de políticas públicas, carencia de liderazgo de los gobiernos locales, entre otros factores (Otero & Llop, 2020; Catán, 2013).

El cambio de coberturas naturales por espacios construidos, ha impactado con fuerza en el medio ambiente urbano de diferentes maneras, sin embargo, según Stewart & Oke (2012), junto

con el cambio climático global, la presencia de islas de calor urbanas es uno de los mayores problemas que debe enfrentar la sociedad del siglo XXI.

Debido al aumento de la temperatura de los materiales que componen las ciudades, las temperaturas tienden a ser superiores en zonas donde hay mayor densidad de construcción, y, por ende, escasa o nula vegetación junto una fuerte impermeabilización del suelo (Voogt, 2008; Molina et al., 2009), contribuyendo al disconfort térmico de la población. Así mismo, el incremento de las temperaturas urbanas en áreas residenciales habitadas por diversos grupos socioeconómicos, desarrolla situaciones de injusticia socio-ambiental al interior de las ciudades (Molina et al., 2009).

En este escenario, destaca el caso de la conurbación La Serena-Coquimbo, la principal aglomeración urbana del norte de Chile, en la que se vivencia una clara transformación de su estructura espacial, y con ello, un incipiente pero intenso proceso de metropolización (Hidalgo et al., 2009) que deviene en lo anteriormente mencionado.

La región de Coquimbo en su conjunto presenta un 81,2% de población urbana según el CENSO 2017. Si bien la cifra por sí sola la posiciona como la novena región en el ranking de población urbana según el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) (2018), las ciudades de La Serena y Coquimbo, ocupan el primer y segundo lugar en el índice de crecimiento de la superficie urbana en el país (Arenas & González, 2007), consolidándose como una de las conurbaciones costeras más relevantes a nivel nacional. Así, tal como se ha visto, la expansión urbana incontrolada que ha caracterizado a las diversas ciudades chilenas, también ha implicado una serie de cambios en el paisaje en la conurbación La-Serena Coquimbo, pasando de entornos naturales no intervenidos por el hombre a paisajes completamente antropizados (Vilela & Moschella, 2017), propiciando el fenómeno de las islas de calor y frescor en su interior.

Según la proyección del Atlas de Riesgos Climáticos (2020) que contempla el periodo futuro 2035-2065, la cadena de impacto asociada a la isla de calor urbana en la conurbación La Serena-Coquimbo, proyecta un nivel medio de amenaza, un nivel alto de exposición, un nivel medio de sensibilidad, y, por ende, un nivel de riesgo medio, asociado al impacto de la intensidad del fenómeno de la isla de calor urbana superficial.

En vista de lo anterior, se hace preciso el estudio de este fenómeno a diferentes escalas, por lo tanto, el presente trabajo busca analizar la distribución de las islas de calor y frescor superficial, diurnas y nocturnas, y para cada estación del año en el periodo 2002-2022, y su relación con las Zonas Climáticas Locales y distribución de los Grupos Socioeconómicos.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Analizar la distribución de las islas de calor y frescor superficial diurnas y nocturnas, y para cada estación del año en el periodo 2002-2022, y su relación con las Zonas Climáticas Locales y grupos socioeconómicos, en la conurbación La Serena-Coquimbo, Chile.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Establecer la distribución y comportamiento promedio de las islas de calor y frescor, diurnas y nocturnas, para cada estación del año, en el periodo 2002-2022.
- Contrastar las islas de calor y frescor con las Zonas Climáticas Locales.
- Evaluar la relación de la distribución de las ICU e IFU con la distribución de los grupos socioeconómicos en la conurbación La Serena-Coquimbo.

## **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Clima urbano**

El clima urbano está estrechamente vinculado a la escala local, siempre que la ciudad tenga un tamaño suficiente para distinguirse del espacio no urbano circundante y actividad contaminante significativa (Yoshino 1975). En otras palabras, el clima urbano es la modificación local del clima regional que generan las ciudades, cuyos estudios son el reflejo de la totalidad de los cambios microclimáticos generados antrópicamente (Landsberg, 1981) y la modificación que las condiciones de sitio generan en el clima regional (Capelli et al., 2005). Dichos cambios se constatan en las variaciones que sufren los parámetros meteorológicos dentro de áreas urbanas (Picone, 2014).

Escalarmente, tal como señalan Romero et al. (2010):

*“los climas urbanos pertenecen a los llamados climas de niveles límites debido a que las características que adquiere la atmósfera sobre las ciudades, se relacionan directamente con los usos y coberturas de los suelos. Como la urbanización es uno de los fenómenos que dirige el cambio de los usos y coberturas de los suelos, genera variaciones en las condiciones climáticas de alcance local, destacando las islas de calor, humedad y ventilación”.*

En efecto, el clima urbano es producto de cambios deliberados en el clima local, y se vincula estrechamente con la construcción social de espacios y lugares (Castree et al., 2009). La ciudad es, por lo tanto, gestora de su propio clima, como resultado del cruce de agentes en la capa límite urbana, que actúan impactando el clima a escala local (Costa & Margarete, 2010). Sus consecuencias directas son percibidas por la población mediante disconformidades en cuanto a confort térmico, calidad del aire, precipitaciones, entre otros fenómenos capaces de impactar la vida urbana y perjudicar la calidad de vida de sus habitantes (Monteiro, 1976).

#### **2.1.1. Isla de calor urbano (ICU)**

El fenómeno más destacado y a su vez más estudiado a nivel climático es la isla de calor urbano (ICU), que consiste en el aumento de la temperatura en el área central de la ciudad con respecto a sus alrededores (Bornstein, 1968). En efecto, la ICU es un fenómeno de escala local que se relaciona con un incremento en la temperatura de la atmósfera a nivel de superficie en una zona urbana, contrastado con una zona rural próxima, como consecuencia directa de la urbanización (Ravanelli et al., 2018).

La comparación urbano-rural de las temperaturas es una de las metodologías más utilizadas para realizar una primera aproximación al clima urbano de un área determinada. Esta consiste en la evaluación de la temperatura en una estación meteorológica fija en la ciudad y una en el área rural; la diferencia entre ambas temperaturas es conocida como la intensidad de la isla de calor urbana (Picone, 2014).

Las ICU han sido estudiadas desde el advenimiento de la teledetección, a mediados del siglo XX (Sarricolea & Martín-Vide, 2014), por lo tanto, la utilización de las imágenes satelitales ha

permitido diversos y complejos estudios de la isla de calor urbana. Si bien, de manera transversal las ICU se enmarcan dentro de una definición, existen diferentes tipos.

Oke et al. (2017) afirman que las islas de calor urbano corresponden a la diferencia entre áreas urbanas y áreas rurales, no obstante, establece la existencia de cuatro subtipos de ICU: Subsuperficial, de Capa límite, de Cañón Urbano y Superficial.

El presente estudio utilizará como lineamiento el último subtipo mencionado, es decir, la isla de calor urbana superficial.

La isla de calor urbana superficial (ICUs), es aquella que se calcula obteniendo la diferencia de temperatura entre la superficie urbana con el balance de esa misma superficie en un entorno rural. La temperatura superficial es fundamental en los estudios climatológicos urbanos, ya que condiciona y modula la temperatura del aire en las capas más bajas de la atmósfera urbana (Voogt y Oke, 2003).

Así, la ICUs es un fenómeno que se origina a partir de la variabilidad en la temperatura superficial de diversos materiales, los cuales pueden cambiar en función de la estructura urbana (Oke et al., 2017). En consecuencia, las ICUs tienden a identificarse al interior de las ciudades, debido a las propiedades de los materiales predominantes en sus construcciones, los cuales poseen bajo albedo, bajo nivel de absorción de agua y atributos que propician la absorción y emisión de calor (Romero & Sarricolea, 2006). Por ejemplo, superficies de colores oscuros, tales como carreteras de asfalto, absorben más radiación, por lo tanto, tienden a presentar temperaturas superiores a las superficies claras. Por otro lado, la presencia de superficies vegetadas es fundamental en la mitigación de las ICUs; existiendo así una contribución directa entre vegetación y el enfriamiento de espacios construidos (Honjo et al., 2003).

### **2.1.2. Isla de frescor urbano (IFU)**

Así cómo es posible identificar islas de calor urbano al interior de las ciudades, en algunos casos, es también evidenciable el fenómeno a la inversa: la isla de frescor urbano (IFU).

Al igual que en el caso de las ICU, las condiciones propias de las ciudades y su morfología, generan variaciones en su clima local. En efecto, tal como señalan Valor et al. (2000), los cambios en las condiciones atmosféricas (por la concentración de gases), en el balance energético (por la configuración superficial) y en la rugosidad (por las edificaciones), se ven alteradas de tal manera que, se genera consigo un perfil térmico con un patrón desigual al interior de la ciudad.

En determinadas horas del día, o estaciones del año, puede constatarse un calentamiento mayor en algunos puntos urbanos, en comparación a sus alrededores; no obstante, en otros momentos, es posible constatar el efecto contrario: un calentamiento mayor en los alrededores, dejando en el centro un punto más frío que sus proximidades, lo que se denomina como isla de calor inversa, o bien, isla de frescor urbano.

De esta forma, la IFU se relaciona con el grado de insolación de los alrededores. Es decir, al

disminuir la intensidad de la radiación, disminuye también la intensidad de la IFU desarrollada (Correa et al., 2006).

## **2.2. Morfología urbana**

El impacto de la configuración y construcción del espacio urbano a lo largo de los años, como consecuencia de la transformación del paisaje natural, modifica diversas aristas del paisaje, tales como la biodiversidad, la rugosidad o la morfología del terreno, en efecto, esto último, corresponde a la morfología urbana (Correa et al., 2010). De manera más concreta, la morfología urbana puede definirse como “*el estudio de las formas de la ciudad, los asentamientos humanos y el proceso de creación y transformación*” (Gauthier & Gilliland, 2006), que, al mismo tiempo, se relaciona directamente con el análisis espacial de las coberturas de suelo.

Así mismo, la morfología urbana entendida como un sistema, según Pérez (2009) se compone de tres características: el soporte (condicionado por su medio natural, se relaciona con el trazado de las calles), la edificación (asociada a la altura, materialidad y disposición de las construcciones en el tejido urbano), y por último, los usos de suelo (principalmente ligados a las actividades predominantes en cada zona). A partir de ello, las diferentes combinaciones de estos tres factores, configuran diversos espectros de morfologías urbanas.

El proceso de urbanización y sus consecuentes morfologías urbanas, han implicado a su vez un impacto en las condiciones climáticas de las ciudades bajo diversos parámetros, modificándose así el clima local (Grimmond, 2007). En efecto, existe una correlación entre la morfología urbana y el clima del espacio urbano.

En vista de lo anterior, bajo el alero del estudio de la morfología urbana, es posible establecer zonas homogéneas, que permitan describir sus características propias, y con ello, su comportamiento climático (Castro, 2014).

A lo largo del tiempo, diversos autores han estudiado los climas locales urbanos en pos de establecer categorías estandarizadas que faciliten futuros trabajos (Mondaca, 2019). Auer (1978, citado en Gómez, 2014) propuso un sistema de clasificación utilizando criterios de uso de suelo y cubiertas vegetales, estableciendo cuatro clases principales y 12 subclases. A microescala, Ellefsen (1991, citado en Gómez, 2014) planteó un sistema a escala barrial, denominado “zonas urbanas de terreno” (UTZ) el cual se basaba en la morfología de las edificaciones, tipo de construcción, ventilación, calles y materialidad. Posteriormente, Davenport et al. (2000) establecieron otra clasificación del paisaje urbano en función de la estructura de la ciudad, principalmente basada en mediciones que correlacionaban rugosidad y viento. Dicha clasificación, fue tomada y editada por Wieringa et al. (2001) quienes establecieron ocho clases diferentes.

Bajo ese contexto, Stewart y Oke (2012) desarrollaron una nueva metodología de clasificación de climas locales “*que permitiría mejorar la comparación de trabajos de climas urbanos entre diferentes ciudades*” (Mondaca, 2019). Así, propusieron áreas homogéneas, responsables de la

distribución de las temperaturas urbanas. A esta clasificación la denominaron Zonas Climáticas Locales (ZCL), la cual se compone por 17 categorías, divididas en dos subgrupos: 10 series construidas y 7 series naturales.

### **2.3. Justicia socioambiental**

Tal como se mencionó anteriormente, dado que la mayor parte de la población mundial habita en ciudades, consecuentemente, la mayor parte de la población mundial se encuentra expuesta a las condiciones atmosféricas particulares de cada morfología urbana presente al interior de las ciudades, tales como islas de calor o frescor urbano; es decir, pueden verse afectados directamente por la falta de confort térmico (Smith & Romero, 2016).

Los climas urbanos pueden representar profundas desigualdades sociales, ya que el nivel de exposición al disconfort térmico acentúa las diferencias entre los diversos grupos socioeconómicos de la ciudad, en tanto los patrones de urbanización consolidan situaciones de injusticia ambiental. Así, la justicia socioambiental se establece como un objetivo relevante a la hora de pensar ciudades sustentables con equidad social y ambiental.

La sobrecarga de efectos negativos sobre los sectores sociales más vulnerables, conlleva que ese grupo concentre las tasas más altas de mortalidad y morbilidad asociadas al calor extremo, ya que posee a su vez las tasas más altas de enfermedades producto del incremento de temperaturas, tales como insolación, fatiga, afecciones cardiovasculares y respiratorias (Harlan et al., 2006). Dicha vulnerabilidad de determinados grupos socioeconómicos, se acrecienta en tanto que poseen menor cantidad de herramientas para enfrentar la problemática, constatado, por ejemplo, en la clara tendencia a la baja accesibilidad a servicios de salud (Romero et al., 2010).

Además, factores como la desigualdad en la distribución de áreas verdes, materialidad de las viviendas, entre otros, posicionan en desventaja a los grupos socioeconómicos más desfavorecidos, consolidando situaciones de vulnerabilidad climática. Así, una ciudad ambientalmente sustentable *“debe demostrar su capacidad de mitigar las concentraciones de calor y sus implicancias sobre el disconfort térmico y pérdida de calidad de vida que pueden sufrir sus habitantes”* (Smith & Romero, 2016). En vista de lo anterior, la mitigación de los efectos adversos de las ICU e IFU sobre la población, emerge como un desafío fundamental para la planificación sensible al clima.

Actualmente en Chile, el proyecto de Ley Marco de Cambio Climático, busca reconocer por primera vez en la legislación, la importancia de la justicia socioambiental en la acción climática a través de la integración de los principios de Equidad (con enfoque de género, orientado a sectores, comunidades y ecosistemas vulnerables al cambio climático) y Transversalidad (abogando por la participación ciudadana en la gestión del cambio climático) (Moraga et al., 2020).

## **CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA**

### **3.1. Objetivo específico N°1**

#### **3.1.1. Área de estudio**

Primeramente, se definió el área de estudio, la cual corresponde a la conurbación costera La Serena-Coquimbo, perteneciente a la provincia de Elqui, en la región de Coquimbo. Se constituye como uno de los principales conglomerados urbanos del país.

Durante cerca de 400 años, La Serena se mantuvo como una ciudad de interior, cuyo espacio urbano se situaba alejado de la costa, al mismo tiempo que se distanciaba por 15 kilómetros de la ciudad de Coquimbo. En este contexto, durante los años 1948 y 1952 surgió el “Plan Serena”, el cual consistía en una operación de carácter económico, arquitectónico y, principalmente urbano, liderada por el poder ejecutivo de ese entonces (Orellana et al., 2016). Fue a partir de aquel hito, que La Serena y Coquimbo comenzaron a experimentar una cada vez más acentuada transformación urbana, expandiendo el suelo urbano de La Serena hacia la costa y hacia el puerto de Coquimbo, dando origen al proceso de conurbación entre ambas ciudades (Torrent, 2004).

Ya en la década de 1980, dicho proceso de conurbación se refuerza en manos de la apertura de la Avenida del Mar, alcanzando definitivamente el borde costero, fortaleciendo definitivamente la conectividad vial, propiciando el turismo y el mercado inmobiliario, y consolidando irreversiblemente la integración ambas ciudades, dando paso a un solo conglomerado urbano, denominado conurbación La Serena-Coquimbo (Orellana et al., 2016).

En vista de lo anterior, el proceso de transformación estructural de la conurbación continúa avanzando progresivamente; la ciudad se sigue expandiendo aceleradamente, al mismo tiempo que presenta nuevas dinámicas, tales como un mercado inmobiliario incontrolado, la aparición de barrios cerrados o la instalación de grandes centros comerciales, que han dado paso a la configuración de nuevas centralidades urbanas (Hidalgo & Arenas, 2009). Actualmente, la conurbación La Serena-Coquimbo, mantiene dentro de sus principales actividades económicas el turismo, sumado a la pesca y acuicultura, así como también un fuerte mercado de servicios (ODEPA, 2022).

En cuanto a su hidrografía, presenta variedad de quebradas. No obstante, destaca el curso del río Elqui, uno de los principales ríos de la región, y en cuya desembocadura hacia el océano Pacífico, se encuentra el Humedal de la Desembocadura del Río Elqui. Este se emplaza al interior de la zona urbana de La Serena, y se constituye como un humedal costero, estuarino exorreico y palustre, de gran importancia ecosistémica, hábitat de numerosas especies, y actualmente amenazado por diversos factores de carácter antrópico, como la presión y expansión inmobiliaria, basurales, extracción de áridos, relaves mineros, entre otros (Ministerio del Medio Ambiente, 2021).



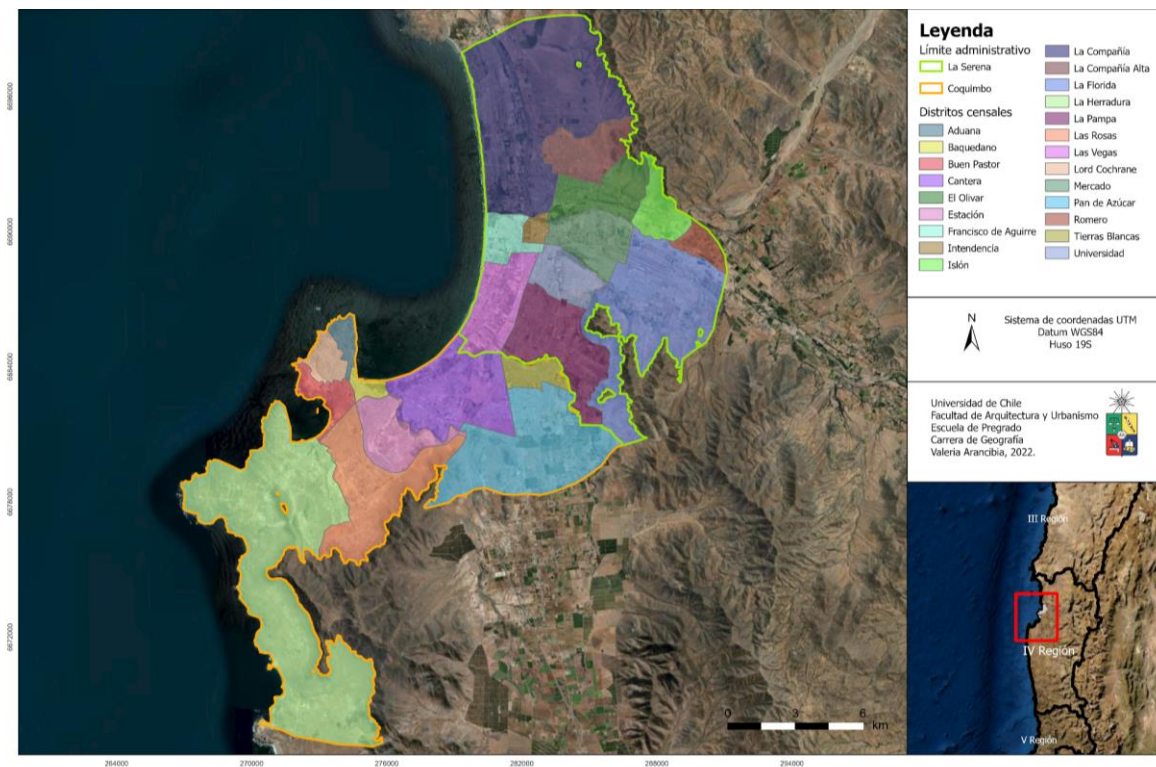
Respecto a su geomorfología y geología, la región de Coquimbo posee la cordillera de la Costa, cuya composición corresponde a rocas metamórficas e intrusivas. A su vez, el área de estudio posee extensas planicies litorales y terrazas fluvio-marinas (ODEPA, 2022).

Así mismo, corresponde a una región climática transitoria, ya que se ubica precisamente entre el desierto (al norte) y la zona templada mediterránea (hacia el sur), en efecto, su clima se constituye como semiárido de lluvia invernal e influencia costera (BSk(s)(i)), según Sarricolea et al. (2017) basado en la clasificación climática de Köppen-Geiger.

En cuanto a vegetación, y asociado al clima predominante, la región posee una vasta vegetación definida como estepa arbustiva abierta, en cuyas planicies litorales *“predomina el matorral arbustivo costero poco denso como cactáceas, espinos y tapiz herbáceo. También hacia el sur, es posible identificar la presencia de especies mesófilas como peumo, boldo, chañar, molle y algarrobo”* (BCN, s.f.).

Tras la definición del área de estudio, se obtuvo la capa de Área Urbana Consolidada del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, desde la plataforma de Infraestructura de Datos Espaciales (IDE, s.f.). A continuación, se realizó un *Clip* en el software ArcGIS Pro con las comunas de La Serena y Coquimbo. En relación con la capa resultante, se realizó un *Buffer* de 5 km hacia el norte, 2,5 km hacia el este y 8,5 km hacia el sur, con el fin de enmarcar el área urbana y su área de influencia en el sistema rural del área de estudio. A continuación, a través de la herramienta *Reclassify*, se excluyeron las áreas con altitudes superiores a 300 msnm, obteniéndose así la capa final del área de estudio en formato shapefile, la cual, a su vez, se zonificó conforme los 22 distritos del Censo 2017 obtenidos desde la plataforma IDE (ver Figura N°1).

**Figura 1: Área de estudio**



*Fuente: Elaboración propia, 2022.*

### 3.1.2. Selección de área urbana y rural

Inicialmente, se definió el área urbana y rural para el cálculo de ICUs, bajo la premisa de cumplir criterios similares de altitud y distancia al mar. Dichos criterios se escogieron en base a lo propuesto por Martin-Vide et al. (2015), quienes señalan que la altitud y la distancia al mar son los factores más decisivos. En el caso de la altitud, los datos precisan que, en el gradiente vertical de temperatura, una diferencia de 30,8 metros entre un punto y otro provoca una variación de 0,2°C; es por ello que el área urbana y el área rural no deben distar de 30 metros entre sí. Así mismo, respecto a la distancia al mar no existen estudios concluyentes, sin embargo, al tener un área de estudio emplazada en zona costera, la influencia del mar en las temperaturas se vuelve un factor aún más relevante. Es por ello, que basado en la evidencia, los autores proponen la existencia de una diferencia de 0,2°C cada 870 metros; por lo cual, la distancia al mar entre el área urbana y rural no debe distar de 800 metros entre sí.

Para ello, se obtuvo un Modelo de Elevación (DEM) SRTM, cuya resolución corresponde a 30 metros, extraído desde la plataforma Google Earth Engine. Dicho modelo, fue exportado a la plataforma ArcGIS Pro, en la cual se realizó primeramente una reclasificación de los valores de altitud mediante la herramienta *Reclassify*, estableciéndose 10 categorías, correspondientes a intervalos de 30 msnm entre cada una hasta los 300 msnm (Ver Anexo N°1).

A continuación, se trazó una línea recta transversal, la cual fue ajustada mediante la herramienta

*Aligne Features*, resultando así una shapefile con la línea de costa. Dicha línea se utilizó como insumo para utilizar la herramienta *Euclidian Distance*, con lo cual se obtuvieron los valores de distancia al mar para cada píxel en metros. Posteriormente, mediante *Reclassify*, se reclasificaron los valores en 10 categorías: 9 intervalos de 800 metros entre cada uno hasta los 7200 metros (la cual se estableció como la mayor distancia al mar del área urbana consolidada de La Serena y Coquimbo), y la décima y última categoría agrupó las distancias superiores a los 7200 metros hasta los 11200 metros (ver Anexo N°2).

Una vez obtenidas ambas variables geográficas, mediante un análisis multicriterio a través de la herramienta *Weighted Overlay*, y utilizando una ponderación de 50% para cada factor en vista de su igual relevancia, se obtuvieron áreas homogéneas que cumplían los mismos criterios de altitud y distancia al mar. En vista de lo anterior, se seleccionó un área urbana y rural de 500 metros x 500 metros cada una (ver Anexo N°3).

### **3.1.3. Procesamiento de imágenes satelitales para el cálculo de ICUs con MODIS**

En esta etapa, se procesaron las imágenes satelitales correspondientes a las temperaturas superficiales de la conurbación La Serena-Coquimbo, para cada estación del año, diurnas y nocturnas en el periodo 2002-2022. Dichas imágenes se obtuvieron desde la base de datos del Fondecyt N°1221688, en el cual se enmarca la presente investigación. A partir de ello, se obtuvieron un total de 162 imágenes satelitales provenientes del software Google Earth Engine (GEE). Los datos corresponden al sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo de los satélites Terra o EOS-AM y Aqua o EOS-PM, en una resolución de 1 kilómetro. Este sensor permite el monitoreo de la cobertura terrestre, propiciando la medición de las temperaturas superficiales.

De manera más específica, las imágenes se obtuvieron mediante la programación de códigos en GEE. Para ello se utilizó la capa de área de estudio, y se especificó el periodo seleccionado correspondiente al 2002-2022 para cada estación del año, diurno y nocturno. Posteriormente se aplicó la fórmula definida para realizar la conversión de grados Kelvin a Celsius. Así mismo, se realizó la proyección de las imágenes en coordenadas UTM (19S). Por último, se suavizaron los valores de píxel a través de un remuestreo.

Una vez descargadas las imágenes satelitales, fueron exportadas a la plataforma ArcGIS Pro, donde se utilizó la herramienta *Raster Calculator*, para calcular el promedio del periodo para cada estación del año, tanto diurnas como nocturnas. De esta forma, de las 162 imágenes iniciales, se obtuvieron 8 imágenes, correspondientes al promedio de: invierno (día y noche), primavera (día y noche), verano (día y noche) y otoño (día y noche) para el periodo 2002-2022.

Luego, a través de un *Extract by mask*, se recortó cada una de las 8 imágenes utilizando como máscara el área rural seleccionada. De esta forma, se obtuvieron los valores promedio de la referencia rural para cada estación del año, de día y de noche.

A continuación, mediante la herramienta *Minus*, se realizó la resta entre la temperatura urbana

y rural para cada punto del raster, obteniendo como resultado los valores de la intensidad de las islas de calor y frescor para estación, diurna y nocturna, en el periodo 2002-2022.

Posteriormente, a través de *Reclassify*, se categorizaron los valores obtenidos para cada una. Así mismo mediante la herramienta *Contour*, se establecieron isotermas de 1°C para el caso diurno, y de 0,5°C para el nocturno. Por último, dichos resultados se sintetizaron mediante la elaboración de cartografías.

Adicionalmente, mediante la herramienta *Zonal statistics as table* se exportaron al software Microsoft Excel los valores mínimos y máximos de temperaturas superficiales por distrito, para cada una de las estaciones. Con ello, se elaboraron tablas que exponen dichos datos.

Cabe mencionar que en esta etapa se acotó el área de estudio en 6 km por el lado sur, de tal forma de alcanzar una mejor apreciación de los resultados de islas de calor y frescor en la conurbación La Serena-Coquimbo.

## **3.2. Objetivo específico N°2**

### **3.2.1. Construcción de Zonas Climáticas Locales**

En esta etapa, a través del software Google Earth Pro se identificaron las Zonas Climáticas Locales mediante clasificación visual, siguiendo las directrices para clasificar emplazamientos urbanos y rurales en ZCL de Stewart & Oke (2012).

El concepto de Zonas Climáticas Locales (ZCL) es comprendido como diversas áreas con coberturas uniformes respecto a su estructura, materialidad y actividad de carácter antrópico, de superficies variables, y que se extienden por superficies de cientos de metros o decenas de kilómetros (Stewart & Oke, 2012).

Esta es una propuesta universal que permite la observación de la continuidad de la superficie, de lo construido o lo natural, pudiendo detectar la magnitud de los efectos del clima urbano sobre el confort térmico de las personas, sea una escala local o incluso micro local (Mondaca, 2019).

Para llevar a cabo dicho proceso, se escoge primeramente una coordenada al interior del área de estudio, y se observa el elemento predominante en un área de influencia igual o superior a 250 metros, según sea el caso, en torno al punto seleccionado.

Si el elemento predominante es una construcción, mediante el visor de *Street View* se debe constatar la cantidad de pisos de la edificación. Si este es inferior a 3 pisos se debe visualizar desde *Aerial View* si califica como una construcción larga y continua. Si es el caso, la clasificación de esa área corresponde a “Extensivo de baja altura” (8). Si el área de clasificación corresponde a una zona de carácter industrial su clasificación es “Industria” (10). En caso contrario, se debe calcular el producto entre la división entre la altura de las construcciones y el ancho de los cañones que las separan (H/W por su abreviación en inglés). Si el resultado es inferior a 0,3, se clasifica como “Escasamente construido” (9); si se encuentra en 0,3 y 0,75

corresponde a “Abierto de baja altura” (6); y si es superior a 0,75, se debe evaluar la materialidad predominante. Si estos son materiales mayoritariamente pesados como hormigón, piedra, ladrillo, etc., y la cobertura de suelo es pavimentada, corresponde una clasificación de “Compacto de baja altura” (3). Si los materiales de construcción son principalmente ligeros como madera, paja o metal corrugado, y el suelo es principalmente de tierra, la clasificación es “Peso ligero de baja altura” (7).

Por otro lado, si la cantidad de pisos de la construcción se encuentra entre 3 y 10 pisos, y el resultado de H/W es superior a 0,75 la clasificación corresponde a “Compacto de media altura” (2). Si H/W es superior a 0,3 e inferior a 0,75 se clasifica como “Abierto de media altura” (5).

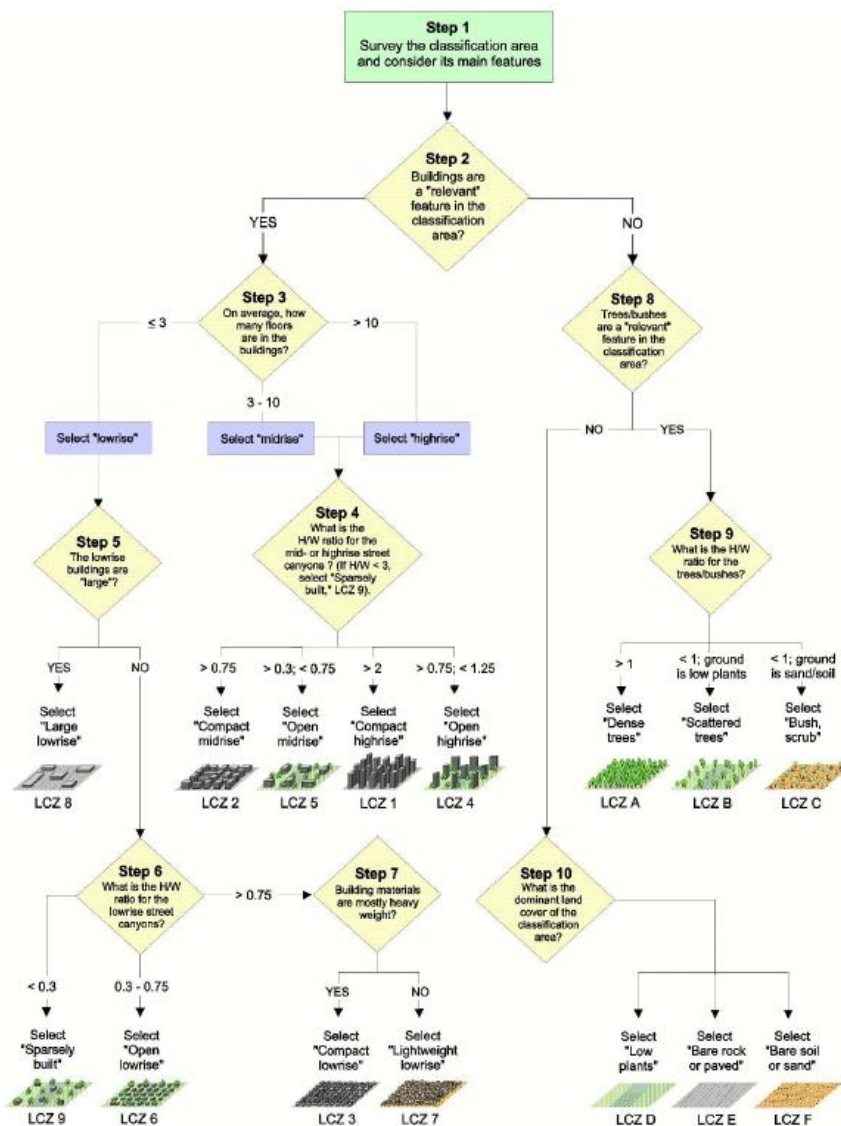
Para el caso de edificios cuya altura supera los 10 pisos, y su H/W es mayor a 2, corresponde a “Compacto de gran altura” (1). Por el contrario, si el H/W se encuentra entre 0,75 y 1,25 se clasifica como “Abierto de gran altura” (4).

En caso de que los árboles y/o arbustos sean los elementos relevantes en el área de clasificación, y el H/W entre la altura del árbol o arbusto y el cañón que los separa sea superior a 1, corresponde la clasificación “Vegetación densa” (A). Si H/W es inferior a 1 y con el suelo cubierto principalmente de plantas de baja altura como pasto, corresponde a “Vegetación dispersa” (B). Si H/W también es inferior a 1 pero con cobertura de suelo correspondiente a arena o tierra, su clasificación es “Matorral o arbusto” (C).

Para aquellas áreas cuya cobertura no presenta elementos predominantes como edificaciones o árboles, se debe evaluar la cobertura dominante en el suelo. Si corresponde a una cubierta vegetal de escasa altura, su clasificación es “Cobertura vegetal baja” (D), si es un desierto natural de roca o un área extensiva pavimentada, ya sea de transporte u otro uso, corresponde a “Suelo rocoso o pavimentado” (E). Si el paisaje es un desierto natural de arena o tierra, su clasificación es “Suelo desnudo o arena” (F). Finalmente, si el área está cubierta de agua se clasifica como “Cuerpos de agua” (G).

La síntesis de los pasos detallados con anterioridad, se explicitan en la Figura N°2.

**Figura 2: Diagrama de flujo de las directrices de clasificación de ZCL**



*Fuente: Stewart & Oke, 2012.*

Una vez fotointerpretada toda el área de estudio, se exportó el archivo kmz al software ArcGIS Pro, donde se transformó a shapefile, y cuya simbología se realizó según los RGB de los colores propuestos para ZCL por Demuzere et al. (2021). Lo anterior, se plasmó en la elaboración de una cartografía.

Adicionalmente, se calculó el área de cada polígono, y con ello, de cada serie de las Zonas Climáticas Locales, a partir de lo cual se elaboraron tablas en Microsoft Excel, que exponen la superficie y porcentaje de series naturales y construidas; así como también de la superficie y porcentaje de cada serie en kilómetros cuadrados.

Además, se calculó la distribución de cada serie construida y natural a nivel de cada distrito. A partir de ello, se elaboró también un gráfico de barra apilada que expone el porcentaje de cada serie al interior de cada distrito.

### **3.2.2. Contraste de intensidad de islas de calor y frescor con ZCL**

Primeramente, las capas raster de verano, otoño, invierno y primavera, con las intensidades de ICUs (diurnas y nocturnas) a partir del sensor MODIS, se transformaron a formato vectorial mediante la herramienta *Raster to point* de ArcGIS Pro.

A continuación, utilizando la herramienta *Intersect* se realizó una intersección entre las capas con intensidades de cada estación de ICUs diurnas, y la capa con los polígonos de Zonas Climáticas Locales. Como resultado de este proceso se obtuvo un capa vectorial que contiene el cruce de ambas variables para cada estación, con lo cual se procedió al uso de la herramienta *Create Chart* de ArcGIS Pro, donde se seleccionaron los respectivos campos en cuestión desde su tabla de atributos, y se elaboró un diagrama de caja y bigotes, o boxplot, que se exportó finalmente a formato JPG, exponiendo la relación entre las intensidades de ICUs diurnas y las Zonas Climáticas Locales en la conurbación La Serena-Coquimbo, 2002-2022. Enseguida se repitió el mismo proceso, pero con las intensidades de ICUs nocturnas, con lo cual también se obtuvo el mismo producto.

Adicionalmente, se exportaron también los datos en formato de texto, los cuales fueron procesados posteriormente en el software Microsoft Excel, donde se elaboraron tablas que exponen los valores (Mínimo, Primer cuartil, Mediana, Tercer Cuartil, Máximo, y Rango Intercuartil en grados Celsius) tanto para las series construidas, como para las series naturales con lo cual se elaboraron 2 tablas, una con los valores diurnos, y otra con los valores nocturnos.

### **3.2.3. Elaboración de perfil térmico de intensidades de ICUs e IFUs según ZCL**

En esta sección, en primer lugar, se utilizó nuevamente el software Google Earth Pro para la demarcación de un transecto que recorriera el área de estudio, y que atravesara diferentes Zonas Climáticas Locales, tanto en La Serena como en Coquimbo. El transecto elaborado recorre 11 de las 17 series, de las cuales 6 corresponden a series construidas y 5 a series naturales. Inicia en la comuna de La Serena, específicamente en las áreas despobladas de La Compañía y desciende por la calle Alemania, atravesando La Compañía Alta y La Compañía Baja. Luego se dirige de manera diagonal hacia el Aeropuerto La Florida, y acto seguido se dirige hacia el Faro Monumental en torno a la Avenida Francisco de Aguirre. Su último trayecto en La Serena lo hace por la Avenida del Mar. Luego continúa en la dirección de la calle Regimiento Arica, desde el área urbana hacia el área rural de San Ramón, para luego dirigirse siguiendo la dirección de la calle La Cantero hasta sobrepasar el Estadio Municipal Francisco Sánchez Rumoroso, y finalmente virar hacia el Mirador Los Navegantes. La ruta total alcanza una extensión de 42 kilómetros aproximadamente.

Una vez listo el transecto, se exportó hacia la plataforma ArcGIS Pro donde se convirtió a formato shapefile a través de la herramienta *KML to shape*. A continuación, utilizando la herramienta *Interpolate Shape* de *3D Analyst*, se le otorgaron las respectivas intensidades de ICUs al transecto, correspondientes a las temperaturas de invierno noche, que en la etapa anterior fue identificada como la de mayor intensidad de islas de calor urbano superficial.

Posteriormente, mediante *Create Chart* se elaboró un gráfico de perfil, correspondiente al perfil térmico de las islas de calor urbano superficial a través de las diferentes Zonas Climáticas Locales en el área de estudio. Adicionalmente, se intervino el gráfico con íconos de cada ZCL para mayor comprensión de éste.

### 3.3. Objetivo específico N°3

#### 3.3.1. Relación entre ICUs e IFUs y distribución de grupos socioeconómicos

En esta última etapa, los grupos socioeconómicos (GSE) considerados para el presente análisis, corresponden a una capa vectorial obtenida desde Entel Ocean (ver Anexo N°4), con los grupos establecidos por el modelo de AIM Chile, basado en el Índice Socioeconómico, el cual se compone de tres variables: ingreso promedio del hogar, nivel educacional del jefe de hogar y ocupación del jefe de hogar; todo ello basado en datos de la Encuesta Casen (2015).

Los grupos establecidos y que se utilizaron para fines de este estudio, se explicitan a continuación en la Figura N°3.

**Figura 3: Grupos socioeconómicos**

GSE	Ingreso promedio del hogar	Nivel educacional del jefe de hogar	Ocupación del jefe de hogar
AB	\$6.642.000	99% profesionales universitarios y 30% con posgrado	100% directivos y/o profesionales de alto nivel
C1a	\$2.739.000	95% profesionales universitarios y 13% con posgrado	92% directivos y/o profesionales de alto nivel
C1b	\$1.986.000	71% profesionales universitarios	56% directivos y/o profesionales de alto nivel
C2	\$1.360.000	45% profesionales técnicos y 26% universitarios	58% trabaja en oficios que requieren educación formal
C3	\$899.000	53% enseñanza media completa	70% trabaja en oficios que no requieren educación formal
D	\$562.000	34% enseñanza media completa	93% trabaja en oficios que no requieren educación formal
E	\$324.000	54% solo tiene enseñanza básica	98% trabaja en oficios que no requieren educación formal

*Fuente: Elaboración propia en base a AIM Chile (2022), 2022.*

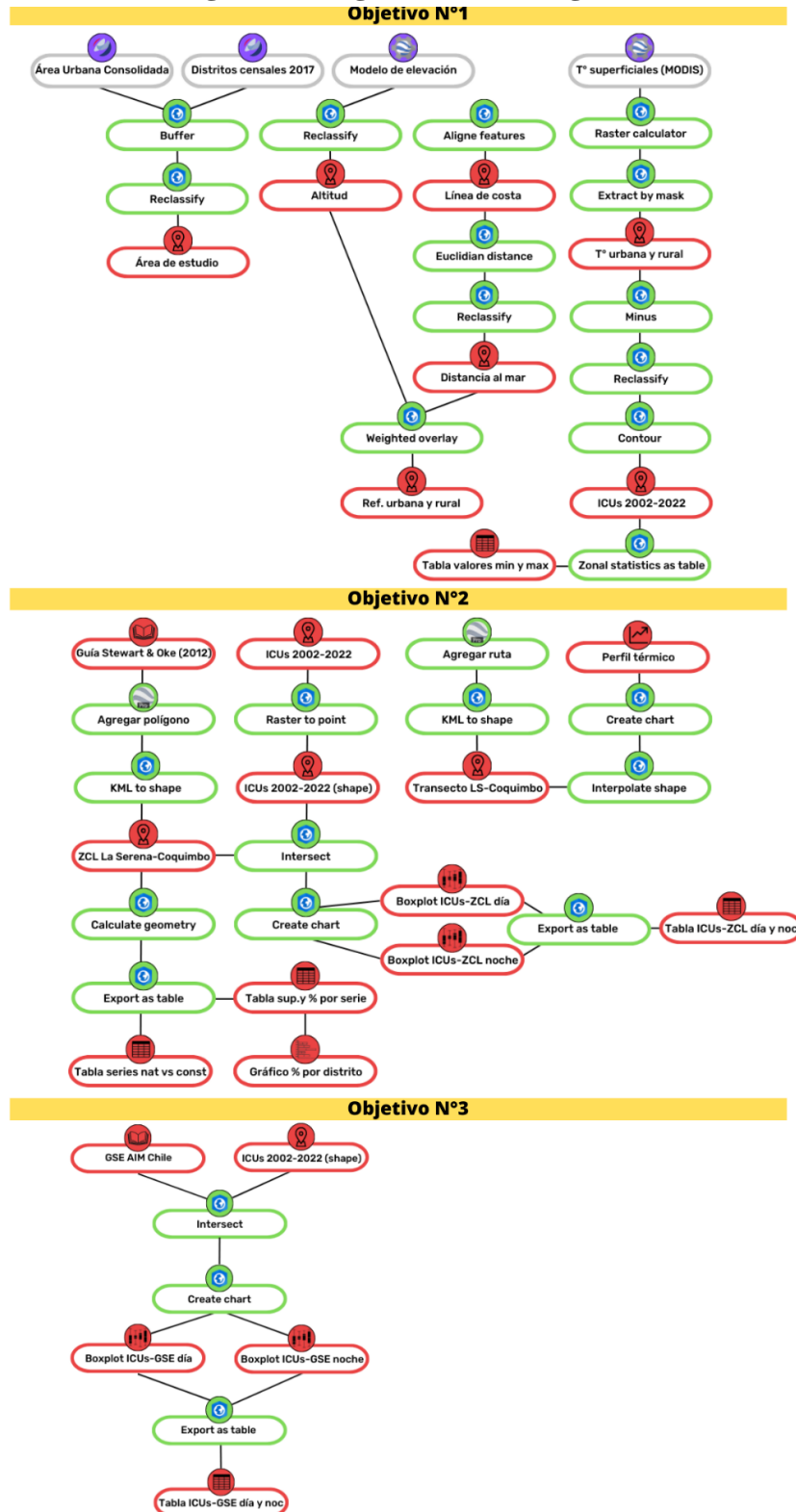
En vista de lo anterior, a partir de la capa vectorial con los datos de los GSE para el área de estudio, se ejecutó un *Intersect* en el software ArcGIS Pro, entre los GSE y la capa resultante de la etapa previa, cuyos campos ya poseen las intensidades de ICUs diurnas y nocturnas para cada estación, así como también las ZCL. Cabe señalar, además, que dado que la capa de GSE contiene información solamente de las áreas urbanas de la conurbación La Serena-Coquimbo, una vez realizado el *Intersect*, fueron excluidos para este análisis, aquellos puntos sin información de grupos socioeconómicos.

A continuación, al igual que en la etapa anterior, se elaboraron boxplot en ArcGIS Pro a través de la herramienta *Create Chart*, con lo cual se obtuvieron como resultado dos diagramas de caja que exponen la relación entre las intensidades de islas de calor urbano superficial y la distribución de los grupos socioeconómicos, uno para el periodo diurno, y otro para el periodo nocturno, y para estación del año.



La síntesis de los pasos metodológicos expuestos en el presente capítulo se sintetiza a continuación en la Figura N°4.

**Figura 4: Diagrama metodológico**



Fuente: Elaboración propia, 2022.

## **CAPÍTULO 4: RESULTADOS**

### **4.1. Intensidad de islas de calor y frescor diurnas**

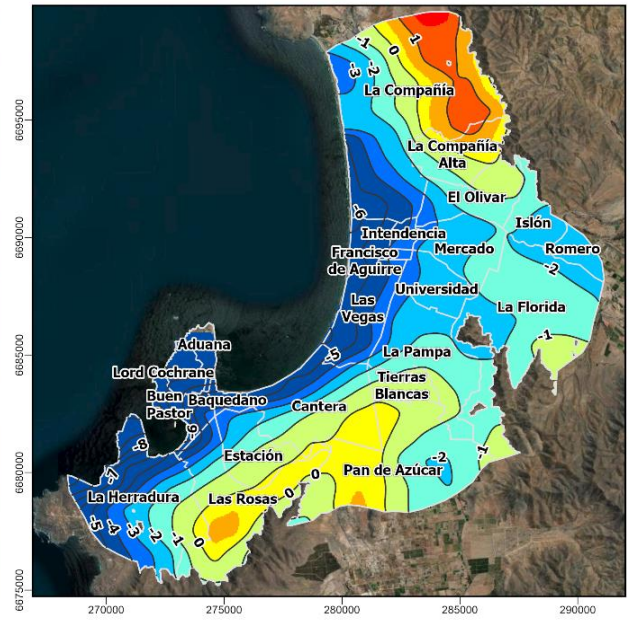
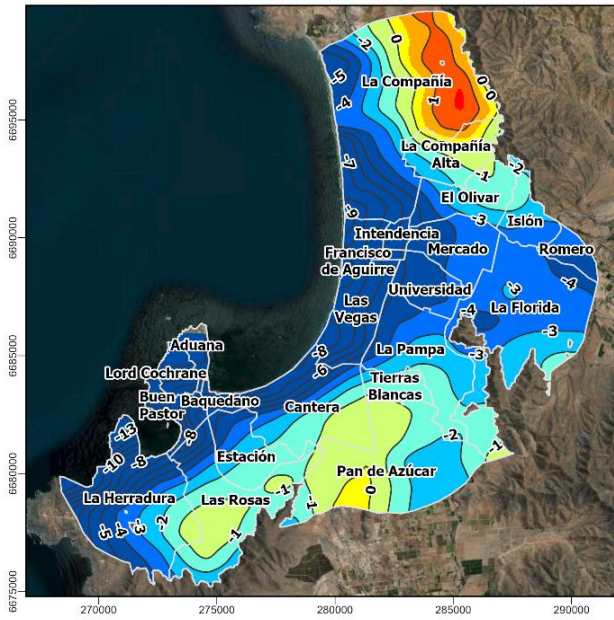
En primera instancia, es posible apreciar una clara predominancia de islas de frescor en todas las estaciones del año (ver Figura N°5). Las islas de frescor (colores fríos) alcanzan una intensidad máxima de  $-14,1^{\circ}\text{C}$  en el distrito de La Herradura; mientras que la intensidad máxima de las islas de calor (colores cálidos) llega a  $1,8^{\circ}\text{C}$  en el distrito de La Compañía. Así, el invierno se constituye como la estación con mayor presencia e intensidad de islas de calor, seguido del otoño, luego la primavera, y en último lugar el verano. Por el contrario, el verano concentra las islas de frescor más intensas, y con mayor gradiente entre costa e interior. Le sigue la primavera, luego el otoño, y por último el invierno, cuyas islas de frescor son considerablemente más débiles.

Se presenta, además, una clara relación entre las islas de calor y la altitud del área de estudio durante el día (ver Anexo N°1), en vista de que las mayores intensidades se reconocen en áreas cuya altitud supera progresivamente los 100 msnm, mientras que las temperaturas más frescas coinciden con aquellas áreas de menor altitud. Es en aquellas zonas de baja altitud donde también se evidencia una relación con la distancia al mar, en vista de un claro aumento de la temperatura conforme se avanza hacia el interior, lo cual se relaciona a su vez, con el fenómeno de la influencia de la brisa marina sobre las temperaturas superficiales.

**Figura 5: Intensidad de ICUs e IFUs diurna 2002-2022**

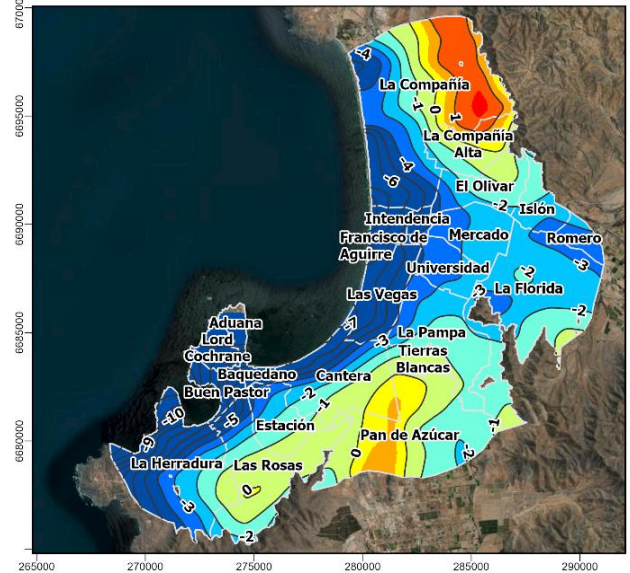
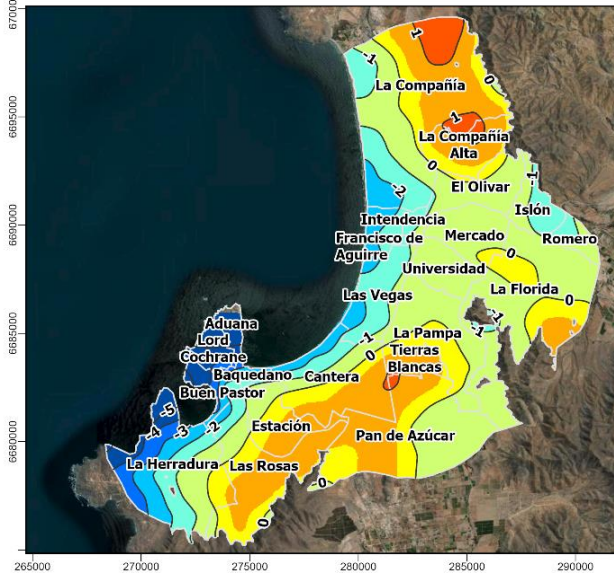
Verano


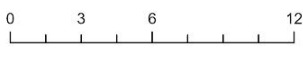

Otoño



Invierno

Primavera



<p style="text-align: center;">N</p>  <p style="text-align: center;">Sistema de coordenadas UTM Datum WGS84 Huso 19S</p> 	<p><b>Leyenda</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ Límite distrito</li> <li>— Isoterma 1°C</li> <li>Intensidad (°C)</li> <li>■ &lt; -4,0</li> <li>■ -4,0 - -3,0</li> <li>■ -3,0 - -2,0</li> <li>■ -2,0 - -1,0</li> <li>■ -1,0 - 0,0</li> <li>■ 0,0 - 0,5</li> <li>■ 0,5 - 1,0</li> <li>■ 1,0 - 1,5</li> <li>■ &gt; 1,5</li> </ul>	 <p>Universidad de Chile Facultad de Arquitectura y Urbanismo Escuela de Pregrado Carrera de Geografía Valeria Arancibia, 2022.</p> <hr/> <p>Fuente: Google Earth Engine (2022), Infraestructura de Datos Espaciales (2022).</p>
---	---	---

*Fuente: Elaboración propia, 2022.*

#### 4.1.1 Verano día

Para el caso particular del verano diurno, es posible evidenciar una preponderancia de islas de frescor en la mayor parte del área del estudio, y cuyas mayores intensidades se encuentran a lo largo del borde costero, principalmente al suroeste. Además, es posible constatar una tendencia al decrecimiento de los valores de la isla de frescor conforme se avanza hacia el interior, registrándose intensidades más débiles de ésta, e incluso identificándose algunas islas de calor, tanto en el norte como en el sur, principalmente en las zonas de mayor altitud.

Por ejemplo, las temperaturas máximas y mínimas de islas de frescor en el distrito de La Herradura, oscilan entre  $-14,1^{\circ}\text{C}$  y  $-0,3^{\circ}\text{C}$  (ver Figura N°6), registrando el valor más intenso de isla de frescor en todas las estaciones en su zona del borde costero y decreciendo abruptamente hacia el interior, alcanzando valores bastante más débiles en esa zona.

Así mismo, siguiendo por el borde costero hacia el norte, en los distritos de Buen Pastor, Lord Cochrane, Baquedano y Aduana, que se encuentran muy próximos el uno del otro y poseen superficies similares, sus valores de isla de frescor oscilan entre los  $-13,5^{\circ}\text{C}$  y  $-5,0^{\circ}\text{C}$ . Ya en el tramo de la bahía grande, se sigue replicando este fenómeno a lo largo de todo el borde costero, con valores máximos de islas de frescor que alcanzan los  $-9,6^{\circ}\text{C}$  en los distritos de Cantera, Las Vegas, Francisco de Aguirre y la zona litoral de La Compañía.

De igual forma, es posible observar la tendencia de que, a modo general, los valores de intensidad de isla de frescor tienden a decrecer hacia el interior. No obstante, en aquellos distritos que no poseen borde costero, pero se encuentran en un tramo cercano a él, como es el caso de Las Rosas y Estación en el sur del área de estudio, se alcanzan valores más débiles que los anteriormente mencionados, pero bastante altos de todos modos; con intensidades máximas de IFUs que alcanzan los  $-8,3^{\circ}\text{C}$  en sus sectores más próximos a la costa, y valores mínimos muy débiles que llegan a los  $-0,3^{\circ}\text{C}$  hacia el interior.

Esta tendencia es aún más marcada conforme se avanza hacia el norte, como es el caso de los sectores medios del área de estudio, sin embargo, los distritos de Tierras Blancas, La Pampa, Universidad, Intendencia, Mercado y El Olivar, presentan de igual forma, valores máximos de isla de frescor que oscilan entre los  $-6,6^{\circ}\text{C}$  y  $-3,7^{\circ}$ , según sea el distrito, y mínimos que bordean los  $-1^{\circ}\text{C}$  tanto hacia el sur como hacia el norte.

En vista de lo anterior, y conforme se sigue avanzando hacia el este, es posible constatar aún islas de frescor en las zonas más alejadas del borde costero, principalmente en el tramo medio del área de estudio, como es el caso de Islón, Romero y La Florida, cuyas intensidades máximas de isla de frescor alcanzan un máximo de  $-4,7^{\circ}\text{C}$  y un mínimo de  $-0,8^{\circ}\text{C}$ .

Por otro lado, en el sector noreste del área de estudio, es posible identificar una isla de calor en la zona interior de La Compañía y que alcanza levemente el norte de La Compañía Alta. Si bien estos distritos poseen una oscilación cuyos valores determinan patrones de islas de frescor en algunas zonas, en otras zonas también presentan los valores más altos de ICUs en esta

estación, con valores máximos de isla de calor que alcanzan los 1,5°C.

Algo similar ocurre en el sector sureste del área de estudio en el distrito de Pan de Azúcar, donde también es posible constatar islas de frescor, así como también una isla de calor muy débil que alcanza los 0,3°C.

#### **4.1.2 Otoño día**

En lo que respecta al otoño diurno, es posible evidenciar una preponderancia de islas de frescor en la mayor parte del área del estudio, y cuyas mayores intensidades se encuentran a lo largo del borde costero, principalmente al suroeste. Además, es posible constatar una tendencia al decrecimiento de los valores de la isla de frescor conforme se avanza hacia el interior, registrándose intensidades más débiles de ésta, con un patrón similar a lo evidenciado en el verano, pero con valores más cálidos. En vista de lo anterior, se identifican, además, algunas islas de calor, tanto en el norte como en el sur, nuevamente en las zonas de mayor altitud.

En efecto, la intensidad máxima de la isla de frescor en otoño se registra en el distrito de La Herradura, específicamente en la zona colindante con el borde costero, y cuya mayor intensidad alcanza los -10,2°C. Dicha intensidad decrece abruptamente hacia el interior, de tal forma que, en el sector sureste de La Herradura, se encuentra una isla de calor débil que alcanza los 0,5°C.

Continuando por el borde costero, un poco más hacia el norte, los distritos de Buen Pastor, Lord Cochrane, Baquedano y Aduana, que se encuentran muy próximos el uno del otro y poseen superficies similares, presentan solo islas de frescor y bastante intensas, con valores que fluctúan entre -9,4°C y -3,3°C. Ya en el tramo de la bahía grande, y siguiendo por el borde costero, es posible evidenciar la continuidad de las islas de frescor, con valores máximos que alcanzan los -6,0°C en la zona costera de Cantera, -6,1°C en Las Vegas, -6,4°C en Francisco de Aguirre y -6,3°C en la zona costera de La Compañía.

Por su parte, en aquellos distritos que no limitan con el borde costero, pero se encuentran cercanos a él, es posible apreciar la tendencia de cómo las intensidades de IFUs decrecen hacia el interior. Tal es el caso de Las Rosas y Estación, cuyas intensidades máximas de islas de frescor alcanzan los -5,7°C y -3,7°C respectivamente.

Esta tendencia es aún más marcada conforme se avanza hacia el norte por la zona media de la conurbación, con islas de frescor que fluctúan entre los -4,5°C y -0,7°C en los distritos de La Pampa, Universidad, Intendencia y Mercado. Por su parte, Tierras Blancas posee una intensidad de IFUs que alcanza los -2,4°C y una ICUs muy débil en un sector sur que alcanza solo los 0,1°C. Lo mismo ocurre en el distrito El Olivar, cuya isla de frescor máxima llega a los -3,8°C, mientras que la isla de calor que posee en su sector norte alcanza los 0,1°C.

Conforme se sigue avanzando hacia el este por el tramo medio, en los distritos de Islón, Romero y La Florida se registran solo islas de frescor que alcanzan un valor máximo de -2,8°C, y un valor mínimo de -1,0°C, -2,5°C y -0,2°C respectivamente.

Al igual que en el verano, es posible identificar una isla de calor en la zona noreste del área de estudio, que comprende el sector interior de La Compañía, La Compañía Alta, y una pequeña porción de El Olivar. Si bien estos distritos poseen una oscilación cuyos valores determinan patrones de islas de frescor en algunas zonas, en otras zonas también presentan los valores más altos de ICUs en esta estación, como es el caso de La Compañía, que registra una isla de calor urbano superficial que llega a los 1,8°C.

Algo similar se observa en la zona sureste de la conurbación, específicamente en el distrito de Pan de Azúcar, donde también es posible constatar una isla de frescor que alcanza un máximo de -2,1°C, así como también una isla de calor débil, que en otoño crece y se extiende hacia Tierras Blancas, Cantera, Estación y Las Rosas, donde alcanza su máxima intensidad de 0,7°C.

#### **4.1.3 Invierno día**

En cuanto al invierno diurno, es posible evidenciar una preponderancia de islas de frescor en la mayor parte del área del estudio, y cuyas mayores intensidades se encuentran a lo largo del borde costero, principalmente al suroeste. Además, es posible constatar una tendencia al decrecimiento de los valores de la isla de frescor conforme se avanza hacia el interior, registrándose intensidades más débiles de ésta, con un patrón similar a lo evidenciado en el verano y otoño, pero con valores notoriamente más cálidos, y con oscilaciones menores entre la costa y el interior. En vista de lo anterior, se identifican además islas de calor, tanto en el norte como en el sur, y que en esta estación abarcan una mayor cantidad de superficie, principalmente en aquellas áreas de mayor altitud.

Por ejemplo, la intensidad máxima de la isla de frescor en invierno se registra en el distrito de La Herradura, específicamente en la zona colindante con el borde costero, y cuya mayor intensidad alcanza los -5,8°C. Dicha intensidad decrece hacia el interior, de tal forma que en el sector sureste de La Herradura, se encuentra una isla de calor débil que alcanza los 0,7°C.

Siguiendo por el borde costero, un poco más hacia el norte, los distritos de Buen Pastor, Lord Cochrane, Baquedano y Aduana, que se encuentran muy próximos el uno del otro y poseen superficies similares, presentan solo islas de frescor, pero marcadamente más débiles que en verano y otoño, con valores que fluctúan entre -5,5°C y -0,7°C. Ya en el tramo de la bahía grande, y continuando en ascenso por el borde costero, es posible evidenciar la continuidad de las islas de frescor, también bastante más débiles que en las estaciones anteriores, alcanzando intensidades máximas de -2,5°C en la zona costera de Cantera, -2,4°C en Las Vegas, -2,8°C en Francisco de Aguirre y -2,8°C en la zona costera de La Compañía.

Así mismo, en aquellos distritos que no son colindantes con el borde costero, pero se encuentran próximos a él, es posible apreciar la tendencia de cómo las intensidades de IFUs decrecen hacia el interior, pero con una brecha menor que en las otras estaciones. Así ocurre en los distritos de Las Rosas y Estación, cuyas intensidades máximas de islas de frescor alcanzan los -2,8°C y -1,2°C respectivamente.

En el caso de los distritos emplazados en los tramos medios de la conurbación, que tanto en verano como en otoño presentaron solo islas de frescor, en el caso del invierno día solo Universidad e Intendencia mantuvieron esa tendencia, con valores máximos y mínimos que oscilan entre  $-0,9^{\circ}\text{C}$  y  $-0,1^{\circ}\text{C}$  para el caso de Universidad, y  $-1,7^{\circ}\text{C}$  y  $-0,6^{\circ}\text{C}$  para el caso de Intendencia. En cambio, en los distritos de La Pampa y Mercado, si bien se registraron islas de frescor que alcanzaron una intensidad máxima que bordea  $-1^{\circ}\text{C}$ , también presentaron islas de calor muy débiles, cuya máxima intensidad llegó los  $0,6^{\circ}\text{C}$  y  $0,1^{\circ}\text{C}$  respectivamente.

Avanzando levemente hacia los extremos por el tramo medio, es posible observar algo similar, que al igual que en el otoño, tanto en El Olivar, como en Tierras Blancas, se presentan tanto islas de frescor e islas de calor. Por su parte, en El Olivar, la isla de frescor alcanza un valor máximo de  $-1,1^{\circ}\text{C}$ , y una isla de calor que llega a los  $0,5^{\circ}\text{C}$ ; mientras que, en Tierras Blancas, la intensidad de la isla de frescor alcanza solo  $-0,2^{\circ}\text{C}$ , y la isla de calor llega a un valor máximo de  $1,0^{\circ}\text{C}$ .

Ya avanzando más hacia el interior, siguiendo por el tramo medio del área de estudio, tanto en verano como en otoño, los distritos de Islón, Romero y La Florida registraron solo islas de frescor. Sin embargo, en este caso, en invierno solo Islón y Romero mantuvieron esa tendencia, con islas de frescor que oscilan entre  $-1,5^{\circ}\text{C}$  a  $-0,5^{\circ}\text{C}$ . Por su parte, La Florida presenta una isla de frescor, cuya intensidad máxima alcanza los  $-1,2^{\circ}\text{C}$ , así como también, esta es la única estación que en horario diurno presenta una isla de calor débil que llega a  $1^{\circ}\text{C}$  de intensidad máxima.

Al igual que en el verano y otoño, es posible observar una gran isla de calor en la zona noreste del área de estudio, que contempla el sector de La Compañía, La Compañía Alta y El Olivar. Si bien estos distritos presentan unos valores máximos y mínimos que determinan la distribución de islas de frescor en algunas zonas, en otras zonas también presentan ICUs, que alcanzan una intensidad de  $0,5^{\circ}\text{C}$  en El Olivar,  $1,1^{\circ}\text{C}$  en La Compañía Alta y  $1,5^{\circ}\text{C}$  en La Compañía, constituyéndose como la intensidad máxima de isla de calor en esta estación.

Algo similar se observa en el sector sur de la conurbación La Serena-Coquimbo, específicamente en el distrito de Pan de Azúcar, donde también es posible constatar una isla de frescor que llega a los  $-0,7^{\circ}\text{C}$ , así como también una isla de calor aún más extensa que en verano y otoño, que se expande hacia La Pampa, Estación, Las Rosas, Cantera y Tierras Blancas, alcanzando en este último su máxima intensidad, correspondiente a  $1,0^{\circ}\text{C}$ .

#### **4.1.4 Primavera día**

En lo que respecta a la primavera diurna, es posible evidenciar nuevamente una preponderancia de islas de frescor en la mayor parte del área de estudio, y cuyas mayores intensidades se encuentran a lo largo del borde costero, principalmente al suroeste. Además, es posible constatar una tendencia al decrecimiento de los valores de la isla de frescor conforme se avanza hacia el interior, registrándose intensidades más débiles de ésta, con un patrón similar a lo evidenciado en estaciones anteriores, pero con islas de frescor más débiles que en verano, y

más intensas que en otoño e invierno. En vista de lo anterior, se identifican, además, algunas islas de calor, tanto en el norte como en el sur, coincidiendo nuevamente con aquellas áreas de mayor altitud.

En efecto, la intensidad máxima de la isla de frescor en primavera se registra también en el distrito de La Herradura, específicamente en la zona colindante con el borde costero, y cuyos valores fluctúan entre los  $-12,5^{\circ}\text{C}$  y  $-0,1^{\circ}\text{C}$ .

Continuando por el borde costero, un poco más hacia el norte, los distritos de Buen Pastor, Lord Cochrane, Baquedano y Aduana, que se encuentran muy próximos el uno del otro y poseen superficies similares, presentan solamente islas de frescor, menos intensas que en verano, pero más intensas que en otoño e invierno, con intensidades oscilantes entre  $-12,0^{\circ}\text{C}$  y  $-3,9^{\circ}\text{C}$ . Llegando hacia el tramo de la bahía grande, y siguiendo por el borde costero, es posible evidenciar la continuidad de las islas de frescor, con intensidades máximas de  $-2,5^{\circ}\text{C}$  en la zona costera de Cantera,  $-7,2^{\circ}\text{C}$  en Las Vegas,  $-8,3^{\circ}\text{C}$  en Francisco de Aguirre y el sector costero de La Compañía.

Así mismo, en aquellos distritos que no limitan directamente con el borde costero, pero se encuentran cercano a él, es posible observar la tendencia de cómo las intensidades de islas de frescor superficial decrecen hacia el interior. Esto ocurre en los distritos de Las Rosas y Estación, cuyas intensidades máximas de islas de frescor alcanzan los  $-7,2^{\circ}\text{C}$  y  $-4,5^{\circ}\text{C}$  respectivamente.

Para aquellos distritos ubicados en los tramos medios de la conurbación, como lo son La Pampa, Universidad, Mercado e Intendencia, y que solo en invierno presentaron islas de frescor e islas de calor; en primavera vuelven a repetir el patrón observado en verano y otoño, presentando solo islas de frescor que oscilan entre los  $-5,4^{\circ}\text{C}$  y los  $-0,8^{\circ}\text{C}$ .

Moviéndose sutilmente hacia los extremos del tramo medio anteriormente mencionado, es posible evidenciar, que al igual que en verano, el distrito de El Olivar presenta solo islas de frescor fluctuantes entre  $-4,5^{\circ}\text{C}$  a  $-0,1^{\circ}\text{C}$ . Por su parte, en Tierras Blancas, se presenta una isla de frescor que alcanza un valor máximo de  $-2,8^{\circ}\text{C}$ , además de una isla de calor que supera mínimamente los  $0^{\circ}\text{C}$ , muy similar a la de otoño.

Avanzando hacia el interior, siguiendo por el tramo medio del área de estudio, y al igual que en verano y en otoño, los distritos de Islón, Romero y La Florida registraron solo islas de frescor, cuyos valores oscilaron en ese sector entre  $-3,5^{\circ}\text{C}$  y  $-0,6^{\circ}\text{C}$ .

Al igual que en las otras estaciones, es posible observar una gran isla de calor en la zona noreste del área de estudio, que contempla sectores de La Compañía y La Compañía Alta. Si bien estos distritos presentan unos valores máximos y mínimos que determinan la distribución de islas de frescor en algunas zonas, en otras también presentan ICUs, que alcanzan una intensidad de  $1,4^{\circ}\text{C}$  en La Compañía Alta y  $1,6^{\circ}\text{C}$  en La Compañía, constituyéndose como la intensidad máxima de isla de calor en esta estación.



Algo similar se observa en el sector sureste de la conurbación, específicamente en el distrito de Pan de Azúcar, donde también es posible apreciar una isla de frescor que llega a los  $-2,1^{\circ}\text{C}$ , así como también una isla de calor que alcanza ahí su mayor intensidad con  $0,9^{\circ}\text{C}$ , y se expande hacia Tierras Blancas y Cantera. Así mismo, se identifica una pequeña isla de calor en Las Rosas que supera escasamente los  $0^{\circ}\text{C}$ .

**Figura 6: Tabla de intensidades mínimas y máximas por distrito para cada estación diurna**

Distrito	HORARIO DIURNO							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Aduana	-13,3	-8,3	-9,4	-6,1	-5,3	-3,2	-11,9	-7,2
Baquadano	-10,5	-5,0	-7,7	-3,3	-4,2	-0,7	-9,2	-3,9
Buen Pastor	-13,5	-5,5	-9,7	-3,6	-5,5	-1,2	-12,0	-4,5
Cantera	-8,8	-0,1	-6,0	0,3	-2,5	1,0	-7,2	0,6
El Olivar	-5,6	-0,7	-3,8	0,1	-1,1	0,5	-4,5	-0,1
Estación	-5,5	-0,9	-3,7	0,1	-1,2	0,8	-4,5	-0,2
Fco. de Aguirre	-9,6	-4,9	-6,4	-3,2	-2,8	-0,6	-8,3	-3,7
Intendencia	-6,6	-4,9	-4,5	-3,2	-1,7	-0,6	-5,4	-3,7
Islón	-3,9	-1,4	-2,8	-1,0	-1,5	-0,5	-3,4	-1,2
La Compañía	-9,5	1,5	-6,3	1,8	-2,8	1,5	-8,3	1,6
La Compañía Alta	-3,2	1,2	-2,1	1,2	-0,1	1,1	-2,5	1,4
La Florida	-4,5	-0,8	-2,8	-0,2	-1,2	1,0	-3,3	-0,6
La Herradura	-14,1	-0,3	-10,2	0,5	-5,8	0,7	-12,5	-0,1
La Pampa	-5,3	-1,5	-3,6	-0,7	-0,9	0,6	-4,1	-0,8
Las Rosas	-8,3	-0,2	-5,7	0,7	-2,8	0,8	-7,2	0,0
Las Vegas	-9,0	-4,0	-6,1	-2,6	-2,4	-0,4	-7,4	-3,0
Lord Cochrane	-13,3	-8,4	-9,4	-6,2	-5,3	-3,3	-11,9	-7,4
Mercado	-5,5	-3,0	-3,7	-1,3	-1,0	0,1	-4,3	-2,2
Pan de Azúcar	-2,7	0,3	-2,1	0,6	-0,7	1,0	-2,1	0,9
Romero	-4,7	-3,0	-2,8	-2,5	-1,2	-0,7	-3,5	-2,5
Tierras Blancas	-3,7	-0,7	-2,4	0,0	-0,2	1,0	-2,8	0,0
Universidad	-5,4	-3,5	-3,6	-2,0	-0,9	-0,1	-4,3	-2,5

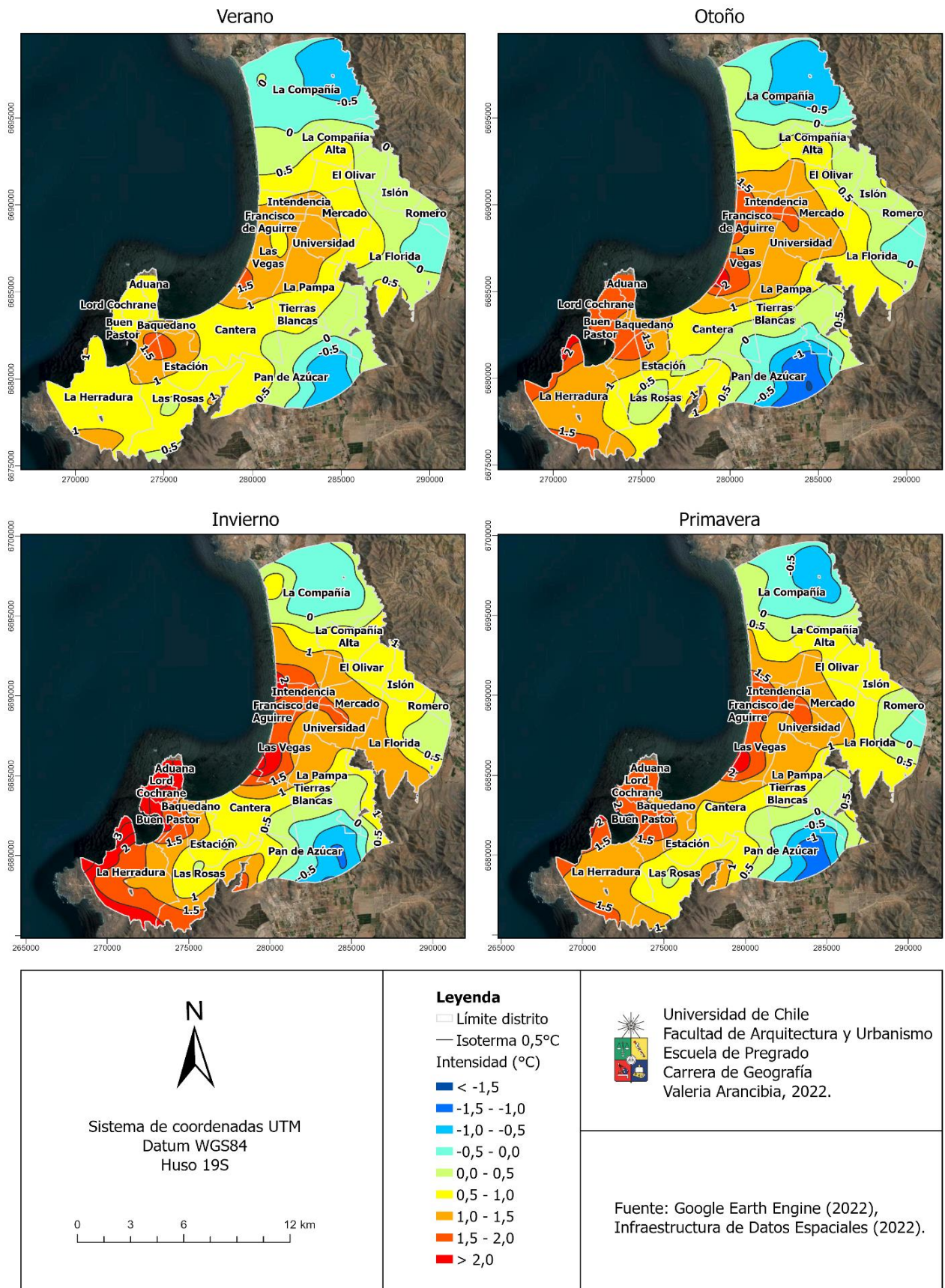
*Fuente: Elaboración propia, 2022.*

## **4.2. Intensidad de islas de calor y frescor nocturnas**

En primera instancia, es posible apreciar una clara predominancia de islas de calor en todas las estaciones del año (ver Figura N°7). Así, las islas de calor (colores cálidos) alcanzan una intensidad máxima de 3,2°C en el distrito de La Herradura; mientras que la intensidad máxima de las islas de frescor (colores fríos) llega a -1,5°C en el distrito de Pan de Azúcar. Así, el invierno es la estación con las islas de calor más extensas e intensas, seguido del otoño, luego la primavera y en último lugar el verano. Por el contrario, el verano concentra más islas de frescor y valores más débiles de islas de calor, y con un gradiente ligeramente superior entre costa e interior. Le sigue la primavera, luego el otoño, y por último el invierno, cuyas islas de calor son más intensas.

Se presenta, además, una clara relación entre las islas de frescor y la altitud del área de estudio durante la noche (ver Anexo N°1), en vista de que las zonas más frescas en este horario, se reconocen principalmente en áreas cuya altitud supera progresivamente los 100 msnm, mientras que las temperaturas más elevadas de isla de calor coinciden con aquellas áreas de menor altitud. Es en aquellas zonas de baja altitud donde se evidencia una relación inversa con la distancia al mar, en vista de una clara disminución de la temperatura conforme se avanza hacia el interior, lo cual se asocia a su vez, con el fenómeno de la influencia de la brisa terrestre sobre las temperaturas superficiales, que, si bien atenúa la intensidad de las islas de calor durante la noche, su efecto es considerablemente más débil que la brisa marina durante el día.

**Figura 7: Intensidad de ICUs e IFUs nocturna 2002-2022**



*Fuente: Elaboración propia, 2022.*

#### 4.2.1 Verano noche

En lo que respecta al verano nocturno, es posible evidenciar una preponderancia de islas de calor en la mayor parte del área del estudio, y cuyas mayores intensidades se encuentran a lo largo del borde costero hasta el tramo medio de la conurbación. Además, es posible constatar una tendencia al decrecimiento de los valores de la isla de calor conforme se avanza hacia el interior, registrándose intensidades más débiles de ésta, e incluso identificándose algunas islas de frescor, al norte, centro y sur del área de estudio, principalmente en las zonas de mayor altitud.

En efecto, las intensidades máximas de isla de calor se registran en el sector noreste de los distritos Las Rosas y Estación, que no colindan con el borde costero, sin embargo, se encuentran muy próximos a él. Las Rosas presenta islas de calor que oscilan entre los  $0,1^{\circ}\text{C}$  y  $1,7^{\circ}$  (ver Figura N°8), mientras que Estación fluctúa entre  $0,6^{\circ}\text{C}$  y  $1,7^{\circ}\text{C}$ , ambos distritos registrando los valores más intensos de isla de calor para esta estación en horario nocturno. Algo similar ocurre más hacia el norte en el distrito de Las Vegas, en cuya zona emplazada en el borde costero se registra igualmente una intensidad de ICUs que alcanza los  $1,7^{\circ}\text{C}$ , mientras que su tramo más interior llega a una intensidad de  $1,0^{\circ}\text{C}$ .

Así mismo, en el sector meridional del área de estudio, específicamente en el distrito de La Herradura, que en horario diurno registró las intensidades máximas de islas de frescor en todas las estaciones; para el caso de verano nocturno, registra solo islas de calor, que fluctúan entre  $0,6^{\circ}\text{C}$  y  $1,2^{\circ}\text{C}$ .

Siguiendo por el borde costero hacia el norte, en los distritos de Aduana y Lord Cochrane, que se emplazan en el sector más prominente de todo el borde costero, se registran islas de calor que oscilan entre  $0,8^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $0,9^{\circ}\text{C}$  y  $1,0^{\circ}\text{C}$  respectivamente. Por su parte, Baquedano y Buen Pastor, que se encuentran adyacentes a Aduana y Lord Cochrane, registran una isla de calor levemente más intensa que fluctúa entre  $0,8^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $1,6^{\circ}\text{C}$ .

Más hacia el norte, en el tramo de la bahía grande, se sigue replicando este fenómeno a lo largo de todo el borde costero, exceptuando el tramo más septentrional. En el distrito de Cantera se presentan solo islas de calor que fluctúan entre  $0,3^{\circ}\text{C}$  y  $1,6^{\circ}\text{C}$ , mientras que en Francisco de Aguirre e Intendencia los valores máximos de ICUs alcanzan  $1,3^{\circ}\text{C}$ .

De igual forma, es posible observar la tendencia de que, a modo general, los valores de intensidad de isla de calor tienden a decrecer hacia el interior. No obstante, en aquellos distritos que no poseen borde costero y se ubican en el tramo medio del área de estudio, es posible seguir observando la predominancia de islas de calor. Tal es el caso de El Olivar, Mercado, Universidad y Tierras Blancas, con intensidades máximas de ICUs oscilando entre  $1,0^{\circ}\text{C}$  y  $1,3^{\circ}\text{C}$ . En el caso de La Pampa, se alcanzan valores de isla de calor muy similares a sus distritos contiguos, mencionados anteriormente. No obstante, se presenta también una isla de frescor que alcanza los  $-0,7^{\circ}\text{C}$ .

En vista de lo anterior, y conforme se sigue avanzando hacia el este, es posible constatar aún islas de calor en las zonas más alejadas del borde costero, pero bastante más débiles; principalmente en el tramo medio del área de estudio, como es el caso de Islón, Romero y La Florida, cuyas intensidades máximas de ICUs oscilan entre  $0,4^{\circ}\text{C}$  y  $0,9^{\circ}\text{C}$ . Así mismo, en los dos últimos, es posible identificar una isla de frescor muy débil en su tramo más interior, que alcanza los  $-0,4^{\circ}\text{C}$ .

Por otro lado, en el área septentrional de la conurbación, es posible identificar una isla de frescor más extensa en La Compañía y que se extiende levemente hacia La Compañía Alta. Si bien estos distritos poseen una oscilación cuyos valores determinan igualmente patrones de islas de calor en algunas zonas que llegan a  $1,0^{\circ}\text{C}$ , en otras zonas también presentan islas de frescor con una intensidad máxima de  $-0,8^{\circ}\text{C}$ .

Algo similar ocurre en el sector sureste del área de estudio, precisamente en el distrito de Pan de Azúcar, donde también es posible constatar islas de calor que alcanzan  $1,0^{\circ}\text{C}$ , así como también una isla de frescor que llega a los  $-0,9^{\circ}\text{C}$ , la intensidad máxima de isla de frescor en verano nocturno.

#### **4.2.2 Otoño noche**

En lo que concierne al otoño nocturno, es posible evidenciar una preponderancia de islas de calor en la mayor parte del área del estudio, a lo largo de todo el borde costero, y cuyas mayores intensidades se encuentran en sectores de éste. Además, es posible constatar una tendencia al decrecimiento de los valores de la isla de calor conforme se avanza hacia el interior, registrándose intensidades más débiles de ésta, e incluso identificándose algunas islas de frescor, al norte, centro y sur del área de estudio, principalmente en las zonas de mayor altitud.

Por ejemplo, las intensidades máximas de isla de calor en otoño noche, se registran en el distrito de Las Vegas, en el tramo medio de la bahía grande, fluctuando entre  $1,1^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $2,2^{\circ}\text{C}$ .

Así mismo, en el sector meridional del área de estudio, específicamente en el distrito de La Herradura, que en horario diurno registró las intensidades máximas de islas de frescor en todas las estaciones; para el caso de otoño nocturno, registra solo islas de calor, que fluctúan entre  $0,5^{\circ}\text{C}$  y  $2,1^{\circ}\text{C}$ , siendo más intensas que en verano.

Siguiendo por el borde costero hacia el norte, en los distritos de Aduana, Baquedano, Buen Pastor y Lord Cochrane, que se emplazan en el sector más prominente de todo el borde costero, y adyacentes entre sí, se registran islas de calor muy similares, que oscilan entre  $1,1^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $2,0^{\circ}\text{C}$ .

Más hacia el norte, en el tramo de la bahía grande, se sigue replicando este fenómeno a lo largo de todo el borde costero. En la zona litoral de Cantera y Francisco de Aguirre, que se encuentran adyacentes a Las Vegas, se presentan islas de calor que alcanzan una intensidad máxima de

2,1°C y 1,7°C, respectivamente.

De igual forma, es posible observar la tendencia de que, a modo general, los valores de intensidad de isla de calor tienden a decrecer hacia el interior. No obstante, en aquellos distritos que no poseen borde costero y se ubican en el tramo medio del área de estudio, es posible seguir observando la predominancia de islas de calor. Tal es el caso de Intendencia, cuyas intensidades fluctúan entre 1,3°C y 1,5°C, junto a El Olivar, cuyos valores oscilan entre 0,2°C y 1,4°C. Por su parte, Mercado presenta intensidades ligeramente superiores entre 0,5°C y 1,6°C; lo mismo ocurre en Universidad que oscila entre 0,9°C y 1,6°C. En cuanto a Tierras Blancas estos valores tienden a ser levemente inferiores, con valores entre 0°C y 1,1°C. Esto se replica en La Pampa, con una intensidad de ICUs máxima que llega a los 1,4°C, sin embargo, también presenta una isla de frescor levemente más extensa e intensa que en verano, llegando a los -1,1°C. Dicha tendencia se extrapola también a los distritos de Las Rosas y Estación, que presentan temperaturas muy similares, con un mínimo de 0,2°C y 0,4°C respectivamente, y un máximo de 1,8°C en ambos distritos.

En vista de lo anterior, y conforme se sigue avanzando hacia el este, es posible constatar aún islas de calor en las zonas más alejadas del borde costero, pero bastante más débiles; principalmente en el tramo medio del área de estudio, como es el caso de Islón, cuyas intensidades fluctúan entre 0,2°C y 0,5°C. Por su parte, Romero y La Florida, presentan una intensidad máxima de ICUs de 0,4°C y 1,2°C respectivamente. Así como también, presentan ambos distritos una isla de frescor muy débil, pero más intensa que en verano, que alcanza los -0,6°C.

Por otro lado, en el área septentrional de la conurbación, es posible identificar una isla de frescor -levemente menos extensa que en verano- en el distrito de La Compañía y que se extiende levemente hacia La Compañía Alta. Si bien estos distritos poseen una oscilación cuyos valores determinan igualmente patrones de islas de calor en algunas zonas que llegan a 1,7°C para el caso de La Compañía, y 1,0°C en La Compañía Alta; en otras zonas también presentan islas de frescor con una intensidad máxima de -0,9°C y -0,2°C respectivamente.

Algo similar ocurre en el sector sureste del área de estudio, precisamente en el distrito de Pan de Azúcar, donde también es posible constatar islas de calor que alcanzan 1,1°C, así como también una isla de frescor que alcanza ahí su mayor intensidad correspondiente a -1,5°C, la intensidad máxima de isla de frescor en otoño nocturno; y que se extiende aún más que en verano, hacia los distritos de La Pampa y Cantera.

#### **4.2.3 Invierno noche**

En lo que respecta al invierno nocturno, es posible evidenciar una preponderancia de islas de calor en la mayor parte del área del estudio, en todo el borde costero, y cuyas mayores intensidades se encuentran a lo largo de éste. Además, es posible constatar una tendencia al decrecimiento de los valores de la isla de calor conforme se avanza hacia el interior, registrándose intensidades más débiles de ésta, e incluso identificándose algunas islas de

frescor, al norte y sur del área de estudio, principalmente en las zonas de mayor altitud.

En efecto, las intensidades máximas de isla de calor en invierno noche, se registran en el distrito de La Herradura, en el suroeste de la conurbación, fluctuando entre  $0,9^{\circ}\text{C}$  hacia el interior, y un máximo de  $3,2^{\circ}\text{C}$  en la costa, constituyéndose como el valor máximo de ICUs registrado no solo en invierno noche, sino que en todas las estaciones.

Continuando por el borde costero hacia el norte, en los distritos de Aduana, Baquedano, Buen Pastor y Lord Cochrane, que se emplazan en el sector más prominente de todo el borde costero, y adyacentes entre sí, se registran de igual forma islas de calor de intensidad similar a La Herradura, que oscilan entre  $1,0^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $3,1^{\circ}\text{C}$ .

Siguiendo hacia el norte, en el tramo de la bahía grande, se sigue replicando este fenómeno a lo largo de todo el borde costero. En la zona litoral de Cantera, Las Vegas y Francisco de Aguirre, se presentan islas de calor que alcanzan una intensidad máxima de  $2,5^{\circ}\text{C}$ ,  $2,7^{\circ}\text{C}$  y  $2,3^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Algo similar ocurre aún más al norte, específicamente en la zona costera de La Compañía, cuya máxima isla de calor se emplaza en su límite costero inferior, llegando a los  $2,3^{\circ}\text{C}$ .

De igual forma, es posible observar la tendencia de que, a modo general, los valores de intensidad de isla de calor tienden a decrecer hacia el interior. Sin embargo, en aquellos distritos que no poseen borde costero y se ubican en el tramo medio del área de estudio, es posible seguir observando la predominancia de islas de calor, y ligeramente más intensas que en otoño. Tal es el caso de Intendencia, cuyas intensidades fluctúan entre  $1,5^{\circ}\text{C}$  y  $1,6^{\circ}\text{C}$ , junto a El Olivar, cuyos valores oscilan entre  $0,6^{\circ}\text{C}$  y  $1,5^{\circ}\text{C}$ . Por su parte, Mercado presenta intensidades similares variantes entre  $0,8^{\circ}\text{C}$  y  $1,5^{\circ}\text{C}$ ; lo mismo ocurre en Universidad que oscila entre  $0,9^{\circ}\text{C}$  y  $1,5^{\circ}\text{C}$ . En cuanto a Tierras Blancas estos valores tienden a ser levemente inferiores, con valores entre  $0^{\circ}\text{C}$  y  $1,2^{\circ}\text{C}$ . Esto se replica en La Pampa, con una intensidad de ICUs máxima que llega a los  $1,5^{\circ}\text{C}$ , sin embargo, también presenta una isla de frescor levemente menos intensa que en otoño, llegando a los  $-0,7^{\circ}\text{C}$ . Dicha tendencia se extrapola también a los distritos de Las Rosas y Estación, que nuevamente presentan un comportamiento muy similar, con un mínimo de  $0,5^{\circ}\text{C}$  y  $0,4^{\circ}\text{C}$ , y un máximo de  $2,1^{\circ}\text{C}$  y  $1,8^{\circ}\text{C}$  respectivamente.

En vista de lo anterior, y conforme se sigue avanzando hacia el este, es posible seguir identificando islas de calor en las zonas más alejadas del borde costero, que, si bien son más débiles que en la costa, en invierno noche alcanzan su mayor intensidad, en comparación con las demás estaciones. Tal es el caso de Islón, cuyas intensidades fluctúan entre  $0,7^{\circ}\text{C}$  y  $1,0^{\circ}\text{C}$ . Por su parte, Romero y La Florida, presentan una intensidad máxima de ICUs de  $0,8^{\circ}\text{C}$  y  $1,6^{\circ}\text{C}$  respectivamente.

Por otro lado, en el área septentrional de la conurbación, el distrito de La Compañía Alta, que tanto en verano como en otoño, presentaba islas de frescor e islas de calor, en invierno noche presenta solo islas de calor que oscilan entre  $0,3^{\circ}\text{C}$  y  $1,1^{\circ}\text{C}$ . Así mismo, en el tramo más superior, precisamente en el distrito de La Compañía, es posible identificar una isla de frescor

menos extensa que en verano y otoño. Si bien este distrito posee una oscilación cuyos valores determinan patrones de islas de calor en el sector costero, en otras zonas también presenta una isla de frescor con una intensidad máxima de  $-0,5^{\circ}\text{C}$ .

Algo similar ocurre en el sector sureste del área de estudio, precisamente en el distrito de Pan de Azúcar, donde también es posible constatar islas de calor más intensas que en las demás estaciones, alcanzando  $1,6^{\circ}\text{C}$ ; así como también una isla de frescor que alcanza ahí su mayor intensidad en esta estación correspondiente a  $-1,0^{\circ}\text{C}$ , y que se extiende ligeramente hacia La Florida, La Pampa y Cantera.

#### **4.2.4. Primavera noche**

En lo que concierne a primavera nocturna, es posible evidenciar una preponderancia de islas de calor en la mayor parte del área del estudio, a lo largo de todo el borde costero, y cuyas mayores intensidades se encuentran en determinadas zonas de éste. Además, es posible constatar una tendencia al decrecimiento de los valores de la isla de calor conforme se avanza hacia el interior, registrándose intensidades más débiles de ésta, e incluso identificándose algunas islas de frescor, al norte, centro y sur del área de estudio, principalmente en las zonas de mayor altitud.

Por ejemplo, las intensidades máximas de isla de calor en primavera noche, se registran en el distrito de Las Vegas, en el tramo medio de la bahía grande, muy similar a la estación de verano y otoño, pero levemente mayor, fluctuando entre  $1,2^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $2,4^{\circ}\text{C}$ .

Así mismo, en el sector meridional del área de estudio, específicamente en el distrito de La Herradura, que en horario diurno registró las intensidades máximas de islas de frescor en todas las estaciones; para el caso de primavera noche, registra solo islas de calor, que fluctúan entre  $0,6^{\circ}\text{C}$  y  $2,1^{\circ}\text{C}$ .

Continuando por el borde costero hacia el norte, en los distritos de Aduana, Baquedano, Buen Pastor y Lord Cochrane, que se emplazan en el sector más prominente de todo el borde costero, y adyacentes entre sí, se registran de igual forma islas de calor de intensidad similar a La Herradura, que oscilan entre  $1,2^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $2,1^{\circ}\text{C}$ , siendo menos intensas que en invierno.

Más hacia el norte, en el tramo de la bahía grande, se sigue replicando este fenómeno a lo largo de todo el borde costero. En la zona litoral de Cantera y Francisco de Aguirre, que se encuentran adyacentes a Las Vegas, se presentan islas de calor que alcanzan una intensidad máxima de  $2,3^{\circ}\text{C}$  y  $1,9^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Algo similar ocurre aún más al norte, específicamente en la zona costera de La Compañía, cuya máxima isla de calor se emplaza en su límite costero inferior, llegando a los  $1,8^{\circ}\text{C}$ .

De igual forma, es posible observar la tendencia de que, a modo general, los valores de intensidad de isla de calor tienden a decrecer hacia el interior. Sin embargo, en aquellos distritos que no poseen borde costero y se ubican en el tramo medio del área de estudio, es posible seguir



observando la predominancia de islas de calor. Tal es el caso de Intendencia, cuyas intensidades fluctúan entre 1,3°C y 1,6°C, junto a El Olivar, cuyos valores oscilan entre 0,5°C y 1,4°C. Por su parte, Mercado presenta intensidades similares variantes entre 0,8°C y 1,5°C; lo mismo ocurre en Universidad que oscila entre 0,6°C y 1,6°C. En cuanto a Tierras Blancas estos valores tienden a ser levemente inferiores, con valores entre 0,1°C y 1,1°C. Esto se replica en La Pampa, con una intensidad de ICUs máxima que llega a los 1,4°C, sin embargo, también presenta una isla de frescor que llega a los -0,7°C. Dicha tendencia se extrapola también a los distritos de Las Rosas y Estación, que nuevamente presentan un comportamiento muy similar entre sí, con un mínimo de 0,4°C y 0,5°C, y un máximo de 1,9°C en ambos.

En vista de lo anterior, y conforme se sigue avanzando hacia el este, es posible constatar aún islas de calor en las zonas más alejadas del borde costero, pero más débiles; principalmente en el tramo medio del área de estudio, como es el caso de Islón, cuyas intensidades fluctúan entre 0,4°C y 0,8°C. Por su parte, Romero y La Florida, presentan una intensidad máxima de ICUs de 0,6°C y 1,2°C respectivamente. Así como también, ambos presentan una isla de frescor muy débil, que alcanza los -0,3° y -0,5°C.

Por otro lado, en el área septentrional de la conurbación, el distrito de La Compañía Alta, que tanto en verano como en otoño, repite el patrón de invierno y presenta solo islas de calor que oscilan entre 0,1°C y 1,1°C. Así mismo, en el tramo más superior, precisamente en el distrito de La Compañía, es posible identificar una isla de frescor levemente más extensa que en invierno. Si bien este distrito posee una oscilación cuyos valores determinan patrones de islas de calor en el sector costero, en su sector más interno la isla de frescor alcanza -0,8°C.

Algo similar ocurre en el sector sureste del área de estudio, precisamente en el distrito de Pan de Azúcar, donde también es posible constatar islas de calor que alcanzan 1,2°C, así como también una isla de frescor que alcanza ahí su mayor intensidad correspondiente a -1,2°C, la intensidad máxima de isla de frescor en primavera noche; y que se extiende hacia los distritos de La Florida, La Pampa y Cantera.

**Figura 8: Tabla de intensidades mínimas y máximas por distrito para cada estación nocturna**

Distrito	HORARIO NOCTURNO							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Aduana	0,8	0,9	1,4	2,0	1,5	2,8	1,4	1,9
Baquadano	0,8	1,6	1,1	1,7	1,0	1,8	1,2	1,8
Buen Pastor	0,9	1,6	1,2	2,0	1,5	3,1	1,2	2,1
Cantera	0,3	1,6	-0,3	2,1	-0,1	2,5	0,0	2,3
El Olivar	0,0	1,1	0,2	1,4	0,6	1,5	0,5	1,4
Estación	0,6	1,7	0,4	1,8	0,4	1,8	0,5	1,9
Fco. de Aguirre	0,9	1,3	1,3	1,7	1,5	2,3	1,4	1,9
Intendencia	1,0	1,3	1,3	1,5	1,5	1,6	1,3	1,6
Islón	0,0	0,5	0,2	0,5	0,7	1,0	0,4	0,8
La Compañía	-0,8	1,0	-0,9	1,7	-0,5	2,3	-0,8	1,8
La Compañía Alta	-0,1	0,8	-0,2	1,0	0,3	1,1	0,1	1,1
La Florida	-0,4	0,9	-0,6	1,2	-0,3	1,6	-0,5	1,2
La Herradura	0,6	1,2	0,5	2,1	0,9	3,2	0,6	2,1
La Pampa	-0,7	1,2	-1,1	1,4	-0,7	1,5	-0,9	1,4
Las Rosas	0,1	1,7	0,2	1,8	0,5	2,1	0,4	1,9
Las Vegas	1,0	1,7	1,1	2,2	1,2	2,7	1,2	2,4
Lord Cochrane	0,8	1,0	1,4	2,0	1,6	2,9	1,5	2,0
Mercado	0,3	1,3	0,5	1,6	0,8	1,5	0,6	1,6
Pan de Azúcar	-0,9	1,0	-1,5	1,1	-1,0	1,6	-1,2	1,2
Romero	-0,4	0,4	-0,4	0,4	0,0	0,8	-0,3	0,6
Tierras Blancas	0,2	1,0	0,0	1,1	0,0	1,2	0,1	1,1
Universidad	0,7	1,3	0,9	1,6	0,9	1,5	0,9	1,6

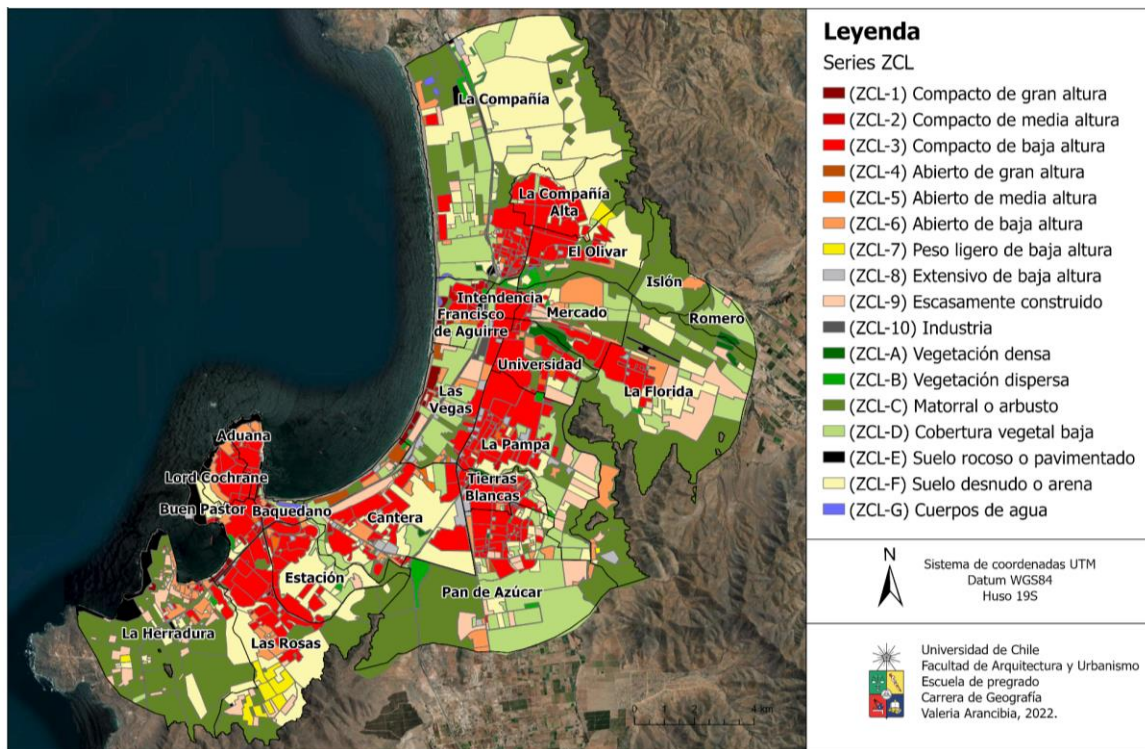
*Fuente: Elaboración propia, 2022.*

### 4.3. Zonas Climáticas Locales de la conurbación La Serena-Coquimbo

Primeramente, es posible apreciar que se identificaron las 17 series, tanto las 10 construidas, como las 7 naturales (ver Figura N° 11). Así mismo, el área de estudio total corresponde a 218,6 km<sup>2</sup>, de los cuales 72,1 km<sup>2</sup> corresponden a series construidas, mientras que 146,5 km<sup>2</sup> corresponden a series naturales. Dicho de otro modo, un 33% de las Zonas Climáticas Locales son series construidas, mientras que el 67% restante son series naturales (ver Figura N° 10).

Así, la serie que presenta una mayor superficie en la conurbación, corresponde a la tipología de Matorral o arbusto (ZCL-C), identificado principalmente en las periferias externas del área de estudio (ver Figura N° 9). Alcanza un área de 61,7 km<sup>2</sup>, que representa un 28,2% del total. En segundo lugar, se identifica otra serie natural, que corresponde a Suelo desnudo o arena (ZCL-F) cuya superficie alcanza 44,5 km<sup>2</sup>, que representa un 20,4%. A modo general, tiende a identificarse de manera marcada en el norte de la conurbación, así como también ligeramente en el sur y de manera dispersa en el resto del área. En tercer lugar, se encuentra la serie construida con mayor presencia, correspondiente a Compacto de baja altura (ZCL-3), cuya superficie alcanza 40,4 km<sup>2</sup>, equivalente a un 18,5% del total de Zonas Climáticas Locales, y se presenta de manera más homogénea y predominante en las áreas urbanas consolidadas.

**Figura 9: Zonas Climáticas Locales de la conurbación La Serena-Coquimbo, Chile**



*Fuente: Elaboración propia en base a Stewart & Oke (2012), 2022.*

A continuación, se encuentra otra serie natural, que corresponde a Cobertura vegetal baja (ZCL-D), ocupando un área de 32,6 km<sup>2</sup>, correspondiente a un 14,9% del total. Su patrón de distribución se tiende a identificar hacia los valles, aunque no exclusivamente ahí, ya que al interior de esta categoría es posible identificar diversos usos de suelo, tales como canchas de fútbol, paños de cultivo, áreas verdes, entre otros. Luego se encuentra otra serie construida, correspondiente a Escasamente construido (ZCL-9), cuya superficie alcanza 12,8 km<sup>2</sup>, equivalente a un 5,9%. Esta categoría tampoco presenta un patrón determinado, aunque se hace más notorio hacia las periferias, y algunos sectores del borde costero, lo cual se explica principalmente debido al emplazamiento de parcelas de agrado. Después se encuentra Abierto de baja altura (ZCL-6), con un área de 10,0 km<sup>2</sup>, que corresponde a un 4,6% de la superficie total; e identificados principalmente adyacentes a las áreas de tipología ZCL-3.

Consecutivamente, se identifica otra serie natural, denominada Suelo rocoso o pavimentado (ZCL-E), con una superficie de 4,0 km<sup>2</sup>, equivalente a un 1,8% de la superficie total del área de estudio. Esta serie se observa principalmente en el borde costero del suroeste del área de estudio, así como también en la zona del aeropuerto de La Serena. Le sigue la serie construida Extensivo de baja altura (ZCL-8), con un área de 2,9 km<sup>2</sup>, que corresponde a un 1,3%. Se identifica principalmente en intersticios heterogéneos entre áreas urbanas. A continuación, se identifica nuevamente una serie natural que corresponde a Vegetación Dispersa (ZCL-B), cuya superficie llega a 2,1 km<sup>2</sup>, equivalente a un 1,0% del total. A modo general, no aprecia algún patrón definido de distribución, sin embargo, tiende a identificarse con mayor frecuencia en algunos predios y quebradas.

Luego sigue Peso ligero de baja altura (ZCL-7) con un área de 1,7 km<sup>2</sup>, que asciende a un 0,8% del área total. Principalmente correspondientes a campamentos emplazados en laderas. Después se encuentra la serie construida Compacto de media altura (ZCL-2), cuya superficie alcanza 1,5 km<sup>2</sup>, correspondiente a 0,7%, también emplazados en diferentes zonas del área urbana consolidada. A continuación, se encuentra Vegetación densa (ZCL-A). Su superficie corresponde a 1,3 km<sup>2</sup>, mientras que su porcentaje corresponde a 0,6%. Al igual que ZCL-B, no existe un patrón determinado, pero es posible identificar áreas pequeñas de esta serie en algunos predios y quebradas. Después se identifica una serie construida denominada Compacto de gran altura (ZCL-1), con un área que alcanza 1,0 km<sup>2</sup>, equivalente a 0,5%. Pese a no representar gran superficie, es posible identificarlos claramente emplazados en el borde costero, específicamente en la primera mitad de la bahía grande.

El siguiente corresponde a Abierto de gran altura (ZCL-4), cuya superficie alcanza 0,8 km<sup>2</sup>, equivalente a 0,4% del total. Al igual que la serie ZCL-1, es posible identificar estas construcciones en el borde costero, principalmente en la primera mitad de la bahía grande. A continuación, se posiciona Abierto de media altura (ZCL-5), también con un área de 0,8 km<sup>2</sup>, correspondiente a un 0,4% del área de estudio total. Tal como es el caso de ZCL-2, se emplazan en diferentes sectores del área urbana consolidada. Continúa la serie natural denominada Cuerpos de agua (ZCL-G), con una superficie de 0,4 km<sup>2</sup>, representando un 0,2% del total. A modo general se identifican algunos en el tramo medio final de la bahía grande. Por último, se identifica la serie correspondiente a Industria (ZCL-10), con un área que alcanza 0,2 km<sup>2</sup>, representando solo un 0,1% del total, observado al centro del área urbana de La Serena.

**Figura 10: Tabla total de series naturales y construidas de las ZCL en la conurbación La Serena-Coquimbo**

Series construidas	72,1 km <sup>2</sup>	33,0%
Series naturales	146,5 km <sup>2</sup>	67,0%
<b>Total</b>	<b>218,6 km<sup>2</sup></b>	<b>100%</b>

*Fuente: Elaboración propia, 2022.*

**Figura 11: Tabla distribución de cada serie de Zonas Climáticas Locales en la conurbación La Serena-Coquimbo en el año 2022**

<b>Serie</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje</b>
(ZCLC) Matorral o arbusto	61,7	28,2%
(ZCLF) Suelo desnudo o arena	44,5	20,4%
(ZCL3) Compacto de baja altura	40,4	18,5%
(ZCLD) Cobertura vegetal baja	32,6	14,9%
(ZCL9) Escasamente construido	12,8	5,9%
(ZCL6) Abierto de baja altura	10,0	4,6%
(ZCLE) Suelo rocoso o pavimentado	4,0	1,8%
(ZCL8) Extensivo de baja altura	2,9	1,3%
(ZCLB) Vegetación dispersa	2,1	1,0%
(ZCL7) Peso ligero de baja altura	1,7	0,8%
(ZCL2) Compacto de media altura	1,5	0,7%
(ZCLA) Vegetación densa	1,3	0,6%
(ZCL1) Compacto de gran altura	1,0	0,5%
(ZCL4) Abierto de gran altura	0,8	0,4%
(ZCL5) Abierto de media altura	0,8	0,4%
(ZCLG) Cuerpos de agua	0,4	0,2%
(ZCL10) Industria	0,2	0,1%
<b>Total</b>	<b>218,6</b>	<b>100%</b>

*Fuente: Elaboración propia, 2022.*

Más precisamente, a nivel de cada distrito (ver Figura N°12), y comenzando desde el suroeste del área de estudio, en el distrito de La Herradura predomina fuertemente la tipología ZCL-C, correspondiente a Matorral o arbusto, que cubre un 63,1% de su superficie. Con bastante menos superficie, le sigue ZCL-F, cuya superficie cubre un 15,2%, principalmente correspondiente a suelos áridos y desérticos emplazados al sur. Un 8,1% de la superficie, se compone de ZCL-9, marcado mayoritariamente por viviendas en parcelas de agrado. En la misma línea de lo anterior, donde se identifica una mayor densidad de construcción, se identifica la serie ZCL-6, que alcanza un 4,7% de la superficie. Se reconoce además la serie ZCL-E con un área que alcanza el 3,2% del distrito, correspondiente al borde costero rocoso de la zona.

Más arriba, en el distrito de Las Rosas, predomina nuevamente ZCL-C, correspondiente a Matorral o arbusto, representando un 48,7% de la superficie total del distrito. Sin embargo, destaca fuertemente también la serie ZCL-3, principalmente hacia la costa, cuya superficie alcanza un 23% del área total. Se identifica también hacia el interior, una extensa área de suelo desnudo (ZCL-F), cuya superficie equivale a un 11,5% del total. Adyacente a esta zona, destaca, además, el emplazamiento de viviendas ligeras de baja altura (ZCL-7) hacia el interior, cuya superficie representa un 7,5% del distrito.

En el caso de Estación, se identifican diferentes series que ocupan superficies muy similares, pero con patrones de emplazamiento diferentes; donde ZCL-F, correspondiente a Suelo desnudo o arena, predomina principalmente en la zona más interior del distrito y representa un 31% de su superficie. Además, en su zona más interna, se identifica nuevamente ZCL-C, con una superficie de 20,9%. Por otro lado, en su tramo orientado hacia la costa, predomina ZCL-

3 (Compacto de baja altura), ocupando un 29,8% de la superficie total.

Así mismo, en el sector más prominente de la bahía, específicamente en los distritos de Aduana, Baquedano, Buen Pastor y Lord Cochrane, predomina ZCL-3, correspondiente a Compacto de baja altura, con un porcentaje de 61,4%, 59%, 34,8% y 55,3% respectivamente. En el caso de Aduana, destaca también ZCL-E con un 18% de su superficie, que corresponde al borde costero rocoso de la zona. Algo similar ocurre en Buen Pastor y Lord Cochrane, donde en sus bordes costeros también se identifica ZCL-E con un 19,1% y 21,5% respectivamente, así como también ZCL-F, cubriendo un 21,1% y 12% de su superficie. En Baquedano en cambio, sus áreas despobladas corresponden mayoritariamente a ZCL-D, con un 12,3%.

En lo que respecta a Cantera, también tiende a identificarse dos patrones diferentes. Por un lado, en su zona más interior, correspondiente a sus superficies inhabitadas predomina ZCL-F con un 29,9% de la superficie total del distrito, así como también ZCL-C en un 13,4%. Por otro lado, en su zona más externa se encuentran asentamientos que corresponden a ZCL-3, equivalente a un 23,7% del área, así como también ZCL-6, con un 5,6%. Además, se identifican en el borde costero, asentamientos de tipo ZCL-4 y ZCL 1, ambos de gran altura.

Así mismo, continuando hacia al interior, precisamente en el distrito de Pan de Azúcar, predominan áreas despobladas en la mayor parte del distrito, destacando ZCL-C con un 39,3% de la superficie, así como también ZCL-D cubriendo un 28,4% del área, marcado por coberturas agrícolas de gran extensión. Por otra parte, en la zona norte del distrito, se identifican zonas pobladas de tipo ZCL-3, representando un 10,8% del distrito. En la zona norte contigua del distrito, se emplaza Tierras Blancas, donde también hay presencia de usos de suelo agrícola correspondientes a ZCL-D ocupando un 16,6% de la superficie. No obstante, predomina fuertemente ZCL-3 con un 56,7% del área total del distrito.

Un poco más al norte, en el distrito de La Pampa, nuevamente se observa la tendencia de superficies similares de series construidas y series naturales. En sus áreas habitadas, destaca ZCL-3 con un 25,3%, así como también ZCL-9 con un 11,2% del área. Por otro lado, en la zona más interna predomina ZCL-C, ocupando un 25,7% de la superficie total. Destaca a su vez, la presencia de ZCL-D en un 20,6%, correspondiente a cubiertas de tipo agrícola.

Sobre el distrito de Las Vegas, predomina con un 35,9% ZCL-D, que al igual que en los distritos anteriores, corresponde mayoritariamente al emplazamiento terrenos de uso agrícola, así como también algunas canchas de fútbol. Le sigue además ZCL-3 ocupando un 22,3% de la superficie, y cuya concentración tiende a reconocerse en el borde más interior del distrito. Además, aquí también se identifica marcadamente la presencia de ZCL-1 y ZCL-4 (Compacto y Abierto de gran altura), concentradas a lo largo del borde costero. Algo bastante similar ocurre en Francisco de Aguirre, donde las zonas agrícolas (ZCL-D) predominan con un 34,3% de la superficie total. No obstante, ZCL-3 cubre una superficie muy similar, que llega a los 33,3%. Adicionalmente, aquí también se identifican construcciones de gran altura en su sector costero.

Por su parte, en Intendencia, predominan fuertemente viviendas compactas de baja altura (ZCL-3), cubriendo un 63,2% del total de su superficie; mientras que en sus áreas despobladas -y al igual que en la mayoría de los distritos- tiende a identificarse ZCL-C y ZCL-D, alcanzando un 10,1% y 11,1% respectivamente. El mismo fenómeno se replica en el distrito de Universidad, donde también predominan las zonas de tipo ZCL-3, alcanzando un 48,2%. Así como también, le sigue ZCL-C con un 28,5% de su área, y más atrás ZCL-D que representa solo un 9,7%.

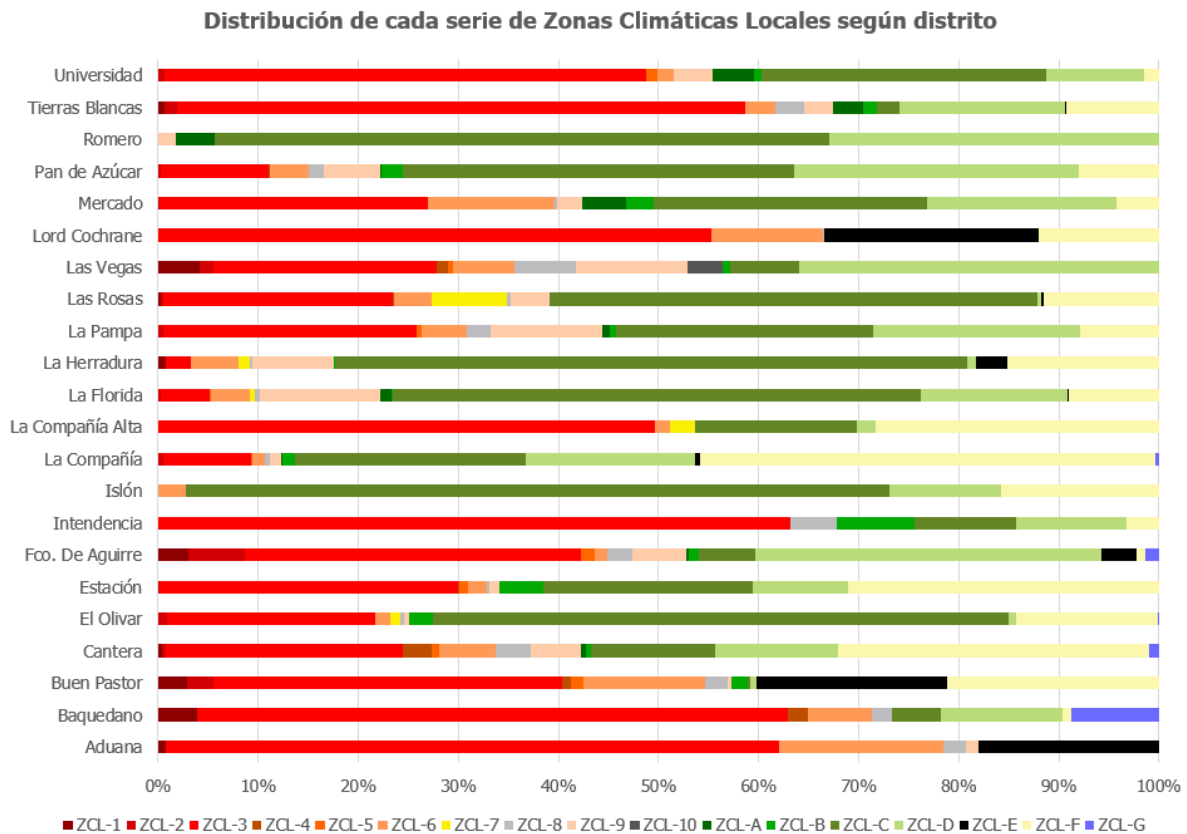
En Mercado por su parte, predomina ZCL-C representando un 27,3% de su superficie. Sin embargo, ZCL-3 constituye un porcentaje bastante similar al interior del distrito, correspondiente a 26,9%. Además, en tercer lugar, su superficie se compone de ZCL-D, cuya representación alcanza un 19%, mientras que ZCL-6, identificada principalmente en los sectores contiguos a ZCL-3, alcanzando un 12,6%. Un poco más hacia el norte, en el distrito El Olivar, predomina fuertemente ZCL-3 con un 57,5%, seguido por ZCL-3, que alcanza un 20,9%. Así mismo, aquí destaca en tercer lugar ZCL-F, cuyos suelos desnudos representan un 14,2% de la superficie total.

Por su parte, en la zona más interior del área de estudio, específicamente en el distrito de La Florida, predominan fuertemente las series naturales, dado que ZCL-C representa un 52,8% del área, mientras que ZCL-D lo hace con un 14,7%. Por su parte, ZCL-9, emerge como la serie construida con mayor presencia en este distrito, alcanzando un 12%. En el caso de Romero, predominan absolutamente las series naturales, donde ZCL-C representa un 61,4%, mientras que ZCL-D equivale a un 32,8%. Algo similar sucede en Islón, donde nuevamente se consolidan las series naturales, ya que ZCL-C alcanza un 70,4% de la superficie del distrito, así como también ZCL-F y ZCL-D, alcanzan un 15,8% y 11,1% respectivamente.

Ya en la zona más septentrional del área de estudio, específicamente en La Compañía Alta, predomina una serie construida, denominada ZCL-3, cuya área representa un 49,6% de la superficie total del distrito; albergando una de las áreas urbanas consolidadas más al norte al interior de la conurbación, e identificadas principalmente en la zona oeste del distrito. No obstante, le siguen dos series naturales: ZCL-F y ZCL-C, reconocidas hacia el interior del distrito, y cuyas áreas ocupan un porcentaje respectivo de 28,3% y 16,1%.

Por último, en el caso de La Compañía, predominan de manera muy marcada las series naturales. Primeramente, ZCL-F en el área central del distrito, que representa un 45,5%. Así también, también le sigue ZCL-C con un 23% y ZCL-D con 16,9%. En cuanto a las series construidas, ZCL-3 es aquella que tiene mayor presencia, reconocible al sur del distrito, y ocupando un porcentaje equivalente a un 8,8% del área total del distrito.

**Figura 12: Distribución de cada serie de Zonas Climáticas según distrito**



*Fuente: Elaboración propia, 2022.*

#### **4.4. Relación entre la distribución de islas de calor y frescor con las Zonas Climáticas Locales en la conurbación La Serena-Coquimbo**

##### **4.4.1 Intensidades diurnas por estación según ZCL**

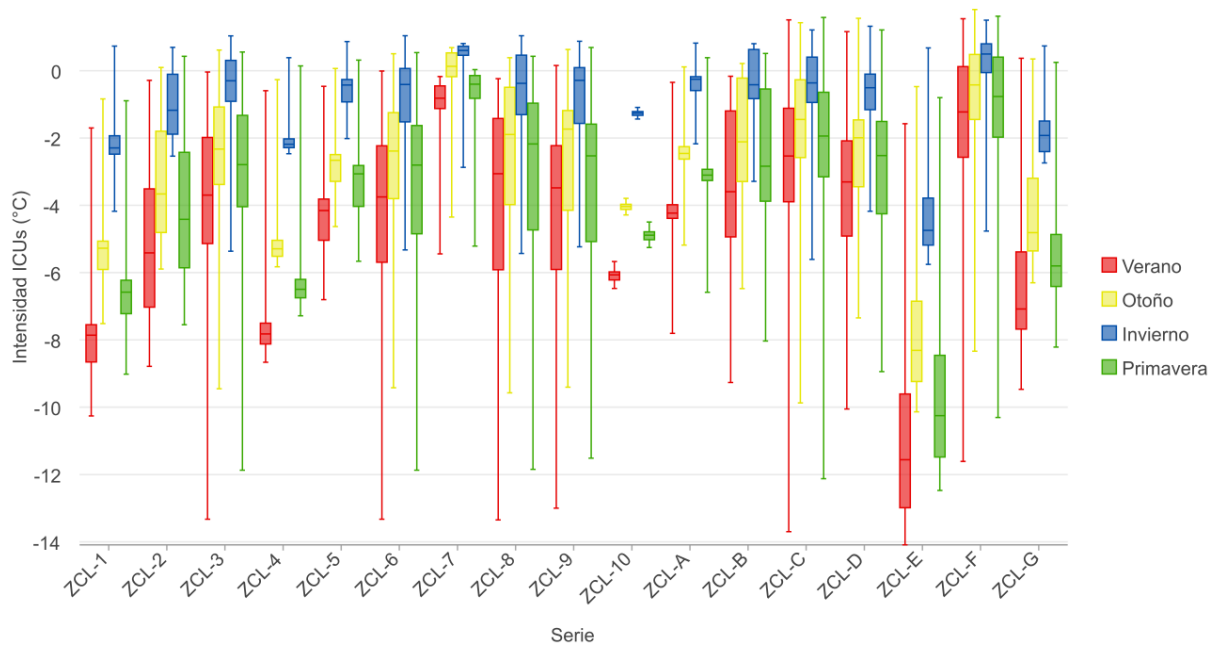
En primera instancia, al observar la Figura N°13, que expone la relación entre la intensidad de islas de calor urbano superficial diurnas con las Zonas Climáticas Locales del área de estudio, es posible señalar que existe una evidente relación entre la intensidad de ICUs con la distribución de las Zonas Climáticas locales en la conurbación La Serena-Coquimbo. Pese a destacar la predominancia de islas de frescor en horario diurno -lo cual se reconoce en todas las estaciones del año- destaca la estación de invierno, cuyas intensidades de ICUs son mayores en todas las series, representado principalmente en este caso, en islas de frescor bastante más débiles que en todas las demás estaciones. Le sigue el otoño, luego la primavera, y por último el verano.

Esto se constata tras observar las medianas, que en invierno se consolidan con valores mucho más elevados, tanto positivos como negativos, según sea la serie. Lo mismo ocurre con los rangos intercuartiles, cuyos valores, a modo general, tienden a ser más cercanos al cero, y por ende más leves en invierno, dando cuenta de una dispersión más baja de los datos en dicha estación; que por tanto crece en otoño, en primavera y en verano. Este fenómeno se reproduce



en todas las series observadas. Lo anterior, replica la tendencia que se constató con anterioridad (en la Figura N°5), en la cual la jerarquía estacional de las intensidades de ICUs, coincide con la evidenciada en esta etapa.

**Figura 13: Intensidad de ICUs e IFUs diurnas de Verano, Otoño, Invierno y Primavera según ZCL**



*Fuente: Elaboración propia, 2022.*

Así mismo, más precisamente a nivel de cada estación del año, en **verano diurno** es posible evidenciar que la serie ZCL-7, correspondiente a Peso ligero de baja altura, es la serie que presenta mayor intensidad de ICUs, teniendo en cuenta los valores de las medianas, la cual asciende a  $-0,82^{\circ}\text{C}$  (ver Anexo N°5). Sus valores de intensidad mínima llegan a  $-5,44^{\circ}\text{C}$  y una máxima de  $0,17^{\circ}\text{C}$ . No obstante, el rango intercuartil (IQR) se sitúa en  $0,67^{\circ}\text{C}$ , dando cuenta de una dispersión baja de los datos. En segundo lugar, se encuentra ZCL-F (Suelo desnudo o arena), que presenta la segunda mediana más alta en esta estación, correspondiente a  $-1,23^{\circ}\text{C}$ . Sus intensidades oscilan entre  $-11,61^{\circ}\text{C}$  y  $1,54^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR alcanza  $2,70^{\circ}\text{C}$ , evidenciando una dispersión de los datos mayor que en ZCL-7, pero baja de todas formas en comparación con las demás series, y pese a presentar un rango de gran amplitud. En tercer lugar, se presenta ZCL-C, también denominada Matorral o arbusto, la cual presenta una mediana de  $-2,53^{\circ}\text{C}$ , y cuyas intensidades de ICUs varían entre  $-13,70^{\circ}\text{C}$  y  $1,51^{\circ}\text{C}$ . Por su parte el IQR corresponde a  $2,78^{\circ}\text{C}$ , dando cuenta de una dispersión de los datos mayor que ZCL-7, y muy similar al caso de ZCL-F. En cuarto lugar, se ubica ZCL-8 (Extensivo de baja altura), que presenta una mediana que alcanza  $-3,06^{\circ}\text{C}$ . Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de  $-13,35^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $-0,24^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR corresponde a  $4,50^{\circ}\text{C}$ , evidenciando una gran dispersión de los datos, más precisamente, la dispersión más alta entre todas las series en verano. En quinto lugar, aparece ZCL-D, o Cobertura vegetal baja, con una mediana que asciende a  $-3,31^{\circ}\text{C}$ . Se presenta un valor mínimo de  $-10,05^{\circ}\text{C}$  y un valor máximo de  $1,16^{\circ}\text{C}$ , mientras que el IQR corresponde a

2,83°C. En sexto lugar se ubica ZCL-9, correspondiente a Escasamente construido, cuya mediana registra -3,48°C, con intensidades de ICUs que van desde -13,00°C a 0,15°C, y un IQR de 3,68°C. En séptimo lugar se identifica ZCL-B, correspondiente a Vegetación dispersa, cuya mediana asciende a -3,59°C. Sus valores de intensidad mínima llegan a -9,27°C y una máxima de -0,17°C. No obstante, el rango intercuartil se sitúa en 3,74°C. En octavo lugar, le sigue ZCL-3 (Compacto de baja altura), que presenta una mediana correspondiente a -3,70°C. Sus intensidades oscilan entre -13,33°C y -0,04°C. En tanto, el IQR alcanza 3,15°C. En noveno lugar, se presenta ZCL-6, también denominada Abierto de baja altura, la cual presenta una mediana de -3,75°C, y cuyas intensidades de ICUs varían entre -13,33°C y -0,01°C. Por su parte el IQR corresponde a 3,46°C. En décimo lugar, se ubica ZCL-5 (Abierto de media altura), que presenta una mediana que alcanza -4,16°C. Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de -6,80°C y un máximo de -0,46°C. En tanto, el IQR corresponde a 1,23°C. En undécimo lugar, se identifica ZCL-A, o Vegetación densa, con una mediana que asciende a -4,23°C. Se presenta un valor mínimo de -7,81°C y un valor máximo de -0,35°C, mientras que el IQR corresponde a 0,40°C. En duodécimo lugar se ubica ZCL-2, correspondiente a Compacto de mediana altura, cuya mediana registra -5,42°C, con intensidades de ICUs que van desde -8,79°C a -0,29°C, y un IQR de 3,52°C. En decimotercer lugar se identifica ZCL-10, correspondiente a Industria, cuya mediana asciende a -6,07°C. Sus valores de intensidad mínima llegan a -6,47°C y una máxima de -5,67°C. No obstante, el rango intercuartil se sitúa en 0,24°C, dando cuenta de una dispersión baja de los datos; particularmente la más baja de la estación de verano. En decimocuarto lugar, continúa ZCL-G (Cuerpos de agua), que presenta una mediana correspondiente a -7,08°C. Sus intensidades oscilan entre -9,47°C y 0,37°C. En tanto, el IQR alcanza 2,29°C. En decimoquinto lugar, se presenta ZCL-4, también denominada Abierto de gran altura, la cual presenta una mediana de -7,82°C, y cuyas intensidades de ICUs varían entre -8,66°C y -0,59°C. Por su parte el IQR corresponde a 0,62°C. En decimosexto lugar, continúa ZCL-1 (Compacto de gran altura), que presenta una mediana que alcanza -7,86°C. Las intensidades de islas de calor urbano superficial aquí fluctúan entre un mínimo de -10,26°C y un máximo de -1,70°C. En tanto, el IQR corresponde a 1,11°C. Finalmente, le sigue ZCL-E, también denominado Suelo rocoso o pavimentado, con una mediana que asciende a -11,56°C, que corresponde a la decimoséptima más alta de verano en orden decreciente, por lo tanto, constituyéndose como la serie con las intensidades más bajas de ICUs en verano. Se presenta además un valor mínimo de -14,09°C y un valor máximo de -1,58°C, mientras que el IQR corresponde a 3,38°C.

En cuanto a la estación de **otoño diurno**, es posible evidenciar que la serie ZCL-7, correspondiente a Peso ligero de baja altura, es nuevamente la serie que presenta mayor intensidad de ICUs, teniendo en cuenta los valores de las medianas, la cual asciende a 0,13°C para este caso, siendo a su vez, la única mediana que alcanza un valor superior a cero en esta estación. Sus valores de intensidad mínima llegan a -4,35°C y una máxima de 0,69°C. No obstante, el rango intercuartil (IQR) se sitúa en 0,71°C, dando cuenta de una dispersión baja de los datos. En segundo lugar, se encuentra ZCL-F (Suelo desnudo o arena), que presenta la segunda mediana más alta en esta estación, correspondiente a -0,42°C. Sus intensidades oscilan entre -8,34°C y 1,81°C. En tanto, el IQR alcanza 1,93°C, evidenciando una dispersión de los datos mayor que en ZCL-7, pero baja de todas formas en comparación con las demás series, y

pese a presentar un rango de gran amplitud. En tercer lugar, se presenta ZCL-C, también denominada Matorral o arbusto, la cual presenta una mediana de  $-1,45^{\circ}\text{C}$ , y cuyas intensidades de ICUs varían entre  $-9,87^{\circ}\text{C}$  y  $1,42^{\circ}\text{C}$ . Por su parte el IQR corresponde a  $2,31^{\circ}\text{C}$ , dando cuenta de una dispersión de los datos mayor que ZCL-7, y muy similar al caso de ZCL-F. En cuarto lugar, se ubica ZCL-9 (Escasamente construido), que presenta una mediana que alcanza  $-1,74^{\circ}\text{C}$ . Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de  $-9,41^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $0,63^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR corresponde a  $2,96^{\circ}\text{C}$ . En quinto lugar, aparece ZCL-8, o Extensivo de baja altura, con una mediana que asciende a  $-1,90^{\circ}\text{C}$ . Se presenta un valor mínimo de  $-9,57^{\circ}\text{C}$  y un valor máximo de  $0,38^{\circ}\text{C}$ , mientras que el IQR corresponde a  $3,49^{\circ}\text{C}$ , evidenciando una gran dispersión de los datos, más precisamente, la dispersión más alta entre todas las series en otoño. En sexto lugar se ubica ZCL-D, correspondiente a Cobertura vegetal baja, cuya mediana registra  $-1,99^{\circ}\text{C}$ , con intensidades de ICUs que van desde  $-7,35^{\circ}\text{C}$  a  $1,56^{\circ}\text{C}$ , y un IQR de  $1,99^{\circ}\text{C}$ . En séptimo lugar se identifica ZCL-B, correspondiente a Vegetación dispersa, cuya mediana asciende a  $-2,11^{\circ}\text{C}$ . Sus valores de intensidad mínima llegan a  $-6,47^{\circ}\text{C}$  y una máxima de  $0,21^{\circ}\text{C}$ . No obstante, el rango intercuartil se sitúa en  $3,07^{\circ}\text{C}$ . En octavo lugar, le sigue ZCL-3 (Compacto de baja altura), que presenta una mediana correspondiente a  $-2,33^{\circ}\text{C}$ . Sus intensidades oscilan entre  $-9,45^{\circ}\text{C}$  y  $0,61^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR alcanza  $2,30^{\circ}\text{C}$ . En noveno lugar, se presenta ZCL-6, también denominada Abierto de baja altura, la cual presenta una mediana de  $-2,39^{\circ}\text{C}$ , y cuyas intensidades de ICUs varían entre  $-9,42^{\circ}\text{C}$  y  $0,50^{\circ}\text{C}$ . Por su parte el IQR corresponde a  $2,56^{\circ}\text{C}$ . En décimo lugar, se ubica ZCL-A (Vegetación densa), que presenta una mediana que alcanza  $-2,46^{\circ}\text{C}$ . Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de  $-5,18^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $0,11^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR corresponde a  $0,37^{\circ}\text{C}$ . En undécimo lugar, se identifica ZCL-5, o Abierto de media altura, con una mediana que asciende a  $-2,66^{\circ}\text{C}$ . Se presenta un valor mínimo de  $-4,63^{\circ}\text{C}$  y un valor máximo de  $0,06^{\circ}\text{C}$ , mientras que el IQR corresponde a  $0,80^{\circ}\text{C}$ . En duodécimo lugar se ubica ZCL-2, correspondiente a Compacto de mediana altura, cuya mediana registra  $-3,66^{\circ}\text{C}$ , con intensidades de ICUs que van desde  $-5,89^{\circ}\text{C}$  a  $0,09^{\circ}\text{C}$ , y un IQR de  $3,01^{\circ}\text{C}$ . En decimotercer lugar se identifica ZCL-10, correspondiente a Industria, cuya mediana asciende a  $-4,04^{\circ}\text{C}$ . Sus valores de intensidad mínima llegan a  $-4,29^{\circ}\text{C}$  y una máxima de  $-3,79^{\circ}\text{C}$ . No obstante, el rango intercuartil se sitúa en  $0,15^{\circ}\text{C}$ , dando cuenta de una dispersión baja de los datos; particularmente la más baja de la estación de otoño. En decimocuarto lugar, continúa ZCL-G (Cuerpos de agua), que presenta una mediana correspondiente a  $-4,81^{\circ}\text{C}$ . Sus intensidades oscilan entre  $-6,30^{\circ}\text{C}$  y  $0,35^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR alcanza  $2,16^{\circ}\text{C}$ . En decimoquinto lugar, se presenta ZCL-1, también denominada Compacto de gran altura, la cual presenta una mediana de  $-5,27^{\circ}\text{C}$ , y cuyas intensidades de ICUs varían entre  $-7,51^{\circ}\text{C}$  y  $-0,84^{\circ}\text{C}$ . Por su parte el IQR corresponde a  $0,84^{\circ}\text{C}$ . En decimosexto lugar, continúa ZCL-4 (Abierto de gran altura), que presenta una mediana que alcanza  $-5,29^{\circ}\text{C}$ . Las intensidades de islas de calor urbano superficial aquí fluctúan entre un mínimo de  $-5,83^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $-0,27^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR corresponde a  $0,48^{\circ}\text{C}$ . Finalmente, le sigue ZCL-E, también denominado Suelo rocoso o pavimentado, con una mediana que asciende a  $-8,31^{\circ}\text{C}$ , que corresponde a la decimoséptima más alta de otoño en orden decreciente, por lo tanto, constituyéndose como la serie con las intensidades más bajas de ICUs en otoño. Se presenta además un valor mínimo de  $-10,14^{\circ}\text{C}$  y un valor máximo de  $-0,47^{\circ}\text{C}$ , mientras que el IQR corresponde a  $2,39^{\circ}\text{C}$ .

En lo que concierne a la estación de **invierno diurno**, es posible evidenciar que la serie ZCL-7, correspondiente a Peso ligero de baja altura, es -al igual que en verano y otoño- la serie que presenta mayor intensidad de ICUs, teniendo en cuenta los valores de las medianas, la cual asciende a  $0,60^{\circ}\text{C}$  para este caso, siendo a su vez, una de las sólo dos series que alcanza un valor de mediana superior a cero en esta estación. Sus valores de intensidad mínima llegan a  $-2,87^{\circ}\text{C}$  y una máxima de  $0,81^{\circ}\text{C}$ . No obstante, el rango intercuartil (IQR) se sitúa en  $0,27^{\circ}\text{C}$ , dando cuenta de una dispersión baja de los datos. En segundo lugar, se encuentra ZCL-F (Suelo desnudo o arena), que presenta la segunda mediana más alta en esta estación, correspondiente a  $0,49^{\circ}\text{C}$ , siendo la otra serie que alcanza un valor de mediana positivo en invierno, junto con ZCL-7. Sus intensidades oscilan entre  $-4,76^{\circ}\text{C}$  y  $1,50^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR alcanza  $0,85^{\circ}\text{C}$ , evidenciando una dispersión de los datos mayor que en ZCL-7, pero baja de todas formas. En tercer lugar, se presenta ZCL-A, también denominada Vegetación densa, la cual presenta una mediana de  $-0,26^{\circ}\text{C}$ , y cuyas intensidades de ICUs varían entre  $-2,17^{\circ}\text{C}$  y  $0,82^{\circ}\text{C}$ . Por su parte el IQR corresponde a  $0,41^{\circ}\text{C}$ , dando cuenta de una dispersión de los datos mayor que ZCL-7, e inferior a ZCL-F. En cuarto lugar, se ubica ZCL-9 (Escasamente construido), que presenta una mediana que alcanza  $-0,29^{\circ}\text{C}$ . Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de  $-5,23^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $0,87^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR corresponde a  $1,66^{\circ}\text{C}$ . En quinto lugar, aparece ZCL-3, o Compacto de baja altura, con una mediana que asciende a  $-0,30^{\circ}\text{C}$ . Se presenta un valor mínimo de  $-5,36^{\circ}\text{C}$  y un valor máximo de  $1,03^{\circ}\text{C}$ , mientras que el IQR corresponde a  $1,22^{\circ}\text{C}$ . En sexto lugar se ubica ZCL-C, correspondiente a Matorral o arbusto, cuya mediana registra  $-0,36^{\circ}\text{C}$ , con intensidades de ICUs que van desde  $-5,61^{\circ}\text{C}$  a  $1,21^{\circ}\text{C}$ , y un IQR de  $1,35^{\circ}\text{C}$ . En séptimo lugar se identifica ZCL-8, correspondiente a Extensivo de baja altura, cuya mediana asciende a  $-0,38^{\circ}\text{C}$ . Sus valores de intensidad mínima llegan a  $-5,43^{\circ}\text{C}$  y una máxima de  $1,04^{\circ}\text{C}$ . No obstante, el rango intercuartil se sitúa en  $1,77^{\circ}\text{C}$ . En octavo lugar, le sigue ZCL-6 (Abierto de baja altura), que presenta una mediana correspondiente a  $-0,41^{\circ}\text{C}$ . Sus intensidades oscilan entre  $-5,33^{\circ}\text{C}$  y  $1,04^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR alcanza  $1,59^{\circ}\text{C}$ . En noveno lugar, se presenta ZCL-B, también denominada Vegetación dispersa, la cual presenta una mediana de  $-0,42^{\circ}\text{C}$ , y cuyas intensidades de ICUs varían entre  $-3,29^{\circ}\text{C}$  y  $0,80^{\circ}\text{C}$ . Por su parte el IQR corresponde a  $1,46^{\circ}\text{C}$ . En décimo lugar, se ubica ZCL-5 (Abierto de media altura), que presenta una mediana que alcanza  $-0,43^{\circ}\text{C}$ . Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de  $-2,02^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $0,86^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR corresponde a  $0,66^{\circ}\text{C}$ . En undécimo lugar, se identifica ZCL-D, o Cobertura vegetal baja, con una mediana que asciende a  $-0,51^{\circ}\text{C}$ . Se presenta un valor mínimo de  $-4,18^{\circ}\text{C}$  y un valor máximo de  $1,32^{\circ}\text{C}$ , mientras que el IQR corresponde a  $1,06^{\circ}\text{C}$ . En duodécimo lugar se ubica ZCL-2, correspondiente a Compacto de media altura, cuya mediana registra  $-1,18^{\circ}\text{C}$ , con intensidades de ICUs que van desde  $-2,54^{\circ}\text{C}$  a  $0,69^{\circ}\text{C}$ , y un IQR de  $1,78^{\circ}\text{C}$ , evidenciando una dispersión más elevada de los datos, más precisamente, la dispersión más alta entre todas las series en invierno. En decimotercer lugar se identifica ZCL-10, correspondiente a Industria, cuya mediana asciende a  $-1,26^{\circ}\text{C}$ . Sus valores de intensidad mínima llegan a  $-1,44^{\circ}\text{C}$  y una máxima de  $-1,09^{\circ}\text{C}$ . No obstante, el rango intercuartil se sitúa en  $0,11^{\circ}\text{C}$ , dando cuenta de una dispersión baja de los datos; particularmente la más baja de la estación de invierno. En decimocuarto lugar, continúa ZCL-G (Cuerpos de agua), que presenta una mediana correspondiente a  $-1,93^{\circ}\text{C}$ . Sus intensidades oscilan entre  $-2,74^{\circ}\text{C}$  y  $0,73^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR alcanza  $0,91^{\circ}\text{C}$ . En decimoquinto lugar, se presenta ZCL-4, también

denominada Abierto de gran altura, la cual presenta una mediana de  $-2,18^{\circ}\text{C}$ , y cuyas intensidades de ICUs varían entre  $-2,47^{\circ}\text{C}$  y  $0,38^{\circ}\text{C}$ . Por su parte el IQR corresponde a  $0,26^{\circ}\text{C}$ . En decimosexto lugar, continúa ZCL-1 (Compacto de gran altura), que presenta una mediana que alcanza  $-2,30^{\circ}\text{C}$ . Las intensidades de islas de calor urbano superficial aquí fluctúan entre un mínimo de  $-4,18^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $0,73^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR corresponde a  $0,55^{\circ}\text{C}$ . Finalmente, le sigue ZCL-E, también denominado Suelo rocoso o pavimentado, con una mediana que asciende a  $-4,75^{\circ}\text{C}$ , que corresponde a la decimoséptima más alta de invierno en orden decreciente, por lo tanto, constituyéndose como la serie con las intensidades más bajas de ICUs en invierno. Se presenta además un valor mínimo de  $-5,76^{\circ}\text{C}$  y un valor máximo de  $0,68^{\circ}\text{C}$ , mientras que el IQR corresponde a  $1,40^{\circ}\text{C}$ .

En lo que respecta a la **primavera diurna**, es posible evidenciar que la serie ZCL-7, correspondiente a Peso ligero de baja altura, es la serie que presenta mayor intensidad de ICUs -al igual que en verano, otoño e invierno- teniendo en cuenta los valores de las medianas, la cual en este caso asciende a  $-0,40^{\circ}\text{C}$ . Sus valores de intensidad mínima llegan a  $-5,21^{\circ}\text{C}$  y una máxima de  $0,03^{\circ}\text{C}$ . No obstante, el rango intercuartil (IQR) se sitúa en  $0,68^{\circ}\text{C}$ , dando cuenta de una dispersión baja de los datos. En segundo lugar, se encuentra ZCL-F (Suelo desnudo o arena), que presenta una mediana correspondiente a  $-0,77^{\circ}\text{C}$ . Sus intensidades oscilan entre  $-10,31^{\circ}\text{C}$  y  $1,62^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR alcanza  $2,38^{\circ}\text{C}$ , evidenciando una dispersión de los datos mayor que en ZCL-7, pero baja de todas formas en comparación con las demás series, y pese a presentar un rango de gran amplitud. En tercer lugar, se presenta ZCL-C, también denominada Matorral o arbusto, la cual presenta una mediana de  $-1,94^{\circ}\text{C}$ , y cuyas intensidades de ICUs varían entre  $-12,12^{\circ}\text{C}$  y  $1,58^{\circ}\text{C}$ . Por su parte el IQR corresponde a  $2,5^{\circ}\text{C}$ , dando cuenta de una dispersión de los datos mayor que ZCL-7, y muy similar al caso de ZCL-F. En cuarto lugar, se ubica ZCL-8 (Extensivo de baja altura), que presenta una mediana que alcanza  $-2,18^{\circ}\text{C}$ . Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de  $-11,85^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $0,43^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR corresponde a  $3,77^{\circ}\text{C}$ , evidenciando una gran dispersión de los datos, más precisamente, la dispersión más alta entre todas las series en primavera. En quinto lugar, aparece ZCL-D, o Cobertura vegetal baja, con una mediana que asciende a  $-2,52^{\circ}\text{C}$ . Se presenta un valor mínimo de  $-8,94^{\circ}\text{C}$  y un valor máximo de  $1,21^{\circ}\text{C}$ , mientras que el IQR corresponde a  $2,75^{\circ}\text{C}$ . En sexto lugar se ubica ZCL-9, correspondiente a Escasamente construido, cuya mediana registra  $-2,53^{\circ}\text{C}$ , con intensidades de ICUs que van desde  $-11,52^{\circ}\text{C}$  a  $0,69^{\circ}\text{C}$ , y un IQR de  $3,49^{\circ}\text{C}$ . En séptimo lugar se identifica ZCL-3, correspondiente a Compacto de baja altura, cuya mediana asciende a  $-2,79^{\circ}\text{C}$ . Sus valores de intensidad mínima llegan a  $-11,87^{\circ}\text{C}$  y una máxima de  $0,55^{\circ}\text{C}$ . No obstante, el rango intercuartil se sitúa en  $2,72^{\circ}\text{C}$ . En octavo lugar, le sigue ZCL-6 (Abierto de baja altura), que presenta una mediana correspondiente a  $-2,80^{\circ}\text{C}$ . Sus intensidades oscilan entre  $-11,87^{\circ}\text{C}$  y  $0,54^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR alcanza  $3,22^{\circ}\text{C}$ . En noveno lugar, se presenta ZCL-B, también denominada Vegetación dispersa, la cual presenta una mediana de  $-2,84^{\circ}\text{C}$ , y cuyas intensidades de ICUs varían entre  $-8,03^{\circ}\text{C}$  y  $0,51^{\circ}\text{C}$ . Por su parte el IQR corresponde a  $3,33^{\circ}\text{C}$ . En décimo lugar, se ubica ZCL-5 (Abierto de media altura), que presenta una mediana que alcanza  $-3,07^{\circ}\text{C}$ . Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de  $-5,66^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $0,31^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR corresponde a  $1,22^{\circ}\text{C}$ . En undécimo lugar, se identifica ZCL-A, o Vegetación densa, con una mediana que asciende a

-3,11°C. Se presenta un valor mínimo de -6,59°C y un valor máximo de 0,38°C, mientras que el IQR corresponde a 0,33°C. En duodécimo lugar se ubica ZCL-2, correspondiente a Compacto de mediana altura, cuya mediana registra -4,42°C, con intensidades de ICUs que van desde -7,55°C a 0,43°C, y un IQR de 3,43°C. En decimotercer lugar se identifica ZCL-10, correspondiente a Industria, cuya mediana asciende a -4,89°C. Sus valores de intensidad mínima llegan a -5,25°C y una máxima de -4,50°C. No obstante, el rango intercuartil se sitúa en 0,24°C, dando cuenta de una dispersión baja de los datos; particularmente la más baja de la estación de primavera. En decimocuarto lugar, continúa ZCL-G (Cuerpos de agua), que presenta una mediana correspondiente a -5,80°C. Sus intensidades oscilan entre -8,21°C y 0,25°C. En tanto, el IQR alcanza 1,54°C. En decimoquinto lugar, se presenta ZCL-4, también denominada Abierto de gran altura, la cual presenta una mediana de -6,50°C, y cuyas intensidades de ICUs varían entre -7,28°C y 0,14°C. Por su parte el IQR corresponde a 0,55°C. En decimosexto lugar, continúa ZCL-1 (Compacto de gran altura), que presenta una mediana que alcanza -6,58°C. Las intensidades de islas de calor urbano superficial aquí fluctúan entre un mínimo de -9,02°C y un máximo de -0,90°C. En tanto, el IQR corresponde a 0,99°C. Finalmente, le sigue ZCL-E, también denominado Suelo rocoso o pavimentado, con una mediana que asciende a -10,25°C, que corresponde a la decimoséptima más alta de primavera en orden decreciente, por lo tanto, constituyéndose como la serie con las intensidades más bajas de ICUs en primavera. Se presenta además un valor mínimo de -12,47°C y un valor máximo de -0,80°C, mientras que el IQR corresponde a 3,02°C.

En vista de lo anterior, es posible señalar que, en todas las estaciones del año, durante el día, se identifica a modo general, un patrón similar de intensidades de ICUs según cada ZCL. Lo anterior, en vista que, en verano, otoño, invierno y primavera, se presentan series en común con las mayores intensidades de ICUs, destacando principalmente aquellas series construidas o naturales, en las que predominan las cubiertas de suelos desnudos, o áridos con escasa o nula vegetación; esto debido a un mayor calentamiento en este tipo de suelos, dado que el suelo infértil es más propenso a la radiación.

Tal es el caso de ZCL-7, correspondiente a Peso ligero de baja altura, que se constituye como la serie que alcanza los valores más elevados en todas las estaciones, siendo mayor en invierno y más débil en verano. Este hecho podría explicarse por la combinación de dos factores: en primer lugar, el fenómeno de reflectancia, en vista de los materiales de construcción particulares empleados en este tipo de construcciones; entendiéndose que esta serie construida corresponde principalmente al emplazamiento de campamentos habitacionales en el área de estudio. Dado que otra de las características de esta serie son las coberturas de suelo permeables, es que surge el segundo factor, asociado al tipo de suelo predominante y sus características, que en este caso corresponde a tierra compacta, y sin vegetación.

En consideración de esto último, es que también ZCL-F se constituye como la segunda serie con las mayores intensidades de ICUs en las cuatro estaciones del año, pero con valores superiores en invierno y más débiles en verano. Esta serie corresponde a Suelo desnudo o arena, con características de suelo similares al caso anterior, en cuanto a permeabilidad, compactación y ausencia de vegetación. Esta tendencia se evidencia también en ZCL-C (Matorral o arbusto)

cuya composición en el área de estudio, corresponde principalmente a suelos permeables con características similares a las anteriormente mencionadas, y que pese a presentar vegetación, esta es principalmente cactáceas y hierbas de baja altura y dispersas, dada la condición árida latitudinal del área de estudio. Esta serie se presenta como la tercera más intensa en verano, otoño y primavera, sin embargo, baja considerablemente en invierno, lo cual se explica por la humedad estacional que deviene en un mayor desarrollo herbáceo en la época invernal; que a su vez es más bajo en verano. Por el contrario, ZCL-A correspondiente a Vegetación densa, se posiciona como la tercera serie con mayor intensidad de ICUs en invierno, no obstante, baja considerablemente en otoño, y aún más en primavera y verano, dando cuenta de la presencia de especies de follaje caduco en esta serie, que propicia suelos más desnudos en la estación de invierno. Este fenómeno se replica en la serie ZCL-9 o Escasamente construido, que se constituye como la cuarta serie más intensa en invierno, no obstante, en verano decrece bastante, lo cual se explica también por la presencia de especies caducifolias en las parcelas de agrado, que componen el principal rango de esta serie. Así también ZCL-D, correspondiente a Cobertura vegetal baja, presenta valores medianamente elevados de ICUs, que son más altos en verano y más bajos en invierno. Esto debido a que los periodos de siembra y cosecha, generan una cobertura vegetal más continua en invierno, y más árida en verano, donde se aprecian mayormente terrenos en barbecho.

Por su parte, las series que presentan los valores más bajos de ICUs también coinciden en todas las estaciones. No obstante, son más extremos en verano y menos en invierno. Tal es el caso de ZCL-E (Suelo rocoso o pavimentado), que se presenta principalmente emplazado en el borde costero rocoso de Coquimbo, así como en superficies pavimentadas del interior como el aeropuerto, entre otras, se constituye como la serie más fría en verano, otoño, invierno y primavera. Esto se explica debido a la capacidad de almacenar calor que posee este material, ya que durante el día requiere de más tiempo para calentarse al recibir la radiación, en comparación con sus alrededores. Dado su emplazamiento, además, se encuentra en la primera línea de choque con la brisa marina. Algo similar ocurre con ZCL-1 y ZCL-4, correspondientes a Compacto de gran altura y Abierto de gran altura, respectivamente, que también presentan los valores más bajos de ICUs en horario diurno, lo cual se explica principalmente por su emplazamiento directo en el borde costero, así como también por otros factores, tales como la materialidad. Al igual que en ZCL-E, los materiales como el hormigón o acero, absorben la radiación durante el día, tardando más en calentarse. Así mismo, las condiciones de sombra debido a la altitud de las construcciones, así como el porcentaje de cielo visible, propician un calentamiento más bajo durante el día. Algo similar ocurre en ZCL-10 (Industria), ZCL-2 y ZCL-5, donde prevalecen -en menor escala- las condiciones de altura de las construcciones, sombra y porcentaje de cielo visible.

De igual forma, en todas las estaciones, es posible apreciar a ZCL-G correspondiente a Cuerpos de agua, presenta valores bastante bajos de ICUs, lo cual responde directamente a las condiciones de humedad, que mitigan las altas temperaturas.

#### 4.4.2 Intensidades nocturnas por estación según ZCL

En primera instancia, al observar la Figura N°14, que expone la relación entre la intensidad de islas de calor urbano superficial nocturnas con las Zonas Climáticas Locales del área de estudio, es posible señalar que existe una evidente relación entre la intensidad de ICUs con la distribución de las Zonas Climáticas locales en la conurbación La Serena-Coquimbo. En este horario, a diferencia del horario diurno, destaca la predominancia de islas de calor, existiendo también islas de frescor, pero más débiles que en el día, junto a una brecha mucho menor entre las intensidades mínimas y máximas. En este contexto, destaca nuevamente la estación de invierno, cuyas islas de calor alcanzan niveles más altos en la noche. Le sigue el otoño, luego la primavera, y por último el verano.

Esto se constata tras observar las medianas, que en invierno se consolidan con valores mucho más elevados. Lo anterior, replica la tendencia que se constató con anterioridad (en la Figura N°7), en la cual la jerarquía estacional de las intensidades de ICUs, coincide con la evidenciada en esta etapa. Sin embargo, en cuanto a los rangos intercuartiles, a diferencia del día, el invierno, a modo general, tiende a presentar valores más altos que en el horario diurno, así como también más elevados que las demás estaciones, dando cuenta de una mayor dispersión de los datos. Este fenómeno se reproduce en todas las series observadas.

**Figura 14: Intensidad de ICUs e IFUs nocturnas de Verano, Otoño, Invierno y Primavera según ZCL**



*Fuente: Elaboración propia, 2022.*

Así mismo, más precisamente a nivel de cada estación del año, en **verano nocturno** es posible evidenciar que la serie ZCL-1, correspondiente a Compacto de gran altura, es la serie que presenta mayor intensidad de ICUs, teniendo en cuenta los valores de las medianas, la cual asciende a 1,10°C (ver Anexo N°6). Sus valores de intensidad mínima llegan a 0,76°C y una



máxima de 1,64°C. No obstante, el rango intercuartil (IQR) se sitúa en 0,27°C, dando cuenta de una dispersión baja de los datos. En segundo lugar, se encuentra ZCL-5 (Abierto de media altura), que presenta la segunda mediana más alta en esta estación, correspondiente a 1,08°C. Sus intensidades oscilan entre -0,13°C y 1,63°C. En tanto, el IQR alcanza 0,17°C, evidenciando una dispersión baja igualmente, pero aún más leve que en ZCL-1. En tercer lugar, se presenta ZCL-4, también denominada Abierto de gran altura, la cual presenta una mediana de 1,04°C, y cuyas intensidades de ICUs varían entre 0,06°C y 1,63°C. Por su parte el IQR corresponde a 0,36°C, dando cuenta de una dispersión de los datos mayor que ZCL-1 y ZCL-5, pero bastante baja de todas formas. En cuarto lugar, se ubica ZCL-10 (Industria), que presenta una mediana que alcanza 1,03°C. Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de 0,97°C y un máximo de 1,16°C. En tanto, el IQR corresponde a 0,07°C, evidenciando una baja dispersión de los datos, más precisamente, la dispersión más baja entre todas las series en verano. En quinto lugar, aparece ZCL-G, o Cuerpos de agua, con una mediana que asciende a 0,98°C. Se presenta un valor mínimo de -0,50°C y un valor máximo de 1,11°C, mientras que el IQR corresponde a 1,03°C. En sexto lugar se ubica ZCL-2, correspondiente a Compacto de media altura, cuya mediana registra 0,96°C, con intensidades de ICUs que van desde 0,16°C a 1,66°C, y un IQR de 0,27°C. En séptimo lugar se identifica ZCL-E, correspondiente a Suelo rocoso o pavimentado, cuya mediana asciende a 0,92°C. Sus valores de intensidad mínima llegan a -0,28°C y una máxima de 1,34°C. No obstante, el rango intercuartil se sitúa en 0,14. En octavo lugar, le sigue ZCL-3 (Compacto de baja altura), que presenta una mediana correspondiente a 0,89°C. Sus intensidades oscilan entre -0,53°C y 1,66°C. En tanto, el IQR alcanza 0,43°C. En noveno lugar, se presenta ZCL-A, también denominada Vegetación densa, la cual presenta una mediana de 0,89°C, y cuyas intensidades de ICUs varían entre -0,31°C y 1,28°C. Por su parte el IQR corresponde a 1,24°C, evidenciando la mayor dispersión de los datos en esta estación, y en horario nocturno. En décimo lugar, se ubica ZCL-8 (Extensivo de baja altura), que presenta una mediana que alcanza 0,87°C. Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de -0,33°C y un máximo de 1,58°C. En tanto, el IQR corresponde a 0,48°C. En undécimo lugar, se identifica ZCL-B, o Vegetación dispersa, con una mediana que asciende a 0,81°C. Se presenta un valor mínimo de -0,74°C y un valor máximo de 1,63°C, mientras que el IQR corresponde a 0,75°C. En duodécimo lugar se ubica ZCL-6, correspondiente a Abierto de baja altura, cuya mediana registra 0,78°C, con intensidades de ICUs que van desde -0,66°C a 1,62°C, y un IQR de 0,51°C. En decimotercer lugar se identifica ZCL-7, correspondiente a Peso ligero de baja altura, cuya mediana asciende a 0,59°C. Sus valores de intensidad mínima llegan a -0,19°C y una máxima de 0,90°C. No obstante, el rango intercuartil se sitúa en 0,12°C. En decimocuarto lugar, continúa ZCL-C (Matorral o arbusto), que presenta una mediana correspondiente a 0,54°C. Sus intensidades oscilan entre -0,79°C y 1,63°C. En tanto, el IQR alcanza 0,63°C. En decimoquinto lugar, se presenta ZCL-9, también denominada Escasamente construido, la cual presenta una mediana de 0,48°C, y cuyas intensidades de ICUs varían entre -0,42°C y 1,61°C. Por su parte el IQR corresponde a 0,75°C. En decimosexto lugar, continúa ZCL-F (Suelo desnudo o arena), que presenta una mediana que alcanza 0,28°C. Las intensidades de islas de calor urbano superficial aquí fluctúan entre un mínimo de -0,79°C y un máximo de 1,66°C. En tanto, el IQR corresponde a 1,08°C. Finalmente, le sigue ZCL-D, también denominado Cobertura vegetal baja, con una mediana que asciende a 0,27°C, que

corresponde a la decimoséptima más alta de verano nocturno en orden decreciente, y por lo tanto, constituyéndose como la serie con las intensidades más bajas de ICUs en verano. Se presenta además un valor mínimo de  $-0,95^{\circ}\text{C}$  y un valor máximo de  $1,65^{\circ}\text{C}$ , mientras que el IQR corresponde a  $1,11^{\circ}\text{C}$ .

En cuanto a la estación de **otoño nocturno** es posible evidenciar que la serie ZCL-E, correspondiente a Suelo rocoso o pavimentado, es la serie que presenta mayor intensidad de ICUs, teniendo en cuenta los valores de las medianas, la cual asciende a  $1,82^{\circ}\text{C}$ . Sus valores de intensidad mínima llegan a  $-0,33^{\circ}\text{C}$  y una máxima de  $2,12^{\circ}\text{C}$ . No obstante, el rango intercuartil (IQR) se sitúa en  $0,44^{\circ}\text{C}$ , dando cuenta de una dispersión baja de los datos. En segundo lugar, se encuentra ZCL-1 (Compacto de gran altura), que presenta la segunda mediana más alta en esta estación, correspondiente a  $1,51^{\circ}\text{C}$ . Sus intensidades oscilan entre  $0,69^{\circ}\text{C}$  y  $2,23^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR alcanza  $0,19^{\circ}\text{C}$ , evidenciando una dispersión baja igualmente, pero aún más leve que en ZCL-E. En tercer lugar, se presenta ZCL-4, también denominada Abierto de gran altura, la cual presenta una mediana de  $1,46^{\circ}\text{C}$ , y cuyas intensidades de ICUs varían entre  $-0,50^{\circ}\text{C}$  y  $1,97^{\circ}\text{C}$ . Por su parte el IQR corresponde a  $0,67^{\circ}\text{C}$ , dando cuenta de una dispersión de los datos mayor que ZCL-E y ZCL-1, pero baja de todas formas. En cuarto lugar, se ubica ZCL-2 (Compacto de media altura), que presenta una mediana que alcanza  $1,30^{\circ}\text{C}$ . Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de  $-0,31^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $1,80^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR corresponde a  $0,54^{\circ}\text{C}$ . En quinto lugar, aparece ZCL-5, o Abierto de media altura, con una mediana que asciende a  $1,28^{\circ}\text{C}$ . Se presenta un valor mínimo de  $0,05^{\circ}\text{C}$  y un valor máximo de  $1,80^{\circ}\text{C}$ , mientras que el IQR corresponde a  $0,33^{\circ}\text{C}$ . En sexto lugar se ubica ZCL-10, correspondiente a Industria, cuya mediana registra  $1,28^{\circ}\text{C}$ , con intensidades de ICUs que van desde  $1,22^{\circ}\text{C}$  a  $1,43^{\circ}\text{C}$ , y un IQR de  $0,10^{\circ}\text{C}$ , dando cuenta de la dispersión más baja de los datos en otoño nocturno. En séptimo lugar se identifica ZCL-G, correspondiente a Cuerpos de agua, cuya mediana asciende a  $1,15^{\circ}\text{C}$ . Sus valores de intensidad mínima llegan a  $-0,78^{\circ}\text{C}$  y una máxima de  $1,68^{\circ}\text{C}$ . No obstante, el rango intercuartil se sitúa en  $0,93$ . En octavo lugar, le sigue ZCL-3 (Compacto de baja altura), que presenta una mediana correspondiente a  $1,06^{\circ}\text{C}$ . Sus intensidades oscilan entre  $-1,05^{\circ}\text{C}$  y  $1,98^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR alcanza  $0,67^{\circ}\text{C}$ . En noveno lugar, se presenta ZCL-8, también denominada Extensivo de baja altura, la cual presenta una mediana de  $1,00^{\circ}\text{C}$ , y cuyas intensidades de ICUs varían entre  $-0,39^{\circ}\text{C}$  y  $2,03^{\circ}\text{C}$ . Por su parte el IQR corresponde a  $0,96^{\circ}\text{C}$ . En décimo lugar, se ubica ZCL-A (Vegetación densa), que presenta una mediana que alcanza  $0,95^{\circ}\text{C}$ . Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de  $-0,25^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $1,58^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR corresponde a  $1,44^{\circ}\text{C}$ . En undécimo lugar, se identifica ZCL-6, o Abierto de baja altura, con una mediana que asciende a  $0,87^{\circ}\text{C}$ . Se presenta un valor mínimo de  $-1,03^{\circ}\text{C}$  y un valor máximo de  $1,98^{\circ}\text{C}$ , mientras que el IQR corresponde a  $0,80^{\circ}\text{C}$ . En duodécimo lugar se ubica ZCL-C, correspondiente a Matorral o arbusto, cuya mediana registra  $0,60^{\circ}\text{C}$ , con intensidades de ICUs que van desde  $-0,98^{\circ}\text{C}$  a  $2,04^{\circ}\text{C}$ , y un IQR de  $0,82^{\circ}\text{C}$ . En decimotercer lugar se identifica ZCL-B, correspondiente a Vegetación dispersa, cuya mediana asciende a  $0,60^{\circ}\text{C}$ . Sus valores de intensidad mínima llegan a  $-1,37^{\circ}\text{C}$  y una máxima de  $2,20^{\circ}\text{C}$ . No obstante, el rango intercuartil se sitúa en  $1,25^{\circ}\text{C}$ . En decimocuarto lugar, continúa ZCL-7 (Peso ligero de baja altura), que presenta una mediana correspondiente a  $0,59^{\circ}\text{C}$ . Sus intensidades oscilan entre

-0,39°C y 1,25°C. En tanto, el IQR alcanza 0,47°C. En decimoquinto lugar, se presenta ZCL-9, también denominada Escasamente construido, la cual presenta una mediana de 0,56°C, y cuyas intensidades de ICUs varían entre -0,89°C y 2,17°C. Por su parte el IQR corresponde a 1,06°C. En decimosexto lugar, continúa ZCL-D (Cobertura vegetal baja), que presenta una mediana que alcanza 0,33°C. Las intensidades de islas de calor urbano superficial aquí fluctúan entre un mínimo de -1,52°C y un máximo de 2,01°C. En tanto, el IQR corresponde a 1,56°C, evidenciando la dispersión más alta de los datos en esta estación. Finalmente, le sigue ZCL-F, también denominado Suelo desnudo o arena, con una mediana que asciende a 0,25°C, que corresponde a la decimoséptima más alta de otoño nocturno en orden decreciente, y por lo tanto, constituyéndose como la serie con las intensidades más bajas de ICUs en esta estación. Se presenta además un valor mínimo de -1,20°C y un valor máximo de 1,84°C, mientras que el IQR corresponde a 1,08°C.

En lo que concierne a la estación de **invierno nocturno** es posible evidenciar que la serie ZCL-E, correspondiente a Suelo rocoso o pavimentado, es la serie que presenta mayor intensidad de ICUs, teniendo en cuenta los valores de las medianas, la cual asciende a 2,60°C. Sus valores de intensidad mínima llegan a -0,18°C y una máxima de 3,21°C. No obstante, el rango intercuartil (IQR) se sitúa en 0,66°C, dando cuenta de una dispersión baja de los datos. En segundo lugar, se encuentra ZCL-1 (Compacto de gran altura), que presenta la segunda mediana más alta en esta estación, correspondiente a 1,88°C. Sus intensidades oscilan entre 0,76°C y 2,64°C. En tanto, el IQR alcanza 0,44°C, evidenciando una dispersión baja igualmente, pero aún más leve que en ZCL-E. En tercer lugar, se presenta ZCL-4, también denominada Abierto de gran altura, la cual presenta una mediana de 1,60°C, y cuyas intensidades de ICUs varían entre -0,30°C y 2,34°C. Por su parte el IQR corresponde a 1,09°C, dando cuenta de una dispersión de los datos mayor que ZCL-E y ZCL-1. En cuarto lugar, se ubica ZCL-2 (Compacto de media altura), que presenta una mediana que alcanza 1,45°C. Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de -0,19°C y un máximo de 2,21°C. En tanto, el IQR corresponde a 0,69°C. En quinto lugar, aparece ZCL-10, o Industria, con una mediana que asciende a 1,43°C. Se presenta un valor mínimo de 1,37°C y un valor máximo de 1,52°C, mientras que el IQR corresponde a 0,05°C, dando cuenta de la dispersión más baja de los datos en invierno nocturno. En sexto lugar se ubica ZCL-5, correspondiente a Abierto de media altura, cuya mediana registra 1,37°C, con intensidades de ICUs que van desde 0,09°C a 1,93°C, y un IQR de 0,35°C. En séptimo lugar se identifica ZCL-3, correspondiente a Compacto de baja altura, cuya mediana asciende a 1,17°C. Sus valores de intensidad mínima llegan a -0,76°C y una máxima de 2,90°C. No obstante, el rango intercuartil se sitúa en 0,67°C. En octavo lugar, le sigue ZCL-7 (Peso ligero de baja altura), que presenta una mediana correspondiente a 1,12°C. Sus intensidades oscilan entre -0,08°C y 1,86°C. En tanto, el IQR alcanza 0,66°C. En noveno lugar, se presenta ZCL-8, también denominada Extensivo de baja altura, la cual presenta una mediana de 1,09°C, y cuyas intensidades de ICUs varían entre -0,21°C y 3,09°C. Por su parte el IQR corresponde a 1,05°C. En décimo lugar, se ubica ZCL-6 (Abierto de baja altura), que presenta una mediana que alcanza 1,05°C. Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de -0,74°C y un máximo de 2,83°C. En tanto, el IQR corresponde a 0,80°C. En undécimo lugar, se identifica ZCL-G o Cuerpos de agua, con una mediana que asciende a

1,04°C. Se presenta un valor mínimo de -0,51°C y un valor máximo de 2,26°C, mientras que el IQR corresponde a 0,55°C. En duodécimo lugar se ubica ZCL-A, correspondiente a Vegetación densa, cuya mediana registra 1,01°C, con intensidades de ICUs que van desde -0,02°C a 1,91°C, y un IQR de 1,15°C. En decimotercer lugar se identifica ZCL-B, correspondiente a Vegetación dispersa, cuya mediana asciende a 0,91°C. Sus valores de intensidad mínima llegan a -0,94°C y una máxima de 2,60°C. No obstante, el rango intercuartil se sitúa en 1,11°C. En decimocuarto lugar, continúa ZCL-C (Matorral o arbusto), que presenta una mediana correspondiente a 0,90°C. Sus intensidades oscilan entre -0,71°C y 3,07°C. En tanto, el IQR alcanza 0,86°C. En decimoquinto lugar, se presenta ZCL-9, también denominada Escasamente construido, la cual presenta una mediana de 0,87°C, y cuyas intensidades de ICUs varían entre -0,62°C y 2,82°C. Por su parte el IQR corresponde a 1,17°C. En decimosexto lugar, continúa ZCL-D (Cobertura vegetal baja), que presenta una mediana que alcanza 0,56°C. Las intensidades de islas de calor urbano superficial aquí fluctúan entre un mínimo de -1,03°C y un máximo de 2,36°C. En tanto, el IQR corresponde a 1,59°C, evidenciando la dispersión más alta de los datos en esta estación. Finalmente, le sigue ZCL-F, también denominado Suelo desnudo o arena, con una mediana que asciende a 0,50°C, que corresponde a la decimoséptima más alta de invierno nocturno en orden decreciente, y por lo tanto, constituyéndose como la serie con las intensidades más bajas de ICUs en esta estación. Se presenta además un valor mínimo de -0,86°C y un valor máximo de 2,66°C, mientras que el IQR corresponde a 0,99°C.

En lo que concierne a la estación de **primavera nocturna** es posible evidenciar que la serie ZCL-E, correspondiente a Suelo rocoso o pavimentado, es la serie que presenta mayor intensidad de ICUs, teniendo en cuenta los valores de las medianas, la cual asciende a 1,83°C. Sus valores de intensidad mínima llegan a -0,20°C y una máxima de 2,08°C. No obstante, el rango intercuartil (IQR) se sitúa en 0,45°C, dando cuenta de una dispersión baja de los datos. En segundo lugar, se encuentra ZCL-1 (Compacto de gran altura), que presenta la segunda mediana más alta en esta estación, correspondiente a 1,66°C. Sus intensidades oscilan entre 0,77°C y 2,38°C. En tanto, el IQR alcanza 0,31°C, evidenciando una dispersión baja igualmente, pero aún más leve que en ZCL-E. En tercer lugar, se presenta ZCL-4, también denominada Abierto de gran altura, la cual presenta una mediana de 1,59°C, y cuyas intensidades de ICUs varían entre -0,29°C y 2,11°C. Por su parte el IQR corresponde a 0,71°C, dando cuenta de una dispersión de los datos mayor que ZCL-E y ZCL-1, pero baja de todas formas. En cuarto lugar, se ubica ZCL-10 (Industria), que presenta una mediana que alcanza 1,43°C. Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de 1,39°C y un máximo de 1,52°C. En tanto, el IQR corresponde a 0,06°C, dando cuenta de la dispersión más baja de los datos en primavera nocturna. En quinto lugar, aparece ZCL-5, o Abierto de media altura, con una mediana que asciende a 1,35°C. Se presenta un valor mínimo de 0,22°C y un valor máximo de 1,88°C, mientras que el IQR corresponde a 0,37°C. En sexto lugar se ubica ZCL-2, correspondiente a Compacto de media altura, cuya mediana registra 1,31°C, con intensidades de ICUs que van desde -0,08°C a 1,97°C, y un IQR de 0,54°C. En séptimo lugar se identifica ZCL-G, correspondiente a Cuerpos de agua, cuya mediana asciende a 1,27°C. Sus valores de intensidad mínima llegan a -0,69°C y una máxima de 1,83°C. No obstante, el rango intercuartil se sitúa en 0,95°C. En octavo lugar, le sigue ZCL-3 (Compacto de baja altura), que presenta una mediana correspondiente a 1,12°C. Sus

intensidades oscilan entre  $-0,86^{\circ}\text{C}$  y  $1,91^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR alcanza  $0,63^{\circ}\text{C}$ . En noveno lugar, se presenta ZCL-8, también denominada Extensivo de baja altura, la cual presenta una mediana de  $1,06^{\circ}\text{C}$ , y cuyas intensidades de ICUs varían entre  $-0,25^{\circ}\text{C}$  y  $2,15^{\circ}\text{C}$ . Por su parte el IQR corresponde a  $0,91^{\circ}\text{C}$ . En décimo lugar, se ubica ZCL-A (Vegetación densa), que presenta una mediana que alcanza  $0,99^{\circ}\text{C}$ . Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de  $-0,16^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $1,74^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR corresponde a  $1,43^{\circ}\text{C}$ . En undécimo lugar, se identifica ZCL-6 o Abierto baja de altura, con una mediana que asciende a  $0,92^{\circ}\text{C}$ . Se presenta un valor mínimo de  $-0,88^{\circ}\text{C}$  y un valor máximo de  $2,09^{\circ}\text{C}$ , mientras que el IQR corresponde a  $0,77^{\circ}\text{C}$ . En duodécimo lugar se ubica ZCL-B, correspondiente a Vegetación dispersa, cuya mediana registra  $0,85^{\circ}\text{C}$ , con intensidades de ICUs que van desde  $-1,11^{\circ}\text{C}$  a  $2,35^{\circ}\text{C}$ , y un IQR de  $1,13^{\circ}\text{C}$ . En decimotercer lugar se identifica ZCL-C, correspondiente a Matorral o arbusto, cuya mediana asciende a  $0,76^{\circ}\text{C}$ . Sus valores de intensidad mínima llegan a  $-0,82^{\circ}\text{C}$  y una máxima de  $2,01^{\circ}\text{C}$ . No obstante, el rango intercuartil se sitúa en  $0,68^{\circ}\text{C}$ . En decimocuarto lugar, continúa ZCL-7 (Peso ligero de baja altura), que presenta una mediana correspondiente a  $0,74^{\circ}\text{C}$ . Sus intensidades oscilan entre  $-0,30^{\circ}\text{C}$  y  $1,30^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR alcanza  $0,35^{\circ}\text{C}$ . En decimoquinto lugar, se presenta ZCL-9, también denominada Escasamente construido, la cual presenta una mediana de  $0,72^{\circ}\text{C}$ , y cuyas intensidades de ICUs varían entre  $-0,66^{\circ}\text{C}$  y  $2,31^{\circ}\text{C}$ . Por su parte el IQR corresponde a  $1,08^{\circ}\text{C}$ . En decimosexto lugar, continúa ZCL-D (Cobertura vegetal baja), que presenta una mediana que alcanza  $0,46^{\circ}\text{C}$ . Las intensidades de islas de calor urbano superficial aquí fluctúan entre un mínimo de  $-1,23^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $2,14^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR corresponde a  $1,52^{\circ}\text{C}$ , evidenciando la dispersión más alta de los datos en esta estación. Finalmente, le sigue ZCL-F, también denominado Suelo desnudo o arena, con una mediana que asciende a  $0,45^{\circ}\text{C}$ , que corresponde a la decimoséptima más alta de primavera nocturna en orden decreciente, y, por lo tanto, constituyéndose como la serie con las intensidades más bajas de ICUs en esta estación. Se presenta además un valor mínimo de  $-1,00^{\circ}\text{C}$  y un valor máximo de  $1,90^{\circ}\text{C}$ , mientras que el IQR corresponde a  $1,10^{\circ}\text{C}$ .

En vista de lo anterior, es posible señalar que, en todas las estaciones del año, durante la noche, se identifica a modo general, un patrón similar de intensidades de ICUs según cada ZCL. Lo anterior, en vista que en verano, otoño, invierno y primavera, se presentan series en común con las mayores intensidades de ICUs, destacando principalmente aquellas series en las que predominan las cubiertas de suelo impermeable, pavimentado, con poca o nula vegetación, y también con construcciones de mayor altura; esto debido a la capacidad de absorber y almacenar la radiación durante el día (presentando altos niveles de isla de frescor), y que en la noche liberan de manera tal, que se presentan las islas de calor más fuertes en dicho horario.

Tal es el caso de ZCL-E, correspondiente a Suelo rocoso o pavimentado, que se presenta como la serie con mayores intensidades en otoño, invierno y primavera. Esto debido a lo señalado anteriormente, cuyo almacenaje de calor durante el día, se libera hacia la atmósfera lentamente durante la noche, generando las islas de calor más intensas en dichas locaciones. Sin embargo, en la estación de verano esta serie presenta valores drásticamente más bajos, que la posicionan por debajo de otras. Esto debido a un calentamiento aún más drástico de otras series en verano, particularmente de aquellas que presentan edificios de gran altura, posicionando a ZCL-E por

debajo de ellas, y dando cuenta de una pérdida de calor más acelerada durante la noche en esta serie y estación, en comparación con las demás.

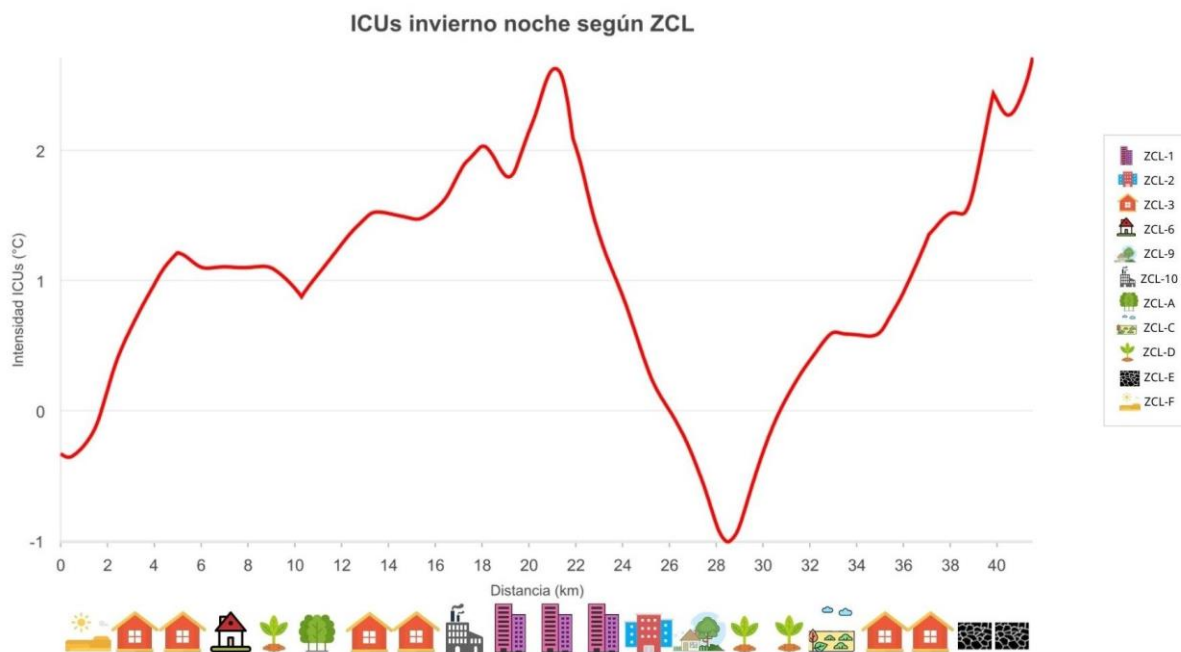
Por su parte, ZCL-1 también denominada Compacto de gran altura, se presenta cómo la serie con mayores intensidades de ICUs durante la noche en verano, y segunda en otoño, invierno y primavera. Esto también se debe a la liberación de calor durante el horario nocturno, acrecentado por la presencia densa de edificios de gran altura, cuyos materiales de construcción y sus suelos impermeabilizados, propician igualmente este fenómeno, que se replica bajo la misma lógica en ZCL-4 (Abierto de gran altura). Lo mismo se extrapola además a las construcciones compactas y abiertas de media altura como ZCL-2 y ZCL-4, cuyos valores de isla de calor urbano superficial se presentan igualmente de manera intensa, con valores ligeramente más bajos que en aquellas zonas de gran altura. Así mismo, ZCL-10 o Industria, presenta valores de ICUs menos intensos que en las series anteriores, pero bastante altos de todos modos. Esto debido a su condición de parque industrial, con vastas superficies pavimentadas, materiales propensos al almacenaje de radiación, y construcciones de mediana altura extensas y continuas. En consideración de lo anterior, es que las construcciones compactas y abiertas de baja altura, presentan intensidades medias de ICUs, dando cuenta de la relación directa entre la altura de la construcción, con el fenómeno de las islas de calor nocturnas.

Por su parte, las series que presentan los valores más bajos de ICUs también coinciden en todas las estaciones. No obstante, se evidencia un comportamiento opuesto a lo constatado durante el día, en vista que las series que presentan las intensidades más bajas de isla de calor en horario nocturno, corresponden justamente a aquellas series que durante el día presentaron los valores más cálidos. Tal es el caso de aquellas zonas con predominancia de suelos desnudos, o áridos con escasa o nula vegetación; esto debido a que, así como durante el día estos suelos son más propensos a la radiación, durante la noche pierden dicho calor con mayor rapidez.

En vista de lo anterior, ZCL-F o Suelo desnudo o arena, se constituye como la serie que presenta las intensidades más débiles en otoño, invierno y primavera. Por su parte, en verano, la serie de valores más bajos corresponde a ZCL-D o Cobertura vegetal baja, lo que se relaciona con el menor desarrollo vegetal herbáceo en esta época, así como una mayor cantidad de terrenos agrícolas en barbecho que propician un suelo más desnudo y seco; algo muy similar a lo ocurrido en ZCL-C (Matorral o arbusto). Así mismo, ZCL-9 (Escasamente construido) también presenta uno de los valores más bajos en todas las estaciones, junto con ZCL-7 (Peso ligero de baja altura), donde las coberturas de suelo que poseen, condicionan sus valores bajos de ICUs, que son ligeramente más altos que en las áreas totalmente desnudas, evidenciando un leve calentamiento producto de sus construcciones. Algo similar a lo ocurrido en ZCL-A y ZCL-B, donde la presencia de árboles de mayor tamaño y follaje presentan valores bajos igualmente, pero levemente superiores a aquellas zonas totalmente descubiertas o con vegetación más baja y dispersa. Esto último se evidencia en que ZCL-A presenta valores más bajos en la estación invernal, en comparación al verano, debido a que las especies caducifolias que presenta lo convierten en suelos más descubiertos en invierno.

Cabe destacar también, que ZCL-G, correspondiente a Cuerpos de agua, presenta sus valores más bajos en invierno, los cuales son considerablemente más elevados en verano, evidenciando la capacidad de calentamiento del agua durante el día, proporcional a la radiación directa que recibe en verano; generando una pérdida de calor más lenta en las noches de verano, y más rápida en invierno.

**Figura 15: Perfil térmico transecto conurbación La Serena-Coquimbo**



*Fuente: Elaboración propia, 2022.*

Lo anterior, se evidencia de manera más clara en la Figura N°15, la cual corresponde a un perfil térmico elaborado a partir de un transecto, donde es posible apreciar las diferentes temperaturas alcanzadas por la isla de calor en horario nocturno, precisamente en la estación de invierno. Así, es posible reconocer claramente un calentamiento mayor durante la noche tanto en las áreas edificadas de gran y media altura en tramo medio del transecto, así como en superficies rocosas del borde costero, al final del transecto. Por su parte los valores más bajos se registran en superficies mayormente vegetadas y/o de suelos desnudos. Lo cual se corresponde con lo evidenciado en etapas anteriores.

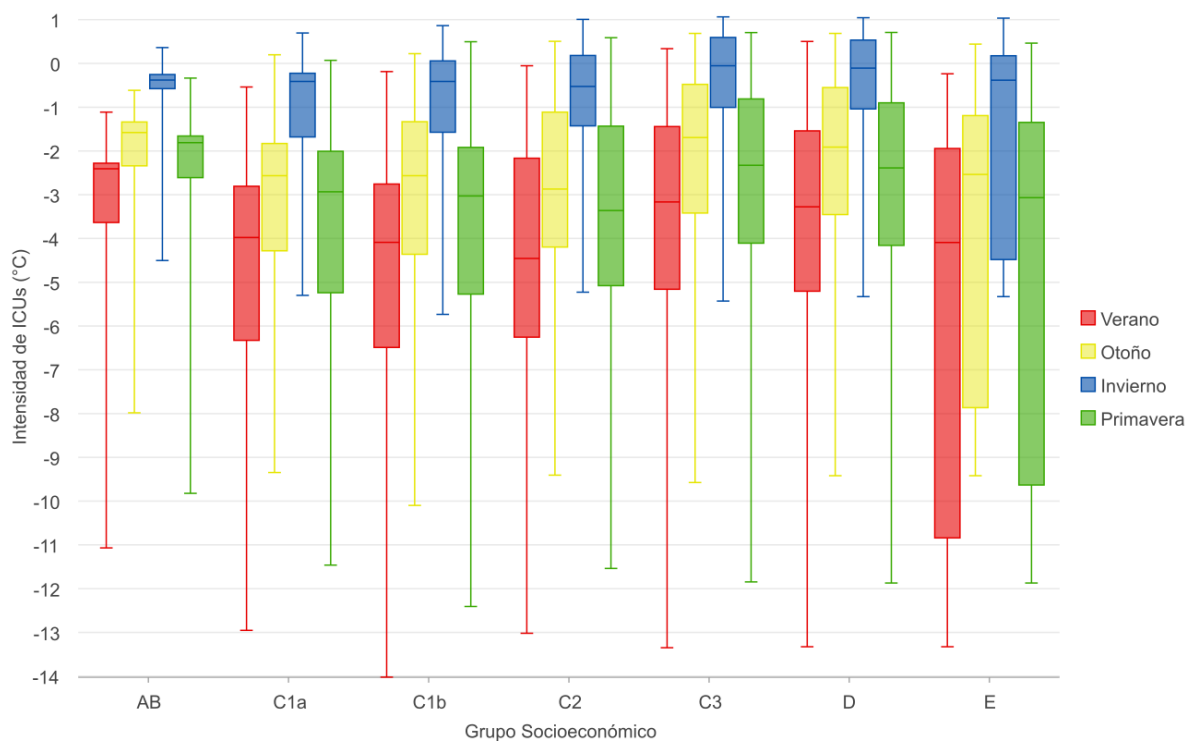
#### **4.5. Relación entre la distribución de islas de calor y frescor con los Grupos Socioeconómicos en la conurbación La Serena-Coquimbo**

##### **4.5.1 Intensidades diurnas por estación según GSE**

En primera instancia, al observar la Figura N°16, que expone la relación entre la intensidad de islas de calor urbano superficial diurnas con los grupos socioeconómicos en el área de estudio, es posible señalar que se aprecia una relación entre la intensidad de ICUs con la distribución de los grupos socioeconómicos en la conurbación La Serena-Coquimbo. Pese a destacar

nuevamente la predominancia de islas de frescor en horario diurno -lo cual se reconoce en todas las estaciones del año- destaca la estación de invierno, cuyas intensidades de ICUs son mayores en todos los grupos, representado principalmente en este caso, en islas de frescor bastante más débiles que en todas las demás estaciones. Le sigue el otoño, luego la primavera, y por último el verano. Esto se constata tras observar las medianas, que en invierno se consolidan con valores mucho más elevados que las demás estaciones. Lo mismo ocurre con los rangos intercuartiles, cuyos valores, a modo general, tienden a ser más cercanos al cero, y por ende más leves en invierno, dando cuenta de una dispersión más baja de los datos en dicha estación; que por tanto crece en otoño, en primavera y en verano. Este fenómeno se reproduce en todos los grupos observados, sin embargo, en el grupo AB se presenta la dispersión más baja, mientras que en E la dispersión de los datos es mayor, Lo anterior, replica la tendencia que se constató con anterioridad (en la Figura N°5), en la cual la jerarquía estacional de las intensidades de ICUs, coincide con la evidenciada en esta etapa.

**Figura 16: Intensidad de ICUs e IFUs diurnas de Verano, Otoño, Invierno y Primavera según GSE**



*Fuente: Elaboración propia, 2022.*

Adicionalmente, si bien no se aprecian grandes diferencias en cuanto a las medianas entre un grupo y otro, es posible constatar ligeras diferencias que sugieren algunas tendencias.

Pare el caso del **verano diurno** es posible evidenciar que el grupo AB, correspondiente al segmento de mayores ingresos, es el grupo que presenta mayores intensidades, manifestado en islas de frescor más débiles. Esto teniendo en cuenta los valores de las medianas, la cual asciende a  $-2,41^{\circ}\text{C}$  (ver Anexo N°7). Sus valores de intensidad mínima llegan a  $-11,07^{\circ}\text{C}$  y una



máxima de  $-1,11^{\circ}\text{C}$ . No obstante, el rango intercuartil (IQR) se sitúa en  $1,36^{\circ}\text{C}$ , dando cuenta de una dispersión baja de los datos, particularmente la más baja en esta estación durante el día. En segundo lugar, se encuentra el grupo C3, que presenta la segunda mediana más alta en esta estación, correspondiente a  $-3,16^{\circ}\text{C}$ . Sus intensidades oscilan entre  $-13,35^{\circ}\text{C}$  y  $0,34^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR alcanza  $3,72^{\circ}\text{C}$ . En tercer lugar, se presenta el grupo D, el cual presenta una mediana de  $-3,27^{\circ}\text{C}$ , y cuyas intensidades de ICUs varían entre  $-13,33^{\circ}\text{C}$  y  $0,50^{\circ}\text{C}$ . Por su parte el IQR corresponde a  $3,66^{\circ}\text{C}$ . En cuarto lugar, se ubica C1a, que presenta una mediana que alcanza  $-3,98^{\circ}\text{C}$ . Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de  $-12,95^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $-0,54^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR corresponde a  $3,52^{\circ}\text{C}$ . En quinto lugar, aparece el grupo C1b, con una mediana que asciende a  $-4,09^{\circ}\text{C}$ . Se presenta un valor mínimo de  $-14,02^{\circ}\text{C}$  y un valor máximo de  $-0,19^{\circ}\text{C}$ , mientras que el IQR corresponde a  $3,73^{\circ}\text{C}$ . En sexto lugar se ubica el grupo E, correspondiente al segmento de menores ingresos, cuya mediana registra  $-4,09^{\circ}\text{C}$ , con intensidades de ICUs que van desde  $-13,33^{\circ}\text{C}$  a  $-0,24^{\circ}\text{C}$ , y un IQR de  $8,90^{\circ}\text{C}$ , dando cuenta de la dispersión más alta de los datos en esta estación durante el día. En séptimo y último lugar, se identifica C2, cuya mediana asciende a  $-4,46^{\circ}\text{C}$ . Sus valores de intensidad mínima llegan a  $-13,02^{\circ}\text{C}$  y una máxima de  $-0,05^{\circ}\text{C}$ . No obstante, el rango intercuartil se sitúa en  $4,09^{\circ}\text{C}$ .

En cuanto a la estación de **otoño diurno**, es posible constatar que el grupo AB, correspondiente al segmento de mayores ingresos, es el grupo que presenta mayores intensidades, manifestado en islas de frescor más débiles para el presente caso. Esto teniendo en cuenta los valores de las medianas, la cual asciende a  $-1,58^{\circ}\text{C}$ . Sus valores de intensidad mínima llegan a  $-7,98^{\circ}\text{C}$  y una máxima de  $-0,62^{\circ}\text{C}$ . No obstante, el rango intercuartil (IQR) se sitúa en  $1,00^{\circ}\text{C}$ , dando cuenta de una dispersión baja de los datos, particularmente la más baja en esta estación durante el día. En segundo lugar, se encuentra el grupo C3, que presenta la segunda mediana más alta en esta estación, correspondiente a  $-1,69^{\circ}\text{C}$ . Sus intensidades oscilan entre  $-9,57^{\circ}\text{C}$  y  $0,69^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR alcanza  $2,94^{\circ}\text{C}$ . En tercer lugar, se presenta el grupo D, el cual presenta una mediana de  $-1,91^{\circ}\text{C}$ , y cuyas intensidades de ICUs varían entre  $-9,42^{\circ}\text{C}$  y  $0,69^{\circ}\text{C}$ . Por su parte el IQR corresponde a  $2,90^{\circ}\text{C}$ . En cuarto lugar, se ubica el grupo E, correspondiente al segmento de menores ingresos, que presenta una mediana que alcanza  $-2,54^{\circ}\text{C}$ . Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de  $-9,42^{\circ}\text{C}$  y un máximo de  $0,44^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR corresponde a  $6,67^{\circ}\text{C}$ , dando cuenta de la dispersión más alta de los datos en esta estación durante el día. En quinto lugar, aparece el grupo C1a, con una mediana que asciende a  $-2,56^{\circ}\text{C}$ . Se presenta un valor mínimo de  $-9,34^{\circ}\text{C}$  y un valor máximo de  $0,20^{\circ}\text{C}$ , mientras que el IQR corresponde a  $2,45^{\circ}\text{C}$ . En sexto lugar se ubica el grupo C1b, cuya mediana registra  $-2,57^{\circ}\text{C}$ , con intensidades de ICUs que van desde  $-10,10^{\circ}\text{C}$  a  $0,22^{\circ}\text{C}$ , y un IQR de  $3,03^{\circ}\text{C}$ . En séptimo y último lugar, se identifica C2, cuya mediana asciende a  $-2,87^{\circ}\text{C}$ . Sus valores de intensidad mínima llegan a  $-9,41^{\circ}\text{C}$  y una máxima de  $0,50^{\circ}\text{C}$ . No obstante, el rango intercuartil se sitúa en  $3,08^{\circ}\text{C}$ .

En lo que concierne a la estación de **invierno diurno**, es posible identificar que el grupo C3, es el grupo que presenta mayores intensidades, manifestado en islas de frescor más débiles para el presente caso. Esto teniendo en cuenta los valores de las medianas, la cual asciende a  $-0,05^{\circ}\text{C}$ . Sus valores de intensidad mínima llegan a  $-5,43^{\circ}\text{C}$  y una máxima de  $1,06^{\circ}\text{C}$ . No

obstante, el rango intercuartil (IQR) se sitúa en 1,60°C. En segundo lugar, se encuentra el grupo D, que presenta la segunda mediana más alta en esta estación, correspondiente a -0,11°C. Sus intensidades oscilan entre -5,33°C y 1,04°C. En tanto, el IQR alcanza 1,57°C. En tercer lugar, se presenta el grupo AB, correspondiente al segmento de mayores ingresos, el cual presenta una mediana de -0,38°C, y cuyas intensidades de ICUs varían entre -4,50°C y 0,36°C. Por su parte el IQR corresponde a 0,32°C, dando cuenta de una dispersión baja de los datos, particularmente la más baja en esta estación durante el día. En cuarto lugar, se ubica el grupo E, correspondiente al segmento de menores ingresos, que presenta una mediana que igualmente alcanza -0,38°C. Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de -5,33°C y un máximo de 1,03°C. En tanto, el IQR corresponde a 4,66°C, dando cuenta de la dispersión más alta de los datos en esta estación durante el día. En quinto lugar aparece el grupo C1b, con una mediana que asciende a -0,41°C. Se presenta un valor mínimo de -5,73°C y un valor máximo de 0,86°C, mientras que el IQR corresponde a 1,63°C. En sexto lugar se ubica el grupo C1a, cuya mediana registra también -0,41°C, con intensidades de ICUs que van desde -5,30°C a 0,69°C, y un IQR de 1,45°C. En séptimo y último lugar, se identifica C2, cuya mediana asciende a -0,53°C. Sus valores de intensidad mínima llegan a -5,23°C y una máxima de 1,01°C. No obstante, el rango intercuartil se sitúa en 1,61°C.

En lo que respecta a la estación de **primavera diurna**, es posible reconocer que el grupo AB, correspondiente al segmento de mayores ingresos, es el grupo que presenta mayores intensidades, manifestado en islas de frescor más débiles para el presente caso. Esto teniendo en cuenta los valores de las medianas, la cual asciende a -1,81°C. Sus valores de intensidad mínima llegan a -9,82°C y una máxima de -0,33°C. No obstante, el rango intercuartil (IQR) se sitúa en 0,95°C, dando cuenta de una dispersión baja de los datos, particularmente la más baja en esta estación durante el día. En segundo lugar, se encuentra el grupo C3, que presenta la segunda mediana más alta en esta estación, correspondiente a -2,33°C. Sus intensidades oscilan entre -11,85°C y 0,70°C. En tanto, el IQR alcanza 3,30°C. En tercer lugar, se presenta el grupo D, el cual presenta una mediana de -2,39°C, y cuyas intensidades de ICUs varían entre -11,87°C y 0,71°C. Por su parte el IQR corresponde a 3,26°C. En cuarto lugar, se ubica el grupo C1a, que presenta una mediana que alcanza -2,93°C. Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de -11,46°C y un máximo de 0,07°C. En tanto, el IQR corresponde a 3,23°C. En quinto lugar, aparece el grupo C1b, con una mediana que asciende a -3,03°C. Se presenta un valor mínimo de -12,41°C y un valor máximo de 0,50°C, mientras que el IQR corresponde a 3,35°C. En sexto lugar se ubica el grupo E, correspondiente al segmento de menores ingresos, cuya mediana registra -3,07°C, con intensidades de ICUs que van desde -11,87°C a 0,46°C, y un IQR de 8,28°C, dando cuenta de la dispersión más alta de los datos en esta estación durante el día. En séptimo y último lugar, se identifica C2, cuya mediana asciende a -3,36°C. Sus valores de intensidad mínima llegan a -11,54°C y una máxima de 0,59°C. No obstante, el rango intercuartil se sitúa en 3,64°C.

En vista de lo anterior, es posible caracterizar la relación entre las intensidades de ICUs y la distribución de los grupos socioeconómicos, en función de las Zonas Climáticas Locales que predominan en cada uno, por ende, con la densidad y altura de sus construcciones, contrastes que se hacen más evidentes entre verano e invierno, pero bastante leves dentro de una misma

estación.

Por ejemplo, AB se constituye como el grupo que presenta la mayor intensidad de ICUs en verano, otoño y primavera, traducido para este horario en islas de calor más débiles. Por el contrario, en invierno este grupo se ubica por debajo de C3 y D, que son a su vez, la segunda y tercera más intensas respectivamente en las demás estaciones. Al observar la composición de ZCL de cada grupo (ver Anexo N°9) es posible distinguir que en AB predomina fuertemente ZCL-6, correspondiente a Abierto de baja altura, lo cual se corresponde con lo evidenciado, puesto que presenta una menor densidad y altura de construcción, al mismo tiempo que presenta mayor cantidad de suelo descubierto, lo que se corresponde con lo observado en la etapa anterior, donde los suelos infértiles y las construcciones de baja altura fueron los principales focos de islas de calor durante el día. A su vez C3, que también presenta intensidades altas, se corresponde con una predominancia de construcciones de baja altura (ZCL-3), aunque más compactas que en AB, además de ser el grupo que presenta mayor cantidad de suelo desnudo, identificado en la serie ZCL-F. Por su parte D, emerge como el grupo con mayor predominancia de ZCL-3, seguido de ZCL-6 (Abierto de baja altura) y ZCL-7 (Peso ligero de baja altura), que se constituye como la serie con mayores intensidades de ICUs durante el día, dando cuenta nuevamente de una baja densidad y altura de construcción. Por su parte C1a y C1b poseen comportamientos muy similares entre sí, sin embargo, C1a es el grupo que posee la mayor concentración de ZCL-1 y ZCL-4, correspondientes a Compacto y Abierto de gran altura respectivamente, mientras que C1b es el grupo que posee la mayor concentración de series naturales, razón que explicaría por qué sube en invierno, en comparación con las demás estaciones, dado que el régimen caducifolio de las especies implica suelos más descubiertos durante el invierno. Así mismo, el grupo E posee una de las intensidades más bajas en todas las estaciones, no obstante, presenta mayor intensidad en otoño e invierno, posicionándolo por sobre C1a y C1b. Finalmente, C2 es transversalmente el grupo con las intensidades más bajas de ICUs durante el día, lo que se corresponde con el alto porcentaje que presenta de construcciones de gran y mediana altura.

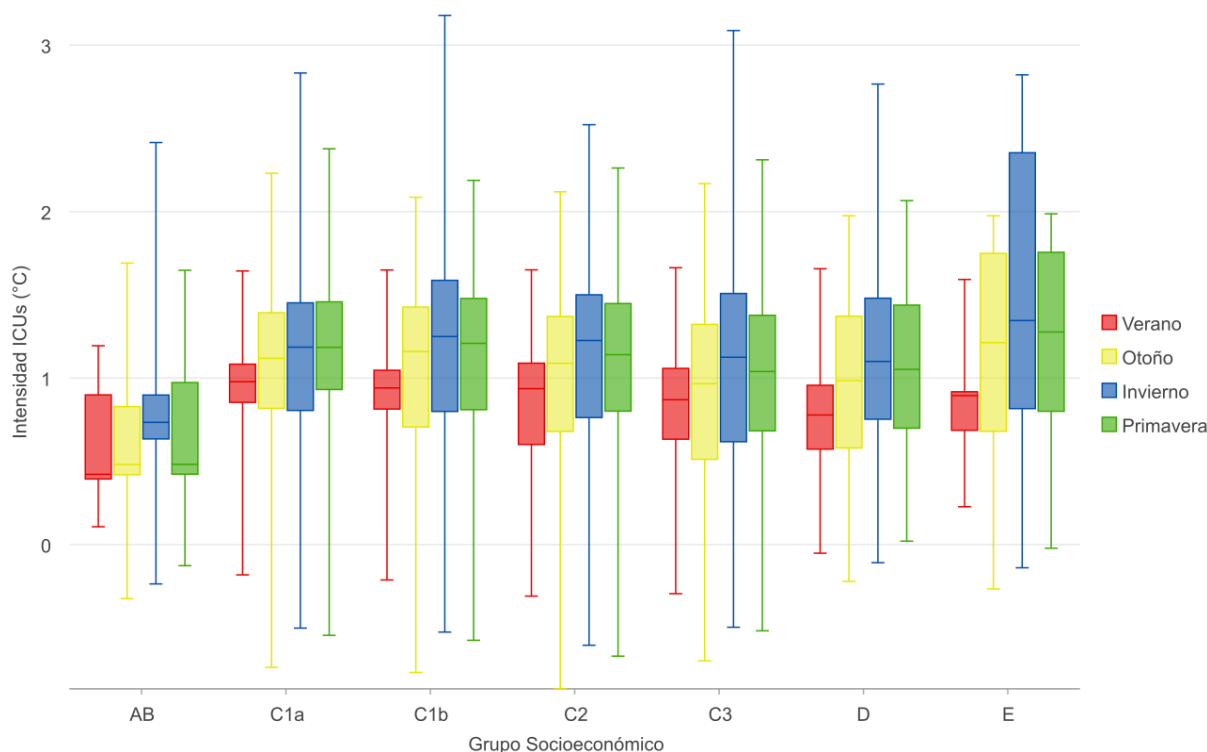
#### **4.5.2 Intensidades nocturnas por estación según GSE**

En primera instancia, al observar la Figura N°17, que expone la relación entre la intensidad de islas de calor urbano superficial nocturnas con los grupos socioeconómicos en el área de estudio, es posible señalar que existe una evidente relación entre la intensidad de ICUs con la distribución de los grupos socioeconómicos en la conurbación La Serena-Coquimbo. En este horario, a diferencia del horario diurno, destaca la predominancia de islas de calor, existiendo también islas de frescor, pero más débiles que en el día, junto a una brecha mucho menor entre las intensidades mínimas y máximas. En este contexto, destaca nuevamente la estación de invierno, cuyas islas de calor alcanzan niveles más altos en la noche. Le sigue el otoño, luego la primavera, y por último el verano.

Esto se constata tras observar las medianas, que en invierno se consolidan con valores más elevados. Lo anterior, replica la tendencia que se constató con anterioridad (en la Figura N°7), en la cual la jerarquía estacional de las intensidades de ICUs, coincide con la evidenciada en

esta etapa. Sin embargo, en cuanto a los rangos intercuartiles, a diferencia del día, el invierno, a modo general, tiende a presentar valores más altos que en el horario diurno, así como también más elevados que las demás estaciones, dando cuenta de una mayor dispersión de los datos; fenómeno que se reproduce en 6 de los 7 grupos observados, siendo AB el único que presenta en invierno una dispersión menor que las demás estaciones.

**Figura 17: Intensidad de ICUs e IFUs nocturnas de Verano, Otoño, Invierno y Primavera según GSE**



*Fuente: Elaboración propia, 2022.*

Adicionalmente, si bien no se aprecian grandes diferencias en cuanto a las medianas entre un grupo y otro, es posible constatar ligeras diferencias (un poco mayores a las evidenciadas durante el día) que sugieren algunas tendencias.

En cuanto al **verano nocturno** es posible evidenciar que el grupo C1a, es el grupo que presenta mayores intensidades de ICUs durante la noche. Esto teniendo en cuenta los valores de las medianas, la cual asciende a  $-0,98^{\circ}\text{C}$  (ver Anexo N°8). Sus valores de intensidad mínima llegan a  $-0,18^{\circ}\text{C}$  y una máxima de  $1,64^{\circ}\text{C}$ . No obstante, el rango intercuartil (IQR) se sitúa en  $0,23^{\circ}\text{C}$ , dando cuenta de una dispersión baja de los datos, particularmente la más baja en esta estación durante el día junto con C1b y E. En segundo lugar, se encuentra el grupo C1b, que presenta la segunda mediana más alta en esta estación, correspondiente a  $0,94^{\circ}\text{C}$ . Sus intensidades oscilan entre  $-0,21^{\circ}\text{C}$  y  $1,65^{\circ}\text{C}$ . En tanto, el IQR alcanza  $0,23^{\circ}\text{C}$ . En tercer lugar, se presenta el grupo C2, el cual también presenta una mediana de  $0,94^{\circ}\text{C}$ , y cuyas intensidades de ICUs varían entre  $-0,31^{\circ}\text{C}$  y  $1,65^{\circ}\text{C}$ . Por su parte el IQR corresponde a  $0,49^{\circ}\text{C}$ . En cuarto lugar, se ubica E, correspondiente al segmento de menores ingresos, que presenta una mediana que alcanza

0,90°C. Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de 0,23°C y un máximo de 1,59°C. En tanto, el IQR corresponde a 0,23°C. En quinto lugar, aparece el grupo C3, con una mediana que asciende a 0,87°C. Se presenta un valor mínimo de -0,30°C y un valor máximo de 1,66°C, mientras que el IQR corresponde a 0,43°C. En sexto lugar se ubica el grupo D, cuya mediana registra -0,78°C, con intensidades de ICUs que van desde -0,05°C a 1,66°C, y un IQR de 0,38°C. En séptimo y último lugar, se identifica AB, correspondiente al segmento de mayores ingresos, cuya mediana asciende a 0,42°C. Sus valores de intensidad mínima llegan a 0,11°C y una máxima de 1,19°C. No obstante, el rango intercuartil se sitúa en 0,51°C, dando cuenta de la dispersión más alta de los datos en esta estación durante la noche.

En cuanto a la estación de **otoño nocturno**, es posible constatar que el grupo E, correspondiente al segmento de menores ingresos, es el grupo que presenta mayores intensidades de ICUs. Esto teniendo en cuenta los valores de las medianas, la cual asciende a 1,21°C. Sus valores de intensidad mínima llegan a -0,27°C y una máxima de 1,98°C. No obstante, el rango intercuartil (IQR) se sitúa en 1,07°C, dando cuenta de la dispersión más alta de los datos en esta estación durante la noche. En segundo lugar, se encuentra el grupo C1b, que presenta la segunda mediana más alta en esta estación, correspondiente a 1,16°C. Sus intensidades oscilan entre -0,77°C y 2,09°C. En tanto, el IQR alcanza 0,72°C. En tercer lugar, se presenta el grupo C1a, el cual presenta una mediana de 1,12°C, y cuyas intensidades de ICUs varían entre -0,74°C y 2,23°C. Por su parte el IQR corresponde a 0,57°C. En cuarto lugar, se ubica el grupo C2, que presenta una mediana que alcanza 1,09°C. Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de -0,87°C y un máximo de 2,12°C. En tanto, el IQR corresponde a 0,69°C. En quinto lugar, aparece el grupo D, con una mediana que asciende a 0,98°C. Se presenta un valor mínimo de -0,22°C y un valor máximo de 1,98°C, mientras que el IQR corresponde a 0,79°C. En sexto lugar se ubica el grupo C3, cuya mediana registra 0,97°C, con intensidades de ICUs que van desde -0,70°C a 2,17°C, y un IQR de 0,81°C. En séptimo y último lugar, se identifica AB, correspondiente al segmento de mayores ingresos, cuya mediana asciende a 0,48°C. Sus valores de intensidad mínima llegan a -0,32°C y una máxima de 1,69°C. No obstante, el rango intercuartil se sitúa en 0,41°C, dando cuenta de la dispersión más baja de los datos en esta estación durante la noche.

En lo que concierne a la estación de **invierno nocturno**, es posible constatar que el grupo E, correspondiente al segmento de menores ingresos, es el grupo que presenta mayores intensidades de ICUs. Esto teniendo en cuenta los valores de las medianas, la cual asciende a 1,35°C. Sus valores de intensidad mínima llegan a -0,14°C y una máxima de 2,82°C. No obstante, el rango intercuartil (IQR) se sitúa en 1,54°C, dando cuenta de la dispersión más alta de los datos en esta estación durante la noche. En segundo lugar, se encuentra el grupo C1b, que presenta la segunda mediana más alta en esta estación, correspondiente a 1,25°C. Sus intensidades oscilan entre -0,53°C y 3,18°C. En tanto, el IQR alcanza 0,79°C. En tercer lugar, se presenta el grupo C2, el cual presenta una mediana de 1,23°C, y cuyas intensidades de ICUs varían entre -0,60°C y 2,52°C. Por su parte el IQR corresponde a 0,74°C. En cuarto lugar, se ubica el grupo C1a, que presenta una mediana que alcanza 1,19°C. Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de -0,50°C y un máximo de

2,83°C. En tanto, el IQR corresponde a 0,65°C. En quinto lugar, aparece el grupo C3, con una mediana que asciende a 1,13°C. Se presenta un valor mínimo de -0,50°C y un valor máximo de 3,09°C, mientras que el IQR corresponde a 0,89°C. En sexto lugar se ubica el grupo D, cuya mediana registra 1,10°C, con intensidades de ICUs que van desde -0,11°C a 2,77°C, y un IQR de 0,73°C. En séptimo y último lugar, se identifica AB, correspondiente al segmento de mayores ingresos, cuya mediana asciende a 0,73°C. Sus valores de intensidad mínima llegan a -0,24°C y una máxima de 2,41°C. No obstante, el rango intercuartil se sitúa en 0,26°C, dando cuenta de la dispersión más baja de los datos en esta estación durante la noche.

En lo que respecta a la estación de **primavera diurna**, es posible constatar que el grupo E, correspondiente al segmento de menores ingresos, es el grupo que presenta mayores intensidades de ICUs. Esto teniendo en cuenta los valores de las medianas, la cual asciende a 1,28°C. Sus valores de intensidad mínima llegan a -0,02°C y una máxima de 1,99°C. No obstante, el rango intercuartil (IQR) se sitúa en 0,96°C, dando cuenta de la dispersión más alta de los datos en esta estación durante la noche. En segundo lugar, se encuentra el grupo C1b, que presenta la segunda mediana más alta en esta estación, correspondiente a 1,21°C. Sus intensidades oscilan entre -0,58°C y 2,19°C. En tanto, el IQR alcanza 0,67°C. En tercer lugar, se presenta el grupo C1a, el cual presenta una mediana de 1,18°C, y cuyas intensidades de ICUs varían entre -0,55°C y 2,38°C. Por su parte, el IQR corresponde a 0,53°C, dando cuenta de la dispersión más baja de los datos en esta estación durante la noche. En cuarto lugar, se ubica el grupo C2, que presenta una mediana que alcanza 1,14°C. Las intensidades de islas de calor urbano superficial en esta estación fluctúan entre un mínimo de -0,67°C y un máximo de 2,26°C. En tanto, el IQR corresponde a 0,65°C. En quinto lugar, aparece el grupo D, con una mediana que asciende a 1,05°C. Se presenta un valor mínimo de 0,02°C y un valor máximo de 2,07°C, mientras que el IQR corresponde a 0,74°C. En sexto lugar se ubica el grupo C3, cuya mediana registra 1,04°C, con intensidades de ICUs que van desde -0,52°C a 2,31°C, y un IQR de 0,69°C. En séptimo y último lugar, se identifica AB, correspondiente al segmento de mayores ingresos, cuya mediana asciende a 0,48°C. Sus valores de intensidad mínima llegan a -0,13°C y una máxima de 1,65°C. No obstante, el rango intercuartil se sitúa en 0,55°C.

En vista de lo anterior, es posible caracterizar la relación entre las intensidades de ICUs y la distribución de los grupos socioeconómicos, en función de las Zonas Climáticas Locales que predominan en cada uno, por ende, con la densidad y altura de sus construcciones, contraste que se hace más evidente entre verano e invierno, pero bastante sutil dentro de la misma estación.

Por ejemplo, el grupo E se constituye como aquel que presenta la mayor intensidad de ICUs en otoño, invierno y primavera. Por el contrario, en verano este grupo se ubica por debajo de C1a, C1b y C2, que son a su vez, la segunda, tercera y cuarta más intensas respectivamente en las demás estaciones. Al observar la composición de ZCL de cada grupo (ver Anexo N°9) es posible distinguir que en E predominan fuertemente las construcciones de baja altura, sin embargo, posee un importante porcentaje de ZCL-E, que proporciona valores elevados de ICUs durante la noche en casi todas las estaciones, pero no tan elevados como C1a, C1b y C2, que presentan porcentajes importantes de construcciones de gran y mediana altura. Esto tiene

sentido al contrastar los resultados con lo evidenciado en la etapa anterior, en vista de que, durante la noche, las series que presentaron los mayores focos de islas de calor correspondían a aquellas con gran densidad y altura de construcción. A continuación, en el grupo C3, es posible identificar intensidades ligeramente más bajas de islas de calor que en los grupos anteriormente mencionados, en vista de que presenta una predominancia de superficie construida compacta, pero de baja altura; situación que se repite en el grupo D, cuya composición presenta el porcentaje más alto de construcciones compactas de baja altura. Finalmente, y evidenciando la inversión del patrón diurno, es posible constatar que durante la noche el grupo AB es el que presenta las intensidades más bajas de ICUs, lo que se hace evidente al observar sus Zonas Climáticas Locales, en vista que predomina fuertemente ZCL-6.

## CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 5.1. Discusión

El análisis de temperaturas superficiales en la conurbación La Serena-Coquimbo, da cuenta de la existencia de un patrón opuesto entre el horario diurno y nocturno. Por su parte, durante el día existe una clara predominancia de islas de frescor en el área de estudio, que alcanza intensidades bastante altas, principalmente en los sectores más próximos al borde costero. Los valores máximos de islas de frescor se registran en la estación de verano, alcanzando incluso  $-14,1^{\circ}\text{C}$  en el distrito de La Herradura, mientras que el invierno es el que posee las islas de frescor más débiles, registrando, por ejemplo,  $-5,8^{\circ}\text{C}$  en su punto más fresco, también en el distrito de La Herradura. Conforme se avanza hacia el interior en zonas de altitudes por debajo de los 100 msnm es posible constatar un decrecimiento en la intensidad de las islas de frescor, haciendo evidente la relación entre el gradiente de temperatura y la distancia al mar. En vista de lo anterior, es posible identificar el fenómeno de la brisa marina sobre el área de estudio, cuya influencia se constata en la atenuación de las temperaturas, refrescando los centros térmicos, a tal punto de alcanzar valores negativos, principalmente durante el verano (Moreno & Serra, 2016). Así mismo, pese a la preponderancia de islas de frescor diurnas asociadas al fenómeno de la brisa marina, fue posible identificar algunos focos con temperaturas superiores a  $0^{\circ}\text{C}$ , específicamente en el distrito de La Compañía y Pan de Azúcar (y sus alrededores, según sea la estación del año). En tanto, dichos puntos de calor, no corresponden a islas de calor urbano superficial, sino que a un fenómeno de inversión térmica producto de la brisa marina, dado que dichas temperaturas coinciden con las mayores altitudes dentro del área de estudio. Este escenario coincide con lo señalado por Dorta (1996), quien indica que, en estas condiciones, en la zona más próxima al mar, la influencia de la brisa marina es muy clara, especialmente en verano, *“produciéndose una estratificación estable del aire, y manteniendo valores térmicos superficiales notablemente más frescos que por sobre la inversión”*. Esto es relevante, ya que el fenómeno de inversión térmica propicia la acumulación de contaminantes, en vista de que los gases y la polución tienen dificultades de dispersión, acrecentando, por tanto, la contaminación atmosférica (García et al., 2012).

En caso contrario, durante la noche se invierte el patrón diurno, observándose una clara predominancia de islas de calor en el área de estudio, que van desde Muy débiles a Moderadas, según la clasificación de intensidades de Fernández (1996) y adaptadas por Williams (2019) para el caso nocturno. Las intensidades más bajas de islas de calor se registran en verano, alcanzando un máximo de  $1,7^{\circ}\text{C}$  en el distrito de Las Vegas, mientras que en invierno es donde se presentan las intensidades más altas, alcanzando un máximo de  $3,2^{\circ}\text{C}$  en el distrito de La Herradura. Así mismo, pese a la preponderancia de islas de calor nocturnas asociadas al incremento térmico por causa de la urbanización, fue posible identificar algunos focos con temperaturas inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$ , específicamente en el distrito de La Compañía y Pan de Azúcar (y sus alrededores, según sea la estación del año). Dichos focos están directamente relacionados con el gradiente de temperatura vertical, en vista de que coincide con los puntos de mayor altitud dentro del área de estudio, que, a su vez, no se encuentran urbanizados. Además, fue posible identificar con claridad como las mayores intensidades de islas de calor coinciden con



los límites de las áreas urbanas consolidadas de la conurbación, estableciendo el vínculo directo entre incremento térmico y urbanización, al mismo tiempo que el gradiente térmico horizontal se invierte, en vista de un mayor calentamiento en el borde costero, que decrece hacia el interior. Dado que se evidencia un descenso térmico más fuerte en la periferia de las áreas urbanas, generando islas de calor urbano superficial en la conurbación La Serena-Coquimbo, éstas no exceden el nivel de Moderado, debido al fenómeno de la brisa urbana (Moreno, 1997), consecuencia de la discrepancia de presiones, y cuyo efecto genera la atenuación de las temperaturas desde el campo hacia el mar, el cual presenta una temperatura más alta que la tierra durante la noche; y contribuyendo además a la disipación de la contaminación atmosférica (Fuentes, 2015).

En consideración de lo anterior, la máxima intensidad de la isla de calor en la presente investigación se identifica durante la noche, lo cual Guijarro (1998) y Sarricolea et al., (2008) explican como causa el decrecimiento de la oscilación térmica diaria de la ciudad, debido a la materialidad y rugosidad de las construcciones en comparación con los espacios abiertos, junto con el incremento de la temperatura urbana como consecuencia de actividades antropogénicas. No obstante, alcanza valores bajos y moderados en vista de la presencia de la brisa urbana, que atenúa las intensidades desde la periferia interior del área urbana hacia la costa, puesto que tal como señala Oke et al., (2017) los flujos de aire cálido nocturnos que emite el sistema urbano fluyen en dirección hacia el mar, de tal forma que atraen las bajas presiones. Caso contrario se observa en el día, donde la brisa marina presente en el área de estudio en horario diurno, es capaz de desdibujar los efectos térmicos que conlleva la existencia de un ecosistema urbano (Oke, 1987).

Sin embargo, el comportamiento de las temperaturas superficiales urbanas y rurales, que dan lugar a islas de frescor durante el día e islas de calor durante la noche, se explica también por otros factores como lo son las Zonas Climáticas Locales. Por su parte en las periferias externas al límite urbano consolidado, es posible identificar la predominancia de series naturales como Matorral o arbusto (ZCL-C), Suelo desnudo o arena (ZCL-D), así como también Cobertura vegetal baja (ZCL-D) que en el presente estudio corresponden mayoritariamente a zonas de uso agrícola. En las áreas urbanas en tanto, predominan construcciones de baja altura, compactas y abiertas, tales como ZCL-3, ZCL-9 y ZCL-6. Así mismo, pese a no ser predominantes, se identifica una concentración de construcciones compactas y abiertas de gran altura (ZCL-1 y ZCL-4) en el borde costero de la bahía grande. A partir de ello, es preciso señalar que es en aquella zona costera donde se identifican las intensidades más altas de islas de calor durante la noche, evidenciando una clara relación entre las construcciones de alturas elevadas, escasa o nula vegetación, ancho de las calles, materiales de construcción y suelos impermeabilizados (Sarricolea et al., 2008), en vista de que también se identificaron intensidades elevadas en el borde costero rocoso al sur del área de estudio, correspondientes a zonas de tipo ZCL-E. Esto se debe a la capacidad de absorción y almacenamiento de la radiación de este tipo de series percibida durante el día, y que se libera hacia la atmósfera lentamente durante la noche, cuyo impacto es significativo en la intensidad de la isla de calor urbana, principalmente en climas áridos o semiáridos con altos niveles de radiación (Correa et al., 2003). Este fenómeno también se aprecia en construcciones de media altura, y en menor

medida en construcciones de baja altura, que son predominantes dentro del área urbana, dando cuenta de una relación directa entre altura e intensidad de ICUs. Por su parte, las series que presentan los valores más bajos corresponden a suelos desnudos, áridos y con escasa o nula vegetación como ZCL-F y ZCL-D, en vista de que estos suelos son más propensos a la radiación durante el día, sin embargo, durante la noche pierden dicho calor con gran rapidez. Así, ZCL-F, ZCL-D y ZCL-C son las series con las islas de calor más débiles durante la noche, con ligeras variaciones de orden entre una estación y otra, que por ejemplo en verano, se ven más afectados con un menor desarrollo herbáceo estacional, así como mayor cantidad de suelo agrícola en barbecho. Por su lado durante el invierno, existe un mayor desarrollo herbáceo estacional, no obstante, el comportamiento de las series arbóreas (ZCL-A y ZCL-B) según cada estación, dan cuenta de un régimen de follaje caduco (Chiarito & Chiarito, 2015), lo cual también se evidencia en series como ZCL-9. Así mismo, es posible señalar que ZCL-G, también presenta una variación clara entre verano e invierno, dando cuenta de una capacidad de calentamiento del agua durante el día proporcional a la radiación directa que percibe, generando una pérdida de calor más lenta en verano y más rápida en invierno. Además de ello, es posible apreciar una pequeña área de influencia del Humedal Desembocadura del Río Elqui sobre su entorno.

Por su parte, durante el día predominan las islas de frescor, no obstante, fue posible apreciar diferencias de intensidad según cada ZCL. Tal es el caso de ZCL-7, que corresponde a la serie que presenta las temperaturas superficiales más elevadas en todas las estaciones, alcanzando valores que superan los 0°C en invierno y otoño, mientras que en primavera y verano se manifiesta en las islas de frescor más débiles durante el día. Esto ocurre debido a la materialidad característica de este tipo de viviendas, así como también su emplazamiento en laderas, en vista de un aumento de temperatura con la altitud, en horario diurno. Además, esta serie se caracteriza por suelos permeables, lo cual se corresponde con que ZCL-F sea la serie que consecutivamente presenta los valores más elevados de temperaturas durante el día, evidenciando un mayor calentamiento diurno en cubiertas de suelos desnudos, áridos, y con escasa o nula vegetación, cuyo comportamiento nocturno propicia los valores más bajos de isla de calor, no obstante, durante el día evidencian un mayor calentamiento, dado que el suelo infértil, que predomina en aquella series, es más propenso a la radiación (Quintero, 2018). Es por ello, que ZCL-C, ZCL-A y ZCL-D, también presentan valores más altos durante el día, pese a presentar patrones de vegetación. Sin embargo, estos patrones vegetacionales constituyen el eje diferencial por el cual varían sus valores entre verano e invierno, como por ejemplo un mayor desarrollo herbáceo estacional durante el invierno, que eleva los valores en verano, para el caso de ZCL-C. En el caso de ZCL-A los valores decrecen en verano y aumentan en invierno, evidenciando nuevamente la influencia de las especies de régimen caducifolio en el comportamiento térmico. Esto se replica en ZCL-9, en cuya composición predominan parcelas de agrado. Por su parte, ZCL-D se ve influenciada por un máximo de aridez durante el verano, que propicia suelos en barbecho durante dicha estación. Por el contrario, las series con los valores más frescos durante el día corresponden a ZCL-E, ZCL-1 y ZCL-4, cuya materialidad en este caso posee una capacidad de almacenaje de calor de tal forma que en el día absorbe la radiación más lentamente que los suelos desnudos configurando islas de frescor, mientras que en la noche lo liberan lentamente hacia la atmósfera propiciando islas de calor

(Reyes, 2019). Así mismo, el frescor diurno se relaciona con las condiciones de sombra y cielo visible.

En vista de lo anterior, es posible constatar que las series que durante el día presentan un mayor calentamiento, en la noche se constituyen como las series más frescas. Por el contrario, las series que durante el día son más frescas, durante la noche enmarcan las zonas con las mayores intensidades de isla de calor urbano superficial.

En este escenario, además, fue posible también evidenciar dentro del área urbana, la distribución de ICUs según cada grupo socioeconómico. En vista de ello, es posible señalar que, a modo general, el grupo socioeconómico de mayores ingresos, correspondiente a AB, es el cual presenta las temperaturas más elevadas durante el día, mientras que E, correspondiente al grupo de más bajos ingresos, es aquél que presenta las temperaturas más elevadas durante la noche. Esto es relevante, en vista que durante el día las temperaturas más elevadas se manifiestan mediante islas de frescor débiles, dado el efecto mermante de la brisa marina sobre las temperaturas superficiales, en lo cual se enmarca el grupo AB. En cambio, durante la noche, es cuando se alcanza una predominancia de islas de calor, siendo el grupo E quien percibe mayormente estos efectos.

Sin embargo, igualmente es relevante que los grupos medios-bajos son quienes también presentan islas de frescor más débiles durante el día, mientras que, en la noche, perciben los valores más bajos de isla de calor. Por su parte, los grupos medios-altos durante el día presentan los valores máximos de frescor, mientras que, en la noche, alcanzan los valores más altos de isla de calor. Esto se relaciona con la configuración de Zonas Climáticas Locales dentro de cada grupo, teniendo en cuenta que los grupos medios-bajos poseen menor cantidad de áreas verdes, junto con una mayor presencia de campamentos. Mientras que los grupos medios-altos poseen de manera muy marcada una mayor presencia de construcciones de gran y media altura, lo cual explica su comportamiento térmico diurno y nocturno.

En vista de lo anterior, y como pese a existir ligeras diferencias entre las medianas de cada GSE, tanto para el día como para la noche, se hace preciso en el futuro, realizar pruebas de significancia estadística, con el fin de poder validar dichos resultados.

Si bien la metodología utilizada para la presente investigación permitió el análisis de las temperaturas superficiales en la conurbación La Serena-Coquimbo, a modo de identificar islas de calor y frescor, y su relación con las ZCL y GSE, es posible mencionar que este análisis no necesariamente se acota a las variables utilizadas como altitud y distancia al mar basado lo señalado por Martín-Vide et al. (2015), sino que se abre para considerar además otras variables en futuras investigaciones, como por ejemplo la orientación de laderas.

De igual modo, tal como señalan Sarricolea & Martín-Vide (2014), al estudiar la isla de calor es sustancial complementar el análisis con un modelo de vientos, que idealmente incorpore la parametrización del efecto urbano, como lo menciona Martilli (2010). Esto también podría incorporarse en futuras investigaciones, para alcanzar un análisis mucho más completo del

fenómeno en el área de estudio, en vista que los flujos de viento son capaces de alterar drásticamente el fenómeno de la isla de calor (Alomar & Llop, 2018).

En cuanto a las limitantes de la investigación, cabe mencionar primeramente la disponibilidad de la información de Grupos Socioeconómicos, la cual corresponde solo a las zonas urbanas del área de estudio. Pese a que los datos disponibles fueron suficientes para la obtención de resultados que permitieron establecer los grupos más y menos afectados por la isla de calor, sería interesante expandir la frontera de éstos hacia el sistema rural circundante, lo cual podría aportar nuevos resultados sobre este fenómeno.

Así mismo, los resultados con MODIS arrojaron que la mayor intensidad de la isla de calor urbano superficial en el área de estudio tiene lugar durante la noche, siendo aún más intensa en la estación de invierno. No obstante, pese a su gran utilidad y la disponibilidad de datos diurnos y nocturnos, la resolución de este sensor no permite un análisis tan detallado, por lo cual sería preciso estudiar la ICUs en una mejor resolución espacial, con un sensor de mayor resolución en aquella estación y horario de mayor intensidad. Sin embargo, la obtención de esto supone una limitante en vista de la baja disponibilidad de imágenes satelitales de invierno nocturno con cielo despejado en sensores de mejor resolución, ya que tal como señala Martínez (2017) la nubosidad es un factor fundamental en el estudio de la isla de calor, ya que puede afectar la magnitud de ésta, modificando la temperatura promedio diaria.

## **5.2. Conclusiones**

En vista de lo anterior, es posible señalar que se cumplió el objetivo general de la investigación, mediante la obtención de resultados que permitieron la identificación de islas de calor y frescor en la conurbación La Serena-Coquimbo, así como su relación las Zonas Climáticas Locales y Grupos Socioeconómicos.

La metodología empleada permitió un análisis de este fenómeno en el área de estudio, en vista que la utilización de imágenes satelitales es una herramienta relevante para el estudio de la isla de calor. El uso de Sistemas de Información Geográfica mediante softwares como Google Earth Engine para la obtención de datos, así como ArcGIS Pro para el procesamiento de éstos, son idóneos para investigaciones de este tipo, proporcionando herramientas claves para su investigación.

Por su parte, el sistema de clasificación de Zonas Climáticas Locales y sus directrices, son muy útiles para la identificación del fenómeno de ICUs y su comportamiento, en vista que proveen datos cruciales para su determinación y mapeo, siendo una herramienta muy útil para la planificación territorial (Rodríguez, 2020). Sin embargo, el estudio de este fenómeno no debe acotarse a una sola variable, sino a la coexistencia de diferentes variables que condicionan el comportamiento climático de un determinado territorio.

Así mismo, es posible señalar que la heterogeneidad de series en cada grupo socioeconómico, propicia diferencias marcadas en la oscilación de temperaturas al interior de cada grupo, con

una predominancia de asimetrías positivas y negativas, y con presencia de valores atípicos que influyen las medidas de tendencia central con la cual describir la muestra. Sin embargo, dado que los datos no se ajustan a una distribución normal, es preciso señalar que la mediana y el rango intercuartil se constituyen como indicadores sólidos para el presente caso (Llopis, 2013). Lo mismo aplica para el análisis de Zonas Climáticas Locales, por lo tanto, el análisis mediante diagramas de caja se consolida como una metodología confiable para este tipo de investigaciones.

Si bien no existe un consenso sobre el horario y estacionalidad máximo de la isla de calor, el estudio de este fenómeno en diferentes áreas urbanas permite conocer más profundamente este fenómeno y sus diferencias de escala. En este escenario, las ciudades intermedias, siendo el tipo de ciudad más frecuente en el mundo, son una escala relevante de análisis, así como también su carácter costero y la región climática a la cual pertenece. Por ello, el estudio de la isla de calor en conurbaciones costeras semiáridas, como es el caso de la conurbación La Serena-Coquimbo, se constituye como una escala de estudio relevante, en vista de resultados que permitieron la identificación de islas de calor nocturnas, así como también islas de frescor durante el día, siendo esto último un tópico mucho menos abordado que la isla de calor, en la literatura científica.

A partir de ello, se hacen relevantes los hallazgos en esta materia, precisamente en conurbaciones costeras y sus particularidades, de tal forma que sea posible utilizarlos como insumos para la planificación urbana. De manera más concreta, la planificación sensible al clima se constituye como un objetivo primordial en el desarrollo urbano de las ciudades, en pos de confrontar la segregación al interior de las ciudades y las injusticias socioambientales, fortalecer mecanismos de resiliencia urbano, y sobretodo, mejorar la calidad de vida de los habitantes.

## BIBLIOGRAFÍA

**Adapt-Chile. (s.f.).** *Red Chilena de Municipios ante el Cambio Climático*. Obtenido de Acción Climática Latinoamericana: <http://www.redmunicc.cl/esp/wp-content/uploads/2018/06/Agenda-2017-correctada.pdf>

**Alomar, G., & Llop, J. (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*, 392-418.

**Arenas, F. & González, D. (2007).** La expansión urbana fuera de las metrópolis: el caso de la conurbación Rancagua-Machalí en el Valle Central de Chile. En: BELTRÃO SPOSITO, M. E. (Organização). *Cidades Medias. Espaços em transição*. São Paulo: Geografia em Movimento, Editora Expressão Popular, 495-515.

**Ariza, A. (2013).** *Descripción y Corrección de Productos Landsat 8*. Bogotá: INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI.

**Asociación de Investigadores de Mercado y Opinión Pública. (17 de febrero de 2022).** *AIM Chile*. Obtenido de GSE de Chile: <https://aimchile.cl/iniciativas/gse-de-chile/>

**Atlas de Riesgos Climáticos. (2020).** *Efectos de la Isla de Calor Urbana*. Santiago: Ministerio del Medio Ambiente.

**Banco Mundial. (2020).** *Población urbana (% del total) - Latin America & Caribbean*. Obtenido de Banco Mundial: <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS?locations=ZJ>

**Bertoux, L., & González, D. (2015).** Vulnerabilidad y resiliencia urbana frente al cambio climático: El caso de la zona metropolitana de Guadalajara, México. *Revista Urbano*, 24-31.

**Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (s.f.).** *Clima y vegetación Región de Coquimbo*. Obtenido de Información Territorial: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region4/clima.htm#:~:text=La%20vegetaci%C3%B3n%20que%20presenta%20la,por%20factores%20clim%C3%A1ticos%20y%20topogr%C3%A1ficos>.

**Bornstein, R. (1968).** Observations of the urban heat island effect in New York city. *Journal of Applied Meteorology*, 575-582.

**Capelli, A., Piccolo, M. & Campo, A. (2005).** *Clima urbano de Bahía Blanca*. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur: Bahía Blanca, Argentina.

**Castree, N., Demeritt, D., Liverman, D. & Rhoads, B. (2009).** *A Companion to Environmental Geography*. Wiley-Blackwell: West Sussex, United Kingdom.

**Castro, Y., Fernández, E., & Álvarez, A. (2014).** Morfología urbana en la ciudad de Sagua

la Grande. *Arquitectura y Urbanismo*, 3-35.

**Catán, C. (2013).** *¿Tejiendo redes urbanas en ciudades intermedias o metropolización de las problemáticas urbanas?: El caso de estudio San Felipe-Los Andes.* [Tesis de magíster en Desarrollo Urbano, Pontificia Universidad Católica de Chile].

**CEPAL. (s.f.).** *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).* Obtenido de CEPAL: <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible/objetivos-desarrollo-sostenible-ods>

**Chiarito, G., & Chiarito, E. (2015).** EVALUACIÓN DE TEMPERATURAS URBANAS DE ACUERDO AL USO DEL SUELO: ROSARIO. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 93-102.

**Correa, E., Flores, S., & Lesino, G. (2003).** ISLA DE CALOR URBANA: EFECTO DE LOS PAVIMENTOS. INFORME DE AVANCE. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 25-30.

**Correa, E., De Rosa, C., & Lesino, G. (2006).** Isla de Calor Urbana. Distribución espacio-temporal de temperaturas dentro del Área Metropolitana de Mendoza. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 121-128.

**Correa, E., Ruiz, M., & Cantón, M. (2010).** Morfología forestal y confort térmico en “ciudades oasis” de zonas áridas. *Ambiente Construido*, 119-137.

**Costa, T. & Margarete, C. (2010).** CLIMATOLOGIA E GESTÃO DO ESPAÇO URBANO. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, 71-90.

**Cunha, J. D., & Rodríguez, J. (2009).** Crecimiento urbano y movilidad en América Latina. *Revista Latinoamericana de Población*, 27-64.

**Davenport, A., Oke, T., & Wieringa, J. (2000).** Estimating the roughness of cities and sheltered country. *Preprints, 12th Conf. on Applied Climatology*, 96-99.

**De Mattos, C. (2008).** Globalización, negocios inmobiliarios y mercantilización del desarrollo urbano. En P. Pereira y R. Hidalgo (Ed.), *Producción inmobiliaria y reestructuración metropolitana en América Latina* (p. 23-40). Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Sao Paulo.

**Demuzere, M., Kittner, J., & Bechtel, B. (2021).** LCZ Generator: a web application to create Local Climate Zone maps. *Frontiers in Environmental Science*, 1-18.

**Dorta, P. (1996).** LAS INVERSIONES TÉRMICAS EN CANARIAS. *Investigaciones geográficas (Esp)*, 109-124.

**Ducci, M. (1997).** Chile: el lado oscuro de una política de vivienda exitosa. *Revista EURE*, 99-115.

**Fernández-García, F. (1996).** *Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación*. Síntesis.

**Fuentes, C. (2015).** Islas de calor urbano en Tampico, México. Impacto del microclima a la calidad del hábitat. *Nova scientia*, 495-515.

**Fuentes, L. & Pezoa, M. (2018).** Nuevas geografías urbanas en Santiago de Chile 1992-2021. Entre la explosión y la implosión de lo metropolitano. *Revista de geografía Norte Grande*, 131-151.

**García, M., Ramírez, H., Ulloa, H., Arias, S., & Pérez, A. (2012).** LAS INVERSIONES TÉRMICAS Y LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA (MÉXICO). *Investigaciones geográficas*, 9-29.

**Gauthier, P., & Gilliland, J. (2006).** Mapping urban morphology: a classification scheme for interpreting contributions to the study of urban form. *International Seminar on Urban Form*, 41-50.

**Gómez, N. (2014).** *Climatología urbana de Copiapó como ciudad localizada en un medio ambiente árido* [Tesis de pregrado Geografía, Universidad de Chile].

**Gómez, C. (2017).** Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): una revisión crítica. *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*, 107-118.

**Grimmond, S. (2007).** Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. *The Geographical Journal*, 83-88.

**Guijarro, J. (1998).** Influencia de la urbanización en las series termométricas de Baleares. *IV Reunión de Climatología: El clima y el factor urbano*, (págs. 305-314). Madrid.

**Harlan, S., Brazel, A., Prashad, L., Stefanov, W. & Larsen, L. (2006).** Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. *Social Science & Medicine*, 2847-2863.

**Harvey, D. (2007).** *A Brief History of Neoliberalism*. Nueva York: Oxford.

**Herrera, L., Pecht, W., & Olivares, F. (1976).** *CRECIMIENTO URBANO DE AMÉRICA LATINA*. Santiago: CENTRO LATINOAMERICANO DE DEMOGRAFÍA.

**Hidalgo, R., & Arenas, F. (2009).** Del país urbano al país metropolitano. Transformaciones recientes en las ciudades chilenas. En R. Hidalgo, F. Arenas, & C. De Mattos, *Chile: del país urbano al país metropolitano* (págs. 9-29). Santiago: EURE.

**Hidalgo, R., Arenas, F., & Monsalve, R. (2009).** LA CONURBACIÓN LA SERENA-COQUIMBO: PROBLEMAS Y DESAFÍOS DE SU TRANSFORMACIÓN METROPOLITANA. En R. Hidalgo, F. Arenas, & C. De Mattos, *CHILE: DEL PAÍS URBANO AL PAÍS METROPOLITANO* (págs. 161-186). Santiago: Instituto de Geografía Pontificia Universidad Católica de Chile.



**Honjo, T., Narita, K., Sugawara, H., Mikami, T., Kimura, K. & Kuwata, N. (2003).** Observation of cool island effects in urban park (Shinjuku Gyoen). *XV International Conference on Urban Climates*, Warsaw, Sept. 1- 5. Poland.

**Infraestructura de Datos Espaciales. (s.f.).** *Área Urbana Consolidada*. Obtenido de IDE CHILE: <https://www.ide.cl/index.php/planificacion-y-catastro/item/1845-area-urbana-consolidada>

**Instituto Nacional de Estadísticas. (2017).** *ANÁLISIS CENSO DE POBLACIÓN Y VIVIENDA 2017 Región de Coquimbo*. Santiago: INE.

**Instituto Nacional de Estadísticas. (2018).** *SÍNTESIS DE RESULTADOS CENSO 2017*. Santiago: INE.

**Jiménez, M., González, M., Escalona, M., Valdez, J., & Aguirre, C. (2011).** Comparación de métodos espaciales para detectar cambios en el uso del suelo urbano. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 389-406.

**Jordan, R. y Simioni, D. (1998).** *Ciudades intermedias de América Latina y el Caribe: propuestas para la gestión urbana*. Santiago de Chile: CEPAL.

**Köppen, W. (1948).** *Climatología: con un estudio de los climas de la tierra*. México D.F.: FONDO DE CULTURA ECONÓMICA.

**Landsberg, H. (1981).** *The Urban Climate*. Academic Press INC: Nueva York, Estados Unidos.

**Llopis, J. (9 de noviembre de 2013).** *¿Media y Desviación estándar o Mediana y Rango intercuartílico?* Obtenido de LA MATEMÁTICA Y LA ESTADÍSTICA: UNA ORQUESTA HECHA INSTRUMENTO: <https://jlllopisperez.com/2013/11/09/media-y-desviacion-estandar-o-mediana-y-rango-intercuartilico/>

**López-Ortiz, M., Melgarejo, J., & Fernández-Aracil, P. (2020).** *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes*. España: Universitat d'Alacant.

**Lukas, M., & Durán, G. (2020).** *The International Political Economy of cities and urbanization: Insights from Latin America*. En E. Vivares, *The Routledge Handbook to Global Political Economy* (págs. 775-795). Routledge.

**Marengo, M., & Buffalo, L. (2018).** Transformaciones socioterritoriales en la ciudad latinoamericana, el crecimiento urbano y los procesos de enseñanza en clave interdisciplinaria. El caso de Córdoba, Argentina. *Urbana*, 1-17.

**Martilli, A. (2010).** *Modelización del clima urbano a mesoescala*. Madrid: AEC.

**Martínez, A. (2017).** *Isla de calor en el área urbana del valle de Aburrá*. [Tesis de magíster

en Ingeniería - Recursos Hidráulicos , Universidad Nacional de Colombia.

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

**Mattos, C. D. (2010).** Una nueva geografía latinoamericana en el tránsito de la planificación a la gobernanza, del desarrollo al crecimiento. *EURE*, 167-179.

**Maturana, F. y Rojas, A. (2015).** *Ciudades intermedias en Chile: Territorios olvidados*. Santiago: RIL Editores.

**Ministerio del Medio Ambiente. (s.f.).** ¿Qué son los ODS? Obtenido de Ministerio del Medio Ambiente: <https://ods.mma.gob.cl/que-son-los-ods/>

**Ministerio del Medio Ambiente. (2017).** *Plan de adaptación al cambio climático para ciudades 2018-2022*. Santiago: Gobierno de Chile.

**Ministerio del Medio Ambiente. (30 de Agosto de 2021).** *SEREMI del Medio Ambiente de la Región de Coquimbo anuncia la pronta declaración de Humedal Urbano del Río Elqui*. Obtenido de Ministerio del Medio Ambiente: <https://mma.gob.cl/seremi-del-medio-ambiente-de-la-region-de-coquimbo-anuncia-la-pronta-declaracion-de-humedal-urbano-del-rio-elqui/#:~:text=Humedal%20Costero%20Desembocadura%20del%20R%C3%ADo%20Elqui&text=La%20vegetaci%C3%B3n%20del%20humedal%20est%C3%A1,p>

**Molina, M., Romero, H., & Sarricolea, P. (2009).** CARACTERÍSTICAS SOCIOAMBIENTALES DE LA EXPANSIÓN URBANA DE LAS ÁREAS METROPOLITANAS DE SANTIAGO Y VALPARAÍSO. En R. Hidalgo, F. Arenas , & C. De Mattos, *CHILE: DEL PAÍS URBANO AL PAÍS METROPOLITANO* (págs. 187-200). Santiago: Instituto de Geografía Pontificia Universidad Católica de Chile.

**Mondaca, L. (2019).** *Incidencia del Plan Regulador Comunal en la formación de Zonas Climáticas Locales. Caso de Ciudad de Melipilla* [Tesis de Magister en Urbanismo, Universidad de Chile].

**Monteiro, C. (1976).** *Teoria e Clima Urbano*. São Paulo: IGEOG/USP.

**Moraga, P., Rojas, M., Gallardo , L., & Rudnick, A. (2020).** *Ficha: Principios y Proyecto de Ley Marco de Cambio Climático*. Santiago: Observatorio Ley de Cambio Climático.

**Morales E. & Rojas S. (1986).** *Relocalización socio espacial de la pobreza. Política estatal y presión popular, 1979-1985*. Santiago: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO).

**Moreno, M. (1997).** Una propuesta de terminología castellana en climatología urbana. *Investigaciones geográficas*, 89-97.

**Moreno, C. (2008).** La conurbación: rizoma urbano y hecho ambiental complejo. *VIII*

*Seminario Nacional de Investigación Urbano-Regional* (págs. 1-12). Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

**Moreno, M., & Serra, J. (2016).** El estudio de la isla de calor urbana en el ámbito mediterráneo: una revisión bibliográfica. *REVISTA BIBLIOGRÁFICA DE GEOGRAFÍA Y CIENCIAS SOCIALES*, 1-32.

**Moris, R. (10 de Mayo de 2015).** *El barómetro de las ciudades*. Obtenido de El Mercurio: <http://impresa.elmercurio.com/mernobileiphone//Pages/NewsDetailMobile.aspx?dt=2015-05-10&PaginaID=13&SupplementId=0&BodyID=3&IsNPHR=0&Anchor=>

**Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. (2022).** *Atlas Rural de Chile*. Santiago: Ministerio de Agricultura.

**Oke, T. R. (1987).** *Boundary Layer Climates*. London: Routledge.

**Oke, T., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. (2017).** *Urban climates*. Cambridge: Cambridge University Press.

**ONU-HABITAT. (2010).** *State of the World's Cities 2010/2011: bridging the urban divide*. London: Earthscan.

**Orellana, A., Díaz, M., & Fierro, M. (2016).** De ciudad mediterránea a metrópolis costera, el caso de Gran La Serena. *Urbano*, 30-43.

**Orellana, A. (2020).** Conformación metropolitana desde la fragmentación. El proceso de conurbación del Gran La Serena. *Urbano (Concepción)*, 58-83.

**Organización de las Naciones Unidas. (2020).** *Folleto de Datos Poblacionales*. Nairobi: ONU-Habitat.

**Otero, A., & Llop, J. (2020).** La ciudad intermedia: crecimiento y dinámicas de desarrollo. *Territorios*, 1-8.

**Pacha, M., & Villamarín, G. (2018).** Resiliencia Urbana en Ciudades Intermedias de América Latina. *Medio Ambiente y Urbanización*, 11-28.

**Perez, C. (2009).** *Morfología urbana*. Jujuy: Taller Vertical Meda Altamirano Yantorno.

**Picone, N. (2014).** *CLIMA URBANO DE LA CIUDAD DE TANDIL* [Tesis Doctoral en Geografía, Universidad Nacional del Sur].

**Quintero, O. (4 de mayo de 2018).** *Temperatura del suelo, manifestación de la eficiencia tropical*. Obtenido de Ganadería: <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/temperatura-suelo-manifestacion-eficiencia-t42127.htm>

**Ravanelli, R., Nascetti, A., Cirigliano, R., Di Rico, C., Leuzzi, G., Monti, P., & Crespi, M.**

(2018). Monitoring the impact of land cover change on surface urban heat island through Google Earth Engine: Proposal of a global methodology, first applications and problems. *Remote Sensing*, 1488.

**Reyes, M. (2019).** *Incidencia del hormigón en la formación de Islas de Calor en la cordillera andina, caso Riobamba-Ecuador*. [Tesis de pregrado Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Chimborazo].

**Rodríguez, A., & Rodríguez, P. (2012).** Santiago, una ciudad neoliberal. *Questiones Urbano Regionales*, 101-126.

**Rodríguez, D. (2020).** *Determinación y mapeo de las Zonas Climáticas Locales y Unidades de Ventilación de la ciudad de Bogotá. Una aplicación en el análisis de la intensidad de la isla de calor urbana*. [Tesis de pregrado Ingeniería Ambiental, Universidad Distrital Francisco José de Caldas].

**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 N° 5)*, 827-837.

**Romero, H., & Vásquez, A. (2009).** El crecimiento espacial de las ciudades intermedias chilenas de Chillán y Los Ángeles y sus impactos sobre la ecología de paisajes urbanos. En A. Geraiges, J. Sanches, & A. Luchiari, *América Latina: sociedade e meio ambiente* (págs. 109-136). Sao Paulo: CLACSO Livros.

**Romero, H., Salgado, M., & Smith, P. (2010).** Cambios climáticos y climas urbanos: Relaciones entre zonas termales y condiciones socioeconómicas de la población de Santiago de Chile. *Revista INVI*, 151-179.

**Salazar, G., Fonck, M., & Vergara, L. (2018).** Ciudades intermedias: dinámicas de intermediación desde la noción de lugar. El caso de la región de la Araucanía, Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, 109-130.

**Sarricolea, P., Aliste, E., Castro, P., & Escobedo, C. (2008).** Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos. *Revista de Climatología*, 71-84.

**Sarricolea, P., & Martín-Vide, J. (2014).** El estudio de la Isla de Calor Urbana de Superficie del Área Metropolitana de Santiago de Chile con imágenes Terra-MODIS y Análisis de Componentes Principales. *Revista de geografía Norte Grande*.

**Sarricolea, P., Ossandon, M., & Meseguer-Ruiz, O. (2017).** Climatic regionalisation of continental Chile. *Journal of Maps*, 66-73.

**Sarricolea, P., Smith, P., Vidal, P., Meseguer, O., & Romero, H. (2022).** ISLAS DE

CALOR DE SUPERFICIE Y SU RELACIÓN CON LOS NIVELES DE INGRESO Y LAS ZONAS CLIMÁTICAS LOCALES. EL CASO DE CUATRO CONURBACIONES COSTERAS DE CHILE. *XII Congreso Internacional de Asociación Española de Climatología*. Santiago de Compostela: Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo.

**Silveira, M. (2011).** URBANIZACIÓN LATINOAMERICANA Y CIRCUITOS DE LA ECONOMÍA URBANA. *Revista Geográfica de América Central*, 1-17.

**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*, 45-62.

**Stewart, I., & Oke, T. (2012).** Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1879-1900.

**Tang, J., Wang, L., & Yao, Z. (2008).** Analyses of urban landscape dynamics using multi-temporal satellite images: A comparison of two petroleum-oriented cities. *Landscape and Urban Planning*, 269-278.

**Torrent, H. (2004).** Patrimonio territorial y arquitectónico: El Plan Serena. *Urbano*, 93-99.

**Valor, E., Casselles, V., Coll, C., Sánchez, F., Rubio, E., & Sospedra, F. (2000).** Análisis comparativo del efecto de isla térmica de la ciudad de Valencia con imágenes TM, MUST y AVHRR. *Revista de teledetección*, 1-6.

**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*, 529- 550.

**Voogt, J. & Oke, T. (2003).** Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 370-384.

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

**Wieringa, J., Davenport, A., Grimmond, S., & Oke, T. (2001).** *New revision of Davenport roughness classification*. Erd European and African Conference on Wind Engineering . Eindhoven Netherlands.

**Williams, 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* [Tesis de pregrado Geografía, Universidad de Chile].

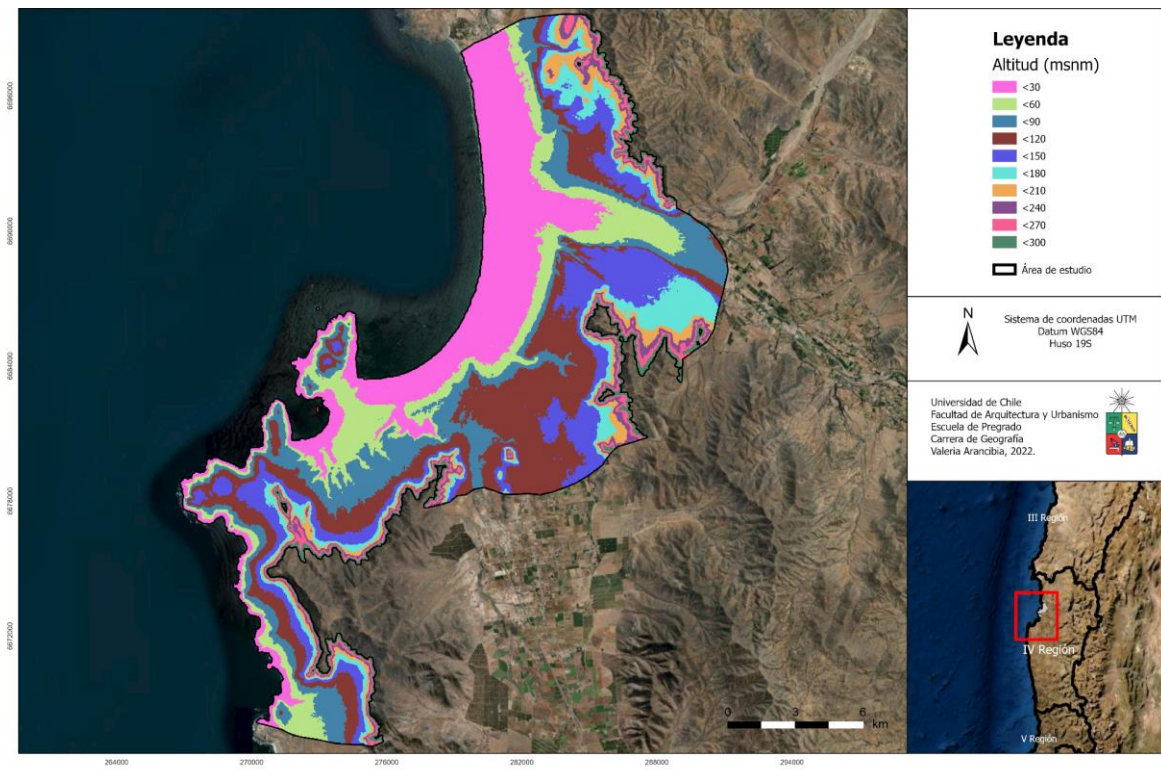
**Wirth, L. (2005).** El urbanismo como modo de vida. *Bifurcaciones*, 1-15.

**Yoshino, M. (1975).** *Climate in a small area.* University of Tokyo, Tokyo.

**Zúñiga, I., & Libys, M. (2018).** Resiliencia urbana ante inundaciones por intensas lluvias en contribución al desarrollo urbano equilibrado. *Arquitectura y Urbanismo*, 39-50.

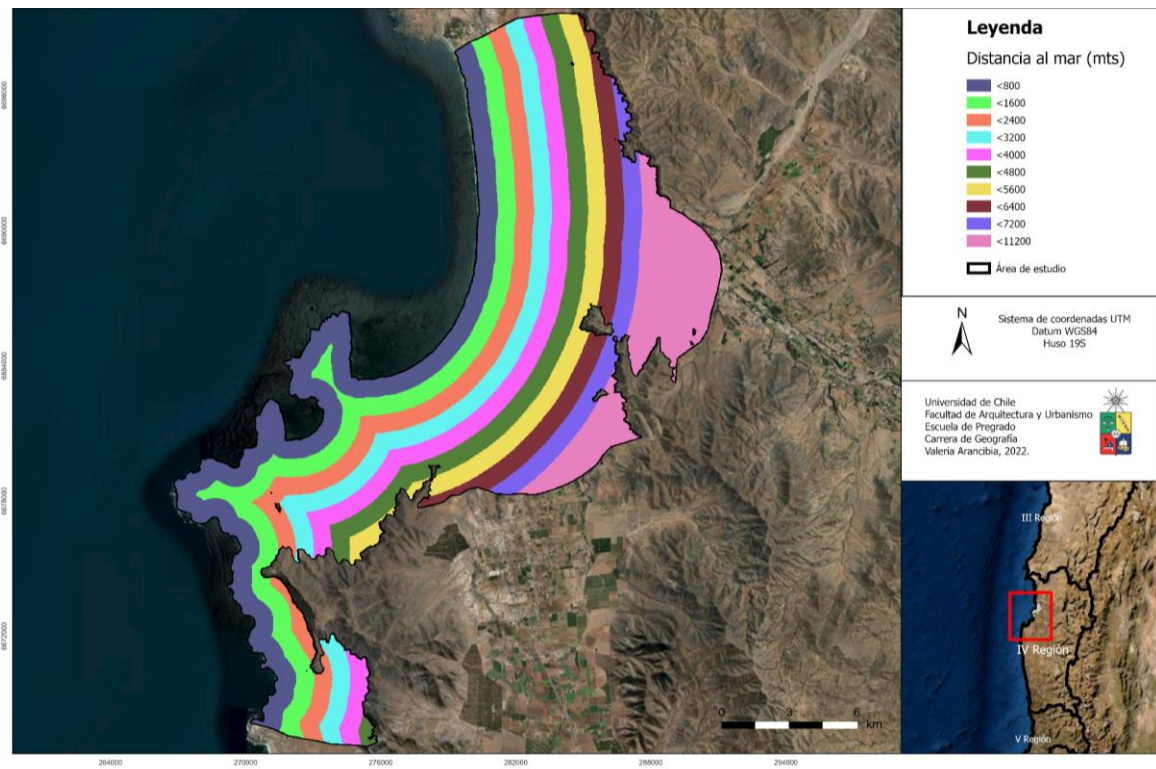
## ANEXOS

### Anexo N°1: Niveles de altitud (msnm) en la Conurbación La Serena-Coquimbo, Chile



*Fuente: Elaboración propia, 2022.*

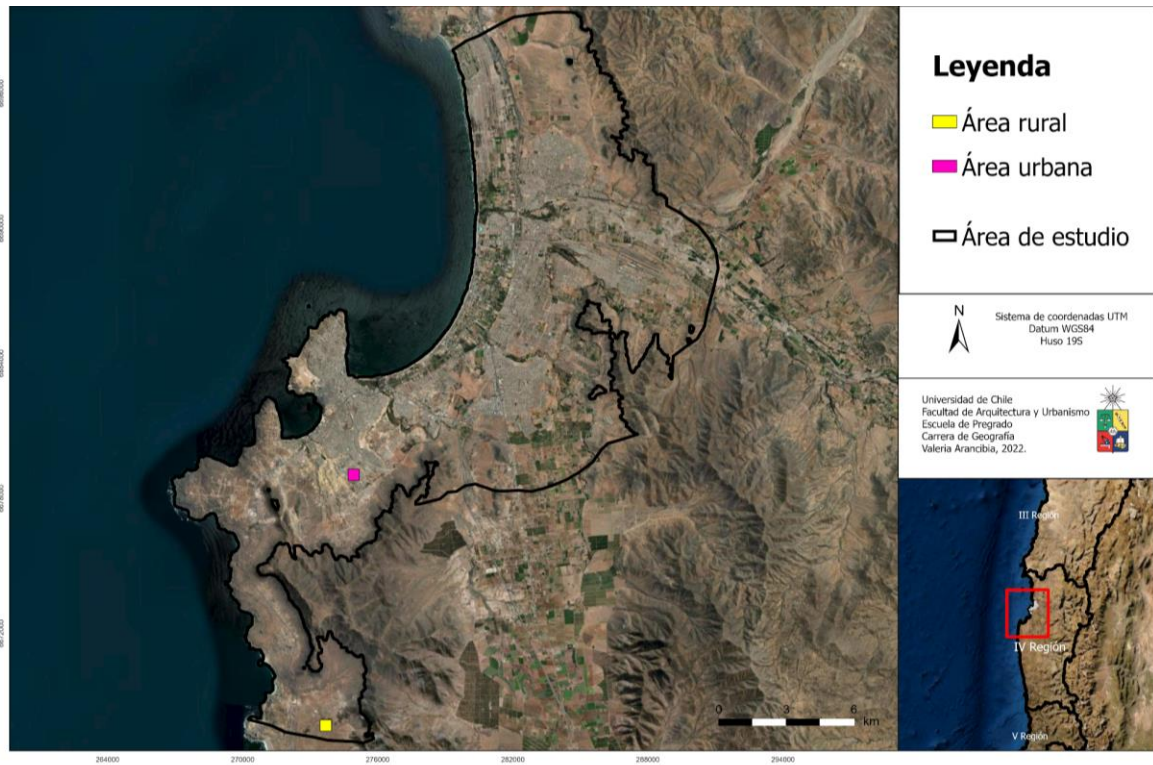
## Anexo N°2: Distancia al mar (metros) en la Conurbación La Serena-Coquimbo, Chile



*Fuente: Elaboración propia, 2022.*

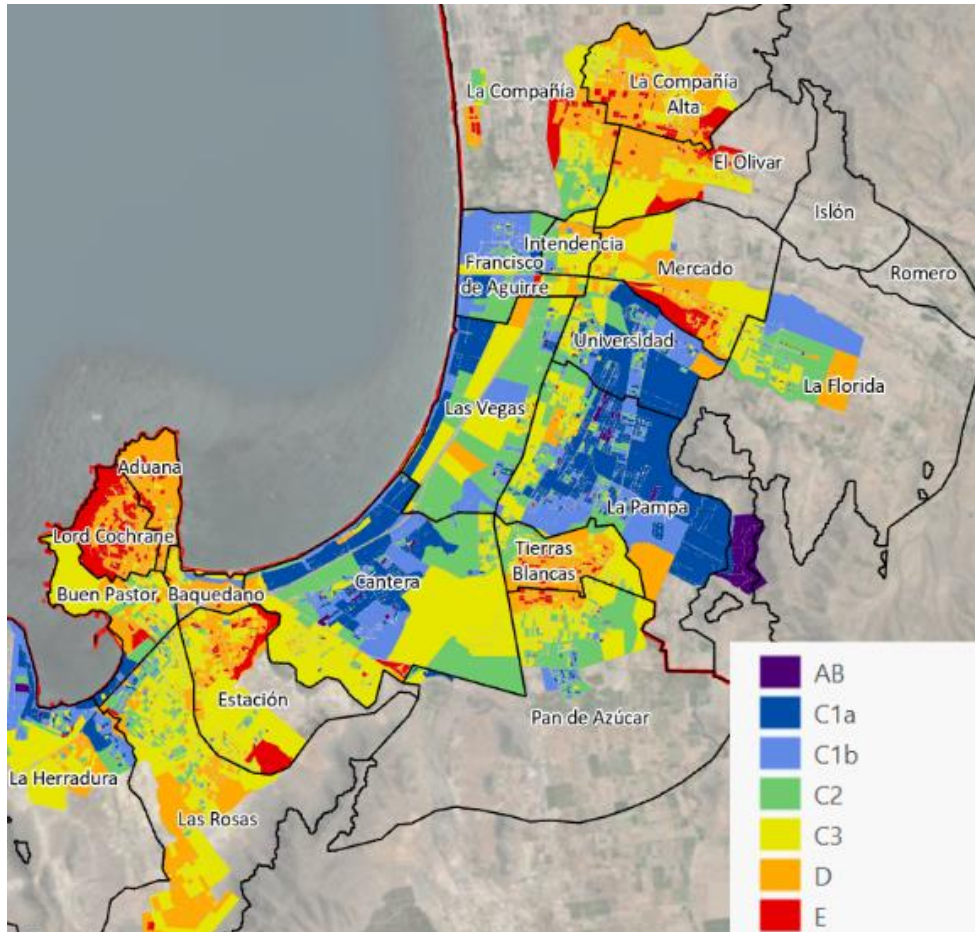


### Anexo N°3: Área urbana y rural para cálculo de ICUs en la conurbación La Serena-Coquimbo, Chile



*Fuente: Elaboración propia, 2022.*

#### Anexo N°4: Mapa de los Grupos Socioeconómicos en la conurbación La Serena-Coquimbo



Fuente: Sarricolea et al. (2022) basado en datos obtenidos desde Entel Ocean.

**Anexo N°5: Tabla descriptiva de intensidades de ICUs diurnas de Verano, Otoño, Invierno y Primavera según cada serie de las Zonas Climáticas Locales (ZCL)**

Serie	Verano día						Otoño día						Invierno día						Primavera día					
	Mínimo	1er cuartil	Mediana	3er cuartil	Máximo	IQR	Mínimo	1er cuartil	Mediana	3er cuartil	Máximo	IQR	Mínimo	1er cuartil	Mediana	3er cuartil	Máximo	IQR	Mínimo	1er cuartil	Mediana	3er cuartil	Máximo	IQR
ZCL-1	-10.26	-8.65	-7.86	-7.55	-1.70	1.11	-7.51	-5.91	-5.27	-5.07	-0.84	0.84	-4.18	-2.48	-2.30	-1.93	0.73	0.55	-9.02	-7.22	-6.58	-6.23	-0.90	0.99
ZCL-2	-8.79	-7.03	-5.42	-3.51	-0.29	3.52	-5.89	-4.81	-3.66	-1.80	0.09	3.01	-2.54	-1.89	-1.18	-0.11	0.69	1.78	-7.55	-5.86	-4.42	-2.43	0.43	3.43
ZCL-3	-13.33	-5.14	-3.70	-1.99	-0.04	3.15	-9.45	-3.38	-2.33	-1.08	0.61	2.30	-5.36	-0.91	-0.30	0.30	1.03	1.22	-11.87	-4.04	-2.79	-1.33	0.55	2.72
ZCL-4	-8.66	-8.12	-7.82	-7.50	-0.59	0.62	-5.83	-5.52	-5.29	-5.04	-0.27	0.48	-2.47	-2.29	-2.18	-2.03	0.38	0.26	-7.28	-6.75	-6.50	-6.20	0.14	0.55
ZCL-5	-6.80	-5.04	-4.16	-3.82	-0.46	1.23	-4.63	-3.29	-2.66	-2.49	0.06	0.80	-2.02	-0.93	-0.43	-0.26	0.86	0.66	-5.66	-4.03	-3.07	-2.82	0.31	1.22
ZCL-6	-13.33	-5.69	-3.75	-2.23	-0.01	3.46	-9.42	-3.80	-2.39	-1.25	0.50	2.56	-5.33	-1.52	-0.41	0.06	1.04	1.59	-11.87	-4.84	-2.80	-1.63	0.54	3.22
ZCL-7	-5.44	-1.12	-0.82	-0.45	-0.17	0.67	-4.35	-0.18	0.13	0.53	0.69	0.71	-2.87	0.46	0.60	0.72	0.81	0.27	-5.21	-0.82	-0.40	-0.15	0.03	0.68
ZCL-8	-13.35	-5.91	-3.06	-1.42	-0.24	4.50	-9.57	-3.98	-1.90	-0.49	0.38	3.49	-5.43	-1.31	-0.38	0.46	1.04	1.77	-11.85	-4.73	-2.18	-0.96	0.43	3.77
ZCL-9	-13.00	-5.91	-3.48	-2.23	0.15	3.68	-9.41	-4.15	-1.74	-1.18	0.63	2.96	-5.23	-1.57	-0.29	0.09	0.87	1.66	-11.52	-5.08	-2.53	-1.59	0.69	3.49
ZCL-10	-6.47	-6.22	-6.07	-5.98	-5.67	0.24	-4.29	-4.12	-4.04	-3.97	-3.79	0.15	-1.44	-1.33	-1.26	-1.21	-1.09	0.11	-5.25	-5.02	-4.89	-4.79	-4.50	0.24
ZCL-A	-7.81	-4.39	-4.23	-3.98	-0.35	0.40	-5.18	-2.63	-2.46	-2.26	0.11	0.37	-2.17	-0.59	-0.26	-0.18	0.82	0.41	-6.59	-3.26	-3.11	-2.93	0.38	0.33
ZCL-B	-9.27	-4.94	-3.59	-1.20	-0.17	3.74	-6.47	-3.29	-2.11	-0.22	0.21	3.07	-3.29	-0.83	-0.42	0.63	0.80	1.46	-8.03	-3.88	-2.84	-0.54	0.51	3.33
ZCL-C	-13.70	-3.89	-2.53	-1.12	1.51	2.78	-9.87	-2.58	-1.45	-0.27	1.42	2.31	-5.61	-0.94	-0.36	0.40	1.21	1.35	-12.12	-3.16	-1.94	-0.64	1.58	2.51
ZCL-D	-10.05	-4.92	-3.31	-2.09	1.16	2.83	-7.35	-3.45	-1.99	-1.46	1.56	1.99	-4.18	-1.16	-0.51	-0.10	1.32	1.06	-8.94	-4.26	-2.52	-1.51	1.21	2.75
ZCL-E	-14.09	-12.98	-11.56	-9.60	-1.58	3.38	-10.14	-9.24	-8.31	-6.85	-0.47	2.39	-5.76	-5.19	-4.75	-3.79	0.68	1.40	-12.47	-11.48	-10.25	-8.46	-0.80	3.02
ZCL-F	-11.61	-2.57	-1.23	0.12	1.54	2.70	-8.34	-1.45	-0.42	0.48	1.81	1.93	-4.76	-0.06	0.49	0.80	1.50	0.85	-10.31	-1.97	-0.77	0.40	1.62	2.38
ZCL-G	-9.47	-7.68	-7.08	-5.39	0.37	2.29	-6.30	-5.36	-4.81	-3.20	0.35	2.16	-2.74	-2.40	-1.93	-1.50	0.73	0.91	-8.21	-6.41	-5.80	-4.87	0.25	1.54

*Fuente: Elaboración propia, 2022.*

**Anexo N°6: Tabla descriptiva de intensidades de ICUs nocturnas de Verano, Otoño, Invierno y Primavera según cada serie de las Zonas Climáticas Locales (ZCL)**

Serie	Verano noche						Otoño noche						Invierno noche						Primavera noche					
	Mínimo	1er cuartil	Mediana	3er cuartil	Máximo	IQR	Mínimo	1er cuartil	Mediana	3er cuartil	Máximo	IQR	Mínimo	1er cuartil	Mediana	3er cuartil	Máximo	IQR	Mínimo	1er cuartil	Mediana	3er cuartil	Máximo	IQR
ZCL-1	0,76	1,01	1,10	1,28	1,64	0,27	0,69	1,46	1,51	1,64	2,23	0,19	0,76	1,74	1,88	2,18	2,64	0,44	0,77	1,49	1,66	1,80	2,38	0,31
ZCL-2	0,16	0,84	0,96	1,10	1,66	0,27	-0,31	0,98	1,30	1,52	1,80	0,54	-0,19	1,06	1,45	1,75	2,21	0,69	-0,08	1,05	1,31	1,59	1,97	0,54
ZCL-3	-0,53	0,67	0,89	1,10	1,66	0,43	-1,05	0,70	1,06	1,37	1,98	0,67	-0,76	0,76	1,17	1,43	2,90	0,67	-0,86	0,81	1,12	1,45	1,91	0,63
ZCL-4	0,06	0,87	1,04	1,23	1,63	0,36	-0,50	0,96	1,46	1,63	1,97	0,67	-0,30	0,87	1,60	1,96	2,34	1,09	-0,29	1,07	1,59	1,78	2,11	0,71
ZCL-5	-0,13	0,99	1,08	1,16	1,63	0,17	0,05	1,15	1,28	1,48	1,80	0,33	0,09	1,23	1,37	1,58	1,93	0,35	0,22	1,21	1,35	1,58	1,88	0,37
ZCL-6	-0,66	0,42	0,78	0,93	1,62	0,51	-1,03	0,44	0,87	1,25	1,98	0,80	-0,74	0,66	1,05	1,46	2,83	0,80	-0,88	0,55	0,92	1,32	2,09	0,77
ZCL-7	-0,19	0,52	0,59	0,64	0,90	0,12	-0,39	0,44	0,59	0,92	1,25	0,47	-0,08	0,87	1,12	1,53	1,86	0,66	-0,30	0,63	0,74	0,98	1,30	0,35
ZCL-8	-0,33	0,62	0,87	1,09	1,58	0,48	-0,39	0,44	1,00	1,40	2,03	0,96	-0,21	0,50	1,09	1,54	3,09	1,05	-0,25	0,58	1,06	1,49	2,15	0,91
ZCL-9	-0,42	0,16	0,48	0,91	1,61	0,75	-0,89	0,14	0,56	1,20	2,17	1,06	-0,62	0,33	0,87	1,50	2,82	1,17	-0,66	0,21	0,72	1,29	2,31	1,08
ZCL-10	0,97	1,00	1,03	1,08	1,16	0,07	1,22	1,24	1,28	1,34	1,43	0,10	1,37	1,41	1,43	1,47	1,52	0,05	1,39	1,41	1,43	1,47	1,52	0,06
ZCL-A	-0,31	-0,13	0,89	1,10	1,28	1,24	-0,25	0,00	0,95	1,44	1,58	1,44	-0,02	0,36	1,01	1,51	1,91	1,15	-0,16	0,02	0,99	1,45	1,74	1,43
ZCL-B	-0,74	0,26	0,81	1,00	1,63	0,75	-1,37	0,08	0,60	1,33	2,20	1,25	-0,94	0,28	0,91	1,40	2,60	1,11	-1,11	0,19	0,85	1,32	2,35	1,13
ZCL-C	-0,79	0,22	0,54	0,85	1,63	0,63	-0,98	0,23	0,60	1,05	2,04	0,82	-0,71	0,57	0,90	1,43	3,07	0,86	-0,82	0,39	0,76	1,08	2,01	0,68
ZCL-D	-0,95	-0,31	0,27	0,80	1,65	1,11	-1,52	-0,51	0,33	1,04	2,01	1,56	-1,03	-0,30	0,56	1,28	2,36	1,59	-1,23	-0,39	0,46	1,13	2,14	1,52
ZCL-E	-0,28	0,83	0,92	0,97	1,34	0,14	-0,33	1,50	1,82	1,94	2,12	0,44	-0,18	2,11	2,60	2,77	3,21	0,66	-0,20	1,46	1,83	1,92	2,08	0,45
ZCL-F	-0,79	-0,34	0,28	0,73	1,66	1,08	-1,20	-0,43	0,25	0,66	1,84	1,08	-0,86	-0,12	0,50	0,88	2,66	0,99	-1,00	-0,29	0,45	0,81	1,90	1,10
ZCL-G	-0,50	0,01	0,98	1,03	1,11	1,03	-0,78	0,31	1,15	1,24	1,68	0,93	-0,51	0,67	1,04	1,22	2,26	0,55	-0,69	0,40	1,27	1,35	1,83	0,95

*Fuente: Elaboración propia, 2022.*

**Anexo N°7: Tabla descriptiva de intensidades de ICUs diurnas de Verano, Otoño, Invierno y Primavera según cada Grupo Socioeconómico (GSE)**

GSE	Verano día						Otoño día						Invierno día						Primavera día					
	Mínimo	1er cuartil	Mediana	3er cuartil	Máximo	IQR	Mínimo	1er cuartil	Mediana	3er cuartil	Máximo	IQR	Mínimo	1er cuartil	Mediana	3er cuartil	Máximo	IQR	Mínimo	1er cuartil	Mediana	3er cuartil	Máximo	IQR
AB	-11,07	-3,63	-2,41	-2,28	-1,11	1,36	-7,98	-2,34	-1,58	-1,34	-0,62	1,00	-4,50	-0,58	-0,38	-0,25	0,36	0,32	-9,82	-2,61	-1,81	-1,66	-0,33	0,95
C1a	-12,95	-6,33	-3,98	-2,81	-0,54	3,52	-9,34	-4,28	-2,56	-1,83	0,20	2,45	-5,30	-1,68	-0,41	-0,23	0,69	1,45	-11,46	-5,24	-2,93	-2,01	0,07	3,23
C1b	-14,02	-6,49	-4,09	-2,75	-0,19	3,73	-10,10	-4,36	-2,57	-1,33	0,22	3,03	-5,73	-1,57	-0,41	0,06	0,86	1,63	-12,41	-5,27	-3,03	-1,92	0,50	3,35
C2	-13,02	-6,26	-4,46	-2,17	-0,05	4,09	-9,41	-4,19	-2,87	-1,11	0,50	3,08	-5,23	-1,43	-0,53	0,18	1,01	1,61	-11,54	-5,08	-3,36	-1,43	0,59	3,64
C3	-13,35	-5,16	-3,16	-1,44	0,34	3,72	-9,57	-3,42	-1,69	-0,48	0,69	2,94	-5,43	-1,00	-0,05	0,59	1,06	1,60	-11,85	-4,11	-2,33	-0,81	0,70	3,30
D	-13,33	-5,21	-3,27	-1,54	0,50	3,66	-9,42	-3,45	-1,91	-0,55	0,69	2,90	-5,33	-1,04	-0,11	0,53	1,04	1,57	-11,87	-4,16	-2,39	-0,90	0,71	3,26
E	-13,33	-10,84	-4,09	-1,94	-0,24	8,90	-9,42	-7,86	-2,54	-1,19	0,44	6,67	-5,33	-4,48	-0,38	0,17	1,03	4,66	-11,87	-9,63	-3,07	-1,35	0,46	8,28

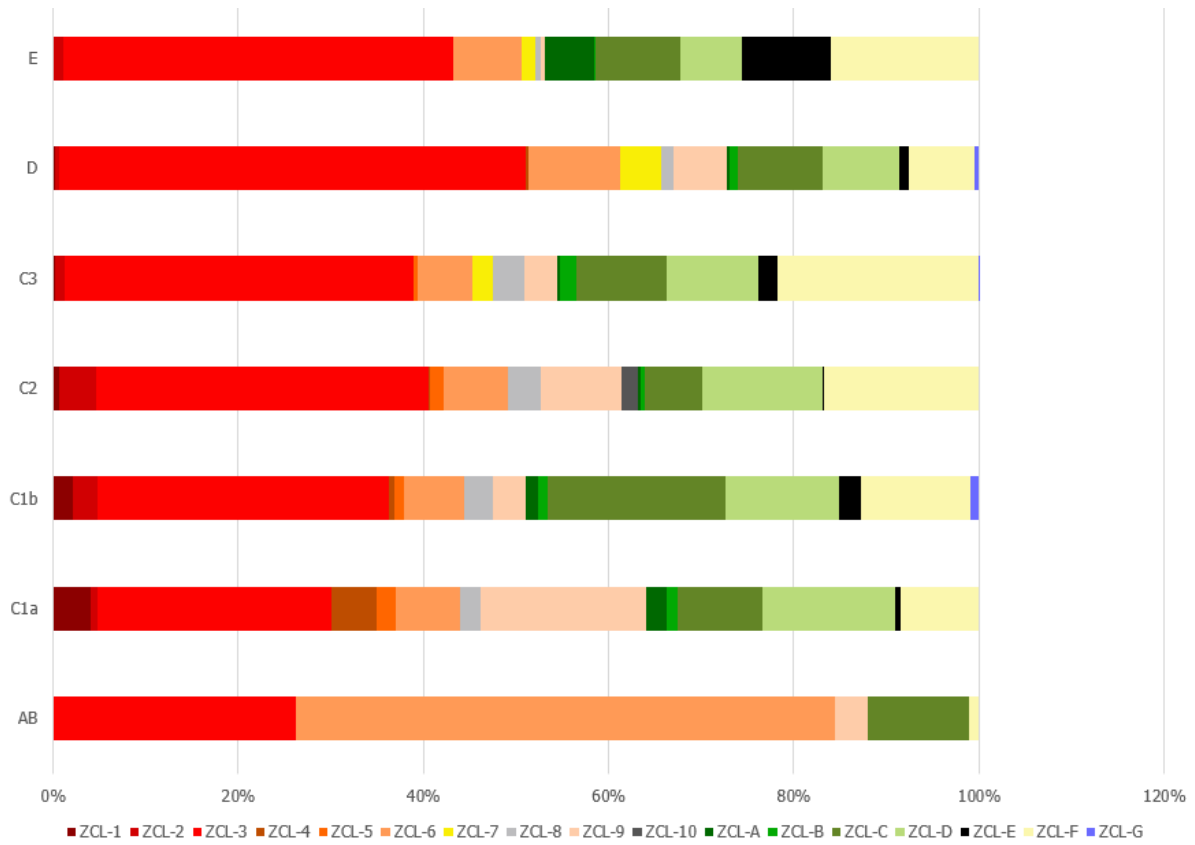
*Fuente: Elaboración propia, 2022.*

**Anexo N°8: Tabla descriptiva de intensidades de ICUs nocturnas de Verano, Otoño, Invierno y Primavera según cada Grupo Socioeconómico (GSE)**

GSE	Verano noche						Otoño noche						Invierno noche						Primavera noche					
	Minimo	1er cuartil	Mediana	3er cuartil	Máximo	IQR	Minimo	1er cuartil	Mediana	3er cuartil	Máximo	IQR	Minimo	1er cuartil	Mediana	3er cuartil	Máximo	IQR	Minimo	1er cuartil	Mediana	3er cuartil	Máximo	IQR
AB	0,11	0,39	0,42	0,90	1,19	0,51	-0,32	0,42	0,48	0,83	1,69	0,41	-0,24	0,63	0,73	0,90	2,41	0,26	-0,13	0,42	0,48	0,97	1,65	0,55
C1a	-0,18	0,85	0,98	1,08	1,64	0,23	-0,74	0,82	1,12	1,39	2,23	0,57	-0,50	0,81	1,19	1,45	2,83	0,65	-0,55	0,93	1,18	1,46	2,38	0,53
C1b	-0,21	0,81	0,94	1,05	1,65	0,23	-0,77	0,71	1,16	1,43	2,09	0,72	-0,53	0,80	1,25	1,59	3,18	0,79	-0,58	0,81	1,21	1,48	2,19	0,67
C2	-0,31	0,60	0,94	1,09	1,65	0,49	-0,87	0,68	1,09	1,37	2,12	0,69	-0,60	0,76	1,23	1,50	2,52	0,74	-0,67	0,80	1,14	1,45	2,26	0,65
C3	-0,30	0,63	0,87	1,06	1,66	0,43	-0,70	0,51	0,97	1,32	2,17	0,81	-0,50	0,62	1,13	1,51	3,09	0,89	-0,52	0,68	1,04	1,38	2,31	0,69
D	-0,05	0,57	0,78	0,96	1,66	0,38	-0,22	0,58	0,98	1,37	1,98	0,79	-0,11	0,75	1,10	1,48	2,77	0,73	0,02	0,70	1,05	1,44	2,07	0,74
E	0,23	0,69	0,90	0,92	1,59	0,23	-0,27	0,68	1,21	1,75	1,98	1,07	-0,14	0,82	1,35	2,35	2,82	1,54	-0,02	0,80	1,28	1,76	1,99	0,96

*Fuente: Elaboración propia, 2022.*

### Anexo N°9: Distribución de cada serie de Zonas Climáticas Locales según Grupo Socioeconómico



Fuente: Elaboración propia, 2022.