



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Geografía

**“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”**

Memoria para optar al Título profesional de Geógrafo

CHRISTOPHER JOSÉ IGNACIO WILLIAMS CASTRO

Profesor Guía: Dr. Pablo Sarricolea E.

SANTIAGO – CHILE

2019

AGRADECIMIENTOS

Mi más profundo afecto y agradecimiento a mis padres, quiénes fueron los principales responsables de haber permitido el acceso a una educación digna, soportando horas extensivas de trabajo. Esto permitió entregarme el privilegio de poder acceder a una institución pública de prestigio nacional e internacional, con 177 años de excelencia como lo es la Universidad de Chile, siendo el primer miembro de la familia en poder contar esto. También, quiero mencionar a mi abuela, que desde pequeño siempre cuidó de mí y me entregó cariño, recordándome siempre lo responsable que debía de ser. Por último, mencionar y agradecer a una persona muy importante en mi vida que ya no está, mi abuelo. Pues él me enseñó lo que realmente es llevar una vida dura, pues criar toda una vida más de 2.000 ovejas y vivir de ello no era tarea fácil. Además, me enseñó cosas muy valiosas, como es el respeto profundo a las personas y la humildad.

Agradezco a mis compañeros y amigos de la universidad y de la infancia, quiénes me entregaron de su valioso tiempo para pasar hermosos e inolvidables momentos.

Agradecer a toda la unidad de académicos del departamento de Geografía de la Universidad de Chile por su vocación al servicio público, por los conocimientos entregados y la excelente disposición a responder inquietudes. Específicamente a mi profesor guía Pablo Sarricolea Espinoza, por la humildad, la comprensión debido a tener que trabajar mientras hacía la memoria y la paciencia al darme tiempo de querer descubrir y explorar una nueva metodología, que al tiempo después se transformó en una asignatura obligatoria y formal de la carrera, donde me permitió ser ayudante. Por último, también expresar mis agradecimientos a mi profesora informante Pamela Smith Guerra por la humildad, comprensión y darme la oportunidad de ser ayudante dos semestres seguidos.

Por último, agradecer al pueblo de Chile por aquel hermoso 18 de octubre del 2019, quienes me volvieron a entregar una esperanza que ya estaba perdiendo por diversas circunstancias de mi vida. Sobre todo, por el coraje y valentía de salir a las calles a protestar ya sea en cualquier tipo de forma, en plenos toques de queda. Pues ya nunca nada volverá a ser como antes.

RESUMEN

Ha existido un constante aumento de la población total desde los años 1955 hasta 2020 (este último es una proyección) y un crecimiento porcentual de la población en áreas urbanas para los mismos años en América Latina y El Caribe (Sánchez et al., 2017; CEPAL, 2017; Banco Mundial, 2017). El crecimiento demográfico, y más aún, el aumento o mantenimiento de la población de las zonas urbanas, implica la necesidad de disponer de una infraestructura necesaria para las personas de la urbe, como viviendas, vialidad, servicios, entretenimiento y equipamientos propios de una ciudad. Las ciudades chilenas no están ajenas a lo anterior y han experimentado un acelerado crecimiento espacial, que ha significado sustituir usos y coberturas de suelo naturales y agrícolas por áreas urbanas (Romero et al., 2010). Dicho cambio de coberturas naturales por espacios construidos ha generado una serie de impactos sobre el medio ambiente de la ciudad, debido a que las superficies urbanas son capaces de absorber, almacenar y emitir mayor calor que las áreas rurales que circundan a las ciudades (Pickett et al., 2001; Withford et al., 2001; Romero & Molina, 2008). Ante la generación de diferentes temperaturas en comparación con áreas rurales, Sarricolea & Romero (2006), aluden a que este fenómeno se relaciona con la formación de islas de calor urbana, donde existen mayores temperaturas en la capa de aire de la ciudad por el calor aglomerado generado por las edificaciones, calles, entre otras estructuras netamente urbanas, y también altas temperaturas que emiten los objetos que componen la superficie terrestre y que se pueden identificar a través de sensores infrarrojos (imágenes satelitales).

Mundialmente existen múltiples estudios sobre islas de calor urbanos, específicamente de islas de calor urbanas superficiales, pero en Chile no es tan variado este tipo investigaciones y ha sido abarcado por pocos autores. Además, no se ha puesto mucho énfasis en querer estudiar ciudades costeras e interiores que sean de menor tamaño en cuanto a infraestructura y cantidad de población. Por lo que en esta memoria se identifican y analizan la distribución de las islas de calor urbano superficiales (ICUs) para cada estación del año en promedio, entre los años 2001-2018 y los factores geográficos explicativos, para las principales conurbaciones de la V Región de Valparaíso.

La memoria se divide en dos partes: una primera que tiene por objetivo determinar la distribución y comportamiento promedio de las ICUs nocturnas y diurnas por estación entre los años 2001 y 2018. Para ello se utilizaron imágenes satelitales de MODIS Terra y Aqua de temperatura superficial nocturnas diarias por estaciones y diurnas anuales por medio de programación JavaScript y JSON en Google Earth Engine. Luego, se usaron las manzanas censales del censo 2017 para superponer cantidades de población con intensidades de las islas de calor urbano superficiales. Una segunda parte, y por último, que tiene por objetivo generar coeficiente de correlación de pearson y modelo de regresión lineal múltiple para los factores geográficos condicionantes de las ICUs. Donde se usaron variables de NDVI,

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

distancia al mar (m), densidad de población (hab/ ha), elevación topográfica (m) y exposición de laderas. Empleando una combinación del software ArcMap, la plataforma en nube de Google Earth Engine y Excel.

Se descubre la existencia de islas de calor superficiales en las principales conurbaciones de la V región de Valparaíso, tanto en zonas costeras como en sectores de valles, existiendo mayores intensidades en la urbe en desmedro de las entidades rurales en donde se presentan intensidades más débiles.

En las ICUs nocturnas, las zonas más cercanas al litoral poseen mayor intensidad que las zonas alejadas y de mayor elevación, reflejándose la influencia de vientos catabáticos y de las zonas más densamente pobladas y de mayor altura. En cambio, las ciudades interiores o de valle de la región de Valparaíso con ICUs diurnas tienen importantes intensidades, marcándose perfectamente la forma de un islote, lo que refleja la nula influencia marina. Además, para las ciudades costeras, en que se presentan ICUs diurnas, las máximas intensidades se ubican en los sectores urbanizados de laderas o de mayor elevación topográfica.

Al tener puntos con similares características físicas como distancia al mar y altitud entre una zona urbana y rural, la ICUs presenta intensidades más débiles en comparación con ICUs sin criterios físicos, tanto en ICUs nocturnas como diurnas.

En primavera y verano para la conurbación del Gran Valparaíso, los factores de coberturas vegetales y elevación topográfica son los que explican el aumento y disminución de temperatura, pues a mayor vegetación y elevación topográfica durante la noche, la temperatura va a disminuir. En cambio, para las estaciones de invierno y otoño el factor es el de distancia al mar, en que a mayores distancias al mar menor será la temperatura, pues la temperatura del mar en la noche es más elevada que el continente. Por último, la temperatura superficial es sensible ante la variación de los valores de las coberturas vegetales y densidad de población (hab/ ha).

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN	11
1.1 Introducción	11
1.2 Planteamiento del problema.....	12
1.3 Área de estudio	14
1.4 Objetivos.....	18
1.4.1 Objetivo General	18
1.4.2 Objetivos Específicos.....	18
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	19
2.1 El clima y sus escalas de análisis.....	19
2.2 Clima urbano	21
2.3 Islas de calor urbano (ICU)	22
2.3.1 Tipos de islas de calor urbano.....	27
2.3.2 Isla de calor urbana superficial (ICUs)	29
2.4 Impactos de las ICUs y formas de mitigación.....	30
2.5 Estudios sobre el tema	31
2.5.1 Casos chilenos.....	31
2.5.2 Casos latinoamericanos.....	35
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO	39
3.1 Selección de las principales conurbaciones de la V Región de Valparaíso.....	39
3.2 Identificación de áreas no urbanas o rurales.....	41
3.3 Obtención imágenes satelitales MODIS <i>Land Surface Temperature</i> para el rango de años 2001 – 2018.....	42
3.4 Puntos urbanos y no urbanos	46
3.5 Cartografías de intensidades de las ICUs	48

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

3.6 Cantidad de población por rango de intensidad de la ICUs nocturna anual.....	51
3.7 Factores explicativos para la conurbación del Gran Valparaíso.....	53
3.8 Obtención NDVI por estación a través de Google Earth Engine (GEE).....	54
3.9 Variable distancia al mar	57
3.10 Variable densidad de población.....	58
3.11 Variable altitud	60
3.11 Variable exposición a laderas.....	60
3.12 Coeficiente de correlación de Pearson y modelo de regresión lineal	60
CAPÍTULO 4: RESULTADOS	65
4.1 Altitud y pendientes de las conurbaciones y sus zonas rurales	65
4.2 ICUS nocturnas promedios (2001-2018) por estación y anuales	66
4.3 Islas calor urbano superficiales diurnas anuales promedios (2001-2018).....	83
4.4 Relación ICUs nocturna anual y población por manzanas.....	86
4.5 Distribución de las variables explicativas de las temperaturas superficiales nocturnas.....	88
4.6 Coeficiente de correlación y regresión múltiple de las variables explicativas.....	90
CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	95
5.1 Discusión	95
5.2 Conclusiones.....	98
BIBLIOGRAFÍA	100
ANEXOS	109
Anexo N°1 Intensidad ICUs nocturna conurbación de San Antonio para verano y otoño	109

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

Anexo N°2 Intensidad ICUs nocturna conurbación de San Antonio para primavera e invierno.....	110
Anexo N°3 Intensidad ICUs nocturna anual conurbación de San Antonio y Algarrobo ...	111
Anexo N°4 Máxima intensidad de las ICUs nocturna sin criterios físicos, conurbaciones de la V Región de Valparaíso.....	112
Anexo N°5 Intensidad de la ICUs nocturna con criterios físicos, conurbación de San Antonio.....	112
Anexo N°6 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Algarrobo para verano y otoño	113
Anexo N°7 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Algarrobo para primavera e invierno	114
Anexo N°8 Intensidad de la ICUs nocturna con criterios físicos, conurbación de Algarrobo	115
Anexo N°9 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Quintero para verano y otoño	116
Anexo N°10 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Quintero para primavera e invierno	116
Anexo N°11 Intensidad de la ICUs nocturna con criterios físicos, conurbación de Quintero	117
Anexo N°12 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Maitencillo para verano y otoño	118
Anexo N°13 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Maitencillo para primavera e invierno.....	118
Anexo N°14 Intensidad ICUs nocturna anual conurbación de Maitencillo y San Felipe ..	119
Anexo N°15 Intensidad de la ICUs nocturna con criterios físicos, conurbación de Maitencillo.....	120
Anexo N°16 Intensidad ICUs nocturna conurbación de San Felipe para verano y otoño .	121
Anexo N°17 Intensidad ICUs nocturna conurbación de San Felipe para primavera e invierno.....	121

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

Anexo N°18 Máxima Intensidad de la ICUs nocturna con criterios físicos, conurbación de San Felipe	122
Anexo N°19 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Los Andes para verano y otoño .	123
Anexo N°20 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Los Andes para invierno y primavera	123
Anexo N°21 Intensidad ICUs nocturna anual para las conurbaciones de Los Andes y Quillota	124
Anexo N°22 Máxima Intensidad de la ICUs nocturna con criterios físicos, conurbación de Los Andes	125
Anexo N°23 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Quillota para verano y otoño	126
Anexo N°24 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Quillota para invierno y primavera	126
Anexo N°25 Máxima Intensidad de la ICUs nocturna con criterios físicos, conurbación de Quillota	127
Anexo N°26 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Limache-Olmué para verano y otoño	128
Anexo N°27 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Limache-Olmué para invierno y primavera	128
Anexo N°28 Intensidad ICUs nocturna anual para la conurbación de Limache-Olmué....	129
Anexo N°29 Máxima Intensidad de la ICUs nocturna con criterios físicos, conurbación de Limache-Olmué	130
Anexo N°30 Máxima intensidad de las ICUs nocturna con criterios físicos, conurbaciones de la V Región de Valparaíso	131
Anexo N°31 Máxima intensidad de las ICUs diurna sin criterios físicos, conurbaciones de la V Región de Valparaíso.....	132
Anexo N°32 Máxima Intensidad de la ICUs diurna con criterios físicos, conurbaciones de la V Región de Valparaíso.....	132

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

Anexo N°33 Intensidad ICUs diurna anual conurbación de San Antonio y Algarrobo.....	133
Anexo N°34 Intensidad ICUs diurna anual conurbación de Gran Valparaíso y Quintero.	134
Anexo N°35 Intensidad ICUs diurna anual conurbación de Maitencillo y San Felipe	135
Anexo N°36 Intensidad ICUs diurna anual conurbación de Los Andes y Quillota	136
Anexo N°37 Intensidad ICUs diurna anual conurbación de Limache-Olmué	137
Anexo N°38 Total de personas por rango de temperatura y categoría de intensidad de la ICUs, conurbación de San Antonio	138
Anexo N°39 Total de personas por rango de temperatura y categoría de intensidad de la ICUs, conurbación de Algarrobo.....	138
Anexo N°40 Total de personas por rango de temperatura y categoría de intensidad de la ICUs, conurbación de Gran Valparaíso	139
Anexo N°41 Total de personas por rango de temperatura y categoría de intensidad de la ICUs, conurbación de Quintero	139
Anexo N°42 Total de personas por rango de temperatura y categoría de intensidad de la ICUs, conurbación de Maitencillo.....	140
Anexo N°43 Total de personas por rango de temperatura y categoría de intensidad de la ICUs, conurbación de San Felipe	140
Anexo N°44 Total de personas por rango de temperatura y categoría de intensidad de la ICUs, conurbación de Los Andes	140
Anexo N°45 Total de personas por rango de temperatura y categoría de intensidad de la ICUS, conurbación de Quillota	141
Anexo N°46 Total de personas por rango de temperatura y categoría de intensidad de la ICUs, conurbación de Limache-Olmué	141
Anexo N°47 Total de personas por conurbación.....	142
Anexo N°48 Gráfico de relación de máxima intensidad de las ICUs nocturnas anuales y población total	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Área de estudio	17
Figura N° 2 Escalas del clima y su correspondencia con los fenómenos meteorológicos ...	21
Figura N° 3 Distribución espacial de las temperaturas y su distribución concéntrica	23
Figura N° 4 Relación lineal entre máximas intensidades de la isla de calor urbana y población para ciudades de europeas y norteamericanas	24
Figura N° 5 Esquema tipos de isla de calor urbanas	28
Figura N° 6 Esquema metodológico.....	39
Figura N° 7 Modelo de elevación digital en google earth engine	42
Figura N° 8 Colección de imágenes modis y filtro por fechas.....	44
Figura N° 9 Promedio, temperatura en celsius, proyección y resample de las imágenes	45
Figura N° 10 Extracción 1st para la región de valparaíso	46
Figura N° 11 Herramienta de proximidad “near”.....	47
Figura N° 12 Herramienta de extracción “extract multi values to points”	47
Figura N° 13 Herramienta de extracción por polígono “extract by mask”	48
Figura N° 14 Herramienta matemática raster “minus”.....	49
Figura N° 15 Herramienta de clasificación de las intensidades “reclassify”	51
Figura N° 16 Herramienta de conversión “raster to polygon”	52
Figura N° 17 Herramienta de análisis “spatial join”	53
Figura N° 18 Procesamiento colección de imágenes ndvi aqua en gee	55
Figura N° 19 Proyección utm y resample a 200 metros.....	56
Figura N° 20 Extracción ndvi.....	56
Figura N° 21 Herramienta “feature to line”	57
Figura N° 22 Herramienta “euclidean distance”	58
Figura N° 23 Herramienta “feature to points”.....	59
Figura N° 24 Herramienta análisis espacial “kernel density”	59
Figura N° 25 Herramienta análisis espacial "aspect"	60
Figura N° 26 Herramienta de conversión “raster to point”	61
Figura N° 27 Herramienta de extracción “extract multivalues to points”	62
Figura N° 28 Herramienta de conversión “table to excel”	62
Figura N° 29 Coeficiente de correlación en excel.....	63
Figura N° 30 Regresión en excel.....	64
Figura N° 31 Intensidad ICUs nocturna conurbación del Gran Valparaíso para verano y otoño	71
Figura N° 32 Intensidad ICUs nocturna conurbación del Gran Valparaíso para invierno y primavera.....	72
Figura N° 33 Intensidad ICUs nocturna anual conurbación del Gran Valparaíso y Quintero	74

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

Figura N° 34 Distribución de índice normalizado de diferencias vegetales por estación 89
Figura N° 35 Distribución de variables restantes: elevación topográfica, densidad de población, distancia al mar y exposición de laderas..... 90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Extensión horizontal según escala del clima 20
Tabla N° 2 Clasificaciones topográficas comunes de las ciudades y sus efectos mecánicos, termales y de calidad 26
Tabla N° 3 Principales conurbaciones V Región de Valparaíso 40
Tabla N° 4 Adaptación de clasificación de intensidades icus nocturnas..... 50
Tabla N° 5 Rangos de altitud límite para cada conurbación de la v región de valparaíso ... 65
Tabla N° 6 Pendientes máximas para las conurbaciones de la v región de valparaíso 66
Tabla N° 7 Intensidad de la ICUs nocturna con criterios físicos, conurbación del Gran Valparaíso 75
Tabla N° 8 Resultados coeficientes de correlación de las variables explicativas 91
Tabla N° 9 Resultados análisis de regresión múltiple entre las temperaturas y las variables geográficas explicativas. verano, otoño, invierno y primavera 92
Tabla N° 10 Regresión lineal múltiple para las estaciones del año, constantes y coeficientes de las ecuaciones 93
Tabla N° 11 Reacción y sensibilidad de la temperatura ante los cambios de valor en las variables explicativas..... 94

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

1.1 Introducción

A modo de conocimiento general, se sabe que las principales ciudades de Chile han ido incrementando su población total, generando la necesidad de requerir infraestructura acorde. Estos requerimientos traen consigo el reemplazamiento de coberturas naturales por nueva infraestructura urbana o coberturas artificiales, que generan como consecuencia modificaciones sobre las temperaturas, presión atmosférica, precipitación, humedad, vientos y además la presencia de aerosoles y gases contaminantes (Romero et al., 2010).

Estas alteraciones climáticas, específicamente el incremento de las temperaturas que causa la urbanización da origen a un fenómeno de la climatología urbana llamado “Isla de Calor Urbana”, que se refiere a la particular forma de islote que generan las isolíneas de temperatura, donde en el centro se concentran mayores temperaturas, y a medida que nos alejamos del casco urbano y nos acercamos la periferia y zonas naturales las temperaturas son menores (Moreno-García, 1997). En que una de las formas para medir la intensidad la isla de calor es restando las temperaturas urbanas con las rurales.

Existen cuatro tipos de islas de calor: *Urban canopy layer* (UCL) o dosel urbano; *Urban boundary Layer* (UBL) o capa límite urbana, *Subsurface urban heat island* o isla de calor urbana subsuperficial y la isla de calor superficial o *surface urban heat island*, más conocida como ICUs, siendo esta, la diferencia en la temperatura de la superficie terrestre entre el área urbana y su área no urbana circundante (Rao, 1972; Oke et al., 2017; Chakraborty & Lee, 2019). Este tipo de isla de calor se encuentra en sintonía con los avances de la tecnología, ya que existen diversos productos que miden la temperatura superficial de todo el mundo y que se adquieren de manera gratuita. Como es el caso de las imágenes satelitales MODIS.

La isla de calor de tipo superficial ha sido analizada en Sarricolea & Romero (2010) para el área metropolitana del Gran Valparaíso sobre la base teórica de Beral-Guyonnet (1997), Cuadrat et al., (2003 y 2005); Hogan & Ferrick (1988), en que se consideran varios factores geográficos condicionantes o variables explicativas, que son las que causan e intensifican este fenómeno del clima urbano, tales como las coberturas vegetales, orientación de laderas, humedad de suelo, brillo de suelo, altitud y densidad de población.

La isla de calor es causante de una mala calidad de vida urbana por lo que al no existir tantos estudios sobre este fenómeno en las principales ciudades de la V región de Valparaíso, este trabajo intenta a contribuir a la identificación de las Islas de Calor Urbana Superficiales (ICUs) y reducirse a un ejemplo concreto para verificar las variables que explican el

fenómeno. Esto con la idea final de que se tome en cuenta en un futuro para una planificación urbana sustentable y que la calidad de vida urbana mejore.

1.2 Planteamiento del problema

Sánchez et al., (2017); CEPAL (2017); Banco Mundial (2017), indican que ha habido un constante aumento de la población total desde los años 1955 hasta 2020 (este último es una proyección) y un crecimiento porcentual de la población en áreas urbanas para los mismos años en América Latina y El Caribe.

En Chile, ocurre un fenómeno similar a lo que sucede a escala continental. De acuerdo con la “Síntesis de Resultados” del Censo 2017 proporcionado por el INE (2018), la población total ha ido en constante aumento. Por ejemplo, en el año 1992 la población total correspondía a una cifra de 13.348.401 de personas, en el año 2002 el monto alcanzaba los 15.116.435, y en el año 2017 la cantidad llegó a una cifra de 17.574.003 de personas. Junto a eso, la población por área urbana en 1992 obtuvo un porcentaje respecto al total de 83,5%; en el año 2002 un 86,6% y para el año 2017 una cifra de 87,8% (INE, 2018).

A contexto regional, la V Región de Valparaíso, su población total en el año 2002 alcanzó una cifra de 1.539.852 y para el año 2017 una cantidad de 1.815.902 personas. La población urbana para los años 2002 y 2017, representó un 91% para esta región (INE, 2018). Además, de acuerdo con la Estrategia Regional de Desarrollo para la Región de Valparaíso, en la perspectiva del año 2020, la concentración de población urbana se expresa en el cúmulo de las principales conurbaciones de la región la cual reúne casi el 70% de los habitantes. Ante esto, es de suma importancia requerir el mejoramiento e intervención equilibrada del entorno urbano, para poder mitigar los efectos nocivos e incentivar los aspectos positivos de la vida en ciudad (Gobierno Regional de Valparaíso, 2012).

El informe “Metodología para medir el Crecimiento Urbano de las Ciudades de Chile” realizado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Minvu) e Instituto Nacional de Estadísticas (INE) (2018), definen una conurbación como el fenómeno en que dos o más ciudades en función de su crecimiento demográfico y espacial se integran territorialmente. Las ciudades y conurbaciones según Naredo (2000) originan trastornos climáticos locales debido a las inversiones térmicas producidas por el calor antropogénico; la conductividad de los materiales empleados en las construcciones que son muy superiores a la que tendría el entorno en su estado natural; la reflexión múltiple de la energía del sol por la proliferación de superficies lisas brillantes; la altura de las edificaciones que impiden el paso del viento, dificultando la dispersión de contaminantes; por último, la eliminación inmediata de las aguas

lluvia por el alcantarillado, que junto al pavimento de las calles reduce la evapotranspiración, y con ello el mantenimiento de la temperatura ambiente más elevada que la que se produciría en un estado natural.

El crecimiento demográfico, y más aún, el aumento o mantenimiento de la población de las zonas urbanas, implica la necesidad de disponer de una infraestructura necesaria para las personas de la urbe, como viviendas, vialidad, servicios, entretenimiento y equipamientos propios de una ciudad. Las ciudades chilenas no están ajenas a lo anterior y han experimentado un acelerado crecimiento espacial, que ha significado sustituir usos y coberturas de suelo naturales y agrícolas por áreas urbanas (Romero et al., 2010). Dicho cambio de coberturas naturales por espacios construidos ha generado una serie de impactos sobre el medio ambiente de la ciudad, debido a que las superficies urbanas son capaces de absorber, almacenar y emitir mayor calor que las áreas rurales que circundan a las ciudades (Pickett et al., 2001; Withford et al., 2001; Romero & Molina, 2008). Ante la generación de diferentes temperaturas en comparación con áreas rurales, Sarricolea & Romero (2006), aluden a que este fenómeno se relaciona con la formación de islas de calor urbana, que se diferencian en dos tipos: la isla de calor urbana (ICU), donde existen mayores temperaturas en la capa de aire de la ciudad por el calor aglomerado generado por las edificaciones, calles, entre otras estructuras netamente urbanas. Por otro lado, también se encuentra la isla de calor urbana superficial (ICUs) que corresponde a las altas temperaturas que emiten los objetos que componen la superficie terrestre y que se pueden identificar a través de sensores infrarrojos (imágenes satelitales). Ambos tipos de islas de calor son consideradas como indicadores de degradación ambiental, en la medida que participan en la producción de condiciones adversas para la salud de la población y de los ecosistemas, como en los procesos de calentamiento global, ya que la pérdida de espacios naturales y particularmente de zonas vegetadas, produce un impacto negativo sobre la regulación de la temperatura atmosférica en la ciudad, aumentando las temperaturas al interior de ésta mientras transcurren las horas del día (Romero & Molina, 2008).

Sarricolea & Romero (2010) agregan que la distribución de la temperatura superficial que da origen a las islas de calor urbana superficiales (ahora en adelante ICUs), se generan por la intervención de varios factores que deben ser considerados en su conjunto y no por sí solos, estos factores corresponden a condiciones topográficas y de exposición de laderas, distancia al mar y otras fuentes húmedas, brillo y humedad del suelo, densidad de población y coberturas vegetales. Además, estos mismos autores mencionan que la ICUs está presente tanto en el día como en la noche, que presentan mayores intensidades en estaciones de verano, pero que, a pesar de ello, la estacionalidad de la máxima intensidad de la ICUs va a depender de los propios atributos de la ubicación geográfica de la ciudad a estudiar y su entorno.

La V Región de Valparaíso hoy cuenta con varias conurbaciones en zonas costeras y de valles y no debiera estar lejana a presentar fenómenos como la ICUs. Por lo tanto, este trabajo tendrá la pretensión general de identificar y analizar la distribución de la ICUs para cada estación del año en promedio, desde el 2001 al 2018 para las principales conurbaciones de la región junto a los factores geográficos condicionantes para el caso específico de la conurbación del Gran Valparaíso.

1.3 Área de estudio

La región de Valparaíso se encuentra ubicada en el centro de Chile, conectada con la capital de Santiago y la macrozona central del país. Contiene una superficie total de 16.396 km² aproximadamente, en que el territorio regional se sitúa entre los 32° 02` y 33° 57` grados de latitud sur y desde los 70 grados de longitud oeste hasta el océano Pacífico; contiene, además, a las islas de Pascua, San Félix, San Ambrosio y el archipiélago de Juan Fernández. (Gobierno Regional de Valparaíso, 2012).

En cuanto a los límites, en el sector Norte limita con la IV Región de Coquimbo, en que los límites pasan por la línea de cumbres desde la punta Huesos hasta el cerro Santa Inés; la línea de cumbres que limita por el sur y oriente en la hoya del río Quilimarí; la línea de cumbres que limita por el sur en la hoya del estero Pupío y línea de cumbres que limita por el sur por la hoya del río Choapa. Respecto al Este y Sur limita con la República de Argentina y las regiones Metropolitana de Santiago y del Libertador General Bernardo O'Higgins; la línea de cumbres que limita por el sur la hoya del río Aconcagua; la línea de cumbres que limita por el oriente la hoya de los esteros Limache y Puangue hasta el cerro Roble Alto; la línea de cumbres secundaria de agua desde el cerro Roble Alto hasta la cota 1.410 de la Carta 1:50.000 del I.G.M.; la línea de cumbres que limita por el poniente la hoya del estero Puangue; el paralelo astronómico del trigonométrico cerro Las Juntas; el río Maipo; el lindero poniente de los fundos Tamcor y Cabimbao; el estero Yali; el lindero poniente de los fundos Bucal, Corneche y el río Rapel. Por último, en el Oeste limita con el Océano Pacífico (Gobierno Regional de Valparaíso, s/f).

En relación con la demografía, esta región, para el año 2002 contaba con una densidad de 93,9 habitantes por Km², con un total de 1.539.852 personas, en que el 91,6 % se ubicaba en el área urbana, mientras que el 8,4 % habitaba en el área rural (Gobierno Regional de Valparaíso, 2012). En cambio, para el año 2017 de acuerdo con el INE (2018) la densidad de población resultó de 111,27 habitantes por Km², con una población total de 1.815.902 siendo el área urbana la que tiene un porcentaje similar al del censo pasado de 91%, mientras que en el área rural fue de un 9%.

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

En cuanto a la división política administrativa, la región de Valparaíso cuenta con 8 provincias: Provincia de Valparaíso (2.022 km²), Provincia de Isla de Pascua (246 km²), Provincia de Los Andes (3.053 km²), Provincia de Petorca (4.592 km²), Provincia de Quillota (1.113 km²), Provincia de San Antonio (1450 km²), Provincia de San Felipe de Aconcagua (2.634 km²) y Provincia de Marga Marga (1.158 km²). Además, el conjunto de estas provincias contiene un total 38 comunas, entre las cuáles se destacan: Valparaíso, Concón, Quilpué, Villa Alemana, Viña del Mar, Quillota, La Calera, Hijuelas, La Cruz, Limache, Olmué, San Antonio, Cartagena, Las Cruces, Santo Domingo, Puchuncaví, Zapallar, Los Andes, Calle Larga, Algarrobo, El Quisco, El Tabo, San Felipe y Santa María. Estas comunas destacan debido a que son comunas que se encuentra conurbadas generando grandes centros urbanos (INE, 2017).

Respecto al clima de la región, existen 8 clasificaciones según Köppen-Geiger realizada por el Departamento de Geografía de la Universidad de Chile (2019) que corresponden a las siguientes (ver figura N°1):

Bsk (s) (Clima semiárido de lluvia invernal): Las precipitaciones medias alcanzan los 130 mm; la temperatura promedio corresponde a unos 12,5°C; y la altura mínima y máxima son de 50 a 3.100 m.s.n.m. Este clima se presenta principalmente casi en la totalidad de los sectores de valles de las provincias de Petorca, San Felipe de Aconcagua y Los Andes.

Bsk (s) (i) (Clima semiárido de lluvia invernal y de influencia costera): En cuanto a las precipitaciones promedio presenta un valor de 185 mm; la temperatura media es de 14,5°C; se encuentra entre la altura mínima de 0 y una altura máxima de 1.000 m.s.n.m. Respecto a la extensión de este tipo de clima, solo ocupa un pequeño sector en el Norte de la región de Valparaíso, desde la desembocadura del estero de Guaquén hasta el límite con la región de Coquimbo. Esto abarca los sectores costeros de Guaquén y Los Molles e interiores de las cuencas de los esteros Los Molles y Quinquelles.

Csb (Clima mediterráneo de lluvia invernal): En esta clasificación el valor de las precipitaciones promedio es de 700 mm; presenta una temperatura media de 11°C y los rangos de altura mínima y máxima es de 100 a 1.000 m.s.n.m. Este tipo de clima se caracteriza principalmente por presentarse en sectores interiores de valle y no costeros de las provincias Quillota, Marga Marga, Valparaíso y San Antonio. Incluyendo zonas de altas cumbres y de la cordillera de la costa.

Csb (h) (Clima mediterráneo de lluvia invernal de altura): El valor de las precipitaciones medias es de 900 mm; la temperatura promedio presenta un valor de 9°C; y la altura mínima y máxima son de 1.000 a 3.000 m.s.n.m. Pues la presencia de este clima fundamentalmente se presenta en sectores cordilleranos y de cordones transversales cercanos a la Cordillera de

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

los Andes de las provincias de Los Andes, San Felipe de Aconcagua y Petorca. También abarca zonas de mayor altura pertenecientes a la Cordillera de la Costa en la Provincia de Quillota, Marga Marga y Petorca.

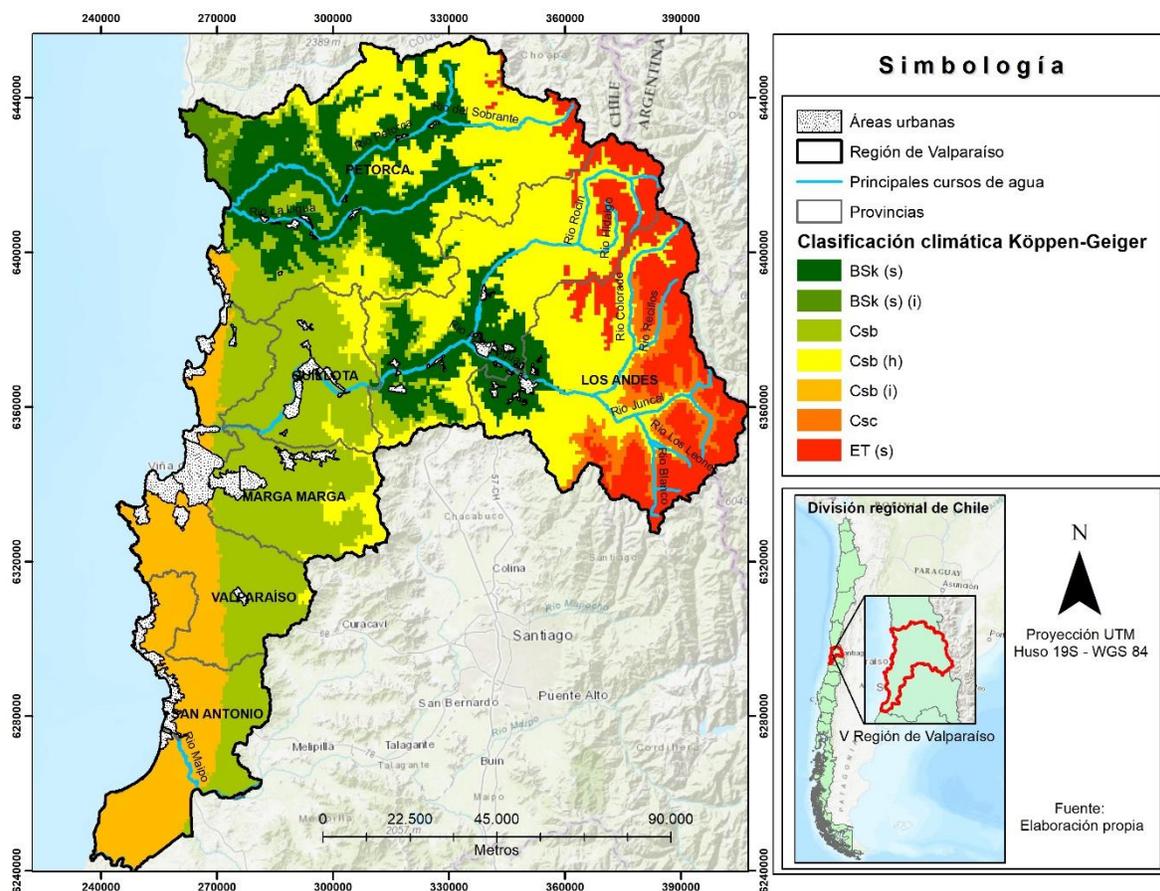
Csb (i) (Clima mediterráneo de lluvia invernal e influencia costera): La precipitación media en esta clasificación es de 900 mm; su temperatura promedio corresponde a 12°C; mientras que la altura mínima y máxima es de 0 a 750 m.s.n.m. Tal como se muestra en el nombre de esta clasificación la influencia de la zona costera es muy notoria, pues la extensión de este clima se encuentra casi en la totalidad de las planicies marinas o fluvio-marinas desde Papudo hasta la desembocadura del Río Rapel, siendo este el límite con la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.

Csc (Clima mediterráneo frío de lluvia invernal): Las precipitaciones promedio que se presentan corresponden a 900 mm; las temperaturas promedio son de 6°C; y los rangos de alturas oscilan entre una mínima de 650 a una máxima de 2.500 m.s.n.m. En esta categoría, solamente se extiende en la provincia de Los Andes, específicamente en las cuencas hidrográficas de la Cordillera de los Andes que alimentan el Río Juncal.

ET(s) (Clima de tundra de lluvia invernal): En ésta última clasificación las precipitaciones medias son de 700 mm; las temperaturas promedio de 3°C; y los rangos de alturas en que se presenta este comportamiento va desde una mínima de 1.800 a una máxima de 4.750 m.s.n.m. Específicamente este clima se presenta en las zonas de mayores cumbres de la Cordillera de los Andes en las provincias de Los Andes, San Felipe de Aconcagua y Petorca.

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

Figura N° 1 Área de estudio



Fuente: Elaboración propia

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

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Identificar y analizar la distribución de las islas de calor urbano superficiales (ICUs) para cada estación del año en promedio, entre los años 2001-2018 para las conurbaciones de la V Región de Valparaíso y los factores geográficos explicativos para el caso específico de la conurbación del Gran Valparaíso.

1.4.2 Objetivos Específicos

- ❖ Determinar la distribución y comportamiento promedio de las ICUs nocturnas por estación del año y diurnas en promedio entre los años 2001 y 2018.
- ❖ Generar coeficiente de correlación y modelo de regresión para los factores geográficos condicionantes de las ICUs de la conurbación del Gran Valparaíso.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 El clima y sus escalas de análisis

El clima de un lugar, primero que todo, es el tiempo que se presenta de manera general o como un promedio de su comportamiento a lo largo de los meses y de los años (Andrades & Muñoz, 2012). Para Yeves (1993) el clima se define como la síntesis del conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas en un área determinada, en un tiempo amplio para que sea geográficamente representativo. Linés (2010) por otra parte propone la siguiente definición de clima:

“El clima de un área determinada es lo que allí tiene de permanente el tiempo atmosférico; lo que queda, tras de las continuas alteraciones y fluctuaciones atmosféricas, unas veces más acusadas que otras. Una determinada zona de la superficie terrestre está continuamente afectada por la atmósfera y sus cambios; batida o no por vientos, sometida a la radiación y la irradiación; regada por la lluvia o desecada por el sol según las ocasiones; lo perdurable en esa interacción suelo atmósfera, es el clima del lugar”. (p.2)

La Organización Meteorológica Mundial (O.M.M) en la conferencia de Varsovia en 1935 definió el clima como las condiciones meteorológicas medias para el mes y el año, calculadas para un período de 30 años (Andrades & Muñoz, 2012). Un ejemplo claro, es lo que sucede en la Región de Atacama, que posee cuatro clasificaciones climáticas, debido al comportamiento diferenciado de los elementos y factores del clima. Dichas clasificaciones corresponden a “Desierto costero con nubosidad abundante (BWn); “Clima Desértico Transicional (BW_i)”; “Clima Desierto con Frío de Montaña (BW_k'G) y “Clima de Tundra de Alta Montaña (EB)” (Juliá et al., 2008).

Ribeiro (1993) expresa que el clima es gobernado por un conjunto integrado de fenómenos que se funden en tiempo y espacio, revelando una unidad que se puede medir en su tamaño (longitud) y su ritmo (duración). En ese mismo sentido lo que intenta decir es que el clima va a tener diferentes comportamientos en sus factores que lo componen de acuerdo con su extensión y duración, por ende, existen diferentes escalas de estudios y que el mismo autor caracteriza a continuación:

- Clima zonal o macroclima: es producida por la distribución latitudinal de la radiación solar que implica la curvatura de la superficie y la inclinación de su eje en el plano de la eclíptica. Además, en esta escala se define las circulaciones atmosféricas primarias y generales, como lo es la Zona de Convergencia de los Alisios.

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

- **Clima regional:** se caracteriza por la acción modificadora de la circulación general de la atmósfera causada por un conjunto de factores de superficie, tales como la forma de los continentes, las corrientes oceánicas y rugosidad de los continentes. En resumen, el factor geográfico es determinante.
- **Clima local:** las alteraciones a la circulación regional son producidas por las características del relieve, que crea situaciones de barlovento y sotavento. Lo que influencia los flujos de circulación superficial, y que al mismo tiempo generan condiciones para la condensación a barlovento (como lluvias orográficas) y resecamiento a sotavento (vertiente seca). Pero principalmente se destaca la acción antrópica, tanto por los cambios de coberturas de usos de suelos y por la generación de gases que promueven el efecto invernadero.
- **Microclima:** este concepto es resultante de las condiciones particulares de la circulación en superficie, debido a la formación de vegetación o de alguna estructura urbana según sea el caso (Ribeiro, 1993; Pedelaborde, 1959).

Oke (1988), menciona que las escalas atmosféricas espaciales están determinadas por su tamaño típico o longitud de onda y que en cambio las escalas tiempo por su vida típica o período. Además, en los intentos de poder clasificar los fenómenos atmosféricos en un rango de extensión siempre han terminado en desacuerdos. En ese sentido, el mismo autor en su libro “*Boundary Layer Climates*”, propone una extensión horizontal para cada escala de estudio del clima, que se muestra en la tabla N°1. Para la microescala el rango asignado es de 1 cm a 1000 m; escala local de 100 m a 50 km; meso-escala 10 km a 200 km y para una macro-escala 200 km a 1000 km.

Tabla N° 1 Extensión horizontal según escala del clima

Tipo de escala	Extensión
Macro-escala	200 km a 1000 km
Meso-escala	10 km a 200km
Escala local	100 m a 50 km
Micro-escala	1cm a 1000 m

Fuente: Elaboración propia a partir de Oke (1988)

Por su parte, Yoshino (1975) hace una clasificación de las escalas climáticas en cuanto a los fenómenos meteorológicos que se presentan en cada una de ellas. En la figura N°2 se aprecia

la extensión horizontal, la extensión vertical, el clima representativo y la duración de los fenómenos meteorológicos de cada escala climática.

Figura N° 2 Escalas del clima y su correspondencia con los fenómenos meteorológicos

CLIMA	EXTENSIÓN HORIZONTAL	EXTENSIÓN VERTICAL	CLIMA REPRESENTATIVO	DURACIÓN DE LOS FENÓMENOS METEOROLÓGICOS
Microclima	10^2 - 10^3 m	10^2 -10 m	Clima de un invernadero	hasta 10 segundos
Clima Local	10^2 - 10^4 m	10 - 10^3 m	Clima de una ladera	10 seg-2,5 horas
Mesoclima	10^3 -($2 \cdot 10^5$) m	10 -($6 \cdot 10^6$) m	Clima de una cuenca	2,5 horas-1 día
Macroclima	($2 \cdot 10^6$)-($5 \cdot 10^7$) m	10 - 10^5 m	Zona o dominio climática	1 día-11 días

Fuente: Yoshino (1975)

Una de las escalas que resulta interesante de analizar es la escala local o clima local de un lugar determinado, ya que según Olcina (1996) las modificaciones realizadas por el hombre pueden favorecer la aparición de un clima local al alterarse registros de algunos elementos climáticos tales como la temperatura y la humedad generalmente. Dentro de esta categoría se encuentran los “climas urbanos”.

2.2 Clima urbano

Cuando nos referimos a clima urbano, estamos hablando que las condiciones atmosféricas tienden a ser diferentes en una ciudad en comparación con el entorno rural o natural, donde además las áreas urbanas constituyen los lugares con mayor riesgo a ser afectados por los cambios climáticos globales (Vysoudil, 2015). La ciudad, además, no solamente tiene relación a los cambios morfológicos que esta genera en el terreno, sino que también modifica las condiciones climáticas y ambientales. En ese sentido, el asfalto, los edificios y el trazado de la red viaria modifican los balances de radiación entre el suelo y el aire, reducen la evaporación, aumentan la escorrentía superficial y disminuyen la velocidad del viento a la vez que aumenta la turbulencia. Con esto aparece un clima urbano donde su principal característica es el aumento de las temperaturas a diferencia de las áreas suburbanas (García & Martilli, 2012). De manera complementaria Romero et al., (2010) afirman lo siguiente:

“Los climas urbanos no corresponden sólo a las características promedio que adoptan las variables físicas o químicas que presenta el aire al sobrevolar los espacios urbanos. A microescala, cada objeto del paisaje urbano genera especiales flujos e intercambios de materia y energía entre la atmósfera, los suelos, la vegetación, las calles, las casas,

los edificios, las industrias, los parques, etc. Los cambios de los usos de los suelos agrícolas o forestales y de las coberturas naturales a usos urbanos generan importantes transformaciones sobre las temperaturas, presión atmosférica, precipitaciones, humedad y vientos, además de la presencia de aerosoles y gases que la contaminan”. (p.36)

Los climas urbanos, ya explicados anteriormente, son importantes e interesantes de atender a la hora de realizar una investigación geográfica. Los cambios de usos y coberturas de suelos, la geometría de las edificaciones, entre otros, han ido interviniendo las condiciones climáticas locales. Estos cambios espaciales generados por el humano debido a un proceso de urbanización acelerado no solo han alterado y generado un clima urbano, sino que también han ido alterando la calidad de vida de las personas que habitan la ciudad, suscitando condiciones adversas para la salud y comodidad. Razones por las cuales el clima debe ser tomado en cuenta a la hora de la planificación urbana y una adecuada gestión ambiental (Romero & Molina, 2008; Eliasson, 2000).

Por último, el clima urbano ha sido abarcado por las ciencias físicas como la meteorología y la climatología, pero al momento de considerar las causas y consecuencias se advierte que las alteraciones de la temperatura, humedad, ventilación o calidad del aire que se presentan en las ciudades, se relacionan espacial y temporalmente con procesos y características socioeconómicas de sus barrios, lo que llega a ser un problema de la geografía ambiental (Sepúlveda, 2016; Romero et al., 2010; Castree et al., 2009).

2.3 Islas de calor urbano (ICU)

Este concepto se refiere a las alteraciones climáticas más claras que causa la urbanización, como es el incremento térmico en las ciudades en comparación con su periferia. El término hace referencia a la distribución espacial de las temperaturas en la ciudad y la forma que genera el mapa de isoyetas que representa una disposición concéntrica alrededor del centro urbano señalando un máximo a modo de isla y su disminución progresiva al alejarse del centro (Moreno-García, 1997). En la figura N°3 se ejemplifica la forma que genera la cartografía de isoyetas (°C), donde la disposición concéntrica indica el máximo en el centro urbano.

Figura N° 3 Distribución espacial de las temperaturas y su distribución concéntrica



Fuente: Moreno (1994)

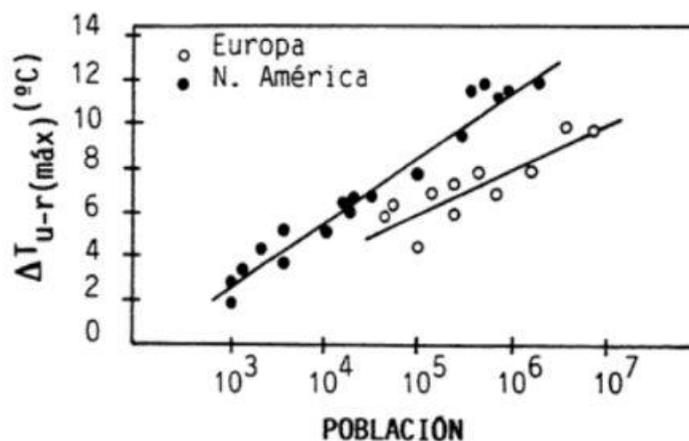
Martínez (2014) define el fenómeno de isla de calor urbano como una anomalía térmica positiva en la parte central de las ciudades en contraste con la periferia, que habitualmente presenta forma concéntrica con las isotermas, abrazando el centro del área urbana, preferentemente con un mayor desarrollo en las horas nocturnas. Además, en ciudades atravesadas por ríos pueden aparecer diferentes islas separadas por este hecho físico, el cual aparece como un canal frío.

Por su parte Landsberg (1981) define isla de calor urbano como un reflejo de la totalidad de los cambios micro-climáticos provocados por alteraciones hechas por el hombre en la superficie urbana, donde un solo complejo de edificaciones presentará un microclima diferente que un lugar de la tierra en su estado natural. Esto, debido a que las paredes y superficies pavimentadas almacenan parte del calor recibido durante el día y que durante la noche esta energía es liberada e intensificando la temperatura de los alrededores. Por lo que en la noche es en donde más se intensifica la isla de calor.

Moreno-García (1999) con relación a las características de la isla de calor menciona “que son tres aspectos, principalmente, los que caracterizan al fenómeno. Se trata de: su intensidad, su forma o configuración y la localización de máximo térmico”. Este mismo autor agrega que dichas características pueden variar según cada ciudad en función de varios factores tales como lo temporal (momento del día y época del año), la meteorología (estado del tiempo), lo geográfico (localización de la ciudad más la topografía) y lo urbano (características urbanas especiales). Finalmente, Moreno-García (1999) destaca que, dentro de los factores urbanos,

el tamaño de la ciudad es el que más sobresale, y es que las máximas diferencias entre las temperaturas de la urbe y las zonas rurales son proporcionales al logaritmo de población. En la figura N°4 se observa las relaciones lineales entre las máximas intensidades de la ICU y población para ciudades de Europa y Norte América.

Figura N° 4 Relación lineal entre máximas intensidades de la isla de calor urbana y población para ciudades de europeas y norteamericanas



Fuente: Oke (1973); Moreno-García (1999)

Sarricolea et al., (2008) mencionan que no hay un acuerdo global sobre la estacionalidad de la máxima intensidad de la isla de calor y que ella dependerá de las condiciones propias que presenta la ubicación geográfica del emplazamiento de la ciudad, pero según Moreno-García (1999) la máxima intensidad se da, sobre todo, durante el invierno (en especial aquellas ciudades con inviernos fríos debido a las condiciones extremas) mientras que en verano se observan intensidades mucho menores. Esta intensidad de la ICU, Cuadrat et al., (2005) mencionan que está determinada por factores geográficos y estructurales: un ejemplo claro son los parques que son zonas relativamente frías en comparación con las áreas construidas de su entorno (Oke, 1995; Moreno, 1994); incluso, la cubierta vegetal afecta la distribución de las temperaturas (Dimoudi & Nikolopoulou, 2003; Upmanis & Chen, 1999). E igualmente relevante es la acción del relieve (Beral-Guyonnet, 1997), la geometría urbana (Elliason, 1994) o sobre todo el tamaño y población de la ciudad (Yamashita et al., 1986; Hogan & Ferrick, 1988). Sin embargo, la configuración de la isla de calor no es estable ya que la variabilidad espacial y temporal pueden estar relacionados con la dinámica atmosférica regional y determinadas condiciones meteorológicas, como Lowry (1977) y Landsberg (1981) al relacionar las diferentes formas de la isla de calor con los flujos de viento y las condiciones sinópticas.

En cuanto a la intensidad de la ICU, según Martin-Vide et al., (2015) la definen como la diferencia de temperatura entre las áreas urbanas y rurales, expresada por la fórmula $\Delta T_{u-r} = T_u - T_r$, donde ΔT_{u-r} es la intensidad de la ICU, T_u es la temperatura urbana y T_r temperatura rural. Queda claro, por ende, que se necesita extraer una muestra del área urbana y una muestra del área rural o no urbana para poder comparar el comportamiento de la temperatura en ambas partes, lograr medir la intensidad de la ICU y rectificar la modificación térmica generada por la urbanización. Pero, Martin-Vide et al., (2015) aclaran que en varias investigaciones el punto rural o no urbano ha sido un problema, ya que la selección de la muestra en diversas ocasiones no ha sido adecuada y no proporciona las condiciones ideales. En ese sentido, estos mismos autores, mencionan que los factores geográficos locales de la muestra de un área urbana y de un área rural deben ser semejantes, para que se pueda expresar el efecto de la ciudad. Ante eso, Martin-Vide et al., (2015), proponen que dos factores geográficos locales son decisivos. Uno de ellos corresponde a la altitud, ya que, de acuerdo con la precisión de muchas mediciones de temperatura, 30,8 m causará una variación de 0,2°C, sobre todo, en el caso de situaciones anticiclónicas, en que un punto no urbano situado a una altitud más baja (más alta) sobreestimaría (subestimaría) el efecto urbano. Ante eso, como regla general se recomienda no superar una diferencia altitudinal de 30 m. El otro factor geográfico es la distancia al mar y fuentes húmedas, ya que estos regulan la temperatura y debilitan las diferencias de temperaturas diarias y estacionales. La distancia al mar de los puntos urbanos y no urbanos no deben diferir en más de 800 m, ya que el trabajo (único de los registros asociado al tema) de Ninyerola et al., (2005) citado por los autores mencionados anteriormente, el promedio anual indica que diferencias de distancias de 870 m, la temperatura varía de 0,2 °C.

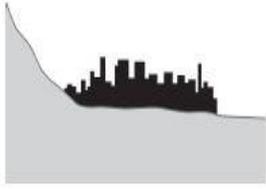
La topografía, siendo esta una descripción de las características de la Tierra, como por ejemplo montañas, llanuras y valles, influyen en el clima en todas las escalas. Estas tienen influencia en el flujo de aire (por obstrucción y redirección del flujo de aire llamándole a este efecto mecánico), la temperatura del aire (por la modificación del balance de energía superficial y generación de circulaciones térmicas, provocando un efecto termal) y la calidad potencial del aire. Siendo la influencia en la temperatura del aire el de mayor interés debido a su relación con el efecto del clima urbano, ya que la topografía puede magnificar la intensidad de la circulación de la isla de calor urbano (Oke et al., 2017). A continuación, en la tabla N°2 se presenta una clasificación simple y resumida de las topografías y sus influencias:

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

Tabla N° 2 Clasificaciones topográficas comunes de las ciudades y sus efectos mecánicos, termales y de calidad

Escenario orográfico	Efecto mecánico	Efecto termal	Calidad del aire
<p>Cima de montaña</p> 	<p>La velocidad del viento aumenta debido a mayor elevación. La presencia de nubes y la precipitación es mayor.</p>	<p>En condiciones de tranquilidad, existe mayor irradiación solar y pérdida de radiación de onda larga. Existe un mayor rango diurno y de temperatura estacional.</p>	<p>Cuando hay viento se presenta buena calidad del aire, pero con potencial smog fotoquímico en días claros y tranquilos.</p>
<p>Pendiente</p> 	<p>Presencia de fuertes vientos (en el lado de sotavento) que descienden por la pendiente en determinadas circunstancias.</p>	<p>Si la orientación es hacia el sol, la superficie y el aire adyacente se calientan, causando vientos ascendentes por la pendiente (caso contrario ocurre cuando la orientación no es hacia él sol). Por la noche las pendientes más altas se enfrían más rápido y se producen vientos cuesta abajo.</p>	<p>Existe una buena calidad del aire, a menos que se encuentre en una zona de recirculación o cerca del nivel de inversión térmica.</p>
<p>Valle</p> 	<p>El efecto depende de la geometría del valle en relación con la dirección del viento. Si es perpendicular (alineado) al eje del valle, el valle puede estar protegido (expuesto).</p>	<p>Los vientos a través del valle se desarrollan durante el día debido a flujos anabáticos (menor densidad del aire y sube por las laderas) y durante la noche que son los catabáticos (mayor densidad del aire por el enfriamiento y bajan por la ladera). Los flujos catabáticos son más fuertes en la capa superficial nocturna de poca profundidad.</p>	<p>Calidad del aire muy pobre debido a la acumulación de aire fresco en el fondo del valle por la noche.</p>

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

<p>Base de pendiente</p> 	<p>En el lado de sotavento puede ocurrir el efecto foehn dependiendo de la topografía local. En el lado de barlovento, el flujo puede estar bloqueado contra la barrera.</p>	<p>Flujos anabáticos en horario diurno y catabáticos por las noches.</p>	<p>En barlovento, el aire frío se bloquea; en sotavento, algunas condiciones pueden crear remolino de recirculación y una mala calidad del aire.</p>
<p>Costero</p> 	<p>Los vientos en la costa generadas por tormentas son mucho más fuertes que las que se generan fuera de ella con las mismas condiciones.</p>	<p>En condiciones regionales tranquilas, se establece una circulación de brisa costera que lleva el aire a la zona costera durante el día. En cambio, por las noches se presentan flujos de aire fuera de la costa.</p>	<p>La contaminación del aire durante el día es posible cuando las condiciones de la brisa marina dominan y causan una fuerte inversión cerca de la superficie.</p>

Fuente: Elaboración propia a través de Wanner & Filliger (1989); Oke et al., (2017).

Para el caso costero, de manera complementaria al cuadro anterior, Palme et al., (2019) para el caso sudamericano, el clima está bajo el control de las corrientes frías de Humboldt y por el anticiclón del pacífico, que genera brisa de mar-tierra.

2.3.1 Tipos de islas de calor urbano

Oke et al., (2017) mencionan que las islas de calor son una diferencia de temperatura entre las áreas urbanas y rurales ($\Delta t = t_u - t_r$) y que se clasifican en cuatro tipos simples de islas de calor urbanas:

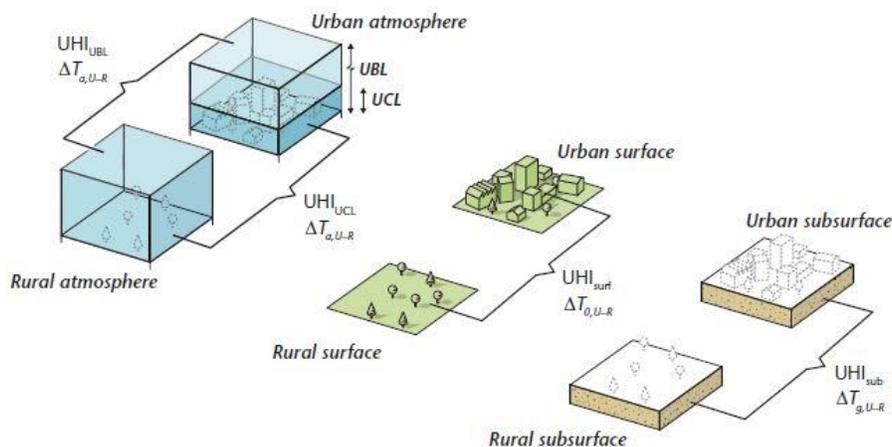
- Urban canopy layer (UCL) o dosel urbano: consiste en la diferencia de temperatura del aire contenido en la capa del dosel urbano (que es la capa entre la superficie urbana y el nivel del techo) y la altura correspondiente en la capa cercana a la superficie rural.
- Urban boundary Layer (UBL) o capa límite urbana: es la diferencia entre la temperatura de la capa que se encuentra en la parte superior de la UCL hasta la parte superior de la capa límite urbana UBL, y las elevaciones similares en la capa límite atmosférica de la región rural circundante.

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

- Surface urban heat island o islas de calor urbana superficial: hace referencia a las diferencias de temperatura del aire entre la interfaz de la atmósfera exterior con los materiales sólidos que se presentan en la ciudad y la interfaz de aire-tierra rural equivalente.
- Subsurface urban heat island o isla de calor urbana subsuperficial: se refiere a las diferencias entre los patrones de temperatura en el subsuelo de la ciudad, incluidos los suelos urbanos y la capa subterránea construida con aquellos en el campo rural circundante.

En la figura N°5 se aprecia que la capa límite urbana o *Urban Boundary Layer* (UBL) va desde la capa de aire del suelo hasta la zona de arrastre; *Urban Canopy Layer* (UCL) o dosel urbano va desde la capa de aire del suelo hasta el nivel del techo de las edificaciones; *Surface Urban Heat Island* o isla de calor urbana superficial corresponde a la superficie completa incluyendo el suelo y todas las facetas expuestas de los elementos urbanos, y por último la *Subsurface Urban Heat Island* o isla de calor urbana subsuperficial que hace referencia al cambio de temperatura de éste según la profundidad.

Figura N° 5 Esquema tipos de isla de calor urbanas



Fuente: Oke et al (2017)

Finalizando, Oke (1995) menciona que las islas de calor urbano que se producen en aire en relación con las que se generan en la superficie, y es que, si bien ambas están relacionadas, los procesos en cuanto al origen y dinámica temporal son diferentes. Además, este mismo autor agrega que las islas de calor de superficie son más intensas durante el día, mientras que las que están en el aire son más intensas en horario nocturno e inclusive negativas durante el día.

2.3.2 Isla de calor urbana superficial (ICUs)

El avance de la tecnología y por ende la llegada de los imágenes satelitales de temperatura superficial ha permitido adicionar un nuevo tipo de isla de calor urbano, conocida como la isla de calor urbana superficial (ICUs), que es la diferencia en la temperatura de la superficie terrestre entre el área urbana y su área no urbana circundante (Rao, 1972; Chakraborty & Lee, 2019). A diferencia de la isla de calor urbana del dosel urbano y capa límite, que hacen referencia a las mayores temperaturas presentes en la capa de aire de la ciudad, la ICUs son las altas temperaturas de emisión que alcanzan las diferentes estructuras y cuerpos urbanos, que son captados directamente por sensores infrarrojos. Además, la ICUs no está sometida directamente a las compensaciones térmicas que realizan los flujos de aire, que van desde las superficies más cálidas a las más frías y que terminan regulando la temperatura del aire de las ciudades, por lo que cabe esperar rasgos más marcados, e incluso, mayor intensidad durante el día (Sarricolea & Romero, 2010).

El fenómeno de isla de calor urbano superficial se explica debido a que el sol puede calentar superficies urbanas expuestas y secas como techos y pavimentos a temperaturas de 27 a 50°C aproximadamente, presentándose más caliente que el aire, mientras que en las superficiales que están sombreadas o húmedas como la mayoría de los entornos rurales, las temperaturas se comportan similares a las del aire. Las ICUs, por lo demás, están presentes tanto de día como de noche, pero suelen ser más intensas durante el día (EPA, 2008).

La diferencia en las temperaturas, en promedio, de la superficie diurna entre áreas urbanas y rurales es de 10 a 15 °C, mientras que la diferencia en las temperaturas de la superficie durante la noche es más pequeña, de 5 a 10 °C. Además, las ICUs varían según las estaciones, debido a los cambios en la intensidad del sol, la cobertura del suelo y al clima. Como resultado de tal variación las ICUs son más intensas en el verano. (EPA, 2008).

En cuanto a los factores que explican la generación de las ICUs, Sarricolea & Romero (2010) consideran la base teórica de Beral-Guyonnet (1997); Cuadrat et al., (2003 y 2005); Hogan & Ferrick (1988) y mencionan que son siete los que deben considerarse a la hora de estudiar las condicionantes del fenómeno y que se describen a continuación:

- ❖ Topografía de la ciudad: Corresponde a uno de los factores condicionantes de la ICUs, debido a que se han encontrado relaciones con la distribución de la temperatura, ya que estas se intensifican al interior de las ciudades, debido al poco dominio de los vientos.
- ❖ Exposición de laderas: La orientación de cada ladera de acuerdo con la rosa de los vientos (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO) más las superficies planas, cada una de ellas

tendrá diferentes cargas de energía solar y contribuirá de diferente manera a la intensidad de la ICUs.

- ❖ Distancia al mar y fuentes húmedas: Las áreas pueden ser alcanzadas por masas de aire locales que se generan sobre el mar, ríos y humedales, los que regulan el comportamiento térmico y favorecen la circulación de los vientos (Romero & Vinagre, 1985).
- ❖ Humedad del suelo: Es aquella variable que se relaciona con el contenido de agua en las cubiertas terrestres. En áreas con contenido importante de humedad, se produce evapotranspiración que suele ser importante para en el enfriamiento de estructuras de la superficie y cercanas a ellas.
- ❖ Reflectividad del suelo: Esta variable refleja los cambios espaciales de la reflectividad de una imagen satelital, esto tiene relación a que las superficies que absorben mayor cantidad de radiación solar presentan temperaturas más altas.
- ❖ Cobertura vegetal: Relacionada en forma inversa con las temperaturas superficiales, por lo que las temperaturas suelen ser más bajas que en las áreas edificadas, por generar condiciones más frescas.
- ❖ Densidad de la población: la mayor concentración de población en un lugar determinado junto con la rugosidad de las ciudades influye en el factor de visión del cielo (*Sky view factor*), aumentando la intensidad de las temperaturas.

2.4 Impactos de las ICUs y formas de mitigación

Voogt (2008) hace referencia a los efectos que generan las islas de calor urbano sobre los habitantes de las ciudades, y entre ellas se encuentran:

- Confort humano: positivo (invierno), negativo (verano)
- Uso de energía: positivo (invierno), negativo (verano)
- Uso de agua: negativo
- Actividad biológica (la duración de la temporada de cultivo): positivo
- Hielo y nieve: positivo

Las islas de calor del verano pueden aumentar la demanda de energía para aire acondicionado, lo cual libera más calor al aire y también gases de efecto invernadero,

degradando así la calidad del aire local. Las temperaturas urbanas más elevadas durante el día pueden aumentar la formación del smog urbano, puesto que tanto las emisiones de contaminantes precursores, como las tasas de reacciones fotoquímicas de la atmósfera, aumentan. Por último, las ICUs también pueden afectar en forma directa la salud humana exacerbando el estrés por calor durante las oleadas de calor, especialmente en zonas temperadas, y creando las condiciones adecuadas para que se distribuyan las enfermedades transmitidas por vectores (Voogt, 2008; Grimmond, 2007).

Grimmond (2007) menciona que entendiendo las causas principales del fenómeno de la isla de calor urbano se pueden generar estrategias de mitigación tales como: materiales de construcción y viales de alta reflexión; espaciamiento de los edificios; reducción de las temperaturas superficiales (cambio de albedo y emisividad); mejorar aislamiento de los techos; pavimentos porosos; estanques de detención y humedales que recolecten aguas pluviales; aumento de la fracción de espacios verdes; reducción de la carga solar interna, reducción de la necesidad de refrigeración activa; entre otros.

2.5 Estudios sobre el tema

2.5.1 Casos chilenos

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

En este estudio de Sarricolea & Martín-Vide (2014), tuvo por objetivo conocer la existencia de patrones espaciales e intensidades de las ICUs, generando mapas de intensidad y Análisis de Componente Principales.

Para la metodología, estos autores para delimitar el área adyacente a la ciudad de Santiago o al área de influencia climática (que son paisajes compuestos por paisajes agrarios, naturales y seminaturales) definieron los siguientes criterios:

- Que la altitud se encuentre entre los 400 y los 1.150 m.s.n.m.
- Que las pendientes sean inferiores a $16,7^\circ$ (30%), lo cual permite eliminar áreas que no están urbanizadas y sometidas a una insolación diferente al área metropolitana de Santiago.

Posteriormente, se utilizaron 53 imágenes Terra MODIS adquiridas desde el servidor de imágenes *Global Visualization Viewer* del Servicio Geológico de los Estados Unidos (*United States Geological Survey*), disponible en <http://glovis.usgs.gov/>. Estas imágenes fueron

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

sometidas al factor de conversión de Kelvin (0,02) en que se hizo la multiplicación y luego a la resta de 273,15 para que quedara la temperatura en Celsius.

Concluyeron que los sensores remotos de moderada resolución son óptimos para casos como los de la ciudad de Santiago, ya que además los productos pueden ser procesados mediante Sistemas de Información Geográfica, lo que entrega calidad gráfica para el estudio de la ICUs. La intensidad de la ICUs fue de gran magnitud en otoño con 7,4°C; luego en verano con 5,9°C; primavera (5,4°C) e invierno (5,0°C); y con un máximo en donde se ubica la población de mayores ingresos. A diferencia de las áreas verdes, que mitigan el efecto del calor. Por último, el análisis de componentes principales reveló cuatro patrones de la ICUs que explican el 90,6% de las situaciones: ICUs consolidada (44,5%), ICUs del piedmont y sectores de altos ingresos (22,3%), sin isla de calor urbana (20,2%) e ICUs más intensa al sur (3,6%).

Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos

Sarricolea et al., (2008) realizan un análisis de la máxima Intensidad de la isla de calor urbano para Rancagua junto a los factores que explican las distribuciones de las temperaturas urbanas.

En la metodología, se obtuvieron datos de temperatura entre los años 2007 y 2008 para diferentes estaciones astronómicas, por medio de estaciones fijas y móviles. Por medio del software ArcGIS se interpolaron y extrapolaron las temperaturas a través del método Geoestadístico *Kriging*. Y, por último, dentro de los materiales usados se encuentran:

- Base de datos y productos georreferenciados como el Censo de población y vivienda, para el cálculo de densidades de población; modelo de elevaciones y distancias a cursos de agua.
- Imágenes satelitales Landsat MSS y TM de los años 1975 y 2008 e imágenes satelitales MODIS del año 2007 para las cuatro estaciones del año. Esto con el motivo de poder calcular la superficie urbana y NDVI.
- Estación móvil de medición de temperatura *Weather Wizard III*, utilizada por medio de un vehículo.

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

- Estaciones fijas de medición de temperatura: 9 termógrafos digitales, que registran la temperatura cada 15 minutos.
- Se utilizó las categorías de Fernández (1996) para la señalización de las diferencias de intensidad de las temperaturas.
- Modelación de las temperaturas por medio de la correlación con las distancias a fuentes húmedas, densidad de población, topografía e índice normalizado de diferencias vegetales. Todo esto para la estimación de los niveles de explicación de las temperaturas de la ciudad.

A modo de conclusiones la configuración térmica de la ciudad de Rancagua es poli-concéntrica con temperaturas altas en el centro histórico y temperaturas menores en la periferia. A esto la mayor intensidad de la ICU se registró en verano y en primavera; la máxima intensidad de la isla de calor urbano en Rancagua fue entre los 5,4°C y los 3,2°C; dentro de las variables que mejor explicaron el fenómeno de mayor a menor fue la de distancia a fuentes húmedas, densidad de población, topografía y el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada). Siendo ésta última variable poco significativa debido a la ausencia de parques urbanos en la ciudad.

Isla de Calor Estival en Temuco, Chile

En Steffens et al., (2001), el objetivo principal fue evaluar el efecto antrópico sobre las terrazas fluviales del Río Cautín, en donde se encuentra la ciudad de Temuco. Para ello analizaron la isla de calor urbana estival.

Dentro de la metodología utilizada, se realizaron mediciones de temperatura y humedad del aire mediante vehículos que transitaban por la ciudad en verano. Estas mediciones se hicieron durante el día, en horas cercanas a la máxima temperatura y luego de la puesta de sol. Por último, por medio de Oke & Hannel (1968) se estableció la ecuación para determinar el valor de viento crítico máximo aceptable para que la isla de calor urbana pudiera ser detectada, donde la ecuación es:

$$V_c = -11,6 + 3,4 \log P.$$

donde V_c es a velocidad de viento crítico y P el número de habitantes.

En conclusión, la isla de calor urbana diurna se asemeja a los modelos generales de la misma, concentrándose mayor calor en el sector concéntrico y de mayor población alcanzando los

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

26°C. Respecto a la intensidad de la isla de calor, esta alcanzó los 6,3°C. Todo lo contrario, ocurre durante la noche, pues la ciudad no presentó grandes intensidades, debido a que la diferencia fue de 1,2°C, pese a que fueron en condiciones de calma, destacando que las zonas más pobladas fueron más cálidas. Por último, acá los autores estacan que existe una gran influencia de los cerros que limitan la ciudad sobre el comportamiento térmico y se debe analizar con más detalle las brisas de valle.

Análisis de los factores condicionantes sobre las temperaturas de emisión superficial en el área metropolitana de Valparaíso, Chile

Los autores Sarricolea & Romero (2009) investigaron los rasgos geográficos y urbanos que determinan la distribución de las temperaturas superficiales diurnas en el Área Metropolitana de Valparaíso, que presenta topoclimas en el interior que afectan la temperatura de la ciudad.

La metodología consistió en la obtención de temperaturas superficiales mediante imágenes Landsat TM diurnas de los meses de febrero y agosto del 2007 corregidas geométrica y radiométricamente. Por medio del software ArcMap 9.2 se incorporaron las variables explicativas consideradas para que luego se pudiera aplicar modelos de regresión múltiple. Dentro de las variables consideradas se encuentran: topografía, exposición de laderas, distancia al mar y fuentes húmedas, humedad de suelo, brillo de suelo, NDVI y densidad de población.

Dentro de las conclusiones finales del estudio indicaron que las temperaturas superficiales diurnas del área metropolitana de Valparaíso para verano e invierno están condicionadas por la cercanía al mar y la acción de las brisas oceánicas, debido a que las temperaturas se reducen en verano y se elevan en invierno, totalmente lo contrario a lo que ocurre en ciudades de valles como Villa Alemana y Quilpué. La isla de calor urbano se asocia al poli-centrismo de las zonas más densamente construidas, en dónde la máxima intensidad de la isla de calor superficial se alcanza en verano llegando a 17,4°C mientras que en invierno tan solo a 8,8°C. Los factores condicionantes que mejor explican las temperaturas en verano son humedad y reflectividad de suelo, cercanía al mar y a las áreas verdes, existiendo una macro isla de calor urbano en Villa Alemana y Quilpué, mientras que los sectores más frescos se ubican en Viña del Mar (Club de Golf Granadilla, Sporting Club y sobre la laguna Sausalito y el Club Naval) y las cumbres de los cerros porteños. En cambio, para invierno los factores que mejor explican el fenómeno son la reflectividad de suelo, exposición de laderas y densidad de población, donde la ICUS se concentró en el centro de Valparaíso, Concón y barrios de exposición norte de Viña del Mar. Por último, Villa Alemana y Quilpué se presentaron menos cálidas.

2.5.2 Casos latinoamericanos

En este apartado es importante mencionar que los ejemplos que se exponen de manera resumida se encuentran en la recopilación bibliográfica que realizaron Sarricolea & Meseguer-Ruiz (2019) en el libro “*Urban Climates in Latin America*” de los autores Henríquez & Romero (2019).

Isla de calor en Ciudad de México

Para el caso de esta ciudad, uno de los autores principales que ha estudiado dicho fenómeno es Erick Jáuregui. Pues Jáuregui (1973) señaló que existían 2°C de diferencia en las temperaturas medias respecto a los alrededores de la ciudad. El mismo autor destaca que la isla de calor urbana presenta mayores valores de intensidad en la estación seca (diciembre-marzo) debido a inversiones térmicas. Además, para ver la distribución de la isla de calor urbana realizó transectos móviles entre los meses de octubre y febrero con noches claras y tranquilas, teniendo buenos resultados entre las 4:15 y 6:15 a.m. Ante eso, obtuvo que la isla de calor urbana es concéntrica y un tanto desplazada al suroeste. Por último, Jáuregui (1997) confirma las observaciones descritas anteriormente, mencionando que esta isla de calor urbana tropical alcanza los 5°C ocurriendo en el amanecer.

Jáuregui (1993), agrega también que la isla de calor urbano evolucionó en la ciudad de México, aumentando sus valores debido al gran crecimiento demográfico y la expansión espacial de las ciudades.

Jáuregui (1997, 2000) menciona que durante la estación seca la ciudad de México alcanza los 8°C de intensidad de la isla de calor urbano, antes del amanecer, pero en condiciones de calma y de cielo totalmente despejado. De manera complementaria Cui & De Foy (2012) analizan las temperaturas superficiales de la ciudad de México ocupando otro método, utilizando imágenes satelitales Terra MODIS, descubriendo isla de calor frías. Además, y por último estos autores observaron que durante la noche la isla de calor urbano tiene una mayor relación con la estabilidad atmosférica que con la vegetación urbana, donde la intensidad de la isla de calor alcanza los 10°C.

Isla de Calor Urbana en São Paulo, Brazil

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

Dentro de los primeros estudios de isla de calor urbano se asocia a Lombardó (1985) en donde descubrió que las diferencias de temperaturas eran de 5°C y 10°C entre la ciudad y los espacios fuera del área urbana. Para ello utilizó imágenes satelitales de resolución de 1 km.

En estudios con estaciones fijas, Ferreira et al., (2013) indican que para las ciudades ubicadas en zonas tropicales y subtropicales, la isla de calor urbana es menos intensa que en latitudes más altas y tiene fuerte tendencia en horario diurno y en estación de verano, debido a que la intensidad de la isla de calor es producida fuertemente por la radiación solar del dosel urbano en latitudes más bajas. Respecto a los mismos autores indican que la máxima intensidad de la isla de calor ocurre durante el día entre las 14:00 y 16:00 horas, donde para el mes de julio las diferencias fueron de 2,6°C y en septiembre de 5,5°C. Por último, Barros & Lombardo (2016) menciona que la máxima intensidad de la isla de calor de São Paulo es de 8°C.

En general, para los estudios de isla de calor en São Paulo se utilizaron imágenes satelitales Landsat.

Isla de Calor Urbana Río de Janeiro, Brazil

Marques Filho et al., (2009) mencionan que Río de Janeiro presenta una isla de calor urbana en la mañana, a diferencias de zonas templadas que ocurren en la noche. Esta isla de calor presenta una intensidad de 4°C a 5°C durante la transición del verano y durante el invierno seco (febrero-mayo), mientras que en los otros meses las intensidades son de 2°C a 3°C. Además, las islas frías se producen a las 18:00 horas siendo un factor determinante la debilidad de la brisa urbana.

Por medio de imágenes Landsat para los meses de invierno De Lucena et al., (2013) descubren que la variable vegetación explican la isla de calor concéntrica que disminuye hacia la periferia, pero sin nombrar intensidades y con uso de tan solo 3 imágenes satelitales. Por último, Sena et al., (2014) por medio de imágenes satelitales MODIS a las horas 02:00, 05:00, 13:00 y 16:00 entre los años 2003 y 2010, descubren que la intensidad ocurre a las 16:00 alcanzando diferencias mínimas de de 10°C durante el invierno, mientras que en verano intensidades máximas de más de 15°C.

Isla de Calor Urbana en Belo Horizonte, Brasil

Para esta ciudad de Brasil, existen pocas referencias a la isla de calor urbana. Dentro de esas pocas, están los estudios de Abreu & Assis (1998), que descubren una isla de calor en Belo horizonte con intensidades de más de 3°C con máximas a las 15:00 horas, por medio de

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

transectos móviles. Magalhães Filho & Abreu (2010) reafirman la existencia de una isla de calor, pero con la particularidad que el descubrimiento destaca que ocurre en el centro de la ciudad.

Por último, de manera complementaria se encuentra la tesis doctoral de Magalhães Filho (2006), propone una isla de calor con máxima intensidad de 4.7°C entre las 16:00 y las 18:00 h.

Isla de Calor Urbana en Buenos Aires, Argentina

Para esta capital vecina, se compararon datos de observatorios de los meses de julio y enero, dando como resultado máximas diferencias durante el día en el mes de julio, y durante la noche para el mes de enero, esto para el año 1982 por Camillioni & Mazzeo (1987). Luego Rusticucci & Vargas (1991) ocupando un horario de 02:00, 08:00, 14:00 y 20:00 descubrieron que la isla de calor ocurre en la noche y la isla fría a las 14:00, entre 1968-1980.

La isla de calor urbano desde su primera aparición en el año 1950 comenzó a intensificarse, pero de forma pausada hasta 1990 (Camillioni, 1995). Acto seguido, Figuerola & Mazzeo indican que la isla de calor comienza a intensificarse después del atardecer con máxima a las 06:00 a.m, y en invierno es en donde se dan mayores intensidades con $4,6^{\circ}\text{C}$ no muy distante del verano. Esto debido a las masas de aire muy frío (Bejaran & Camillioni, 2003).

Camillioni & Barrucand (2012) entre los años 1976 y 2007 analizaron series de tiempo donde la isla de calor alcanza intensidades de 2°C entre las 00:00 y las 06:00 am, exhibiéndose en orden, mayor intensidad en verano, primavera, otoño e invierno. Finalizando la intensidad ha ido disminuyendo según un análisis de 1996-2005 en todas las estaciones.

Isla de calor en Bogotá, Colombia

Si bien existen pocos estudios respecto al tema, Pabon et al., (1998) descubren que la isla de calor se observa en el centro de la ciudad, expandiéndose hacia el norte. Ángel., (2010) mencionan que la isla de calor se expande hacia el noroeste de Bogotá, alcanzando una intensidad de 3°C . Alcofarado & Matzarakis (2014) descubren que la isla de calor en las ciudades tropicales es más baja en cuanto a sus intensidades, a diferencia de las que se encuentran entre los 40° y 60° que son más altas. Por último, se desconoce la hora sinóptica y estación del año en que se produce la máxima intensidad de la isla de calor.

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

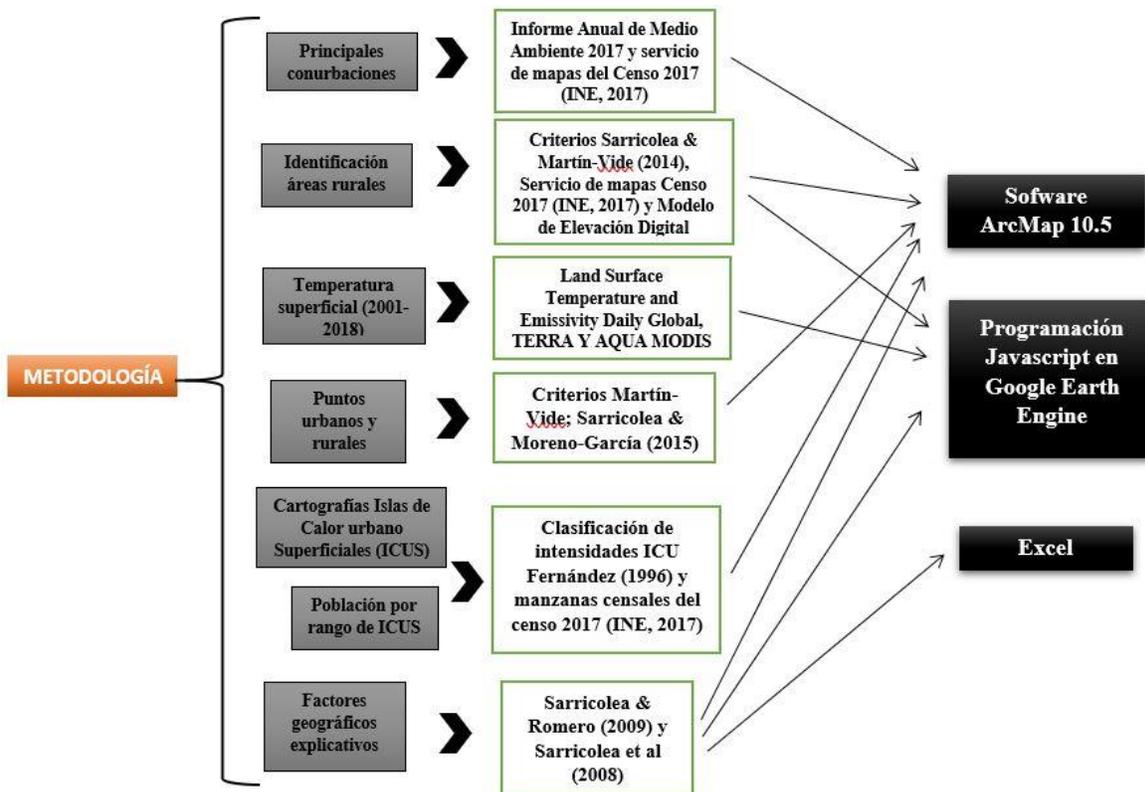
Isla de calor en Lima, Perú

Para esta ciudad, casi no existen estudios, pero Soberon & Obregón (2016) indican que en una tesis de Ingeniería en el año 2010 se identificó la aparición de la isla de calor en verano, con mayores temperaturas al centro de la ciudad y con máximas durante el día a las 16:00 horas. Estos mismos autores, además, utilizaron imágenes Landsat para observar isla de calor superficial, dando como resultado una isla de calor negativa con una poca correlación con la temperatura del aire.

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se detallan los pasos metodológicos llevados a cabo. A manera de resumen, en la figura N°6 se aprecian los criterios ocupados para la generación de productos y softwares respectivos.

Figura N° 6 Esquema metodológico



Fuente: Elaboración propia

3.1 Selección de las principales conurbaciones de la V Región de Valparaíso

Fue necesario obtener las principales conurbaciones de la V región de Valparaíso, ya que estas entidades de acuerdo con el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Instituto Nacional de Estadísticas y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (2018) las definen como el fenómeno en que dos o más ciudades, en función de su crecimiento demográfico y espacial, se integran territorialmente. Esto permitió que la resolución de las imágenes satelitales MODIS *Land Surface Temperature* de 1000 x 1000 metros de resolución no fuera un

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

problema al momento de realizar el análisis, ya que una conurbación integra más de una ciudad y por ende el límite urbano es más grande, teniendo una mayor área de cobertura.

Las conurbaciones se adquirieron del “Informe anual de medioambiente 2017” realizado por el INE (2017), donde en la tabla N°3 se detallan las principales conurbaciones definidas para la V Región de Valparaíso y que fueron incorporadas en este estudio. Es importante mencionar que la conurbación de Quintero no está definida e incluida en dicho informe, pero que solo la zona industrial que se encuentra en la ensenada¹ separa a Quintero con una parte de Puchuncaví. Además, si bien la zona industrial es catalogada como entidad rural, esta es un reemplazamiento de coberturas naturales por artificiales, algo que concuerda con Romero et al., (2010) siendo una causa del incremento de temperaturas.

Tabla N° 3 Principales conurbaciones V Región de Valparaíso

NOMBRE CONURBACIÓN	COMUNA CONURBADA
GRAN VALPARAÍSO	VALPARAÍSO, CONCÓN, QUIULPUE, VILLA ALEMANA, VIÑA DEL MAR
QUILLOTA	QUILLOTA, LA CALERA, HIJUELAS, LA CRUZ
LIMACHE-OLMUÉ	LIMACHE, OLMUÉ
SAN ANTONIO	SAN ANTONIO, CARTAGENA, LAS CRUCES, SANTO DOMINGO
MAITENCILLO	PUCHUNCAVÍ, ZAPALLAR
LOS ANDES	LOS ANDES, CALLE LARGA
ALGARROBO	ALGARROBO, EL QUISCO, EL TABO
SAN FELIPE	SAN FELIPE, SANTA MARÍA
QUINTERO	QUINTERO, PUCHUNCAVÍ

Fuente: Elaboración propia partir de Instituto Nacional de Estadísticas (2017).

¹ Unidad territorial costera básica que conforma sistemas geográficos complejos en territorio litoral chileno. La particularidad que tiene esta unidad es la “distribución sistemática de la energía de onda en dirección deriva abajo, desde la zona proximal a la distal” (Soto & Arriagada, 2007).

Ya con las conurbaciones identificadas en la teoría, y usando del software *ArcMap 10.2* se incorporaron las capas de límites urbanas proporcionadas por el servicio de mapas del Censo 2017, elaborado por el INE (2017), y se seleccionaron las principales conurbaciones de la región de Valparaíso.

3.2 Identificación de áreas no urbanas o rurales

Para la elección y delimitación de las áreas no urbanas o rurales generales se ocuparon criterios topográficos en que los autores Sarricolea & Martín-Vide (2014) hacen mención, y que corresponden a los siguientes:

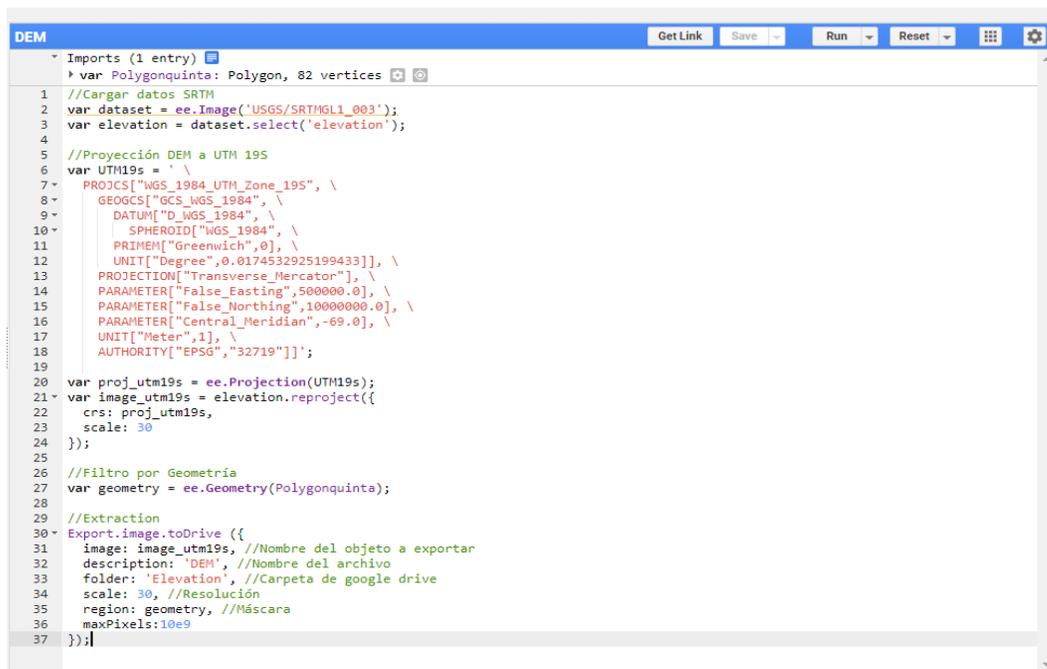
1. Que el rango de altitud de las zonas no urbanas sea idéntico al rango de alturas de las zonas urbanas. Aquí el rango de altitud que se debió cumplir dependió de cada conurbación (que son 9) pues para cada conurbación existe un rango de altitud diferente.
2. Que los grados o porcentajes de las pendientes de las áreas rurales deban ser iguales a las presentes en las áreas urbanas. Esto permitió la eliminación de aquellas áreas que estaban sometidas a una insolación diferente a las que existen en las conurbaciones. Al igual que la altitud, cada conurbación tiene sus pendientes con sus grados correspondientes.

Para la obtención de los rangos de altura de cada área urbana, fue necesario descargar el modelo de elevación digital de 30 metros, dispuesto por “*The Shuttle Radar Topography Mission*” (SRTM). Este fue un proyecto de la NASA en conjunto con la Agencia Nacional de Inteligencia Espacial y las Agencias Espaciales de Alemania e Italia, que voló en febrero del año 2000 (Farr et al, 2007). Estos datos fueron obtenidos a través de la plataforma en nube de conjuntos de datos geoespaciales llamado *Google Earth Engine*. A través del editor de código de esta plataforma fue posible usar lenguaje *JavaScript*, de esa manera se programó y logró cargar los datos SRTM, así como también; proyectar el modelo de elevación digital al sistema de coordenadas *Universal Transversal de Mercator* (UTM) en huso 19; filtrar los datos a través de una geometría dibujada en la misma plataforma en alrededores de los límites de la quinta región, y por último extraer los datos que quedan contenidos en *Google drive* (Ver figura N°7). Por último, el modelo de elevación digital (DEM) obtenido de la V Región de Valparaíso, se incorporó al *software ArcMap 10.2* realizando un extracto por máscara o *extract by mask* que permitió recortar el DEM con las capas límites urbanas para cada conurbación, y así poder obtener el mínimo y máximo de altura por zona urbana.

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

En el caso de los grados de pendientes, se utilizaron los modelos de elevación digital extraídos de cada conurbación y se utilizó la herramienta cuesta abajo o *slope* para obtenerlos.

Figura N° 7 Modelo de elevación digital en Google Earth Engine



```
DEM
Imports (1 entry)
var Polygonquinta: Polygon, 82 vertices
1 //Cargar datos SRTM
2 var dataset = ee.Image('USGS/SRTMGL1_003');
3 var elevation = dataset.select('elevation');
4
5 //Proyección DEM a UTM 19S
6 var UTM19s = \
7- PROJCS["WGS_1984_UTM_Zone_19S", \
8-   GEOGCS["GCS_WGS_1984", \
9-     DATUM["D_WGS_1984", \
10-       SPHEROID["WGS_1984", \
11-         PRIMEM["Greenwich",0], \
12-         UNIT["Degree",0.0174532925199433]], \
13-     PROJECTION["Transverse_Mercator"], \
14-     PARAMETER["False_Easting",500000.0], \
15-     PARAMETER["False_Northing",10000000.0], \
16-     PARAMETER["Central_Meridian",-69.0], \
17-     UNIT["Meter",1], \
18-     AUTHORITY["EPSG","32719"]]];
19
20 var proj_utm19s = ee.Projection(UTM19s);
21 var image_utm19s = elevation.reproject({
22   crs: proj_utm19s,
23   scale: 30
24 });
25
26 //Filtro por Geometría
27 var geometry = ee.Geometry(Polygonquinta);
28
29 //Extraction
30 Export.image.toDrive ({
31   image: image_utm19s, //Nombre del objeto a exportar
32   description: 'DEM', //Nombre del archivo
33   folder: 'Elevation', //Carpeta de google drive
34   scale: 30, //Resolución
35   region: geometry, //Máscara
36   maxPixels:10e9
37 });
```

Fuente: Elaboración propia

3.3 Obtención imágenes satelitales MODIS *Land Surface Temperature* para el rango de años 2001 – 2018

Para la generación de islas de calor urbanas superficiales, fue menester disponer de imágenes satelitales que indicaran la temperatura superficial. Se recurrió a los datos de *Land Surface Temperature and Emissivity Daily Global* (LST) obtenidos a través de MODIS de los satélites TERRA (MOD11A1.006) y AQUA (MYD11A1.006) que se encuentran a una resolución de píxel de 1km x 1km, poseen productos diarios y con bandas de temperaturas superficiales diurnas y nocturnas medidas en grados Kelvin. Además, para ambos satélites, a diferencia de anteriores niveles de imágenes MODIS, las imágenes han sido corregidas, eliminando aquellas contaminadas por nubosidad, por lo que facilitó el uso de estos productos (Wanet al., 2015). Por último, para el descubrimiento de las ICUs y su intensidad, se consideraron ambos satélites (Terra y Aqua), ya que de esa manera se dispuso de mayores

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

cantidades de registros de temperaturas superficiales, por lo que se tiene menor rango de error y mayor precisión.

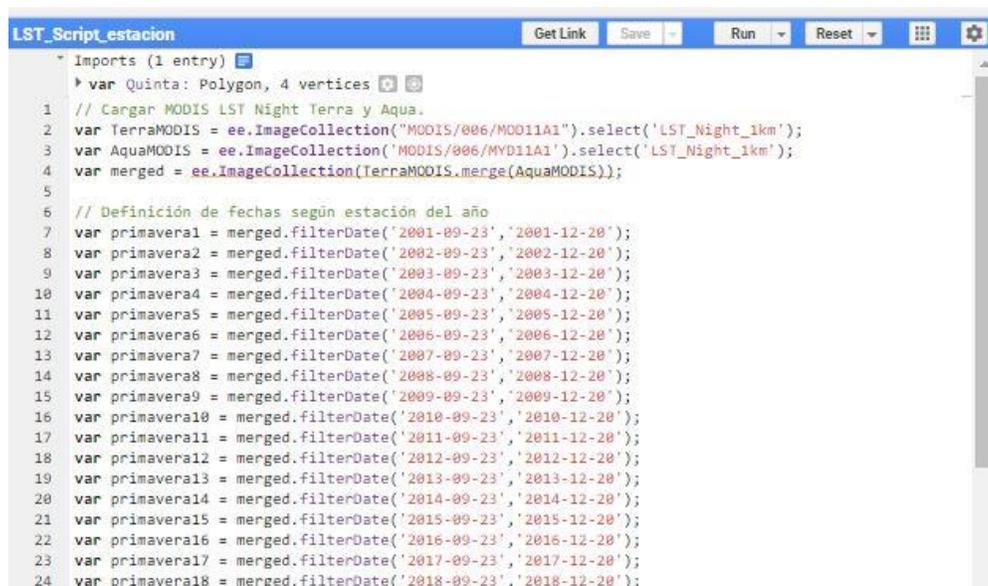
En primera instancia, para poder generar nuestro producto LST, se ingresó a *Google Earth Engine* (GEE) un archivo vectorial correspondiente a la totalidad de la región de Valparaíso, para que luego se pudiera dibujar un polígono que lo cubriera, ya que en GEE no se pueden extraer productos tan detalladamente usando directamente un archivo *shapefile*, sino que se debe crear o dibujar un polígono en la misma plataforma para que esa geometría se use como molde para la extracción que se requiera generar.

Ya con la geometría de cuatro vértices generada cubriendo nuestro *shapefile*, se dio paso a la selección de los satélites y sus colecciones de imágenes, junto con la banda respectiva, que en este caso para ambos corresponde a “LST_Night_1km” en el caso que se elija la nocturna y “LST_Day_1km” para la diurna. Luego, tal como se mencionó en el párrafo anterior, se tomó la opción de mezclar las colecciones imágenes de Terra y Aqua para obtener mayor cantidad de registro de temperaturas, por lo que se realizó un *merge* con las imágenes. Los totales de imágenes utilizadas fueron de 12.539 para el horario diurno, y misma cifra para las nocturnas.

Inmediatamente se filtraron las colecciones de imágenes por medio de un filtro por fechas desde el año 2001 hasta el último mes y día del año 2018, y de acuerdo con cada estación del año, definidas por las estaciones astronómicas que corresponden a el solsticio de verano (21 de diciembre), equinoccio de otoño (21 de marzo), solsticio de invierno (21 de junio) y equinoccio de primavera (23 de septiembre) según Gimpel (1985). En la figura N°8 se muestra un ejemplo de filtro por fechas usando el equinoccio de primavera que dura hasta el 20 de diciembre. Además, se muestra lo mencionado en anteriores pasos.

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

Figura N° 8 Colección de imágenes MODIS y filtro por fechas



```
LST_Script_estacion
Get Link Save Run Reset
Imports (1 entry)
var Quinta: Polygon, 4 vertices
// Cargar MODIS LST Night Terra y Aqua.
var TerraMODIS = ee.ImageCollection("MODIS/006/MOD11A1").select('LST_Night_1km');
var AquaMODIS = ee.ImageCollection("MODIS/006/MYD11A1").select('LST_Night_1km');
var merged = ee.ImageCollection(TerraMODIS.merge(AquaMODIS));
// Definición de fechas según estación del año
var primavera1 = merged.filterDate('2001-09-23', '2001-12-20');
var primavera2 = merged.filterDate('2002-09-23', '2002-12-20');
var primavera3 = merged.filterDate('2003-09-23', '2003-12-20');
var primavera4 = merged.filterDate('2004-09-23', '2004-12-20');
var primavera5 = merged.filterDate('2005-09-23', '2005-12-20');
var primavera6 = merged.filterDate('2006-09-23', '2006-12-20');
var primavera7 = merged.filterDate('2007-09-23', '2007-12-20');
var primavera8 = merged.filterDate('2008-09-23', '2008-12-20');
var primavera9 = merged.filterDate('2009-09-23', '2009-12-20');
var primavera10 = merged.filterDate('2010-09-23', '2010-12-20');
var primavera11 = merged.filterDate('2011-09-23', '2011-12-20');
var primavera12 = merged.filterDate('2012-09-23', '2012-12-20');
var primavera13 = merged.filterDate('2013-09-23', '2013-12-20');
var primavera14 = merged.filterDate('2014-09-23', '2014-12-20');
var primavera15 = merged.filterDate('2015-09-23', '2015-12-20');
var primavera16 = merged.filterDate('2016-09-23', '2016-12-20');
var primavera17 = merged.filterDate('2017-09-23', '2017-12-20');
var primavera18 = merged.filterDate('2018-09-23', '2018-12-20');
```

Fuente: Elaboración propia

Para la obtención de una sola imagen de temperatura superficial en °K, se debió generar un promedio de todas las variables anuales escritas desde el 2001 hasta el 2018, para que enseguida, la imagen resultante se transformara desde °K a °C por medio de la fórmula:

$$(LST \times 0,02) - 273,15 \text{ donde:}$$

LST: es la variable creada que contiene la banda de LST_Night_1km

0,02: es el factor de escala que tiene los datos.

273,15: que es la equivalencia a 0°K

Ya con nuestra imagen en Celsius, se dio paso a la proyección en coordenadas UTM 19S de nuestra imagen LST y también a una *resample bilinear*, de manera que lograr suavizar los pixeles de 1000m, interpolándolos, llevándolos a 400 m y luego a 200 m. En la figura N°9 se muestra el código generado en GEE y para las secuencias explicadas.

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

Figura N° 9 Promedio, temperatura en Celsius, proyección y resample de las imágenes

```
26 //Promedio LST Night según estación del año
27 var LST_mean = (primavera1, primavera2, primavera3, primavera4, primavera5, primavera6, primavera7, primavera8, primavera9,
28 primavera10, primavera11, primavera12, primavera13, primavera14, primavera15, primavera16, primavera17, primavera18).mean();
29 print(LST_mean);
30
31 //Conversión LST Night a K° a C°
32 var convert_LSTmean = LST_mean.expression('(LST*0.02) - 273.15', {'LST': LST_mean.select('LST_Night_1km')});
33
34 //Proyección LST Night a UTM 19S
35 var UTM19s = ' \
36 PROJCS["WGS_1984_UTM_Zone_19S", \
37 GEOGCS["GCS_WGS_1984", \
38 DATUM["D_WGS_1984", \
39 SPHEROID["WGS_1984", \
40 PRIMEM["Greenwich",0], \
41 UNIT["Degree",0.0174532925199433]], \
42 PROJECTION["Transverse_Mercator"], \
43 PARAMETER["False_Easting",500000.0], \
44 PARAMETER["False_Northing",10000000.0], \
45 PARAMETER["Central_Meridian",-69.0], \
46 UNIT["Meter",1], \
47 AUTHORITY["EPSG","32719"]'];
48
49 var proj_utm19s = ee.Projection(UTM19s);
50 var image_utm19s = convert_LSTmean.reproject({
51 crs: proj_utm19s,
52 scale: 1000
53 });
54
55 var LST_Night = image_utm19s.select('LST_Night_1km');
56 print('CRS:', LST_Night.projection().crs());
57
58 // Remuestreo bilineal a escala de 400m
59 var image_400m = image_utm19s.resample('bilinear').reproject({
60 crs: proj_utm19s,
61 scale: 400
62 });
63
64 // Remuestreo bilineal a escala de 200m
65 var image_200m = image_400m.resample('bilinear').reproject({
66 crs: proj_utm19s,
67 scale: 200
68 });
```

Fuente: Elaboración propia

Para poder extraer nuestra imagen de temperatura superficial, se creó una variable para poder contar con el polígono dibujado sobre el *shapefile* de la región de Valparaíso. Luego se exportó la imagen final a *google drive*, con el nombre respectivo de la variable, nombre del archivo de salida, nombre de la carpeta en la que se guardará en *drive*, la resolución del píxel, la geometría de referencia y el máximo de píxeles. En la figura N°10 aparece la exportación realizada.

Figura N° 10 Extracción LST para la región de Valparaíso

```
71
72 // Creación de geometría y exportación
73 var geometry = ee.Geometry(Quinta);
74 Export.image.toDrive({
75 image: image_200m, //Nombre del objeto
76 description: 'LSTmean', //Nombre del archivo
77 folder: 'LST_maps',
78 scale: 200, //Resolución
79 region: geometry, //Máscara
80 maxPixels:10e9
81 });
82
```

Fuente: Elaboración propia

3.4 Puntos urbanos y no urbanos

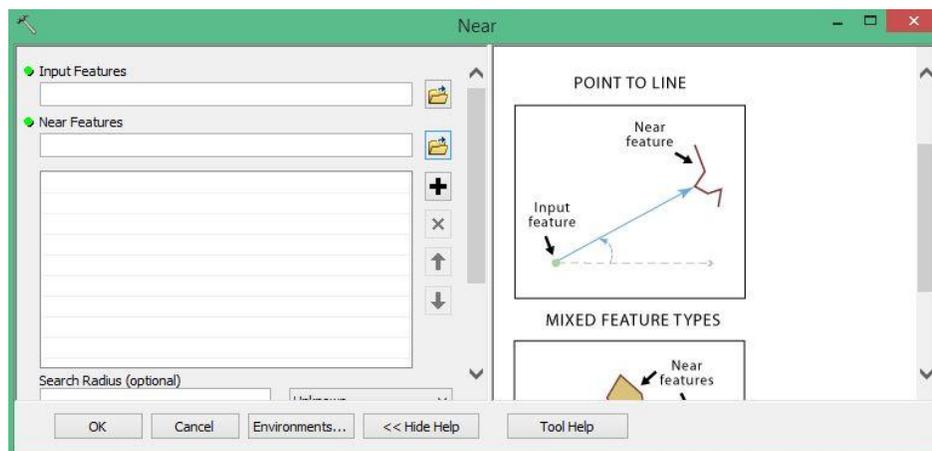
Ya con la imagen de temperatura superficial generada se trabajaron los criterios de Martín-Vide et al., (2015), es decir, características similares entre puntos urbanos y rurales para la comparación y obtención de la intensidad de la ICUs. Dichos criterios, tal como se han mencionado en el capítulo del marco teórico, corresponden a una similar o cercana distancia al mar o fuentes húmedas (que no superen los 800m de diferencia), misma altura sobre el nivel del mar (que no supere los 30 m de diferencia) y que la zona rural corresponda a un paisaje lo más natural o seminatural posible.

Se identificaron las zonas de máxima temperatura superficial para cada conurbación y las zonas rurales con las mismas condiciones geográficas, por medio de la creación de *shapefiles* de puntos que marcaran la posición.

Para conseguir la distancia en metros al mar o fuentes húmedas se utilizó la herramienta *near* (ver figura N°11) del *software ArcMap*, que es la que calcula la distancia más corta entre dos *shapefiles*. Se ingresan los puntos urbanos y rurales y se agregan los archivos de fuentes húmedas con la que se quiso calcular la distancia. Aquí se utilizó una polilínea de elaboración propia, que a través de fotointerpretación se dibujó la orilla del mar, y se descargó la red hidrográfica de Chile desde <http://datos.cedeus.cl/layers/geonode:waterways>, proporcionado por la Red CEDEUS. Por lo tanto, las distancias al mar o a fuentes húmedas quedaron registradas en las tablas atributos de los puntos rurales y urbanos.

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

Figura N° 11 Herramienta de proximidad “near”

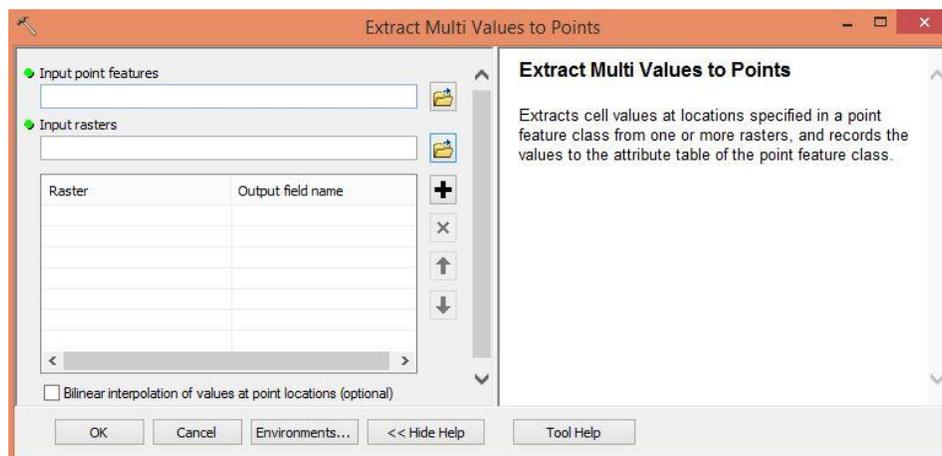


Fuente: Elaboración propia

En la obtención de la altitud y temperaturas superficiales para ambos puntos, se ocupó la herramienta de extracción de *ArcMap* llamada *extract multi values to points* (ver figura N°12), que permitió extraer los valores de los *rasters* de altura que correspondían a los DEM o modelos de elevación digital y los valores de temperatura superficial obtenidos por MODIS explicados con anterioridad a través de los puntos de ambas zonas.

De este modo los puntos de las conurbaciones y de las zonas rurales poseen sus respectivas temperaturas superficiales, distancias a fuentes húmedas y alturas, de manera que quede registro de los criterios físicos cumplidos.

Figura N° 12 Herramienta de extracción “Extract multi values to points”



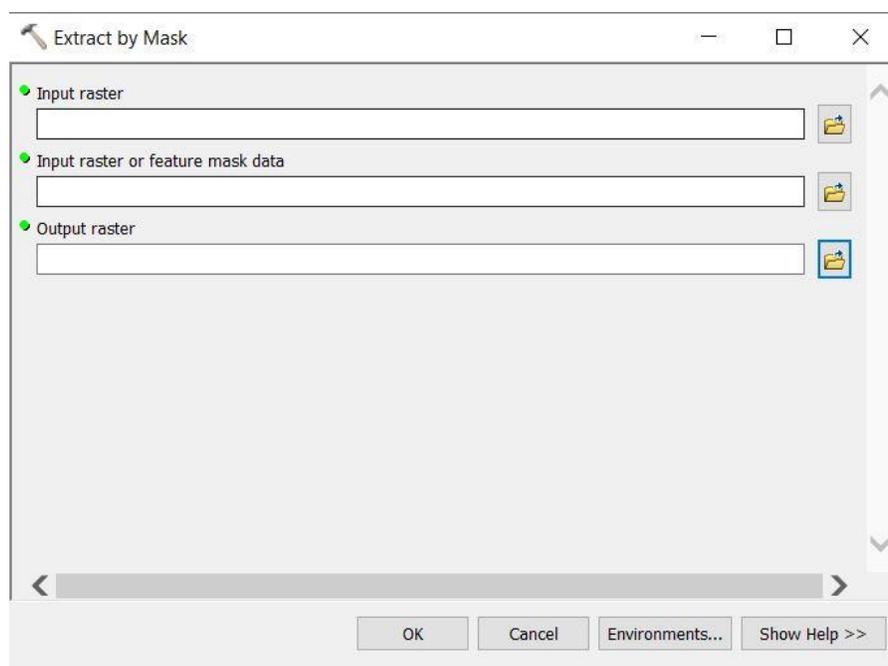
Fuente: Elaboración propia

Por último, es importante aclarar que se optó por abreviar las islas de calor urbanas superficiales sin criterios por “ICUs S/C” y a las islas de calor urbanas superficiales con criterios físicos por “ICUs C/C”.

3.5 Cartografías de intensidades de las ICUs

Cuando se tuvo la imagen satelital de temperatura superficial lista, llegó el momento de manipulación y generación de las intensidades de las ICUs. Para ello, primero se realizó un “*extract by mask*”, herramienta de ArcMap que permite utilizar polígonos (en este caso los límites de las nueve conurbaciones) como referencia para poder extraer información raster de temperatura superficial que se encuentra dentro de los límites que se requirieron. En la figura N°13 aparece la herramienta utilizada, donde en “*Input raster*”, se ingresa la imagen raster (temperatura superficial) que queremos extraer y luego en “*Input raster or feature mask data*”, se ingresa el polígono o *shapefile* que indican las contornos o márgenes para la extracción.

Figura N° 13 Herramienta de extracción por polígono “Extract by mask”

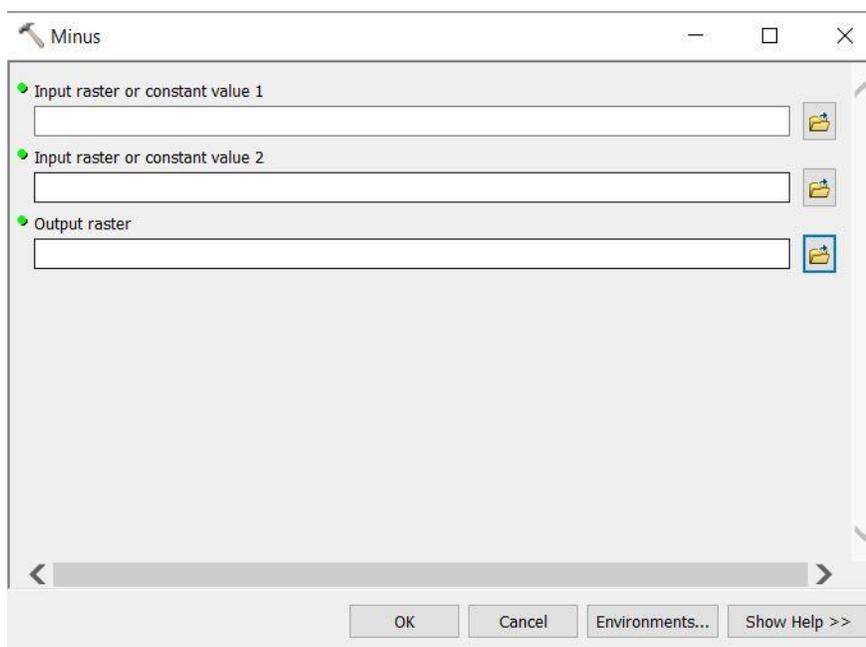


Fuente: Elaboración propia

Enseguida, se utilizaron las imágenes satelitales de temperatura superficial de cada una de las conurbaciones, y se sometieron a la herramienta de matemática raster de *ArcMap* llamada

“Minus” con la finalidad de restar la temperatura más baja al raster, que siempre correspondía a una ubicada en una zona rural. Con esa resta se pudo obtener las intensidades de las ICUs. En la figura N°14 se muestra el cuadro de la herramienta, pues en la primera sección de “Input raster o constant value 1” se coloca nuestra imagen de temperatura superficial extraída a través del polígono de una de las conurbaciones, para que inmediatamente en la segunda sección “Input raster o constant value 2” se indicara el valor completo de la temperatura más baja de la imagen satelital.

Figura N° 14 Herramienta matemática raster “Minus”



Fuente: Elaboración propia

Ya finalizando, se dio paso a la realización de una clasificación de las intensidades obtenidas a través del *minus*. Para dicho propósito se utilizó la herramienta de análisis espacial conocida como “*Reclassify*”, de esta manera se logró generar los rangos de temperatura de acuerdo con la clasificación de Fernández-García (1996), con la excepción que únicamente para las intensidades de las ICUs nocturnas se utilizó una adaptación de dicha clasificación, y que se muestra en la tabla N°4. En la figura N°15 se detalla la herramienta utilizada. En “*Input raster*” se ingresa el raster obtenido en el *minus*, luego en la casilla de “*Classify*” se manipulan los rangos y las cantidades, para que por último en “*Precision*” se elijan los decimales que se desearon mostrar.

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

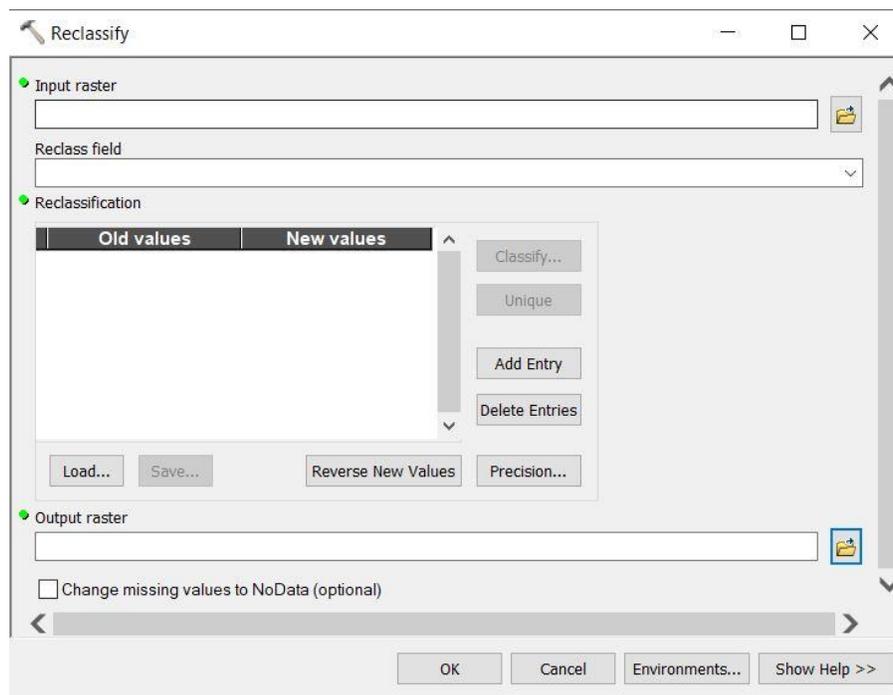
Es importante recalcar que la adaptación de la clasificación de intensidades de la ICUs de Fernández-García (1996) se usó únicamente para ICUs nocturnas debido menores intensidades, en cambio para las ICUs diurnas se utilizó la clasificación original sin adaptar.

Tabla N° 4 Adaptación de clasificación de intensidades ICUs nocturnas

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

Fuente: Elaboración propia a través de Fernández-García (1996)

Figura N° 15 Herramienta de clasificación de las intensidades “Reclassify”

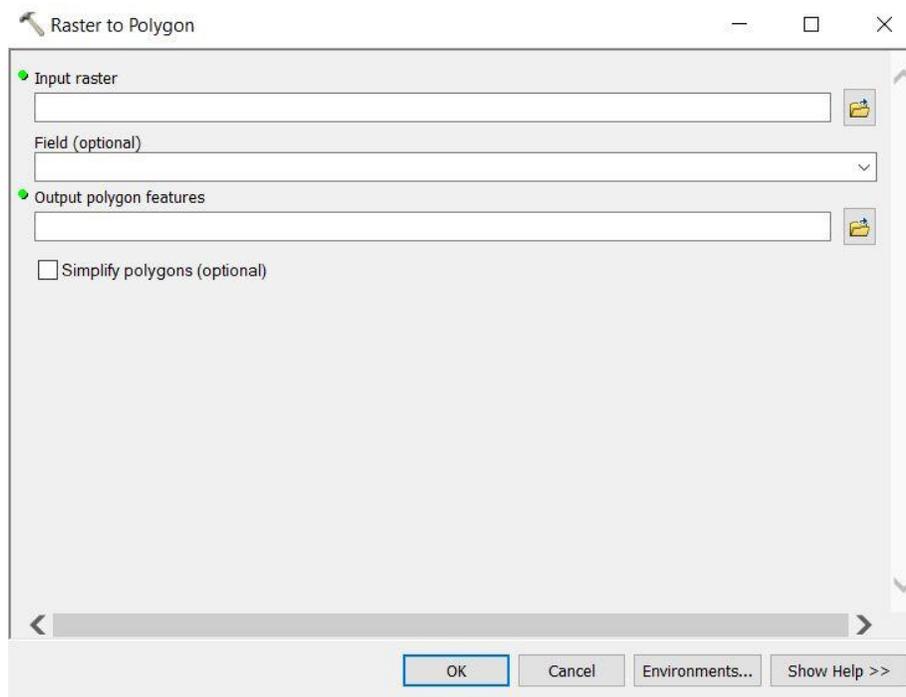


Fuente: Elaboración propia

3.6 Cantidad de población por rango de intensidad de la ICUs nocturna anual

Antes de integrar la información de la cantidad de personas por rango de intensidad de la ICUs, primero, se debió transformar las clasificaciones que se obtuvieron en el *reclassify* de las ICUs nocturnas anuales que se encuentran en formato raster a polígono, por medio de la herramienta de conversión llamada “*Raster to Polygon*”. De esa manera, transformando el raster de clasificaciones a polígono se pudo unir la cantidad de personas por manzanas al rango de intensidad de la ICUs asociado, y que se explicará más adelante. Por último, en la figura N°16, se observa la herramienta utilizada, donde en *input raster* se ingresa la clasificación y en la sección “*Field*” se coloca el campo que sea desea utilizar como referencia.

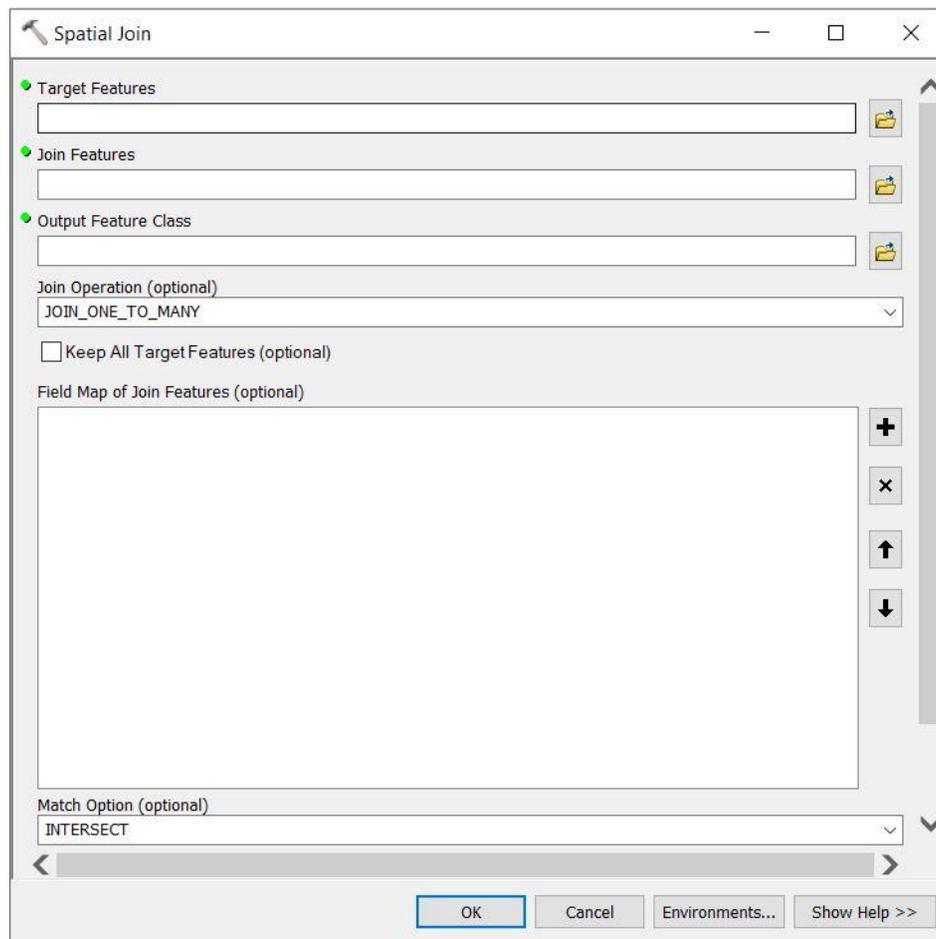
Figura N° 16 Herramienta de conversión “Raster to Polygon”



Fuente: Elaboración propia

A través de la herramienta de análisis “*Spatial Join*” se unieron las cantidades de individuos por manzanas (desde los polígonos de manzanas censales del censo 2017 para la V Región de Valparaíso) de acuerdo con la clasificación de intensidades de las ICUs que les correspondía. Pues en la figura N°17 se detalla la herramienta usada. En “*Target Features*” se ingresan los polígonos de las intensidades transformadas; en “*Join Features*” se colocaron las manzanas censales que contenían la información de población; en la sección “*Join Operation*” se eligió la opción de “*Join One To Many*”, para que se mostraran todas las intersecciones que se realizaron; y por último “*Match Option*” se escogió la opción de “*Intersect*” o intersección para que las cantidades de personas por manzanas quedaran dentro de las intensidades que les corresponde (dentro de los polígonos).

Figura N° 17 Herramienta de análisis “Spatial Join”



Fuente: Elaboración propia

3.7 Factores explicativos para la conurbación del Gran Valparaíso

Para la determinación de las variables explicativas, se consideró el estudio realizado por Sarricolea et al., (2008), pues las variables consideradas corresponden a distancia a fuentes húmedas, NDVI por estación (-1 a 1), densidad de población (hab/ha) y altitud en m.s.n.m. De forma complementaria, también se tomó en cuenta la investigación de Sarricolea & Romero (2010), en que se repiten las variables, pero teniendo en cuenta además la exposición a laderas y distancia al mar, y sin incorporar brillo de suelo y humedad.

3.8 Obtención NDVI por estación a través de Google Earth Engine (GEE)

Para el índice de vegetación, se hizo uso de la plataforma *Google Earth Engine*. Dentro de la gran cantidad de imágenes satelitales, de manera gratuita, estaban disponibles imágenes de resolución moderada del satélite Aqua (MODIS) (MYD13Q1) que se generan cada 16 días a una resolución de 250 metros, conjunto de datos que proporciona el índice de vegetación de diferencia normalizada de la Administración Nacional y Atmosférica de los Estados Unidos (Didan, 2015).

En la figura N°18, se indican los procesos que se ejecutaron en primera instancia para la preparación de las imágenes NDVI. Por medio del *code editor* (donde se ingresan los comandos de programación *JavaScript*) se cargaron las colecciones de imágenes Aqua y se seleccionó la banda que contenía el producto. Inmediatamente se realizaron los filtros por fechas que corresponden a la estación del año correspondiente (se considera otoño a modo de ejemplo), luego, se hizo el promedio final de todas estas fechas y se multiplicó la imagen obtenida por el factor de escala que corresponde a 0,0001 de Aqua MODIS. En seguida, en la figura N°19, se hicieron los procesos correspondientes para la proyección de la imagen NDVI promedio 2001-2018 a UTM 19s y la realización del *resample bilinear* de 250 metros a 200 metros. Finalmente, en la figura N°20, se extrae el producto resultante mencionando el nombre del archivo a extraer, el nombre del archivo final, carpeta en la que se guardó, resolución de la imagen, geometría del lugar que se extraerá la información y número de píxeles.

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

Figura N° 18 Procesamiento colección de imágenes NDVI Aqua en GEE

```
3 //Cargar la colección de Aqua y selección de banda
4 var AquaNDVI = ee.ImageCollection('MODIS/006/MYD13Q1').select('NDVI');
5
6 //Filtro por fechas
7 var Otoño1 = AquaNDVI.filterDate('2001-03-21','2001-06-20');
8 var Otoño2 = AquaNDVI.filterDate('2002-03-21','2002-06-20');
9 var Otoño3 = AquaNDVI.filterDate('2003-03-21','2003-06-20');
10 var Otoño4 = AquaNDVI.filterDate('2004-03-21','2004-06-20');
11 var Otoño5 = AquaNDVI.filterDate('2005-03-21','2005-06-20');
12 var Otoño6 = AquaNDVI.filterDate('2006-03-21','2006-06-20');
13 var Otoño7 = AquaNDVI.filterDate('2007-03-21','2007-06-20');
14 var Otoño8 = AquaNDVI.filterDate('2008-03-21','2008-06-20');
15 var Otoño9 = AquaNDVI.filterDate('2009-03-21','2009-06-20');
16 var Otoño10 = AquaNDVI.filterDate('2010-03-21','2010-06-20');
17 var Otoño11 = AquaNDVI.filterDate('2011-03-21','2011-06-20');
18 var Otoño12 = AquaNDVI.filterDate('2012-03-21','2012-06-20');
19 var Otoño13 = AquaNDVI.filterDate('2013-03-21','2013-06-20');
20 var Otoño14 = AquaNDVI.filterDate('2014-03-21','2014-06-20');
21 var Otoño15 = AquaNDVI.filterDate('2015-03-21','2015-06-20');
22 var Otoño16 = AquaNDVI.filterDate('2016-03-21','2016-06-20');
23 var Otoño17 = AquaNDVI.filterDate('2017-03-21','2017-06-20');
24 var Otoño18 = AquaNDVI.filterDate('2018-03-21','2018-06-20');
25
26 // Promedio NDVI para la estación del año
27 var NDVI_mean = (Otoño1, Otoño2, Otoño3, Otoño4, Otoño5, Otoño6, Otoño7, Otoño8, Otoño9, Otoño10,
28 Otoño11, Otoño12, Otoño13, Otoño14, Otoño15, Otoño16, Otoño17, Otoño18).mean();
29
30 // Agregar factor de escala MODIS
31 var scalefactorNDVI = NDVI_mean.expression('SFNDVI*0.0001', {'SFNDVI': L7mean.select('NDVI')});
```

Fuente: Elaboración propia

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

Figura N° 19 Proyección UTM y resample a 200 metros

```
33 //Proyección UTM
34 var UTM19s = ' \
35 PROJCS["WGS_1984_UTM_Zone_19S", \
36 GEOGCS["GCS_WGS_1984", \
37 DATUM["D_WGS_1984", \
38 SPHEROID["WGS_1984", \
39 PRIMEM["Greenwich",0], \
40 UNIT["Degree",0.0174532925199433]], \
41 PROJECTION["Transverse_Mercator"], \
42 PARAMETER["False_Easting",500000.0], \
43 PARAMETER["False_Northing",10000000.0], \
44 PARAMETER["Central_Meridian",-69.0], \
45 UNIT["Meter",1], \
46 AUTHORITY["EPSG","32719"]];
47
48 var proj_utm19s = ee.Projection(UTM19s);
49 var image_utm19s = scalefactorNDVI.reproject({
50   crs: proj_utm19s,
51   scale: 250
52 });
53
54 var NDVI = image_utm19s.select('NDVI');
55 print('CRS:', NDVI.projection().crs());
56
57 // Remuestreo bilinear a 200
58 var imageNDVI_200m = image_utm19s.resample('bilinear').reproject({
59   crs: proj_utm19s,
60   scale: 200
61 });
62
```

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 20 Extracción NDVI

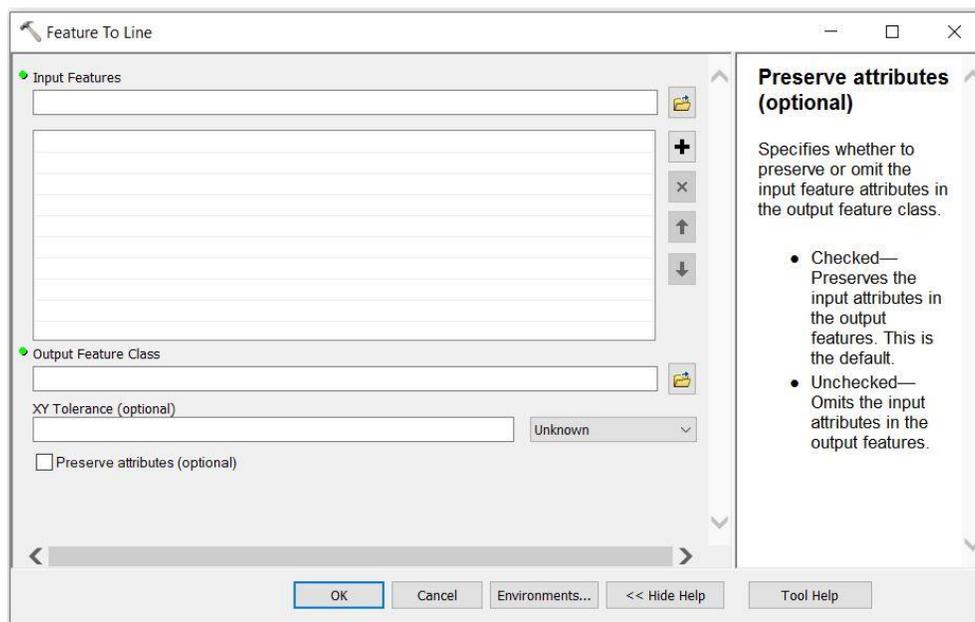
```
64 // Extracción del NDVI
65 var geometry = ee.FeatureCollection(GranValparaiso);
66
67 Export.image.toDrive({
68   image: imageNDVI_200m, //Nombre del objeto
69   description: 'NDVIotono', //Nombre del archivo
70   folder: 'NDVI_maps',
71   scale: 200, //Resolución
72   region: GranValparaiso, //Máscara
73   maxPixels:10e9
74 });
```

Fuente: Elaboración propia

3.9 Variable distancia al mar

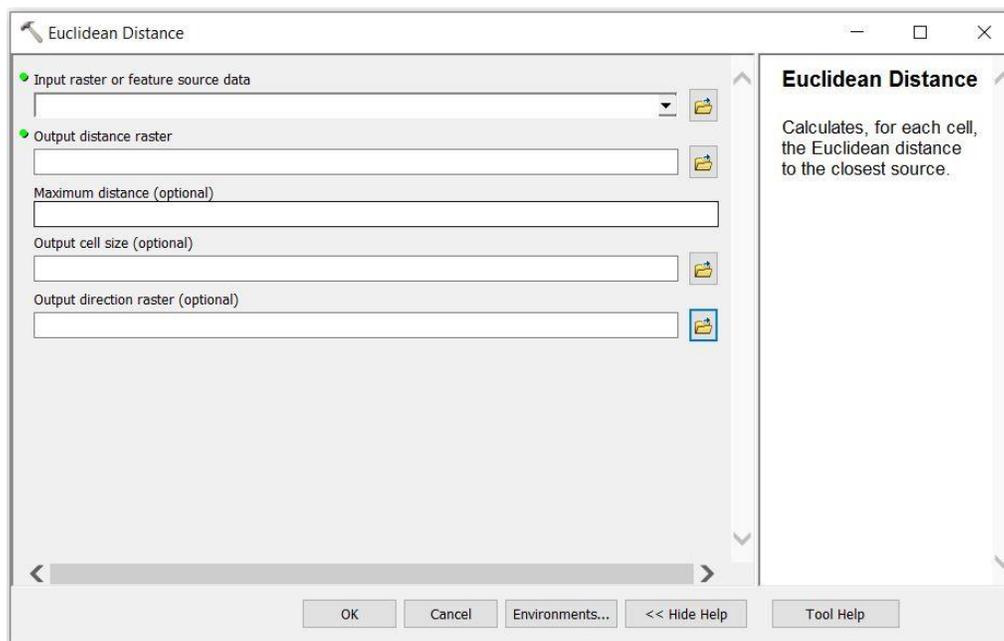
Para la obtención de este producto, solo se necesitó los límites de la V Región de Valparaíso, obtenidos por medio del servicio de mapas del Censo 2017. Como primera instancia los límites de la región se transformaron a líneas (ya que estos se encuentran en formato de polígono) por medio de la herramienta de ArcMap “*Feature to line*” que se indica en la figura N°21. Ya con el *shapefile* en líneas, se editaron los vértices editando y eliminando aquellos que no se encontraban en la línea de la costa. Hecha la delimitación, se utilizó otra herramienta de ArcMap llamada “*Euclidean Distance*” que se muestra en la figura N°22, con ello se ingresa la línea de costa y se elige un píxel de 200 metros. Está herramienta generó un *raster* que señala las distancias a la delimitación del mar.

Figura N° 21 Herramienta “Feature to line”



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 22 Herramienta “Euclidean Distance”



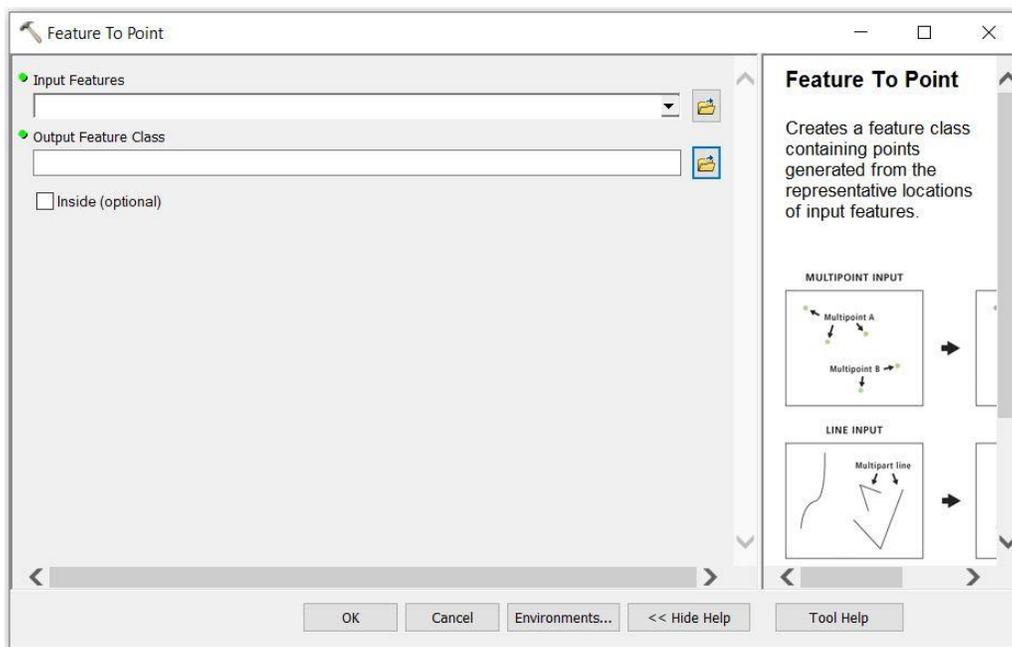
Fuente: Elaboración propia

3.10 Variable densidad de población

Antes que todo, fue necesario conseguir información sobre la población de la conurbación del Gran Valparaíso. Para ello se descargaron las manzanas censales dispuestas por el servicio de mapas del Censo 2017, que contiene el número de habitantes por manzana. Para la obtención de la densidad de población, primero se transformó la información de las manzanas que estaban en polígono a formato de puntos, que nos generó los centroides de las manzanas. Esto se realizó por medio de la herramienta de *ArcMap* “*Feature to points*” que se muestra en la figura N°23. Luego de haber obtenido los centroides, se generó la densidad de población por medio de la herramienta de análisis espacial “*Kernel Density*” que se señala en figura N°24. En esta herramienta se ingresaron los centroides, se eligió el campo donde se indican la cantidad de habitantes, tamaño de píxel de 200 metros y radio de 500 metros.

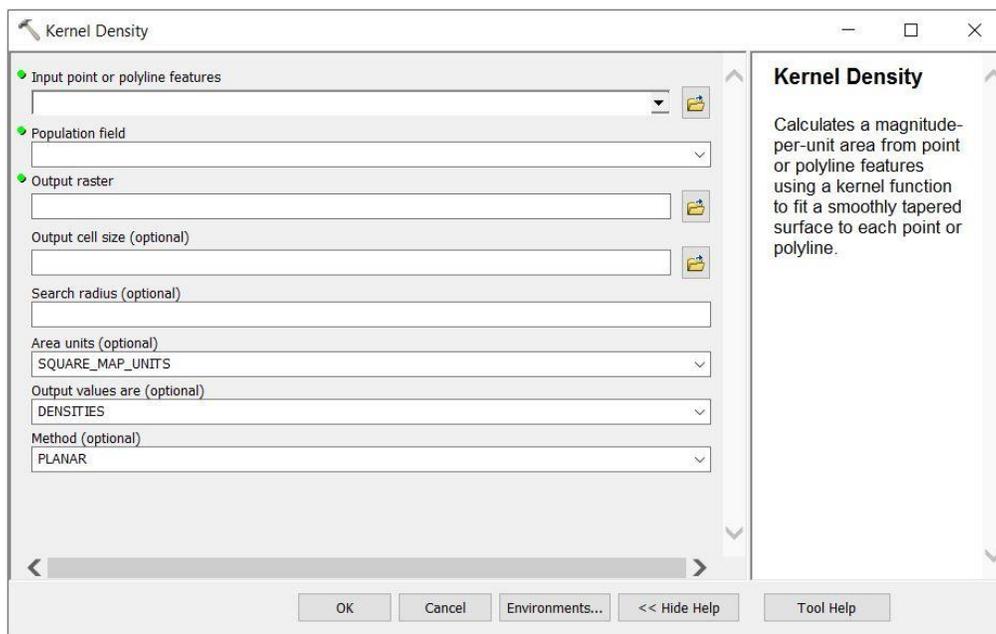
Intensidad de las islas de calor urbanas superficiales en las principales conurbaciones de la V Región de Valparaíso y factores geográficos explicativos para el caso específico de la conurbación del Gran Valparaíso

Figura N° 23 Herramienta “Feature to points”



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 24 Herramienta análisis espacial “Kernel Density”



Fuente: Elaboración propia

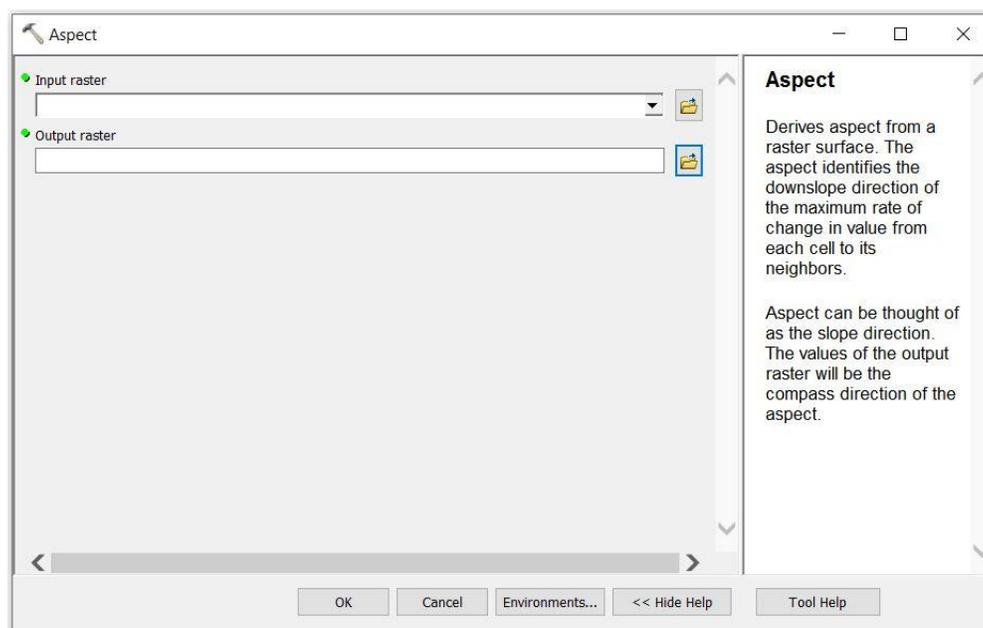
3.11 Variable altitud

Para esta variable, en el punto 3.2 ya se indicó como se obtuvo el modelo de elevación digital (DEM) de 30 metros.

3.11 Variable exposición a laderas

Para este punto, solo se necesitó del modelo de elevación digital que se ingresó a la herramienta de análisis espacial llamada “*Aspect*” que se señala en la figura N°25. De esa manera se obtuvo las exposiciones de las laderas en grados.

Figura N° 25 Herramienta análisis espacial "Aspect"



Fuente: Elaboración propia

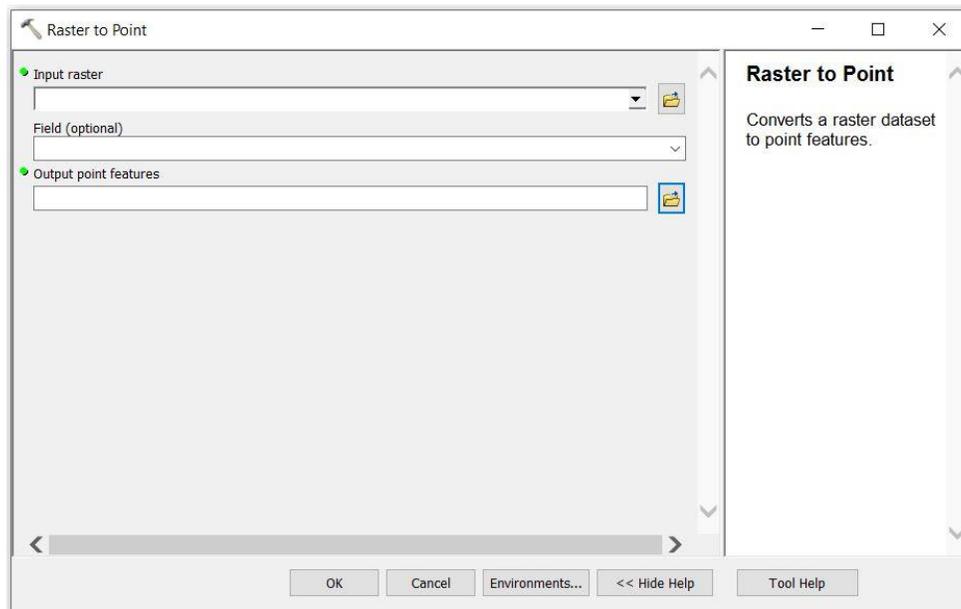
3.12 Coeficiente de correlación de Pearson y modelo de regresión lineal

Previo a la realización de la correlación y modelo de regresión, la información raster de la temperatura superficial se debió transformar a puntos a través de la herramienta de conversión de ArcMap “*Raster To Point*” que se muestra en la figura N°26. Enseguida, estos puntos se utilizaron para obtener los valores que entregaban los rasters de las variables explicativas: NDVI, distancia al mar, densidad de población, altitud y exposición a laderas.

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

Para extraer estos valores se hizo uso de la herramienta de extracción de ArcMap “*Extract Multivalued To Points*” que se señala en la figura N°27. Acá se ingresaron los puntos y luego se agregan los rasters. Dicha información de los rasters queda registrada en los puntos. Por último, ya con los datos agregados, se convirtió la tabla de atributos a formato Excel, para los procesos posteriores como el filtrado de información, coeficiente de correlación y modelo de regresión. Para ello se utilizó la herramienta de conversión “*Table To Excel*” que se señala en la figura N°28.

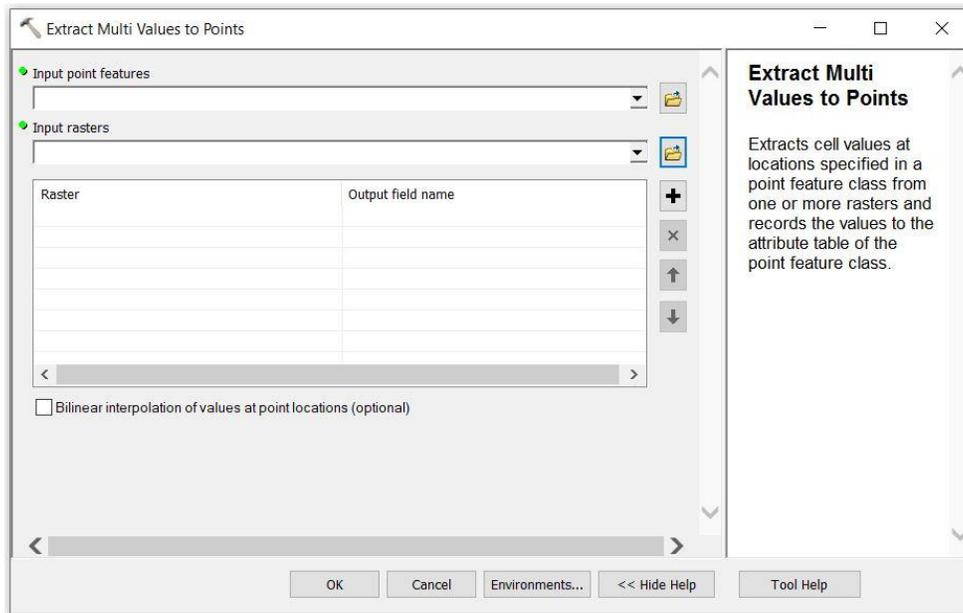
Figura N° 26 Herramienta de conversión “Raster To Point”



Fuente: Elaboración propia

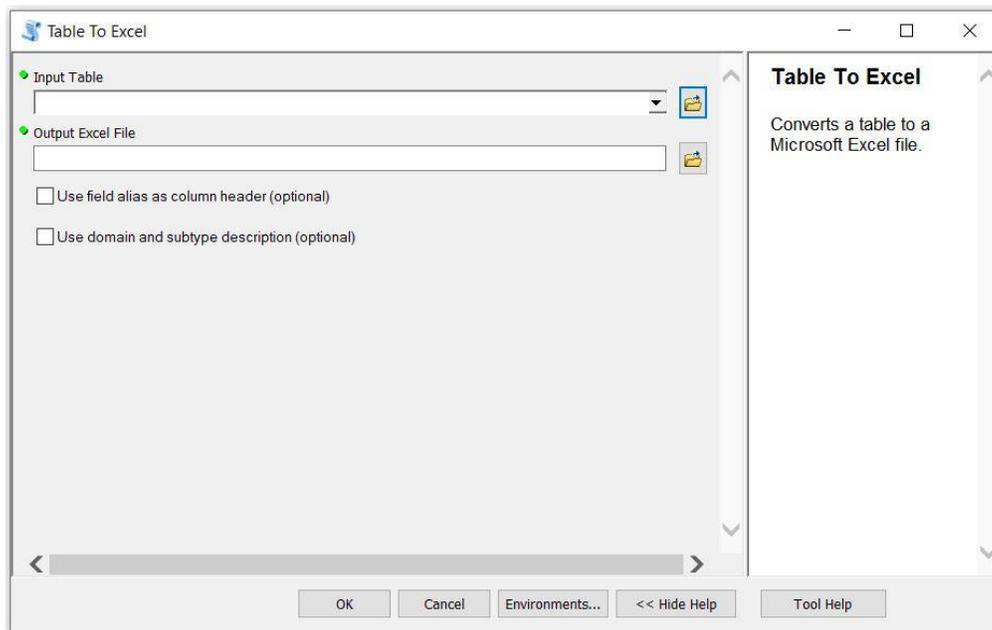
Intensidad de las islas de calor urbanas superficiales en las principales conurbaciones de la V Región de Valparaíso y factores geográficos explicativos para el caso específico de la conurbación del Gran Valparaíso

Figura N° 27 Herramienta de extracción “Extract Multivalued To Points”



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 28 Herramienta de conversión “Table To Excel”

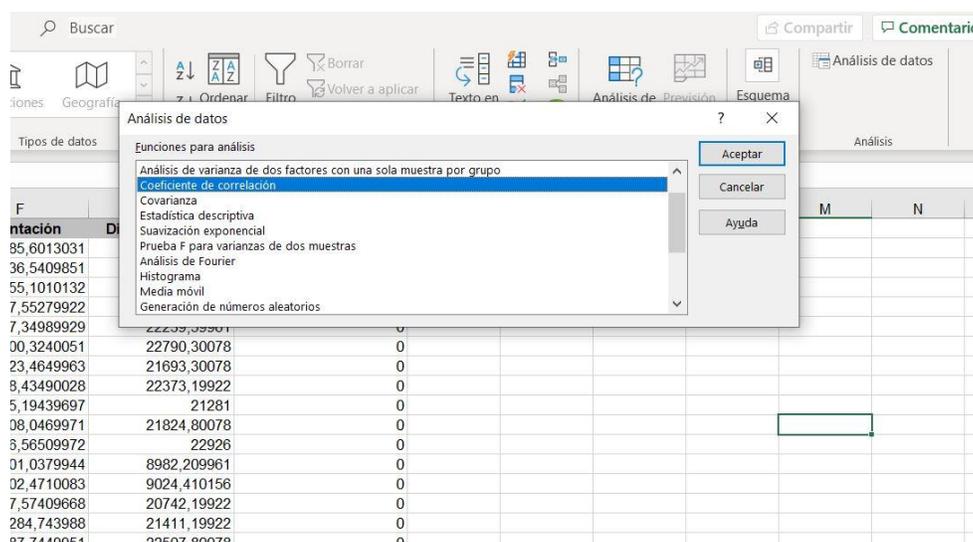


Fuente: Elaboración propia

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

Con la información transformada a formato Excel, fue menester filtrar los datos obtenidos quitando los valores que contenían -999 y dejarlos como vacíos. Luego, separar los valores que no contenían datos (vacíos) con los que sí tenían, y con éstos últimos, es que se generó el coeficiente de correlación, por medio del “Análisis de datos” y elegir la opción “coeficiente de correlación”, tal como se muestra en la figura N°29. Luego y, por último, para la generación de la regresión se usó “Análisis de datos” nuevamente, pero eligiendo la opción “regresión” tal como se muestra en la figura N°30. Es importante recalcar que la variable dependiente “Y” corresponde a la temperatura superficial, mientras que las variables independientes o condicionantes “X” fueron la distancia al mar, altitud, NDVI, exposición a laderas y densidad de población.

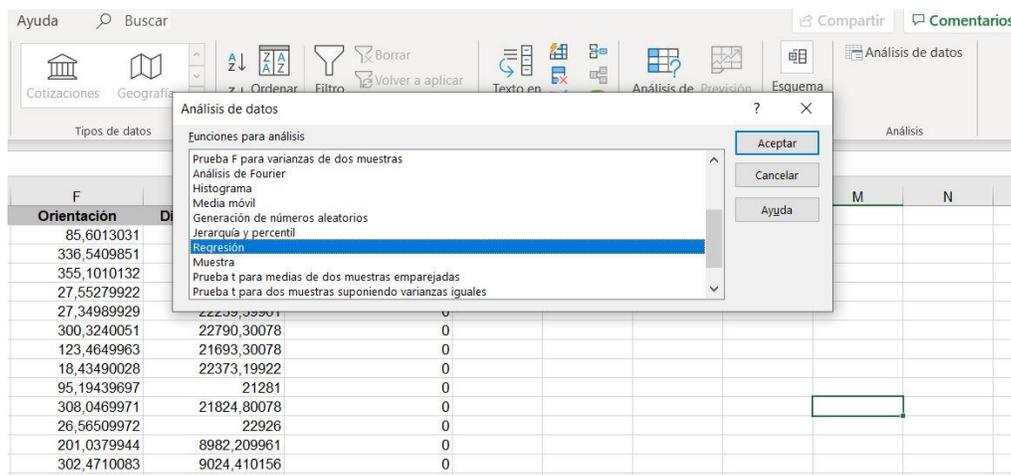
Figura N° 29 Coeficiente de correlación de Pearson en Excel



Fuente: Elaboración propia

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

Figura N° 30 Regresión lineal en Excel



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1 Altitud y pendientes de las conurbaciones y sus zonas rurales

En la tabla N°5 se muestran los rangos de altitud de cada una de las conurbaciones de la Región de Valparaíso. Estos rangos, fueron uno de los primeros criterios para tener en cuenta al momento de la generación de las intensidades de las ICUs. En cada una de las conurbaciones los rangos resultaron diferentes, pues, algunas corresponden a entidades urbanas costeras, mientras que otras corresponden a entidades urbanas ubicadas en sectores de valles. Lo fundamental, es que el rango de altitud de las zonas urbanas y rurales se encontraran dentro de este límite, de manera de igualar estas características geográficas.

Tabla N° 5 Rangos de altitud límite para cada conurbación de la V Región de Valparaíso

NOMBRE CONURBACIÓN	RANGO DE ALTITUD
Gran Valparaíso	0 – 530 m.s.n.m.
Quillota	108 – 371 m.s.n.m.
Limache-Olmué	80 – 514 m.s.n.m.
San Antonio	0 – 216 m.s.n.m.
Maitencillo	0 – 298 m.s.n.m.
Los Andes	765- 898 m.s.n.m.
Algarrobo	0 – 221 m.s.n.m.
San Felipe	614- 705 m.s.n.m.
Quintero	0 – 100 m.s.n.m.

Fuente: Elaboración propia

Uno de los segundos criterios a considerar fueron las pendientes máximas que se debían presentar en cada una de las conurbaciones, de manera de limitar aquellos sectores que no cumplieran con dicho requisito y que las entidades rurales y urbanas se mantuvieran bajo

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

estas pendientes límites e iguales condiciones geográficas y no tener insolación diferente. En la tabla N°6 aparece las pendientes máximas resultantes.

Tabla N° 6 Pendientes máximas para las conurbaciones de la V Región de Valparaíso

NOMBRE DE CONURBACIÓN	PENDIENTE
GRAN VALPARAÍSO	< 64°
QUILLOTA	< 29°
LIMACHE-OLMUÉ	< 47°
SAN ANTONIO	< 34°
MAITENCILLO	< 38°
LOS ANDES	< 26°
ALGARROBO	< 39°
SAN FELIPE	< 13°
QUINTERO	< 36°

Fuente: Elaboración propia

4.2 ICUS nocturnas promedios (2001-2018) por estación y anuales

Conurbación de San Antonio

La distribución de las ICUs nocturnas son similares en las cuatro estaciones del año, pero las mayores intensidades se presentan en verano en las ciudades de San Antonio y Cartagena con un valor de 5,5°C sobre la temperatura superficial mínima, que corresponde a 9,2°C y que se encuentra en el área rural (ver anexo N°1). Se visualiza que las temperaturas de las zonas rurales son menores a las que se muestran en el área urbana, predominando los colores más celestes y verde agua, que indican menores intensidades. Respecto a las zonas urbanas,

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

la ciudad de San Antonio y Cartagena, muy cercana de la orilla del mar se presenta una isla de calor superficial con una intensidad fuerte; desde el norte de Santo Domingo hasta parte del sur de Las Cruces se evidencia una isla de calor con una intensidad moderadamente fuerte, con mayor alcance hacia el oriente de la conurbación; y por último, siendo otra clasificación de intensidad representativa en el mapa, se encuentra la moderada, que abarca en los extremos sur, norte, y oriente de la conurbación de San Antonio. Intensidades moderadamente débiles, débiles y muy débiles se ubican en las zonas rurales, conformando una isla fría.

En otoño (ver anexo N°1) se evidencia una máxima intensidad de la ICUs con 5,0°C sobre la temperatura mínima de 5,4°C presente en las zonas rurales, teniendo una espacialidad de la intensidad similar a la de verano, con la diferencia que la máxima intensidad tiene una mayor longitud, que va desde una pequeña porción del norte de la ciudad de Santo Domingo hasta el centro de la ciudad de Cartagena, y se encuentra más concentrado entre el límite de las ciudades con la orilla del mar. Esta máxima intensidad se encuentra dentro de la categoría de moderadamente fuerte. Con más proyección hacia el oriente de la conurbación, desde el sur de Santo Domingo hasta el norte de Cartagena se observa una intensidad de la ICUs de tipo moderada. En los extremos sur, norte y oriente de la conurbación de San Antonio, se observa una clasificación moderadamente débil. En cuanto a las intensidades muy débiles, estas se distribuyen en sectores rurales formando una isla fría.

En invierno (ver anexo N°2) la intensidad de la ICUs nocturna alcanza un máximo de 4,7°C, sobre la temperatura superficial mínima de 4,0°C. La máxima intensidad es de carácter moderadamente fuerte y se ubica desde una muy disminuida parte del norte de la zona costera de la ciudad de Santo Domingo hasta la mitad de la zona costera de la ciudad de Cartagena. Luego sigue la clasificación moderada con mayor proyección hacia el poniente de la conurbación que abarca desde el sur de Santo Domingo hasta la mitad de la ciudad de Cartagena. La intensidad de tipo moderadamente débil se presenta desde el sur de Santo Domingo hasta el norte de Las Cruces abarcando más las zonas orientes. En las entidades rurales se presentan islas frías muy marcadas de intensidades muy débiles, y se ubican a suroriente de todas estas zonas no urbanas.

En la estación de primavera (ver anexo N°2) la máxima intensidad alcanza los 4,5°C concentrándose al oeste de las ciudades de San Antonio y Cartagena clasificándose como intensidad moderadamente fuerte. Desde la mitad del sector oeste de la ciudad de Santo Domingo, hasta el suroeste de la ciudad de Las Cruces, se evidencia una ICUs de tipo moderada que abarca mayor extensión hacia el lado oriente. Otra clasificación que se observa a simple vista es la moderadamente débil con una extensión que va desde el sur de Santo Domingo hasta el norte de Las Cruces, ubicándose en las zonas más orientales de la

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

conurbación de San Antonio. Y en las entidades rurales se forman islas frías que vienen siendo de mayor magnitud por tener una mayor área, ubicadas a lo largo del todo el trecho suroriente de los sectores rurales.

Como resultados generales de las cartografías de intensidades de las ICUs nocturnas anuales (ver anexo N°3), las máximas intensidades se ubican al lado oeste o cercanas a las orillas del mar de las ciudades de San Antonio, clasificadas como ICUs moderadamente fuertes. En la zona norte de Santo Domingo hasta la mitad de la ciudad de Cartagena, la intensidad es de carácter moderada con mayor proyección hacia el oriente. De un tono más amarillo las intensidades de moderadamente débiles abarcan desde el sur de Santo Domingo hasta el norte de Las Cruces ubicadas más a los lados orientales. De color verde agua, el rango de temperatura ICUs débiles se ubican en los extremos orientales de la conurbación de San Antonio. Por último, de tipo muy débiles se aprecian alejadas de las zonas de playas y en entidades rurales, formando islas frías.

Es importante mencionar que las zonas rurales no se escapan de compartir máximas intensidades tal como ocurre en la estación de invierno y otoño. No obstante, la temperatura superficial es menor, como se verá en una explicación más adelante, respecto a las máximas intensidades de la ICUs bajo criterio físicos.

En cuanto a las temperaturas obtenidas desde un punto urbano (la máxima T°) y un punto rural, respetándose los criterios físicos propuestos por Martin-Vide et al., (2015) resultó que la mayor intensidad se destaca en la estación de verano con un valor correspondiente a 1,8°C; seguido por otoño e invierno con 1,1°C y finalmente primavera con el valor más bajo de 0,7°C (ver anexo N°5).

Al relacionar las intensidades de la ICUs con criterios físicos y la de sin criterios (ver anexo N°4), se logra apreciar una importante diferencia en los montos. Por ejemplo, en el caso del verano la intensidad de la ICUs normal es de 5,5°C, en cambio la isla con parámetros posee una diferencia de 1,8°C, generando una disparidad de 3,7°C.

Conurbación de Algarrobo

En esta conurbación se observa que la máxima intensidad de la ICUs se destaca en la estación de invierno (ver anexo N°7), con una temperatura de 3,8°C sobre la temperatura mínima superficial de 5,4°C, correspondiendo a una isla de carácter moderada. Intensidades débiles se extienden desde una pequeña porción al suroeste de la ciudad del Tabo hasta el poniente de la ciudad de Mirasol. Más concentrada hacia el oriente de la conurbación de Algarrobo se presenta una isla de calor de tipo débil. Luego, en los extremos orientales de El Tabo y Algarrobo se genera una isla de calor superficial de categoría muy débil. Las zonas rurales

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

que se encuentran al norte de la conurbación de Algarrobo también presentan ICUs de intensidad moderada, moderadamente débil y muy débil. Esta última formando islas frías.

La estación de otoño (ver anexo N°6) presenta una intensidad máxima de 2,8°C sobre la mínima de 7,4°C, identificándose como una isla de calor de tipo moderadamente débil, abarcando desde el noroeste del Quisco, Algarrobo y suroeste de Mirasol. Con una mayor área y abarcando zonas más orientales desde el Tabo hasta Mirasol se encuentra ICUs de intensidad débil. Y ya en las zonas extremas hacia el oriente se destacan las ICUs de categoría muy débil. Por último, al igual que la estación de invierno, en las zonas rurales al norte de la conurbación de Algarrobo se presentan ICUs moderadamente débiles y muy débiles. Esto indica que las temperaturas máximas también se presentan en las zonas rurales por lo que no se logra ver bien el efecto urbano.

Respecto a la estación de verano (ver anexo N°6), la máxima intensidad toma un valor de 2,1°C sobre la temperatura mínima de 12°C. Esta categoría de moderadamente débil se ubica solamente en la ciudad del Quisco en el poniente y una parte del sur de la ciudad de Mirasol. Le sigue una ICUs de tipo débil que se extiende desde el sur de El Tabo hasta el norte de Mirasol, abarcando la mayoría de la conurbación. Ya más al oriente de la conurbación y norte de Mirasol, se observa una muy débil. Si bien no se ven diferencias muy claras, categorías muy débiles toman posición en zonas periféricas de la conurbación y en parte de las zonas rurales.

En primavera (ver anexo N°7) la máxima intensidad le corresponde un valor de 2,4 °C sobre la temperatura máxima de 9,7°C. Esta ICUs moderadamente débil se observa al poniente de la ciudad del Quisco y noroeste de El Tabo. Intensidades de categoría débil se evidencian a lo largo y ancho de toda la conurbación de Algarrobo, mientras que muy débiles solo en los extremos orientales. Si bien no es tan marcada la diferencias entre lo urbano y lo rural, las categorías muy débiles se orientan en sectores periféricos y rurales de la conurbación.

De manera general, analizando la distribución anual de temperaturas a través de la observación del anexo N°3, se logra evidenciar que la intensidad de la ICUs más representativa de la conurbación es la de categoría débil, abarcando desde el sur de la ciudad de El Tabo hasta el norte de la ciudad de Mirasol. Intensidades muy débiles se presentan en las zonas orientales más alejadas y la máxima intensidad de categoría moderadamente débil solo se observa al poniente del Quisco cercano a orillas de la costa. Cabe destacar también que las zonas rurales presentan intensidad muy débil (menor grado), débiles (mayor extensión) y moderadamente débiles (al norte de la conurbación). Esto quiere decir que no se logra evidenciar claramente el efecto de la urbanización. Pero es la estación de verano donde el efecto se expresa más claramente en la distribución de las ICUs.

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

Con relación a las temperaturas obtenidas desde un punto urbano (la máxima T°) y un punto rural, respetándose los criterios físicos (ver anexo N°8) resulta que la máxima intensidad se aprecia en la estación de verano con una intensidad de $1,2^{\circ}\text{C}$, seguida por invierno con un monto de $1,0^{\circ}\text{C}$; primavera y otoño con $0,8^{\circ}\text{C}$ y un promedio anual de $0,5^{\circ}\text{C}$.

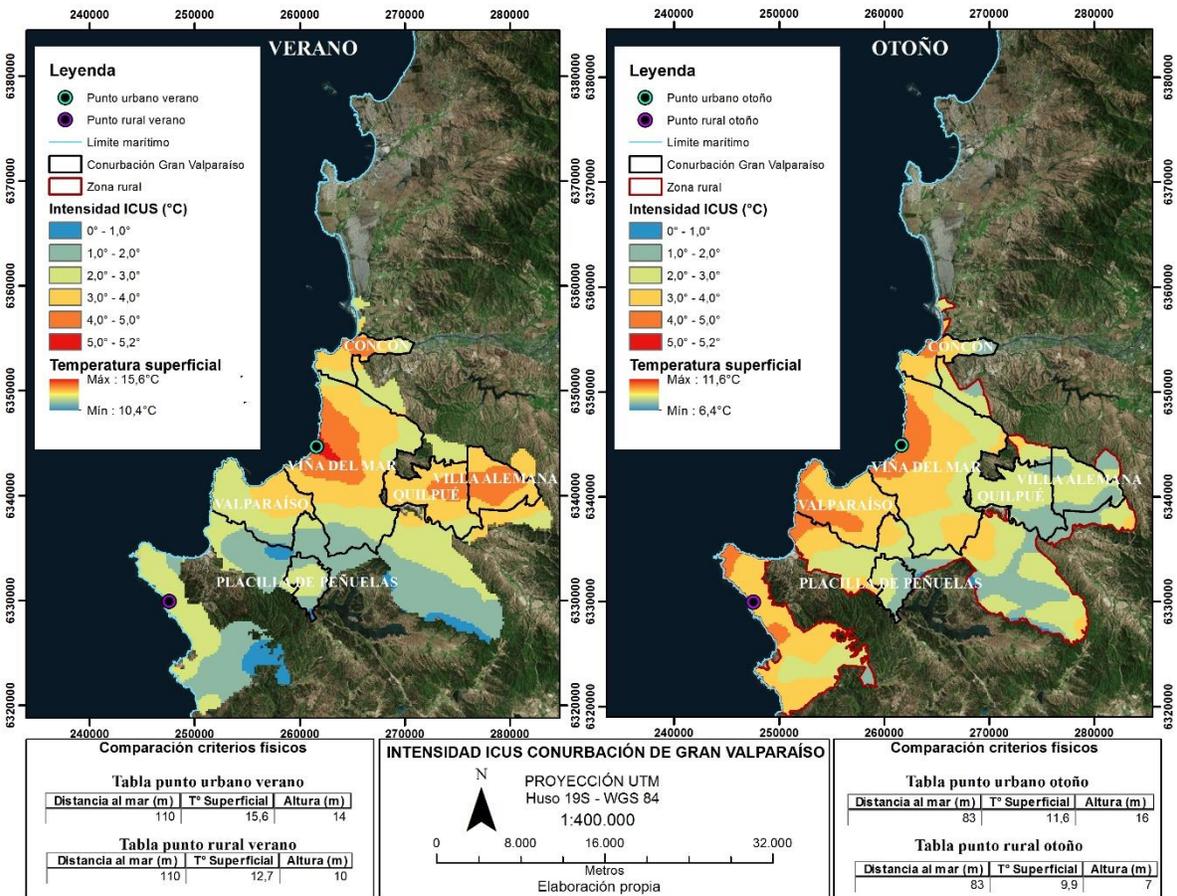
Si se comparan las intensidades de la ICUs C/C con la ICUs S/C presentes en el anexo N°4 se pueden apreciar las siguientes diferencias: En verano la ICUs S/C contiene una máxima de $2,1^{\circ}\text{C}$ y la ICUs C/C una máxima de $1,2^{\circ}\text{C}$ generándose una diferencia de $0,9^{\circ}\text{C}$. En otoño la ICUs S/C toma un valor una máxima de $2,8^{\circ}\text{C}$, en cambio la ICUs C/C le corresponde un valor de $0,8^{\circ}\text{C}$, produciéndose una diferencia de $2,0^{\circ}\text{C}$. En invierno la intensidad S/C tiene una máxima de $3,8^{\circ}\text{C}$ y la intensidad C/C una máxima de $1,0^{\circ}\text{C}$, generándose una diferencia de $2,8^{\circ}\text{C}$. En primavera la máxima intensidad S/C de $2,4^{\circ}\text{C}$ y el valor de la intensidad de la ICUs C/C es de $0,8^{\circ}\text{C}$ produciendo una diferencia de $1,6^{\circ}\text{C}$. Por lo tanto, al realizar la comparación entre ICUS S/C y C/C se pueden apreciar diferencias importantes, donde al agregar criterios físicos como misma distancia al mar y altura la intensidad de la intensidad baja considerablemente.

Conurbación del Gran Valparaíso

Las intensidades de las ICUs en las figuras N°31 (verano y otoño) y N°32 (primavera e invierno) queda en evidencia que la estación de primavera es la que alcanza una mayor máxima respecto a las demás estaciones del año con un valor de $5,4^{\circ}\text{C}$ ubicándose solamente al poniente de la ciudad de Viña del Mar, perteneciendo a una ICUs de tipo fuerte. La intensidad moderadamente fuerte también abarca el poniente de la ciudad de Viña del mar, centro de Concón. ICUs de categoría moderada se presenta en la ciudad de Valparaíso, Viña del Mar, Concón, Quilpué y Viña del Mar. Intensidades de tipo moderadamente débil son las que se ubican ya en los extremos de cada ciudad y de la conurbación en general. Finalmente, categorías débiles y muy débiles se orientan en sectores periféricos de la conurbación, principalmente en las entidades rurales generando islas frías.

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

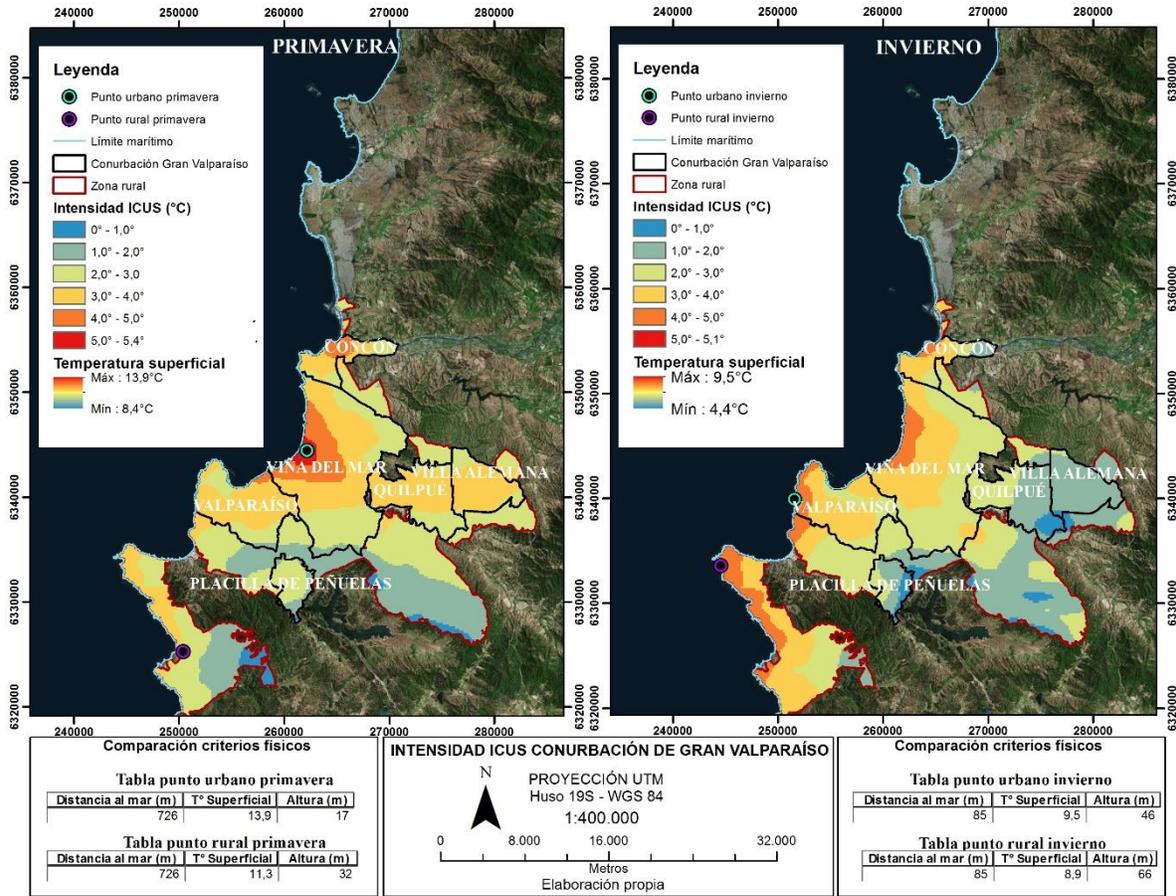
Figura N° 31 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Gran Valparaíso para verano y otoño



Fuente: Elaboración propia

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

Figura N° 32 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Gran Valparaíso para invierno y primavera



Fuente: Elaboración propia

En la estación de verano la intensidad máxima se ubica en el centro de Viña del Mar con un monto de 5,2°C respecto a una temperatura mínima rural de 10,4°C, perteneciendo a una ICUs fuerte. Luego prosigue las intensidades de tipo moderadamente fuerte que abarcan la ciudad de Viña del mar, Concón y centro de Villa Alemana y Quilpué. De categoría moderada y moderadamente débil se van extendiendo en los extremos de cada ciudad. Por último, en esta estación se logra ver con claridad el efecto de la urbanización ya que las menores temperaturas, por ende, intensidades débiles y muy débiles se encuentran distribuidas en los extremos correspondientes a zonas rurales, formando marcadamente islas frías.

En cuanto al otoño, la máxima intensidad de la ICUs posee el mismo valor de la estación de verano con 5,2°C correspondiendo a una intensidad de categoría fuerte, ubicada en el punto urbano a orillas del mar de la ciudad de Viña del Mar. La categoría de moderadamente fuerte

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

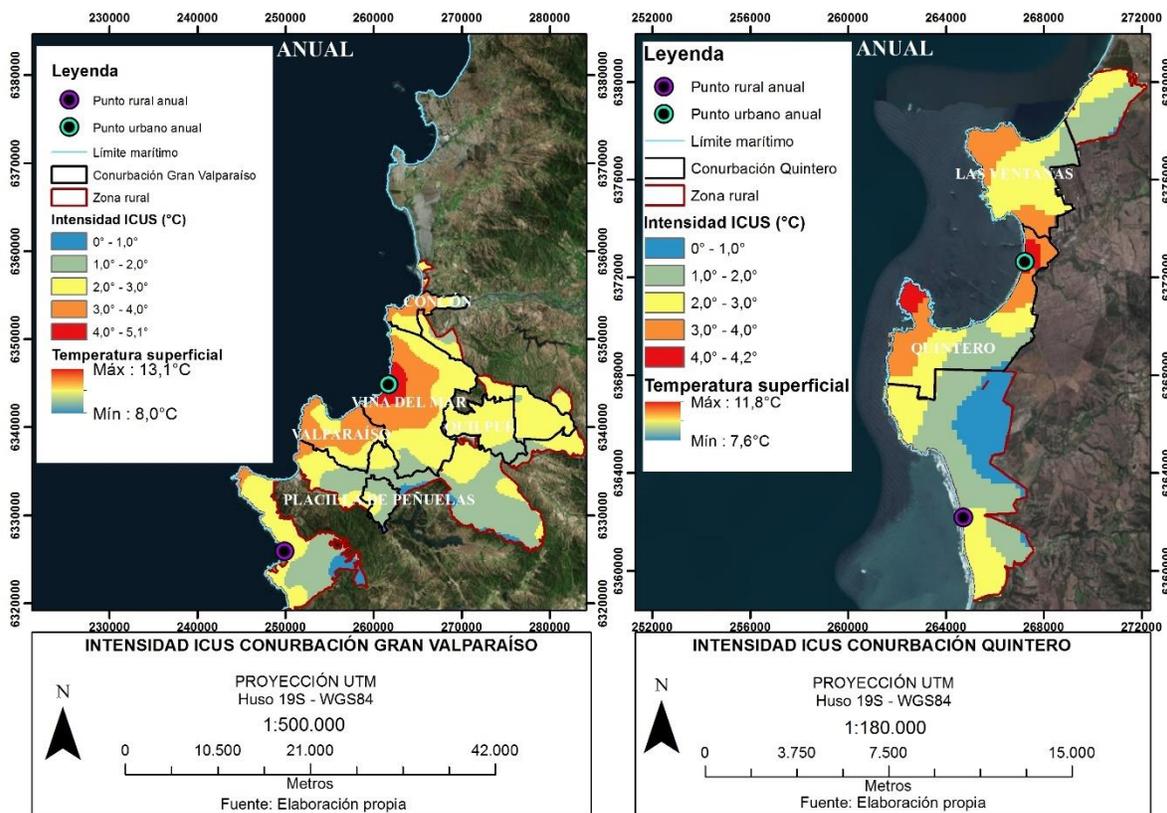
y moderada se presentan en la ciudad de Valparaíso, Viña del Mar y Concón. Por último, en los extremos orientales de las zonas costeras y en casi toda la extensión de Quilpué y Villa Alemana se observa la presencia de ICUs de tipo moderadamente débil. Se debe destacar que en esta estación de igual manera se evidencian ICUs moderadamente fuertes en zonas rurales que se encuentra al sur de la conurbación del Gran Valparaíso. Por lo que el efecto urbano no es tan evidente.

Por último, en invierno la máxima intensidad de ICUs de valor $5,1^{\circ}\text{C}$ sobre la mínima de $4,4^{\circ}\text{C}$ se presenta únicamente al suroeste de la ciudad de Valparaíso, justo en el punto urbano de muestra. Dicha intensidad se encuentra dentro de la categoría fuerte. A lo largo de las zonas costeras de las ciudades de Valparaíso, Viña del Mar y Concón, se observa el tipo moderadamente fuerte. Extendiéndose más al oriente de las zonas urbanas costeras, aparecen las categorías de ICUs moderada y moderadamente débiles. Además, ICUs débiles se presentan en Quilpué, Villa Alemana y en zonas rurales.

En resumen, a través de la figura N°33 se evidencia que el fenómeno de ICUs se presenta de manera más marcada en la ciudad de Viña del Mar, conteniendo una intensidad máxima de $5,1^{\circ}\text{C}$ y de categoría moderadamente fuerte. Las intensidades moderadas se reparten desde el sur de Valparaíso hasta norte de Concón, mientras que las moderadamente débiles y débiles se ubican en los extremos orientales de las zonas costeras urbanas y en la totalidad de Quilpué y Villa Alemana. En las zonas rurales se presentan las temperaturas más frías, pero con la excepción que, en la zona rural costera hacia el sur de la conurbación, hay ICUs de categoría moderada y moderadamente fuerte, pero en menores proporciones. A pesar de ello, el efecto urbano se logra corroborar pero que son más claras en las estaciones de verano y primavera.

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

Figura N° 33 Intensidad ICUs nocturna anual conurbación de Gran Valparaíso y Quintero



Fuente: Elaboración propia

Las temperaturas obtenidas desde un punto urbano (la máxima T°) y un punto rural con iguales criterios físicos, se obtuvo que la máxima intensidad correspondió a la estación de verano con un número de 2,9°C; en otoño un valor de 1,7°C; invierno con 0,6°; primavera con 2,6°C y un monto anual promedio de 2,0°C (ver tabla N°7).

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

Tabla N° 7 Intensidad de la ICUs nocturna con criterios físicos, conurbación de Gran Valparaíso

Tiempo	Punto urbano			Punto rural			ICUs
	Distancia al mar (m)	T° (°C)	Altura (m.s.n.m)	Distancia al mar (m)	T° (°C)	Altura (m.s.n.m)	
Verano	110	15,6°	14	110	12,7°	10	2,9°
Otoño	83	11,6°	16	83	9,9°	7	1,7°
Invierno	85	9,5°	46	85	8,9°	66	0,6°
Primavera	726	13,9°	17	726	11,3°	32	2,6°
Anual	93	13,0°	18	93	11,0°	13	2,0°

Fuente: Elaboración propia

Respecto al párrafo anterior se puede mencionar que, al tener muestras de la temperatura urbana y una temperatura en un punto rural con similares condiciones físicas, las intensidades de las ICUs disminuyen. En verano la diferencia entre la ICUs S/C y una ICUs C/C es de 2,3°C; en otoño la diferencia es de 3,5°C; en invierno el valor es de 4,5°C; primavera con 2,8°C y un monto anual de 3,1°C de diferencia.

Conurbación de Quintero

La máxima intensidad de la ICUs se produce en la estación de invierno (ver anexo N°10) con un valor de 5,0°C sobre la temperatura mínima rural de 4,0°C. Esta intensidad se encuentra dentro de la categoría de moderadamente fuerte y se presenta a lo largo de toda la costa de la ciudad de Quintero y Las Ventanas, con la particularidad que este tipo de intensidad también hace presencia en la zona industrial de Quintero. ICUs de intensidad moderada aparece también a lo largo de la costa de Quintero y Las Ventanas. Más al Oriente de Quintero y Las Ventanas, sobresalen ICUs moderadamente débiles, para que luego en los extremos orientales se ubiquen categorías débiles y muy débiles. Además, las zonas rurales presentan diferencias de temperaturas más débiles, como se puede apreciar hacia el sureste de la conurbación, pero también, y en menor grado, aparecen ICUs de intensidad moderada y moderadamente débil tanto al sur como el norte de la conurbación de Quinteros.

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

En la estación de verano (ver anexo N°9), la máxima intensidad se evidencia en la zona industrial de Quinteros, alcanzando los 3,9°C sobre la temperatura mínima rural de 10,7°C, correspondiendo a una intensidad de categoría moderada. En el poniente, cercano a la costa, en las ciudades de Quintero y Las Ventanas, de tipo moderadamente débil hacen presencia, y en los extremos más orientales ICUs débiles. En las zonas rurales, en tanto predominan las ICUs débiles y muy débiles formando islas frías, por lo que el efecto urbano en esta estación del año se presenta con claridad.

En otoño (ver anexo N°9), nuevamente la máxima intensidad de la ICUs se distribuye en la zona industrial de Quinteros además de la zona suroeste, perteneciendo a una categoría de moderadamente fuerte. Luego prosigue la intensidad de tipo moderada que se presenta desde el sur de Quinteros hasta el norte de Las Ventanas, mientras que en las zonas más orientales se ubican las ICUs moderadamente débiles y débiles. Cabe agregar que las ICUs más frías se ubican en el sureste y noreste de la conurbación de Quinteros, específicamente en las zonas rurales.

Respecto a la primavera (ver anexo N°10) ocurre una situación similar con el verano en la distribución de las intensidades, solo con la diferencia de la máxima intensidad corresponde a 3,9°C sobre la temperatura mínima rural de 8,4°C. Sobre la ubicación de la máxima intensidad de categoría moderada, aparte de concentrarse en la zona industrial de Quinteros, también se ubican al suroeste de la misma ciudad y al noroeste de Las Ventanas. Por último, acá también se puede evidenciar el efecto urbano, sobre todo a lo que respecta las zonas industriales, donde se producen ICUs de mayores intensidades, mientras que en zonas rurales se forman islas frías con categorías débiles y muy débiles.

En resumen, a través de la observación de la figura N°32 que muestra el comportamiento de la ICUs anual de la conurbación de Quintero, se ve que las máximas intensidades se presentan en el suroeste y en la zona industrial de la ciudad de Quintero, intensidades que corresponden a la categoría de moderadamente fuerte. En seguida, a lo largo de toda la zona costera de Quintero, y al noroeste de Las Ventanas se presencian de tipo moderada. Ya más al oriente, categorías moderadamente débiles, débiles y muy débiles (como en el caso de las zonas rurales). Finalizando, es importante destacar que en casi todas las estaciones del año se pueden apreciar con claridad el efecto urbano en cuanto a las intensidades de las islas de calor urbano superficiales, con la salvedad que en todas las estaciones las zonas industriales siempre tienen asociado una máxima intensidad.

Ahora bien, si comparamos las máximas intensidades de las ICUs S/C (ver anexo N°4) con ICUs C/C (ver anexo N°11), se pueden apreciar importantes diferencias. En el caso del verano la ICUs C/C resultó con una máxima de 2,2°C (moderadamente débil) lo que en comparación con la ICUs S/C con una máxima intensidad de 3,9°C (moderada) genera una

diferencia de 1,7°C. En otoño la ICUs C/C alcanza una máxima intensidad de 1,5°C (débil), mientras que en cambio la ICUs S/C toma un valor de 4,8°C (moderadamente fuerte) produciéndose una diferencia de 3,3°C. En invierno la ICUs C/C le corresponde un valor de 2,4 °C (moderadamente débil) en tanto la ICUs S/C tiene un valor de 5,0°C (moderadamente fuerte), estimándose una diferencia de 2,6°C. En primavera la ICUs C/C contiene una intensidad de 2,3°C (moderadamente débil), mientras que la ICUs S/C presenta una intensidad de 3,9°C (moderada), en donde 1,6°C hacen la diferencia. Por último, anualmente en promedio, la ICUs C/C de un valor de intensidad de 1,8°C (débil) al compararlo con la ICUs S/C de 4,2°C (moderadamente fuerte) se genera una diferencia de 2,4°C.

Conurbación de Maitencillo

La máxima intensidad de ICUs corresponde a la estación de otoño (ver anexo N°12), con un valor de 2,4°C sobre una temperatura mínima rural de 8,6°C. Intensidades de categoría moderadamente débil aparecen solamente al noroeste de la ciudad de Zapallar; intensidades débiles se ubican al sur y este de Zapallar, norte y sur de Cachagüa y sur y oeste de La Laguna Zapallar. En cambio, grande es la extensión que abarca las intensidades de tipo muy débiles ya que se observan casi a lo largo de toda la conurbación de Maitencillo, menos en la ciudad de Zapallar.

Respecto a la estación de verano (ver anexo N°12), es una de las estaciones que presenta menores intensidades en comparación con las demás, llegando a una intensidad máxima de 1,8°C sobre la mínima rural de 12,1°C. Una de las primeras intensidades de las ICUs a mencionar es la de categoría débil que abarca la totalidad de la conurbación de Maitencillo, incluyendo el área rural que se ubica en el norte. En tanto, las intensidades de tipo muy débiles solo cubren algunas partes orientales de la conurbación y la zona rural del sur.

En invierno (ver anexo N°13) la máxima intensidad tiene un valor de 2,3°C sobre una temperatura mínima rural de 6,9°C. Dentro de las categorías de intensidades se encuentra la moderadamente débil, ubicada al noroeste de la ciudad de Zapallar en forma de pequeños manchones, además con la particularidad que también, abarcando un mayor área se presenta en una zona rural al norte de la ciudad de Zapallar. Intensidades de tipo débiles se encuentran casi en la totalidad de la ciudad de Zapallar y de la zona rural al norte, manchones en el norte y sur de Cachagüa, totalidad de Laguna de Zapallar y sur de Maitencillo. Por último, ICUs muy débiles se presentan al oriente de Cachagüa, pequeño extremo noreste de Laguna de Zapallar y casi la totalidad de Maitencillo.

La primavera (ver anexo N°13) presenta ICUs débiles a lo largo de las zonas cercanas a la costa, desde la zona rural al norte de Zapallar hasta la ciudad de Maitencillo, solo que en la ciudad de Zapallar y La laguna de Zapallar abarcan la totalidad de éstas. Además, dentro de

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

esta categoría se encuentra la máxima intensidad de la ICUs con 1,9°C sobre la mínima rural de 10,1°C. Finalizando, intensidades muy débiles se encuentran en las zonas orientales de la conurbación y casi toda la zona rural del sur.

En general, a través del anexo N°14, anualmente, como promedio entre el 2001 y 2018, se presentan ICUs débiles en todo Zapallar incluyendo la zona rural al norte, manchones al norte y sur de Cachagüa y casi toda Laguna de Zapallar. Categorías muy débiles se observan en casi toda Cachagüa, oriente de Laguna de Zapallar, totalidad de Maitencillo y la zona rural al sur. Por último, hay que destacar, que el efecto urbano no es tan evidente debido a lo débiles de las intensidades, y la similar temperatura que existe en relación con las zonas rurales.

Al identificar los valores máximos de las intensidades de las ICUs C/C, resulta que todos los números obtenidos (ver anexo N°15) caen dentro de la categoría de ICUs muy débiles. En verano fue de 0,8°C, lo que al comparar con una ICUs S/C la diferencia es de 1,0°C; otoño fue 0,6°C y con una diferencia de 1,8°C; invierno con 0,5°C y diferencia de 1,8°C; primavera con un valor de 0,1°C y 1,8° de diferencia; y por último anualmente la ICUs C/C tiene un valor de 0,3°C que al comparar con la ICUs S/C la diferencia es de 1,2°C.

Conurbación de San Felipe

En esta conurbación la máxima intensidad de la ICUs se destaca en la estación de invierno (ver anexo N°17), alcanzando un valor de 4,5°C de diferencia, respecto a una temperatura mínima rural de 2,0°C. Dicho valor de intensidad se encuentra dentro de la categoría moderadamente fuerte que se ubica como un manchón al oeste de la conurbación. Categorías moderadas y moderadamente débiles se extienden en casi toda la conurbación de San Felipe, mientras que las más débiles se presentan al noreste de San Felipe y en todas las zonas rurales que rodean la conurbación. La intensidad disminuye en zonas periféricas.

En verano (ver anexo N°16) el valor de la máxima intensidad de la ICUs alcanza un número de 2,4°C respecto a una temperatura rural mínima de 15,1°C. Perteneciendo a una intensidad de tipo moderadamente débil que abarca una porción al oeste de la conurbación. En tanto, categorías débiles abarcan la mayoría de la conurbación, zonas rurales al norte y noreste. Y por último ICUs muy débiles se presentan en las zonas rurales al noroeste, norte y sureste de la conurbación.

En otoño (ver anexo N°16) la mayor categoría es la intensidad moderada con una máxima de 3,4°C respecto a una temperatura mínima rural de 7,4°C. Dicho tipo se concentra al oeste de la conurbación. Abarcando el oeste y centro de la conurbación se observa una ICUs de intensidad moderadamente débil. Intensidades de tipo débiles se expanden desde el centro de

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

San Felipe al norte, sur y este. Mientras que las muy débiles se concentran en casi todas las áreas rurales.

Respecto a la primavera (ver anexo N°17) se presentan las mismas categorías y en la misma distribución, solo con la diferencia que la máxima intensidad de la ICUs le corresponde un valor de 2,2°C respecto a una temperatura mínima rural de 11,6°C.

Por medio del anexo N°14, promedio anual de las ICUs nocturnas de la conurbación de San Felipe, en general se puede mencionar que el efecto urbano se puede apreciar con claridad por la forma que adoptan las distintas categorías de intensidad de la ICUs, pero con la salvedad que estas categorías son moderadamente débiles (oeste de la conurbación), débiles (manchón que cubre casi toda la conurbación menos en el oeste) y muy débiles que se reparte por toda la zona rural. Además, la máxima intensidad llega hasta 2,5°C sobre una temperatura mínima rural de 10,1°C.

Al momento de iniciar la comparación entre ICUs C/C (ver anexo N°22) e ICUs S/C ocurre lo siguiente: en verano la máxima intensidad de la ICUs C/C es de 1,8°C, mientras que la ICUs S/C el valor es de 2,4°C, generando un diferencia de 0,6°C; en otoño la ICUs C/C toma un valor de 2,5°C y la ICUs S/C 3,4°C produciéndose 0,9°C de diferencia; en invierno la intensidad C/C es de 2,3°C mientras que la intensidad S/C tiene un número de 4,5°C, dándose una diferencia de 2,2°C; la primavera presenta una intensidad C/C de 1,7°C y una intensidad S/C de 2,2°C por lo que se evidencia una diferencia de 0,5°C; y por último, anualmente 1,6°C es la máxima intensidad de la ICUs C/C y en la ICUs S/C de 2,5°C generando 0,8°C de diferencia.

Conurbación de Los Andes

Se aprecia que la máxima intensidad de la ICUs se evidencia en la estación de invierno (ver anexo N°20) con un número de 5,7°C. Aquí aparecen categorías moderadamente fuertes y moderadas, que se ubican al noreste de la conurbación, en la ciudad de Los Andes. De tipo moderadamente débiles se ubican al noroeste, oeste y sur de la ciudad de Los Andes. Mientras que de categoría débiles y muy débiles se presentan en las zonas rurales y en las ciudades de Calle Larga y La Caldera. Pero ocurre una particularidad, que, en las zonas rurales al sur de la conurbación de Los Andes, existen ICUs en las faldas de los cerros con categorías fuertes, y moderadamente fuertes. Y es aquí donde la máxima temperatura superficial se hace presente con 6,2°C, en cambio en la conurbación la máxima es de 4,8°C. Generando una diferencia negativa.

Para verano (ver anexo N°19), la ICUs se muestra claramente, donde las categorías moderadamente débiles y débiles se presentan solo en la ciudad de Los Andes, mientras que

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

de tipo muy débiles se ubican en las ciudades de Calle Larga y La Caldera, y en la mayoría de las zonas rurales, menos al sur de la conurbación, que contiene las mismas categorías de la ciudad de Los Andes. Además, la máxima intensidad alcanza los 2,5°C respecto a una temperatura rural mínima de 14,5°C. Aquí la máxima temperatura superficial se presenta en la ciudad de Los Andes.

En otoño (ver anexo N°19) ocurre una situación similar a la de invierno, donde la máxima temperatura superficial se encuentra en una zona rural con 10,8°C y en cambio la temperatura superficial máxima de la conurbación es de 10°C. Por lo que la máxima intensidad de la ICUs de cifra 4,2°C sobre la mínima rural de 6,6°C se ubica en la zona rural al sur de la conurbación, perteneciendo a una categoría moderadamente fuerte. Ya en el caso de las categorías moderada y moderadamente débiles se encuentran dentro de la ciudad de Los Andes. Intensidades de tipo débiles se ubican en los extremos noroeste, oeste y suroeste de Los Andes, además de zonas rurales y en la ciudad de Caldera. Por último, de tipo muy débiles se ubican en la ciudad de Calle Larga y en la gran mayoría de las zonas rurales.

La primavera (ver anexo N°20) presenta las mismas categorías de intensidad de las ICUs y con su misma distribución, con la única diferencia que la máxima temperatura superficial se presenta la zona rural del sur de la conurbación con 13,2°C y la máxima temperatura superficial de la conurbación corresponde a 12,8°C. Y ya respecto a la intensidad máxima de la ICUs su valor corresponde a 2,8°C sobre una temperatura mínima rural de 10,4°C.

En general, observando el anexo N°21, anualmente se puede mencionar que la categoría de la ICUs moderada solo se presenta en la zona rural al sur de la conurbación con una máxima intensidad de 3,4°C. Mientras que las categorías moderadamente débiles y débiles se concentran en la ciudad de Los Andes y las zonas rurales del sureste. Por último, en las zonas rurales del oeste, noroeste y suroeste y en las ciudades de La Caldera y Calle Larga se presencian ICUs muy débiles. Además, la temperatura superficial máxima no aparece en la conurbación (que le corresponde 11,6°C) si no que en la zona rural de las faldas de los cerros al sur de la conurbación con 12,4°C.

Aplicando los criterios físicos dentro de las máximas intensidades de las ICUs (ver anexo N°22) se puede verificar que la ICUs C/C en verano fue de 1,7°C y la ICUs S/C de 2,5°C; en otoño ICUs C/C toma un valor de -0,7°C y la ICUs S/C de 4,2°C; en invierno la ICUs C/C es de 1,8°C y en la ICUs S/C de 5,7°C; en primavera 1,6°C y 2,8°C; y anualmente ICUs C/C de 1,4°C con una ICUs S/C de 3,4°C. Por ende, las diferencias son importantes, ya que las ICUs C/C están dentro de categorías débiles e incluso negativas, mientras que las ICUs S/C tienen categorías superiores.

Conurbación de Quillota

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

Se observa que en la estación de otoño (ver anexo N°23) se presenta la máxima intensidad con un valor de 3,6°C respecto a una temperatura mínima rural de 6,6°C. Dicha intensidad se encuentra dentro de la categoría de moderada, repartida al este de La Calera, y en las faldas de los cerros al oeste de la ciudad de La Cruz y La Calera, en las zonas rurales. Clasificaciones moderadamente débiles se presentan en casi toda la ciudad de Calera, noroeste de Hijuelas, oeste de la Cruz y centro de Quillota. ICUs de intensidades débiles se ubican en las periferias dentro de las ciudades y en las zonas rurales. Por último, intensidades de tipo muy débiles solo se presentan en las entidades rurales.

En la estación de verano (ver anexo N°23) resulta que la máxima intensidad es de 3,2°C sobre 11,9°C de temperatura mínima rural. Esta máxima intensidad entra a la clasificación de moderada y se visualiza como un manchón solamente al este de la ciudad de La Calera. Categorías más bajas como la moderadamente débil se ubican en el centro de Quillota, gran parte de La Calera y noroeste de Hijuelas. Y ya con categorías débiles y muy débiles, estas se van ubicando en las periferias de las ciudades y en las zonas rurales.

El invierno (ver anexo N°24) por su parte presenta una máxima intensidad más baja con un valor de 2,9°C, entrando a la categoría de intensidad moderadamente débil, y que como patrón se concentra en posiciones occidentales en las faldas de los cerros, con la particularidad que en La Calera abarca también el centro. Clasificaciones débiles se presentan a lo largo de toda la conurbación y de tipo muy débiles en las zonas rurales.

En primavera (ver anexo N°24) la intensidad de la ICUs alcanza un valor máximo de 3,3°C siendo moderada, estableciéndose únicamente en la ciudad de La Calera hacia el este. Categorías moderadamente débiles se encuentran en el centro de Quillota y en casi toda la ciudad de Calera, y una cierta parte al norte de Hijuelas. Mientras que ICUs débiles se encuentran en la periferia de Quillota y La Calera, en toda la extensión de La Cruz e Hijuelas y en todas las zonas rurales. Por último, las muy débiles solo aparecen en la zona rural del sur de la conurbación.

Como promedio anual (ver anexo N°21), la máxima intensidad es de 2,9°C considerándose como moderadamente débil, observándose en casi toda la ciudad de La Calera y el centro de Quillota con proyección hacia el oeste. Otra de las categorías corresponde a ICUs débiles que se presentan a lo largo de toda la conurbación, en toda la extensión de La Cruz Hijuelas, menos en Quillota y La Calera, donde solo aparecen en las periferias; y en las zonas rurales cercanas a Hijuelas y La Calera. Por último, ICUs muy débiles solo aparecen en las zonas rurales al este de La Cruz y sur de Quillota.

Comparando las intensidades máximas de las ICUs con criterios físicos (ver anexo N°25) y las sin criterio de las que se han mencionado en párrafos anteriores resulta lo siguiente: en

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

verano la ICUs C/C toma un valor de $0,7^{\circ}\text{C}$ y en las ICUs S/C el valor es de $3,2^{\circ}\text{C}$ con $2,5^{\circ}\text{C}$ de diferencia; en otoño $0,5^{\circ}\text{C}$ y $3,6^{\circ}\text{C}$ con diferencia de $3,1^{\circ}\text{C}$; invierno de $0,1^{\circ}\text{C}$ y $2,9^{\circ}\text{C}$ generando una diferencia de $2,8^{\circ}\text{C}$; primavera con $0,7^{\circ}\text{C}$ y $3,3^{\circ}\text{C}$ con una diferencia de $3,3^{\circ}\text{C}$; y anualmente $1,1^{\circ}\text{C}$ y $2,9^{\circ}\text{C}$ con $1,8^{\circ}\text{C}$ de diferencia. Números que muestran una importante diferencia en las intensidades.

Conurbación Limache-Olmué

La máxima intensidad se evidencia en la estación de otoño (ver anexo N°26) con un valor máximo de $5,3^{\circ}\text{C}$. Una de las primeras categorías a mencionar es la ICUs fuerte, ubicada al norte de Olmué, donde se encuentra el punto de muestra urbano. Luego, de tipo moderadamente fuerte, moderada y moderadamente débil aparecen a lo largo de la conurbación. Por último las ICUs débiles y muy débiles aparecen en las periferias y zonas rurales de la conurbación.

En verano (ver anexo N°26), la máxima intensidad solo alcanza una diferencia de $2,1^{\circ}\text{C}$, considerándose como moderadamente débil y que se observa solamente al centro de la ciudad de Limache. La mayoría de las categorías débiles se ven a lo largo de toda la conurbación, mientras que las muy débiles aparecen en las periferias y zonas rurales de la conurbación.

Con invierno (ver anexo N°27) ocurre que la máxima intensidad alcanza un valor de $4,1^{\circ}\text{C}$. Aquí las clasificaciones de moderadamente fuerte, moderada y moderadamente débil se proyectan solo en la zona precordillerana al norte de la conurbación, con la salvedad que esta última clasificación (moderadamente débil) también se proyecta al centro y suroeste de Limache. Y ya con las ICUs de tipo débiles y muy débiles se ubican en las periferias y zonas rurales.

En primavera (ver anexo N°27) $2,5^{\circ}\text{C}$ es la máxima intensidad, donde el patrón espacial se encuentra al centro y oeste de Limache y las zonas norte precordilleranas de la conurbación, perteneciendo a una clasificación moderadamente débil. Casi en toda la extensión de la conurbación completa se encuentran ICUs de tipo débiles, mientras que las muy débiles se ven por las entidades rurales y periferias urbanas.

En general, anualmente (ver anexo N°28) se puede mencionar que las máximas intensidades alcanzan $3,0^{\circ}\text{C}$, cayendo dentro una categoría moderadamente débil, donde su patrón se proyecta al norte de la conurbación y centro y oeste de Limache. ICUs de tipo débiles se presentan en la mayoría de la conurbación, y las muy débiles solo por las periferias y zonas rurales.

Por último, en relación a la conurbación de Limache-Olmué los valores de las máximas intensidades de las ICUs con criterios físicos (ver anexo N°29) son muy distintos a las ICUs sin criterios. Ya que en verano la ICUs C/C tiene un valor 0,6°C generando una diferencia de 1,5°C respecto a la ICUs S/C; en otoño un valor de 1,0°C produciéndose una diferencia de 4,3°C; invierno de 0,8°C y diferencia de 3,3°C; primavera con un valor de 0°C y una diferencia de 2,5°C; y por último anualmente un número de 0,4°C con una diferencia de 2,6°C.

En el anexo N°30 se encuentra una tabla resumen que indica las máximas intensidades de las ICUs con criterios físicos de todas las conurbaciones mencionadas, por estaciones del año y anuales. Pues dichas intensidades tienen un límite de 2,9°C (que se presenta en la conurbación del Gran Valparaíso) como intensidad máxima y con montos significativamente menores a las ICUs sin criterios físicos. Finalizando, las máximas intensidades se dan en mayoría en la estación de verano, con la excepción de las conurbaciones de Quintero (invierno), San Felipe (otoño), Los Andes (invierno), Quillota (máximas en verano, pero también en primavera) y Limache-Olmué (otoño).

4.3 Islas calor urbano superficiales diurnas anuales promedios (2001-2018)

Conurbación de San Antonio

En el anexo N°33, se puede visualizar que la máxima intensidad diurna alcanza los 8,8°C sobre una temperatura mínima rural de 17,7°C. Este valor se encuentra dentro de una categoría fuerte (entre 4,0°C y 8,8°C), que se presenta a lo largo de la conurbación y de las zonas rurales, este tipo de intensidad se concentra hacia el oriente donde existe una mayor altitud, caso contrario de lo que ocurre a una ICUs nocturna. Respecto a intensidades moderadas (entre 2,0°C y 4,0) y débiles (entre 0°C y 2,0°C) estas se extienden por toda la conurbación y mayormente en zonas rurales hacia sectores occidentales, cercanas a la línea de costa y de menor altitud.

En cambio, entre una ICUs con criterios físicos (ver anexo N°32) y una sin criterios (ver anexo N°31), la diferencia es considerable, ya que al comparar un punto urbano que tiene la máxima temperatura superficial y un punto rural que tiene similares características en cuanto a altitud y distancia al mar, la diferencia solo alcanza un valor de 2,3°C como máxima intensidad, correspondiendo a una ICUs de intensidad moderada. Por lo tanto, con los 8,8°C obtenidos de una ICUs S/C y los 2,3°C de una ICUs C/C se produce una diferencia de 6,5°C.

Conurbación de Algarrobo

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

Observando el anexo N°33, se observa que la máxima intensidad alcanza un valor de 6,5°C entrando a la categoría de muy fuerte, ubicándose solamente al este de la ciudad de Algarrobo. ICUs fuertes también se presentan en el este de la ciudad de Algarrobo, pero también del Quisco y Mirasol. Ya con las ICUs moderadas y débiles se evidencian más por el centro y oeste de la conurbación. Por lo que se genera un efecto contrario a lo que ocurre con las ICUs nocturnas, donde la máxima está concentrada en las ciudades, pero con mayor cercanía a las zonas costeras.

Con relación a la máxima intensidad de la ICUs C/C (ver anexo N°32) esta toma un valor de 3,5 °C generado una diferencia de 3,0°C en comparación con la ICUs S/C de 6,5°C (ver anexo N°31). Por lo que lo que queda dentro de una categoría moderada.

Conurbación de Gran Valparaíso

Tal como se muestra en el anexo N°34, en esta conurbación es en donde se presenta la mayor intensidad de la con un valor de 16°C de categoría muy fuerte. Pues, en los sectores interiores centrales de Villa Alemana y Quilpué es en donde se concentra esta máxima. A pesar de ello, en casi toda la extensión de la conurbación se observan intensidades que están dentro de la categoría de fuerte y muy fuerte, pero a medida que nos acercamos a la zona costera los grados van disminuyendo. Las categorías moderadas y débiles se concentran mayoritariamente en las zonas rurales al suroeste de la conurbación.

Respecto a la máxima intensidad de la ICUs C/C (ver anexo N°32) el valor tan solo alcanza un valor de 3,9°C pero que también es la mayor en comparación con las demás conurbaciones. Por último, comparando con la ICUs S/C la diferencia que se desprende corresponde a 12,1°C, diferencia bastante grande, por lo que un punto urbano y un punto rural con similares características pueden generar diferencias considerables si lo confrontamos con la ICUs S/C (ver anexo N°31).

Conurbación de Quintero

Para esta conurbación, según los resultados del anexo N°34 la máxima intensidad corresponde a 11,1°C sobre la mínima rural de 17,9°C. Por lo tanto, se hace presente ICUs de carácter muy fuertes, y que se ubican en casi la totalidad de la conurbación, pero con un aumento hacia el interior de esta, alejándose de la línea de la costa. ICUs moderadas y débiles aparecen solamente en las zonas de promontorios rocosos o *Headland* de la costa. Además, cabe agregar que estas fuertes intensidades se aprecian de igual manera en las zonas rurales, por lo que en comparación a la ICUs nocturnas es mucho mayor.

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

Hablando en cambio de las ICUs C/C (ver anexo N°32) se ve que la máxima intensidad solo alcanza 2,1°C de diferencia entre el punto urbano y rural. Cifra que contiene una significativa disminución comparando con la máxima de 11,1°C de la ICUs S/C (ver anexo N°31).

Conurbación de Maitencillo

Acá por medio de la observación del anexo N°35, las máximas intensidades de la ICUs fueron hasta los 6,3°C, donde las categorías fuertes y muy fuertes se presentan solamente en la ciudad de Maitencillo y su área rural al sur. Por su parte, en lo que resta de la conurbación, en dirección al norte, aparecen intensidades moderadas y débiles, incluyendo las zonas rurales.

En este caso la ICUs C/C (ver anexo N°32) toma un valor máximo de intensidad de 3,3°C de diferencia entre un punto urbano y rural. Diferencia valga la redundancia también significativa en contraste con los 6,3°C de la ICUs S/C (ver anexo N°31).

Conurbación de San Felipe

En el anexo N°35 se evidencia claramente la forma de la ICUs, con una máxima intensidad de 5,5°C. En esta conurbación se observa que las intensidades fuertes toman el centro de la ciudad de San Felipe y van disminuyendo en dirección a las periferias y zonas rurales con categorías moderadas y débiles.

En cuanto a la ICUs C/C la intensidad se genera en la diferencia de un punto urbano y rural con similares características físicas, alcanza los 3,3°C (ver anexo N°32). Esto produce una diferencia de 2,2°C en comparación con la ICUs S/C (ver anexo N°31).

Conurbación de Los Andes

Por medio del anexo N°36, se visualiza que la máxima intensidad es de 4,0°C en la conurbación, donde en el centro de la ciudad de Los Andes se presenta una categoría moderada, y que la intensidad va disminuyendo a medida que nos acercamos a las periferias y zonas rurales pasando a una ICUs de carácter débil. Pero, ocurre que, en un sector particular hacia el sur en las zonas rurales, la máxima alcanza 4,9°C generándose una ICUs negativa.

Al ver la intensidad de la ICUs C/C (anexo N°32) que se origina por un punto urbano y rural de similares características físicas, se obtiene una diferencia de 2,1°C; generando 2,8°C menos que la ICUs S/C (anexo N°31).

Conurbación de Quillota

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

Para esta conurbación se aprecia muy claramente la forma típica de una isla de calor (ver anexo N°36), donde la mayor intensidad se evidencia en el centro de las ciudades de Quillota y Calera, esta máxima intensidad toma un valor de 5,7°C, perteneciendo una ICUs de carácter fuerte. Al tomar distancia del centro de estas ciudades la intensidad va disminuyendo, en que categorías como moderadas y débiles mayoritariamente están en las ciudades de La Cruz e Hijuelas y zonas rurales.

Si analizamos la ICUs C/C (anexo N°32), se observa que existe una diferencia considerable, debido a que la máxima intensidad en este caso es de 1,7°C, estando 4,0°C abajo en comparación con la ICUs S/C (ver anexo N°31).

Conurbación de Limache-Olmué

En el anexo N°37 la ICUs no presenta una forma tan clara, pero si en la ciudad de Limache se observa una mayor intensidad que alcanza los 7,4°C. A pesar de ello en gran parte de la conurbación y zonas rurales que la rodean se ubican categorías de tipo fuerte, a excepción de la zona norte, en la ciudad de Olmué y zonas rurales, pues las ICUs moderadas y débiles hacen presencia.

Por último, la ICUs C/C (anexo N°32) toma un valor de 3,3 °C produciéndose una diferencia de 4,1°C en contraste con las ICUs S/C (anexo N°31). Diferencia que es bastante considerable.

4.4 Relación ICUs nocturna anual y población por manzanas

Conurbación de San Antonio

Tal como se muestra en el anexo N°38 es la categoría de ICUs moderada la que mayor concentración de población contiene, con 127.559 individuos. Mientras que en intensidades débiles se presentan 7.153 personas, e intensidades fuertes con tan solo 939. Es necesario recalcar que estos resultados se asocian solamente población que habita dentro de los límites urbanos.

Conurbación de Algarrobo

En esta conurbación la mayor cantidad de población se encuentra dentro de la categoría de intensidades débiles con un monto de 36.496 individuos. En tanto, de tipo moderada se presenta en menores cantidades con 2.509 habitantes (ver anexo N°39).

Conurbación de Gran Valparaíso

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

Al igual como ocurre en la conurbación de San Antonio, es en la intensidad moderada donde se presentan mayor cantidad de habitantes según las manzanas censales del 2017, con un valor de 912.614 individuos, seguido por intensidades fuertes con 64.672 y categorías débiles con 32.370 personas (ver anexo N°40).

Conurbación de Quintero

Para esta conurbación, en el anexo N°41, se indica que nuevamente en la categoría de intensidad moderada es que se estima mayor cantidad de personas correspondiente a 33.275 habitantes. En tanto, la intensidad de tipo débil cuenta con 5.439 e intensidades fuertes con 2.933 personas.

Conurbación de Maitencillo

En dicha conurbación tan solo se presentaron categorías de ICUs débiles en toda la extensión, abarcando una población de tan solo 6.860 habitantes (ver anexo N°42).

Conurbación de San Felipe

Intensidades débiles son las que mayor población abarca en esta conurbación, con un monto correspondiente a 69.875 habitantes. Mientras que categorías moderadas se presentan 7.182 personas (ver anexo N°43).

Conurbación de Los Andes

De manera similar a lo que se evidencia en la conurbación de San Felipe, intensidades débiles son las que contienen mayor población de acuerdo con el conteo por manzanas censales, con un valor de 61.338 individuos. En el caso de las intensidades moderadas el valor es de 17.159 habitantes (ver anexo N°44).

Conurbación de Quillota

Aquí nuevamente la categoría de intensidad de la ICUs débil es el que mayor monto de habitantes presenta, con 94.849 individuos. Mientras que intensidades moderadas contiene un valor de 75.314 personas (ver anexo N°45).

Conurbación de Limache-Olmué

En el anexo N°46, para esta conurbación también dentro de la intensidad de tipo débil se encuentra la mayor cantidad de población, con un valor total de 47.708 habitantes. En tanto, categorías moderadas alcanzan una cantidad de 16.995 personas.

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

En el anexo N°47 se muestra una tabla donde se indican los totales de población de cada conurbación, liderando en cantidades la conurbación del Gran Valparaíso.

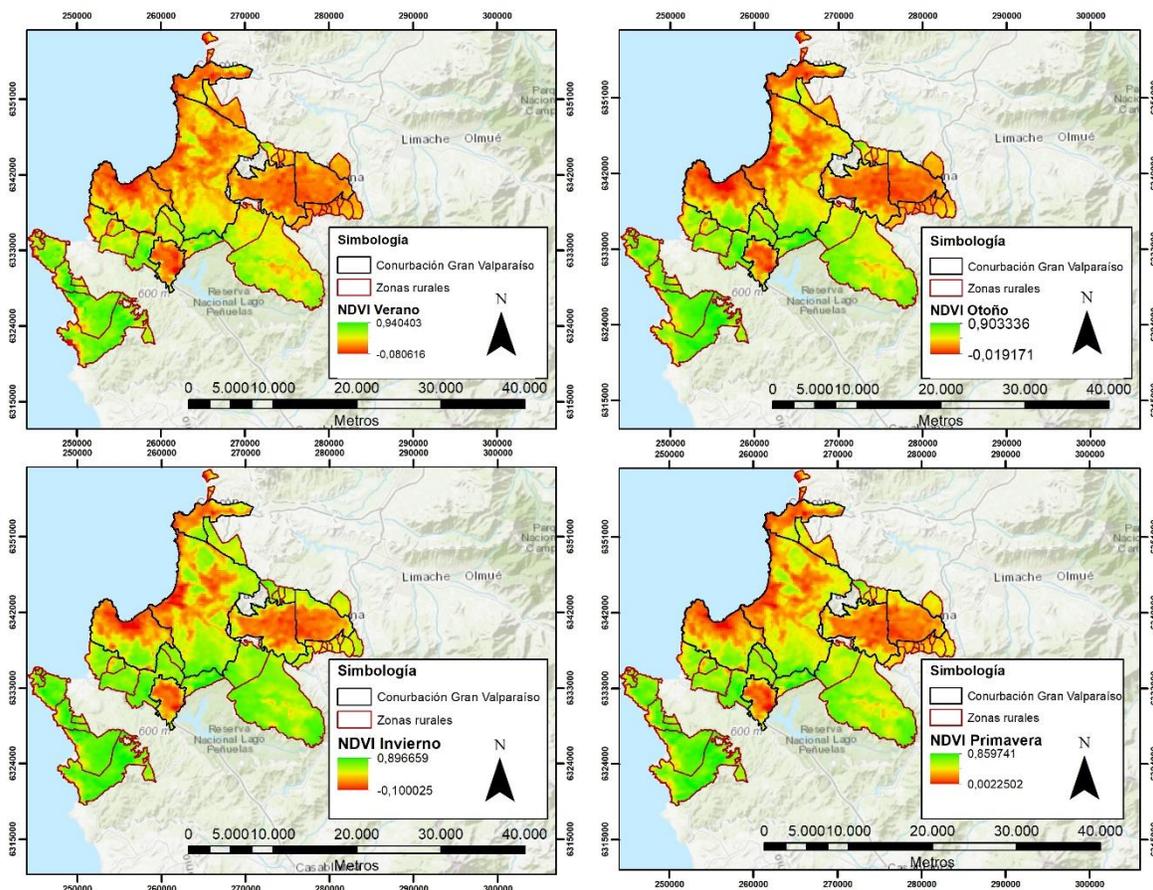
Finalizando, en el anexo N°48 se muestra un gráfico de correlación entre las máximas intensidades de la ICUs nocturnas anuales con criterios físicos y cantidad de población. Y se observa que la correlación es baja, con un valor r^2 de 0,3. Pero aun así se aprecia que las conurbaciones más consolidadas como San Antonio, Los Andes, Quillota y Gran Valparaíso se acercan a la línea de ajuste, mientras que las conurbaciones más dispersas y con menores montos de población tal como Algarrobo, Maitencillo, Quintero y Limache-Olmué se alejan de la línea de ajuste.

4.5 Distribución de las variables explicativas de las temperaturas superficiales nocturnas

Tal como se detalló en resultados anteriores, tanto las zonas en condiciones de oceanidad como de valle, presentaron claras formaciones de ICUs, aclarando que existen conurbaciones con categorías más débiles, mientras que otras más fuertes. Dentro de las conurbaciones que presentaron ICUs fuertes, se encuentra la conurbación del Gran Valparaíso. Algunos de los factores condicionantes o variables explicativas que se asocian a la formación de ICUs de acuerdo con Sarricolea & Romero (2010) a través de Beral-Guyonnet (1997), Cuadrat et al (2003 y 2005); Hogan & Ferrick (1998), corresponden a elevación topográfica y a exposición de laderas, distancia al mar, densidades de población y coberturas vegetales. Ante ello, en la figura N°34 y N°35 se muestra la distribución espacial de las variables explicativas para verano, otoño, invierno y primavera.

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

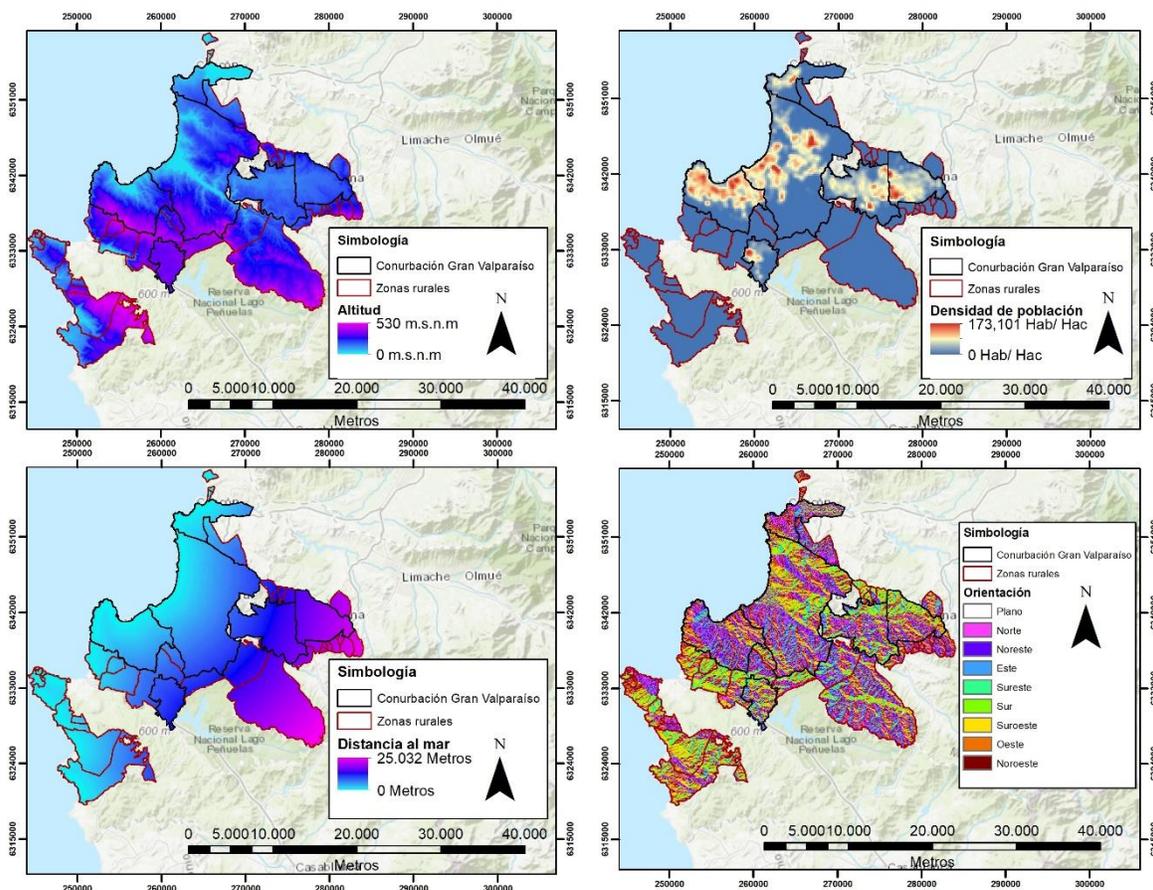
Figura N° 34 Distribución de Índice Normalizado de Diferencias Vegetales por estación



Fuente: Elaboración propia

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

Figura N° 35 Distribución de variables restantes: Elevación topográfica, Densidad de población, Distancia al mar y Exposición de laderas



Fuente: Elaboración propia

4.6 Coeficiente de correlación y regresión múltiple de las variables explicativas

En cuanto a la relación positiva y negativa de las temperaturas superficiales y las diferentes variables explicativas mencionadas con anterioridad, confirman los siguientes resultados por cada estación (ver tabla N°8 y N°9):

En la estación de verano, las variables NDVI y elevación topográfica son las más importantes, pues ambas por sí solas poseen una correlación considerable de -0,693 y -0699. Luego con una correlación de 0,557 aprox. le sigue la variable densidad de población (hab/ha). Las variables distancia al mar y exposición a laderas tan solo presentan -0,115 y 0,009 respectivamente. Estas variables en su conjunto explican el 67% del fenómeno. Entonces, respecto a la relación negativa, a mayor NDVI, elevación topográfica y distancias al mar,

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

menor serán las temperaturas superficiales para la conurbación. En cambio, en las relaciones positivas, a mayor densidad de población y exposición de laderas, mayor serán las temperaturas superficiales.

En otoño en cambio, la variable con mayor correlación es la distancia al mar que contiene un -0,743. Luego, prosiguen las variables densidad de población y elevación topográfica con 0,247 y -0,204 respectivamente. Las variables NDVI y exposición a laderas poseen de manera similar un -0,040 y 0,040. Las variables en su conjunto representan el 57% de del fenómeno. Por ende, a mayor distancia al mar, elevación topográfica y NDVI menores serán las temperaturas superficiales. A mayor densidad de población y exposición de laderas, mayores serán las temperaturas.

En invierno, al igual como ocurre en otoño, la variable que mejor correlación posee con las temperaturas superficiales es la distancia al mar con un valor de -0,827, De manera consecutiva le sigue las variables elevación topográfica y densidad de población con un -0,331 y 0,169 respectivamente. La cobertura vegetal y exposición a laderas tan solo contienen -0,065 y 0,057. Con relación a las variables en su conjunto representan 70% de explicación de la variable dependiente. Por último, las relaciones negativas y positivas se repiten al igual que las estaciones anteriores.

En primavera, las variables con mayor peso sobre el fenómeno corresponden a elevación topográfica con un -0,694 y al NDVI con un valor de -0,645. Le siguen las variables densidad de población con un 0,566 y la distancia al mar con un -0,404. Exposición a laderas es la que menor valor presenta con tan solo un 0,026. Las variables en su conjunto representan 67% de explicación de la variable dependiente. Las relaciones positivas y negativas se repiten al igual que en otoño, verano e invierno.

Tabla N° 8 Resultados coeficientes de correlación de Pearson de las variables explicativas según estaciones

Variable explicativa	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
NDVI	-0,693	-0,040	-0,065	-0,645
Elevación topográfica	-0,699	-0,204	-0,331	-0,694
Exposición de laderas	0,009	0,040	0,057	0,026

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

Distancia al mar	-0,115	-0,743	-0,827	-0,404
Densidad de población	0,557	0,247	0,169	0,566

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 9 Resultados análisis de regresión lineal múltiple entre las temperaturas y las variables geográficas explicativas. Verano, otoño, invierno y primavera

Período	R múltiple	R² múltiple	R² múltiple ajustado	Error típ. St.
Verano	0,819	0,671	0,671	0,572
Otoño	0,756	0,572	0,572	0,541
Invierno	0,836	0,699	0,699	0,526
Primavera	0,820	0,673	0,673	0,496

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°10 se aprecian los coeficientes y constantes del modelo de regresión múltiple, donde se indican los signos de relación entre las variables físicas explicativas y las causantes de la distribución de la temperatura superficial para la conurbación del Gran Valparaíso. Y en la tabla N°11 se muestra la sensibilidad o reacción de la temperatura superficial ante el aumento de los valores de los factores explicativos. Los resultados evidencian lo siguiente:

En verano, las relaciones positivas se asocian a la distancia al mar, exposición a laderas, y densidad de población. En ese sentido, a medida que aumenta el valor de estos factores la temperatura superficial también aumentará. En cambio, relaciones negativas se presencian solamente en las coberturas vegetales por ende a medida que el valor del NDVI aumente la temperatura va a disminuir.

En otoño, las relaciones positivas se observan en las coberturas vegetales, exposición a laderas, densidad de población y elevación topográfica. Muy por el contrario, el factor de

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

distancia al mar presenta una relación negativa, indicando que a menor distancia mayor será la temperatura superficial.

Para el caso de la estación de invierno, ocurre algo similar, a diferencia de que solamente la elevación topográfica contiene una relación negativa, pues a mayor altitud, menor será la temperatura superficial.

En primavera, las relaciones positivas se asocian a los factores de exposición a laderas y densidad de población. Mientras que relaciones negativas se observan las variables distancia al mar, coberturas vegetales y elevación topográfica.

En cuanto a la sensibilidad de las ecuaciones a los cambios de las variables independientes que se ven en la tabla N°11, ocurre que, al aumentar la distancia al mar en 100 metros, en otoño y en invierno los valores son más grandes respecto a las otras estaciones, con una disminución de la temperatura en 0,01°C mientras que la variación más baja se presenta en verano con un aumento de la temperatura en 0,001 °C. Al aumentar el NDVI en 0,5 el valor más alto se asocia a la estación de verano con una disminución de 1°C, en cambio la variación más baja de temperatura ocurre en otoño con un aumento de la temperatura en 0,12°C. Al cambiar la exposición de laderas de este a norte, no se logran notar mayores diferencias, pero la mayor variación se presenta en verano y otoño con un aumento de la temperatura en 0,04°C mientras que el valor más bajo de cambio se evidencia en la estación de otoño con un aumento de temperatura de 0,02°C. Con la variación de la densidad de población en 50 Hab/ m² sucede que tampoco existen mayores diferencias, pero el valor más alto de cambio se presenta en la estación de verano aumentando la temperatura en 0,34°C y la variación más baja se observa en invierno con aumento de la temperatura en 0,14°C. Por último, respecto a la elevación topográfica, el valor de variación más alto se presenta en la estación de verano, disminuyendo la temperatura en 0,2°C, en cambio el valor más bajo se encuentra en otoño con un aumento de 0,01°C.

Tabla N° 10 Regresión lineal múltiple para las estaciones del año, constantes y coeficientes de las ecuaciones

Variables del modelo de regresión múltiple	Coefficientes verano (2001-2018)	Coefficientes otoño (2001-2018)	Coefficientes invierno (2001-2018)	Coefficientes primavera (2001-2018)
(Constante)	14,62	9,744	7,67	12,736

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

Distancia al mar (m)	0,0000084	-0,000091	-0,00011	-0,000031
NDVI (1 a -1)	-1,958	0,233	0,715	-1,507
Exposición de laderas (0-360°)	0,00015	0,000071	0,00017	0,00012
Densidad de población (hab/ha)	0,007	0,0045	0,0027	0,0054
Elevación topográfica (m)	-0,004	0,00029	-0,0011	-0,0028

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 11 Reacción y sensibilidad de la temperatura ante los cambios de valor en las variables explicativas

Variables del modelo de regresión múltiple	Cambios en la temperatura (C°) de verano	Cambios en la temperatura (C°) de otoño	Cambios en la temperatura (C°) de invierno	Cambios en la temperatura (C°) de primavera
Aumento de la distancia al mar en 100 metros	+0,001	-0,01	-0,01	-0,003
Aumento del NDVI en 0,5	-1	+0,12	+0,36	-0,75
Cambio de exposición de laderas de este a norte	+0,04	+0,02	+0,04	+0,03
Aumento de la densidad de población en 50 hab/ha	+0,34	+0,23	+0,14	+0,27
Aumento de elevación	-0,2	+0,01	-0,05	-0,14

topográfica en 50 metros				
--------------------------	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

5.1 Discusión

Las intensidades máximas promedio de las ICUs nocturnas anuales 2001-2018 para las conurbaciones costeras de San Antonio, Valparaíso y Quintero van desde los 4,2°C a los 5,1°C se ubican en zonas urbanas más cercanas a la línea de costa, de categorías moderadamente fuerte a fuertes, y donde las temperaturas más frías se ubican en zonas rurales. Además, en Quintero y San Antonio la forma de ICUs es poli-concéntrica al igual que en Sarricolea et al., (2008). Para la conurbación de Algarrobo, si bien se aprecian mayores intensidades en las zonas urbanas (máxima de 2,3°C) las categorías son débiles, por lo que se debe destacar que no existen tantas diferencias con zonas rurales, inclusive parte de las zonas urbanas comparten mismas categorías con las entidades rurales. Igualmente ocurre en la conurbación de Maitencillo (máxima de 1,5°C), las categorías de ICUs son débiles, no se logran diferenciar mucho las zonas urbanas con las rurales, esto también debido a la gran cantidad de áreas verdes y menor población que todavía prevalecen. Por lo tanto, a excepción de lo que ocurre en Algarrobo y Maitencillo, se puede mencionar que las conurbaciones costeras que restan existe marcadamente el fenómeno de isla de calor urbano superficial, levemente menor a lo que Sarricolea & Martín-Vide (2014) hicieron para Santiago y rangos de máximas intensidades similares a lo realizado en Rancagua por Sarricolea, et al., (2008). Además, al concentrarse las mayores intensidades en zonas de línea de costa se cumple con lo mencionado por Oke et al., (2017); Wanner & Filliger (1989) donde por las noches se presentan flujos de aire cálido que emiten los objetos del área urbana en dirección a la costa que atrae las bajas presiones. Si bien esto coincide, se debe realizar un estudio específico sobre los vientos de estas zonas.

Respecto a los promedios anuales 2001-2018 nocturnos de las conurbaciones ubicadas en zonas de valles, si existen islas de calor urbano superficiales, ubicándose temperaturas más altas en las zonas urbanas, mientras que las temperaturas más frías en las entidades rurales. Esto, con la salvedad de que las máximas intensidades bordearon las categorías de moderadamente débiles, teniendo valores entre los 3,0°C y 2,5°C. La forma de la ICUs es concéntrica similar a lo que explica Moreno-García (1997) y específicamente en Quillota es poli-concéntrica como en Sarricolea et al., (2008), pero que claramente no de gran tamaño en comparación con Santiago u otras ciudades de mismas características, pero si se logra

observar la disminución del gradiente de las temperaturas hacia las periferias de estas ciudades.

Las ICUs nocturnas por estaciones para todas las conurbaciones presentadas, si bien presentan mayores temperaturas superficiales en verano no ocurre lo mismo al ver las diferencias entre las temperaturas urbanas con las rurales, ya que no se presenta de la misma manera, puesto que la máxima intensidades se distribuyen entre el otoño e invierno en la mayoría de las conurbaciones, tal como menciona Moreno-García (1999), a excepción de Gran Valparaíso (primavera) y San Antonio (verano). Por último, las conurbaciones de San Antonio, Gran Valparaíso, Quintero y Limache-Olmué son las que cumplen con lo que la EPA (2008) menciona en cuanto a que las ICUs nocturnas debieran tener diferencias entre los 5°C y 10 °C, por lo que las que restan están bajo ese número.

Las ICUs diurnas anuales por su parte cumplen con lo propuesto por la EPA (2008) y Sarricolea & Romero (2010), ya que se producen mayores intensidades durante el día. Pero si se habla de diferencias entre la temperatura urbana y rural, solo la conurbación del Gran Valparaíso presenta diferencias de 16°C, mientras que las demás se encuentran bajo los 10°C, no cumpliéndose a cabalidad lo que la EPA (2008) estima (entre los 10 y 15°C de diferencia). Además, en cuanto a la distribución de la ICUs, respecto a las conurbaciones costeras, se evidencia un patrón claro, pues las mayores temperaturas se ubican en sectores donde se presentan mayores altitudes, específicamente en laderas urbanas con orientación al sol. Esto coincide además con los flujos de aire diurnos desde la costa hacia el continente conocidos como brisas costeras según Oke et al., (2017). Por otra parte, en relación con las conurbaciones de valle ocurre que el fenómeno de ICUs se presenta con mucha claridad, de forma concéntrica como los define Moreno-García (1997) a excepción de la conurbación de Quillota tal como ocurre en la ICUs nocturna. La forma no difiere tanto con las ICUs de valle nocturnas.

Al aplicar los criterios físicos propuestos por Martin-Vide et al., (2015) la intensidad de la ICUs nocturna cambia radicalmente, ya que los valores de la intensidad en las conurbaciones van desde -0,7°C a los 2,9°C de diferencia, que resultan ser bastante débiles en comparación a la ICUs sin criterios físicos. Lo mismo ocurre con las ICUs diurnas al aplicar los mismos criterios, las diferencias fluctúan entre los 1,7°C hasta los 3,9°C de manera general. Pero se hace necesario mayores cantidades de muestras en vez de una, para que el estudio sea más verídico.

El descubrimiento del comportamiento y existencia de ICUs nocturnas por estaciones y anuales diurnas para las conurbaciones del Gran Valparaíso, queda al debe, en el sentido que falta mayor profundización respecto a las variables, puesto que solo fue un paneo general de la existencia o no de ICUs, y que puedan explicar a mayor detalle el fenómeno. También, la

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

resolución de las imágenes satelitales MODIS son de 1000x1000 metros, en que se aplicó un resample a 200 metros, no permiten un análisis tan detallado del comportamiento de la ICUs, pero sirve para realizar una mirada a nivel general y descubrir la existencia o no del fenómeno. Por lo que se recomienda utilizar imágenes a menor resolución, pero que no tendrán productos diarios.

La relación entre las máximas intensidades de las ICUs nocturnas anuales sin criterios físicos y la población total, en la conurbación con más población como Gran Valparaíso, es la que posee la máxima intensidad anualmente con un valor de 5,1°C; mientras que para la conurbación de Maitencillo que contiene el menor número de población, teniendo una intensidad anual de 1,5°C solamente. En ese sentido, concuerda en cierta parte con Moreno-García (1999); Oke (1973). Al cruzar la clasificación de intensidades de la ICUs de Fernández (1996) no existen relaciones con las conurbaciones, ya que la mayor población se concentra en clasificaciones débiles y moderadas. Por otra parte, pero de manera similar, la relación de las máximas intensidades de las ICUs nocturnas anuales con criterios físicos y la población total de las conurbaciones, ocurre que la máxima intensidad también se presenta en el Gran Valparaíso con un valor de 2,0°C, y en la conurbación que menos intensidad máxima presentó, nuevamente fue Maitencillo con un monto de 0,3°C. Finalizando, si bien se cumple con lo mencionado por Moreno-García (1999); Oke (1973) en que las ciudades con menor monto de población tienen menor intensidades y viceversa con las de mayor población, la correlación fue de 0,3 solamente.

Respecto a las variables explicativas para el caso específico de la conurbación del Gran Valparaíso, en verano y en primavera, las variables de NDVI y elevación topográfica poseen una alta correlación. Mientras que para las estaciones de invierno y otoño es la distancia al mar. Estos resultados difieren totalmente a lo que Sarricolea & Romero (2010) hicieron para la misma conurbación, en una situación diurna, ya que para el verano la variable humedad del suelo es la más importante, mientras que en invierno fue el brillo del suelo. Variables que dicho sea de paso no fueron consideradas en este trabajo. Por último, en la investigación de Sarricolea et al., (2008) para la ciudad de Rancagua y en horario nocturno, existen coincidencias en las estaciones de otoño e invierno, siendo las fuentes húmedas las que mejor explican las temperaturas, pero no así con las estaciones de verano y primavera (que también predomina las distancias húmedas). Además, la variable NDVI no posee importancia en ninguna de las estaciones del año.

En la consideración de los signos de las variables (relación positiva y negativa con las temperaturas), en general existen coincidencias con Sarricolea et al., (2008), pero hay diferencias en algunos puntos: en verano la elevación topográfica es positiva; en otoño el NDVI y la elevación topográfica es negativa; en invierno el NDVI también es negativa; y en

primavera la distancia a fuentes húmedas es positiva. Relacionando con Sarricolea & Romero (2010) si bien existen similitudes, también aparecen diferencias en verano, teniendo la exposición a laderas y densidad de población una relación negativa, mientras que en invierno la distancia al mar y elevación topográfica son positivas, y la exposición a laderas negativa.

La correlación de Pearson se utilizó para verificar cuales son las variables de mayor peso y cuales poseen relación negativa o positiva con las temperaturas superficiales, obteniendo sentido con la influencia topográfica. Pero al comparar con los signos de los coeficientes de la ecuación de la regresión lineal resulta que diferencias importantes, ya que por ejemplo las coberturas vegetales o NDVI tienen una relación negativa en la correlación de Pearson y una relación positiva en los coeficientes de la regresión lineal múltiple, para las estaciones de invierno de otoño. Por lo tanto, es una limitante haber usado Excel en vez de SPSS para realizar una regresión lineal múltiple por pasos para disminuir errores.

La densidad de población y el NDVI fueron las que presentaron mayor sensibilidad ante los cambios de valores de las temperaturas superficiales, lo que, al comparar con Sarricolea et al., (2008) ocurre algo similar, pero no con el NDVI, ya que las distancias a fuentes húmedas es la otra variable de mayor sensibilidad. Para el caso de Sarricolea & Romero (2010) solo existe coincidencia en valores del NDVI que son similares, pero las variables que mayor sensibilidad presenta son debido la humedad de suelo y brillo del suelo.

Finalizando, está claro que las comparaciones con autores difieren respecto a la ubicación geográfica y horario en que se hicieron los estudio, pero que, a pesar de ello, existen coincidencias importantes.

5.2 Conclusiones

En este estudio se evidencia la existencia de islas de calor superficiales en las principales conurbaciones de la V región de Valparaíso, tanto en zonas costeras como en sectores de valles, existiendo mayores intensidades en la urbe en desmedro de las entidades rurales en donde se presentan intensidades más débiles. Si bien las conurbaciones de Algarrobo y Maitencillo (que coinciden con albergar menor población total) no son tan marcadas, el efecto urbano sobre las temperaturas se logra captar, por contener las temperaturas máximas.

Hay una relación entre las ICUs nocturnas de ciudades costeras y cercanas al mar, pues las zonas más cercanas al litoral poseen mayor intensidad que las zonas alejadas y de mayor elevación, reflejándose la influencia de vientos catabáticos. Además, las máximas intensidades de la ICUs nocturnas tienen cierta coherencia con las cantidades totales de población, pues, la conurbación del Gran Valparaíso es la que mayor diferencia obtiene entre

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

las temperaturas urbanas con las rurales, con un valor de 5,1°C. Siendo este conjunto de ciudades la que mayor población total alberga de la V Región de Valparaíso. Pero no existe una relación estrecha en clasificación de intensidades con población total, ya que el total de personas se masifican entre categorías débiles y moderadas.

Las ICUs nocturnas de otoño e invierno para las conurbaciones de La V Región de Valparaíso, son las que contienen la mayor cantidad de máximas intensidades.

Las ciudades interiores o de valle de la región de Valparaíso poseen ICUs diurnas con importantes intensidades, marcándose perfectamente la forma de un islote, lo que refleja la nula influencia marina. En cambio, para las ciudades costeras, también se presentan ICUs diurnas, pero las máximas intensidades se ubican en los sectores urbanizados de laderas o de mayor elevación topográfica.

Al tener puntos con similares características físicas como distancia al mar y altitud entre una zona urbana y rural, la ICUs presenta intensidades más débiles en comparación con ICUs sin criterios físicos, tanto en ICUs nocturnas como diurnas.

En primavera y verano para la conurbación del Gran Valparaíso, los factores de coberturas vegetales y elevación topográfica son los que explican el aumento y disminución de temperatura, pues a mayor vegetación y elevación topográfica durante la noche, la temperatura va a disminuir. En cambio, para las estaciones de invierno y otoño el factor es el de distancia al mar, en que a mayores distancias al mar menor será la temperatura, pues la temperatura del mar en la noche es más elevada que el continente. Por último, la temperatura superficial es más sensible ante la variación de los valores de las coberturas vegetales y densidad de población (hab/ ha).

El descubrimiento del comportamiento y existencia de ICUs nocturnas por estaciones y anuales y diurnas anuales para las conurbaciones del Gran Valparaíso, se encuentra limitada, en el sentido que falta mayor profundización respecto a las variables, puesto que solo fue un paneo general de la existencia o no de ICUs, y que puedan explicar a mayor detalle el fenómeno.

Existe una dicotomía respecto a la resolución de las imágenes satelitales MODIS de 1000x1000 metros, en que se aplicó un resample a 200 metros, ya que por una parte no permite un análisis tan detallado del comportamiento de la ICUs. Pero, al mismo tiempo son los únicos productos que se obtuvieron de manera gratuita y que fueran datos diarios, y que sirvieron para realizar un paneo general de las islas de calor urbano superficiales.

Es importante mantener en observación a conurbaciones tanto costeras como de valle y que poseen menor tamaño que la capital de Santiago, Chile. Pues en este estudio se evidencia un claro efecto urbano y forma concéntrica de las islas de calor urbano superficiales, donde las temperaturas disminuyen en zonas rurales. Esto llama a pensar más sobre la planificación urbana e incluir temáticas relacionadas al clima urbano en ciudades que de a poco han ido emergiendo. En ese sentido y finalizando, sensores remotos como MODIS, son útiles para obtener un panorama general sobre el comportamiento de la temperatura superficial de las ciudades, sobre todo el uso de la novedosa plataforma en nube “*Google Earth Engine*”, que permite analizar y procesar imágenes satelitales con grandes rangos temporales.

BIBLIOGRAFÍA

- ABREU, M., & ASSIS, W. L. (1998).** *A ilha de calor em Belo Horizonte: um estudo de caso.* In Congresso brasileiro de meteorologia.
- ALCOFARADO, M. J., & MATZARAKIS, A. (2014).** *Planning with urban climate in different climatic zones.* *Geographicalia*, 57, 5–39.
- ANDRADES, M., & MÚÑEZ, C. (2012).** *Fundamentos de climatología.* Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones.
- ÁNGEL, L., RAMÍREZ, A., & DOMÍNGUEZ, E. (2010).** *Isla de calor y cambios espacio temporales de la temperatura en la ciudad de Bogotá.* *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 34(131), 173–183.
- BARROS, H. R., & LOMBARDO, M. A. (2016).** *A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP.* *Geosp – Espaço e Tempo (Online)*, 20(1), 160–177.
- BEJARAN, R. A., & CAMILLONI, I. (2003).** *Objective method for classifying air masses: An application to the analysis of Buenos Aires' (Argentina) urban heat island intensity.* *Theoretical and Applied Climatology*, 74(1), 93–103.
- BERRAL-GUYONNET, I. (1997).** *Analyse spatiale des températures mensuelles dans l'agglomération lyonnaise.* *Revue de Géographie de Lyon*, (72): 263-266.
- CAMILLIONI, I., & MAZZEO, N. (1987).** *Algunas características térmicas de la atmósfera urbana de Buenos Aires.* Preprints of II Congreso Interamericano de Meteorología y V Congreso Argentino de Meteorología, 14(2), 1–5.

CAMILLONI, I. (1995). *Detección de la señal de la isla urbana de calor y de variaciones climáticas*. Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

CAMILLONI, I., & BARRUCAND, M. (2012). *Temporal variability of the Buenos Aires, Argentina, urban heat island*. *Theoretical and Applied Climatology*, 107(1–2), 47–58.

CASTREE, N., DEMERITT, D., LIVERMAN, D., & RHOADS, B. (Eds.). (2009). *A companion to environmental geography*. John Wiley & Sons.

CENTRO DE DESARROLLO URBANO SUSTENTABLE (CEDEUS). (2015). *Red Hidrográfica de Chile*. En línea: <http://datos.cedeus.cl/layers/geonode:waterways>

CHAKRABORTY, T., & LEE, X. (2019). *A simplified urban-extent algorithm to characterize surface urban heat islands on a global scale and examine vegetation control on their spatiotemporal variability*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 74, 269–280. En línea: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243418304653#bib0025>

CUADRAT, J., VICENTE-SERRANO, S., & SAZ, M. (2005). *Los efectos de la urbanización en el clima de Zaragoza (España): La isla de calor y sus factores condicionantes*. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (40). En Línea: <https://www.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/viewFile/2019/1932>

CUADRAT, J.M., SAZ, M.A. Y VICENTE-SERRANO, S.M. (2003). *Surface wind direction influence on spatial patterns of urban heat island in Zaragoza (Spain)*. *Geophysical Research Abstracts*. En línea: <http://www.cosis.net/abstracts/EAE03/02592/EAE03-J-02592.pdf>

CUI, Y. Y., & DE FOY, B. (2012). *Seasonal variations of the urban heat island at the surface and the near-surface and reductions due to urban vegetation in Mexico City*. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51(5), 855–868.

DE LUCENA, A. J., ROTUNNO FILHO, O. C., DE ALMEIDA FRANÇA, J. R., DE FARIA PERES, L., & XAVIER, L. N. R. (2013). *Urban climate and clues of heat island events in the metropolitan area of Rio de Janeiro*. *Theoretical and Applied Climatology*, 111(3–4), 497–511.

DIDAN, K. (2015). *MYD13Q1 MODIS / Aqua Índices de vegetación 16 días L3 Global 250m SIN Grid V006 [Conjunto de datos]*. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. doi: 10.5067 / MODIS / MYD13Q1.006.

- DIMOUDI, A. y NIKOLOPOULOU, M. (2003).** *Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits.* Energy and Buildings, 35: 69-76.
- ELIASSON, I. (1994).** *Urban-suburban-rural air temperature differences related to street geometry.* Physical Geography, 15: 1-22.
- ELIASSON, I. (2000).** *The use of climate knowledge in urban planning.* Landscape and urban planning, 48(1-2), 31-44.
- FARR, T.G., ROSEN, P.A., CARO, E., CRIPPEN, R., DUREN, R., HENSLEY, S., KOBRICK, M., PALLER, M., RODRIGUEZ, E., ROTH, L., SEAL, D., SHAFFER, S., SHIMADA, J., UMLAND, J., WERNER, M., OSKIN, M., BURBANK, D., & ALSDORF, D.E. (2007).** *The shuttle radar topography mission.* Reviews of Geophysics, v. 45, no. 2, RG2004. En línea: <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA, F. (1996).** *Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación.* Síntesis.
- FERREIRA, M. J., DE OLIVEIRA, A. P., & SOARES, J. (2013).** *Diurnal variation in stored energy flux in São Paulo city, Brazil.* Urban Climate, 5, 36–51.
- FIGUEROLA, P. I., & MAZZEO, N. A. (1998).** *Urban-rural temperature differences in Buenos Aires.* International Journal of Climatology, 18(15), 1709–1723.
- GARCÍA, F. F., & MARTILLI, A. (2012).** *El clima urbano: aspectos generales y su aplicación en el área de Madrid.* Revista Índice (50), 21-24. En línea: <http://www.revistaindice.com/numero50/p21.pdf>
- GIMPEL, S. (1985).** *Insolación potencial en el espacio geográfico.* Universidad de Chile, Departamento de Geografía.
- GOBIERNO REGIONAL DE VALPARAÍSO (GORE). (s/f).** *Región de Valparaíso.* En línea: <http://www.gorevalparaiso.cl/region.php>
- GORE (GOBIERNO REGIONAL DE VALPARAÍSO). (2012).** *Estrategia Regional de Desarrollo Región de Valparaíso 2020.* En línea: <http://www.gorevalparaiso.cl/archivos/archivoDocumento/estrategia-regional2012.pdf>
- GRIMMOND, S. (2007).** *Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming.* Geographical Journal, 173(1), 83-88. En línea: https://rgs-ibg.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1475-4959.2007.232_3.x

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

GUZMÁN, G. (2018). *Análisis de la influencia del diseño urbano en la meteorología del Valle de Aburrá.* (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia. Colombia, Medellín. En línea: <http://www.bdigital.unal.edu.co/71197/1/1152692770.2018.pdf>

HENRÍQUEZ, C., & ROMERO, H. (2019). *Urban Climates in Latin America.* Springer International Publishing.

HOGAN, A. Y FERRICK, M. (1988). *Observations in nonurban heat islands.* Journal of Applied Meteorology.

INE. (2018). *Resultados Censo 2017 por país, regiones y comunas.* Santiago: Instituto Nacional de Estadísticas. En línea: <https://resultados.censo2017.cl/Region?R=R05>

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

INFRAESTRUCTURA DE DATOS GEOESPACIALES (IDE CHILE). (s/f). *Zonas climáticas de Chile según Koeppen-Geiger escala 1:500.000.* En línea: <http://www.ide.cl/descarga/capas/item/zonas-climaticas-de-chile-segun-koeppen-geiger-escala-1-1-500-000.html>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE). (2017). *Informe anual de medio ambiente 2017.* En línea: <https://www.ine.cl/estadisticas/medioambiente/informes-anales>

JÁUREGUI, E. (1973). *The urban climate of Mexico City.* Erdkunde, 27, 298–307.

JÁUREGUI, E. (1993). *Mexico City's urban Heat Island revisited (die Wärmeinsel von Mexico City Ein Rückblick).* Erdkunde, 47, 185–195.

JÁUREGUI, E. (1997). *Heat island development in Mexico City.* Atmospheric Environment, 31(22),3821–3831.

JÁUREGUI, E. (2000). *El clima de la ciudad de México* (Vol. 1). Plaza y Valdes.

JULIÁ, C., MONTECINOS, S., & MALDONADO, A. (2008). *Características climáticas de la Región de Atacama.* Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Atacama. Ediciones Universitarias de La Serena. La Serena, Chile. p, 25-42.

LANDSBERG, H. (1981). *The Urban Climate* (Vol. 28). Academic press.

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

LINÉS, A. (2010). *Clima y cambio climático*. RAM (Revista del Aficionado a la Meteorología). En línea: <http://www.divulgameteo.es/fotos/lecturas/Clima-CC-Lin%C3%A9s.pdf>

LOMBARDO, M. A. (1985). *Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*. Editora Hucitec com apoio de Lalekla SA Comércio e Indústria.

LOWRY WP. (1977): *Empirical estimation of urban effects on climate: a problem analysis*. Journal of Applied Meteorology 36: 1377-1391.

MAGALHÃES FILHO, L. (2006). *Ilha de Calor Urbana, Metodologia para Mensuração: Belo Horizonte, uma análise exploratória*. Tese de Doutorado – Programa de Pós-graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial – PUC-MG. Belo Horizonte.

MAGALHÃES FILHO, L., & ABREU, J. (2010). *Ilhas de calor, metodologia para mensuração: o caso de Belo Horizonte*. Revista de Biología e Ciências da Terra, 10, 3–27.

MARQUES FILHO, E. P. M., KARAM, H. A., MIRANDA, A. G., & FRANÇA, J. D. A. (2009). *Rio de Janeiro's tropical urban climate*. News Letter of the International Association of Urban Climate, 32, 5–9.

MARTÍNEZ, J. (2014). *Estudio de la isla de calor de la ciudad de Alicante*. Investigaciones Geográficas, 62. En línea: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/40931/3/Investigaciones Geograficas 62 06.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/40931/3/Investigaciones_Geograficas_62_06.pdf)

MARTIN-VIDE, J., SARRICOLEA, P., & MORENO-GARCÍA, M. (2015). *On the definition of urban heat island intensity: the “rural” reference*. Frontiers in Earth Science, 3, 24. En línea: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2015.00024/full>

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO (MINVU) & INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE). (2018). *Metodología para medir el Crecimiento Urbano de las Ciudades de Chile*. En línea: <https://www.ine.cl/docs/default-source/herramientas/galeria-de-mapas/area-urbana-consolidada/metodologia-para-medir-el-crecimiento-urbano-de-las-ciudades-de-chile.pdf?sfvrsn=4>

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO (MINVU), INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE) & PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD). (2018). *Metodología para medir el crecimiento urbano de las ciudades de Chile*. En línea: <https://www.ine.cl/docs/default-source/herramientas/galeria-de-mapas/area-urbana-consolidada/metodologia-para-medir-el-crecimiento-urbano-de-las-ciudades-de-chile.pdf?sfvrsn=>

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

MORENO-GARCÍA, M. C. (1994). *Intensity and form of the urban heat island in Barcelona*. International Journal of Climatology, 14(6), 705-710.

MORENO-GARCÍA, M. C. (1997). *Una propuesta de terminología castellana en climatología urbana*. Investigaciones Geográficas (Esp), (17), 89-97. En línea: <http://www.redalyc.org/pdf/176/17654246005.pdf>

MORENO-GARCÍA, M. C. (1999). *Climatología urbana* (Vol. 160). Edicions Universitat Barcelona. En línea: https://books.google.cl/books?id=nNQa8pIAIw8C&pg=PA30&hl=es&source=gbs_toc_r&cad=3#v=onepage&q&f=false

NAREDO, J. M. (2000). *Sobre la insostenibilidad de las actuales conurbaciones y el modo de paliarla*. Gaceta Ecológica, (55), 21-40.

NINYROLA, M., PONS, X., y ROURE, JM (2005). *Atlas Climático Digital de la Península Ibérica. Metodología y Aplicaciones en Bioclimatología y Geobotánica*. Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra. En línea en: <http://www.opengis.uab.es/wms/iberia/index.htm>

OKE, T. R. & HANNELL, F. G. (1968). *The form of the urban heat island in Hamilton, Canada*. Urban Climates. WMO, Tech. Note 108, 113-126.

OKE, T. R. (1976). *The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands*. Atmosphere, 14(4), 268-277. En línea: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00046973.1976.9648422>

OKE, T. R., MILLS, G., CHRISTEN, A., & VOOGT, J. A. (2017). *Urban climates*. Cambridge University Press.

OKE, T.R. (1973). *City size and the urban heat island*. Atmospheric Environment, 7, pp-769-779.

OKE, T.R. (1988). *Boundary Layer Climates*. Second Edition.

OKE, TR. (1995). *The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects*. In Wind Climate in Cities. Cermak JE. (ed). Kluwer-Academic Publ. Norwell.

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

OLCINA, J. (1996). *El clima: Factor de diferenciación espacial. Divisiones regionales del mundo desde la antigüedad al S. XVIII*. Investigaciones geográficas, nº 15, 1996; pp. 79-98.

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

En línea: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/467/1/Olcina%20Cantos-Clima%20factor%20de%20diferenciacion.pdf>

PABON, J. D., PULIDO, S. I., JARAMILLO, O., & CHAPARRO, J. (1998). *Análisis preliminar de la isla de calor en la Sabana de Bogotá.* Revista Cuadernos de Geografía, 7(1–2), 87–93.

PALME, M., INOSTROZA, L., VILLACRESES, G., CARRASCO, C., & LOBATO, A. (2019). *Urban Climate in the South American Coastal Cities of Guayaquil, Lima, Antofagasta, and Valparaíso, and Its Impacts on the Energy Efficiency of Buildings.* In Urban Climates in Latin America (pp. 33-62). Springer, Cham.

PEDELABORDE, P. (1959). *Introduction à l'étude scientifique du climat.* Centre de Documentation Universitaire. París.

PICKETT S., CADENASSO M., GROVE J. (2001). *Urban Ecological Systems: Linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of Metropolitan Areas.* Annu. Rev. Ecol. Syst.. N° 32, pp. 127–57.

RAO, P. K. (1972). *Remote sensing of urban "heat islands" from an environmental satellite.* Bulletin of the American meteorological society, 53(7), 647-648.

RIBEIRO, A. (1993). *As escalas do clima.* Boletim de Geografia Teorética, 23(45-46), 288-294.

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: V Congreso de la Asociación Española de Climatología, Sept. 18 – 21, Zaragoza, España.

ROMERO, H. & VINAGRE, J. (1985). *Topoclimatología de la Cuenca del Río Mapocho.* Informaciones Geográficas de Chile 32, 3 – 20.

ROMERO, H., & MOLINA, M. (2008). *Relación espacial entre tipos de usos y coberturas de suelos de islas de calor en Santiago de Chile.* In Anales Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas (Vol. 1, No. 1, pp. 223-230).

ROMERO, H., IRARRÁZABAL, F., OPAZO, D., SALGADO, M., & SMITH, P. (2010). *Climas urbanos y contaminación atmosférica en Santiago de Chile.* EURE (Santiago), 36(109), 35-62. En línea: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0250-71612010000300002&script=sci_arttext&tlng=en

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

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, 25(70), 151-179.

RUSTICUCCI, M., & VARGAS, W. (1991). *Efecto de la ciudad y el río sobre la temperatura de superficie en Buenos Aires.* Geoacta, 18, 35–48.

SÁNCHEZ, R., HIDALGO, R., & ARENAS, F. (2017). *Re-conociendo las geografías de América Latina y El Caribe. Santiago de Chile: Serie GEOlibros N° 24,* Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile.

SARRICOLEA ESPINOSA, P., & ROMERO ARAVENA, H. (2010). *Análisis de los factores condicionantes sobre las temperaturas de emisión superficial en el área metropolitana de Valparaíso, Chile.* ACE: Arquitectura, ciudad y entorno, 14, 79-96. En línea:

<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/117841/SarricoleaRomero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SARRICOLEA, P., & MESEGUER-RUIZ, O. (2019). *Urban Climates of Large Cities: Comparison of the Urban Heat Island Effect in Latin America.* In Urban Climates in Latin America (pp. 17-32). Springer, Cham.

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, 8, 71-84. En: <https://core.ac.uk/download/pdf/26890748.pdf>

SENA, C., FRANÇA, J., & PERES, L. (2014). *Estudo da Ilha de Calor na Região Metropolitana do Rio de Janeiro Usando Dados do MODIS.* Anuário do Instituto de Geociências, 37(2), 111–122.

SEPÚLVEDA, O. (2016). *Análisis de las temperaturas mínimas del área urbana y rural de Santiago (1911-1982): Caracterización de la intensidad de la isla de calor urbano en el contexto del calentamiento y cambio climático.* (Tesis de magíster). Universidad de Chile, Santiago. En línea: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/141385/analisis-de-las-temperaturas-minimas-del-area-urbana-y-rural-de-santiago.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SOBERON, V., & OBREGON, E. (2016). *Identificación de islas de calor en la ciudad de Lima metropolitana utilizando imágenes del satélite Landsat 5TM.* Anales Científicos, 77(1), 34–44.

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

SOTO, M. & ARRIAGADA, J. (2007). *Características dinámicas de ensenadas estructurales de Chile central: Maitencillo-Cachagua y Papudo, Región de Valparaíso.* Revista de geografía Norte Grande, (38), 99-112. En línea: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022007000200006>

SOTO, M. V. (2005). *Aspectos morfodinámicos de ensenadas desalineadas del litoral de Chile central. Pichilemu y Caleta Los Piures.* Revista de Geografía Norte Grande, (33), 73-87.

SOTO, MARÍA VICTORIA, & ARRIAGADA, JOSELYN. (2007). *Características dinámicas de ensenadas estructurales de Chile central: Maitencillo-Cachagua y Papudo, Región de Valparaíso.* Revista de geografía Norte Grande, (38), 99-112. En línea: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S071834022007000200006&script=sci_arttext&tln_g=en

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (2008). *Urban Heat Island Basics. Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Draft.* En línea: www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium

UPMANIS, H, y CHEN, D. (1999): *Influence of geographical factors and meteorological variables on nocturnal urban-park temperature differences. A case study of summer 1995 in Göteborg.* Climate Research 13: 125-139.

VOOGT, J. A. (2008). *Islas de calor en zonas urbanas: ciudades más calientes.* En línea: <http://www.actionbioscience.org/esp/ambiente/voogt.html>

VYSOUDIL, M. (2015). *Urban space and climate: Introduction to the Special Issue.* Moravian Geographical Reports, 23(3), 2-7.

WAN, Z., HOOK, S., HULLEY, G. (2015). *MOD11A1 MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 1km SIN Grid V006 [Data set].* NASA EOSDIS Land Processes DAAC. doi: 10.5067/MODIS/MOD11A1.006

WITHFORD W., ENNOS A., HANDLEY J. (2001). *City form and natural process: Indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK.* Landscape and Urban Planning N° 57 pp. 91-103.

YAMASHITA S, SEKINE K, SHODA M, YAMASHITA K, y HARA, Y. (1986). *On relationships between heat island and sky view factor in the cities of Tama River basin, Japan.* Atmospheric Environment 20: 681-686.

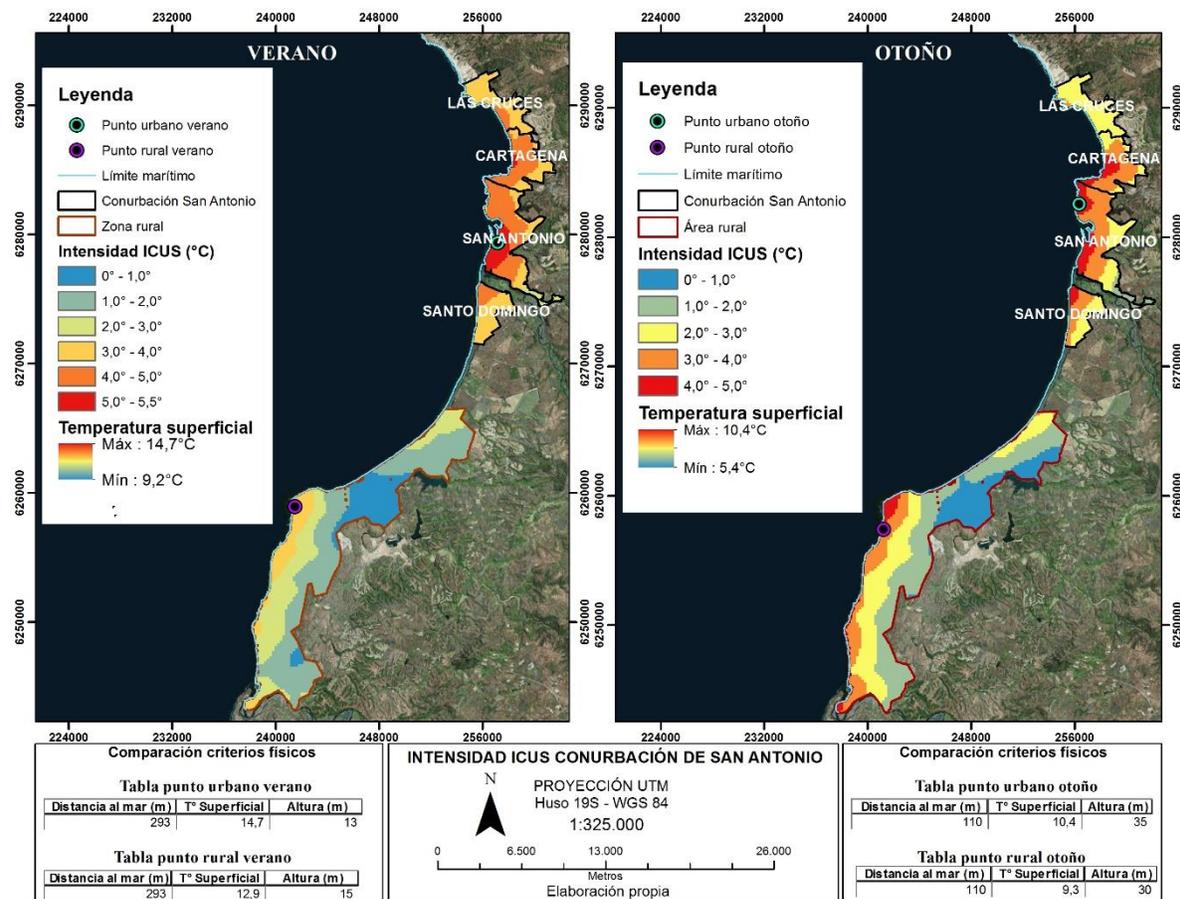
Intensidad de las islas de calor urbanas superficiales en las principales conurbaciones de la V Región de Valparaíso y factores geográficos explicativos para el caso específico de la conurbación del Gran Valparaíso

YEVES. A. (1993). *La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Climatología y desertificación. Fundamentos de climatología.* En línea: <http://books.google.es/books?id=KBP4UfsRytMC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

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

ANEXOS

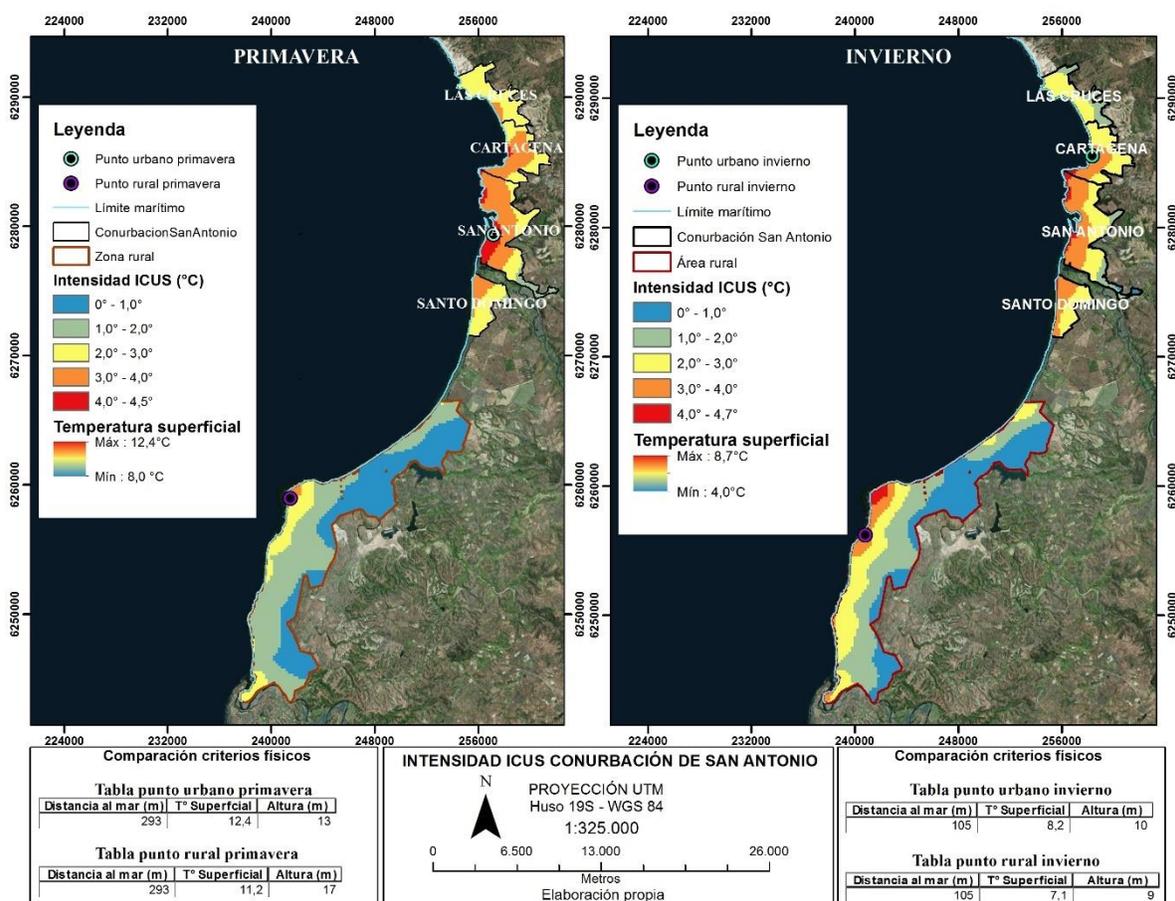
Anexo N°1 Intensidad ICUs nocturna conurbación de San Antonio para verano y otoño



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

Fuente: Elaboración propia

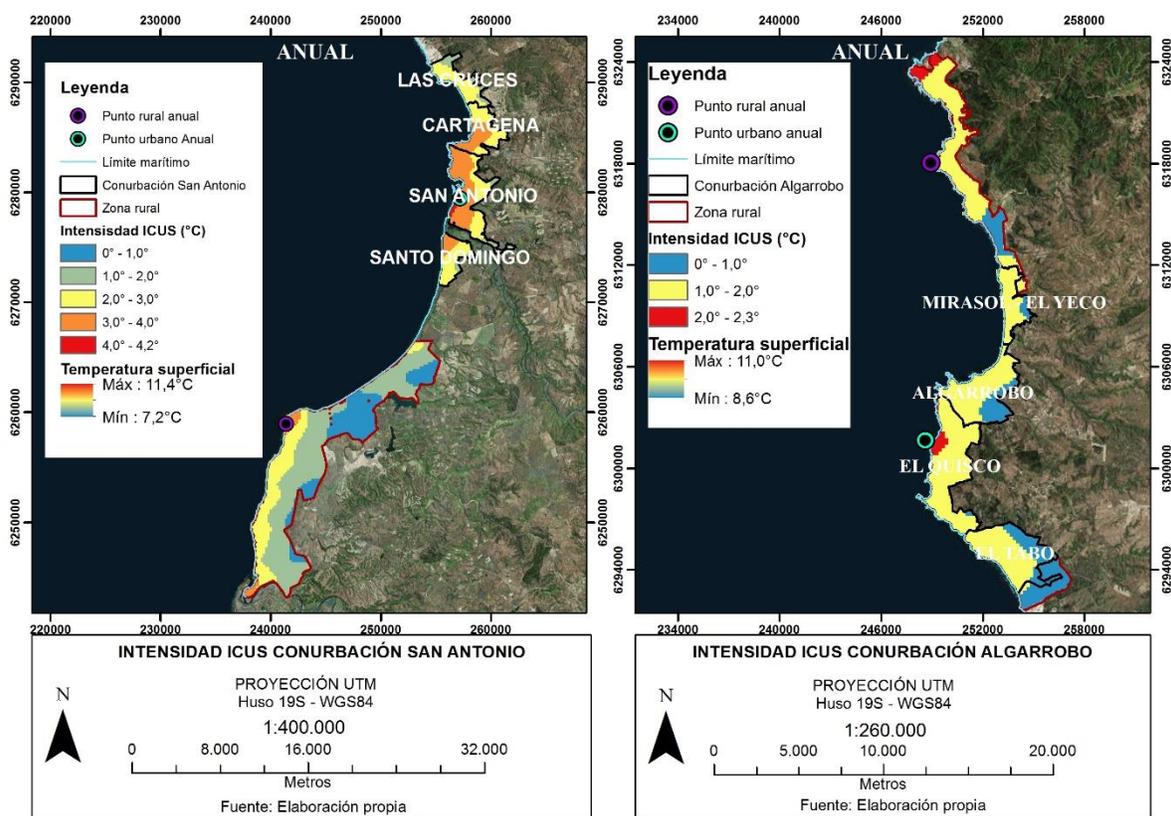
Anexo N°2 Intensidad ICUs nocturna conurbación de San Antonio para primavera e invierno



Fuente: Elaboración propia

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

Anexo N°3 Intensidad ICUs nocturna anual conurbación de San Antonio y Algarrobo



Fuente: Elaboración propia

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

Anexo N°4 Máxima intensidad de las ICUs nocturna sin criterios físicos, conurbaciones de la V Región de Valparaíso

Conurbación	San Antonio	Algarrobo	Gran Valparaíso	Quintero	Maitencillo	San Felipe	Los Andes	Quillota	Limache-Olmué
Verano	5,5°	2,1°	5,2°	3,9°	1,8°	2,4°	2,5°	3,2°	2,1°
Otoño	5,0°	2,8°	5,2°	4,8°	2,4°	3,4°	4,2°	3,6°	5,3°
Invierno	4,7°	3,8°	5,1°	5,0°	2,3°	4,5°	4,6°	2,9°	4,1°
Primavera	4,5°	2,4°	5,4°	3,9°	1,9°	2,2°	2,8°	3,3°	2,5°
Anual	4,2°	2,3°	5,1°	4,2°	1,5°	2,5°	2,7°	2,9°	3,0°

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°5 Intensidad de la ICUs nocturna con criterios físicos, conurbación de San Antonio

	Punto urbano	Punto rural	
--	--------------	-------------	--

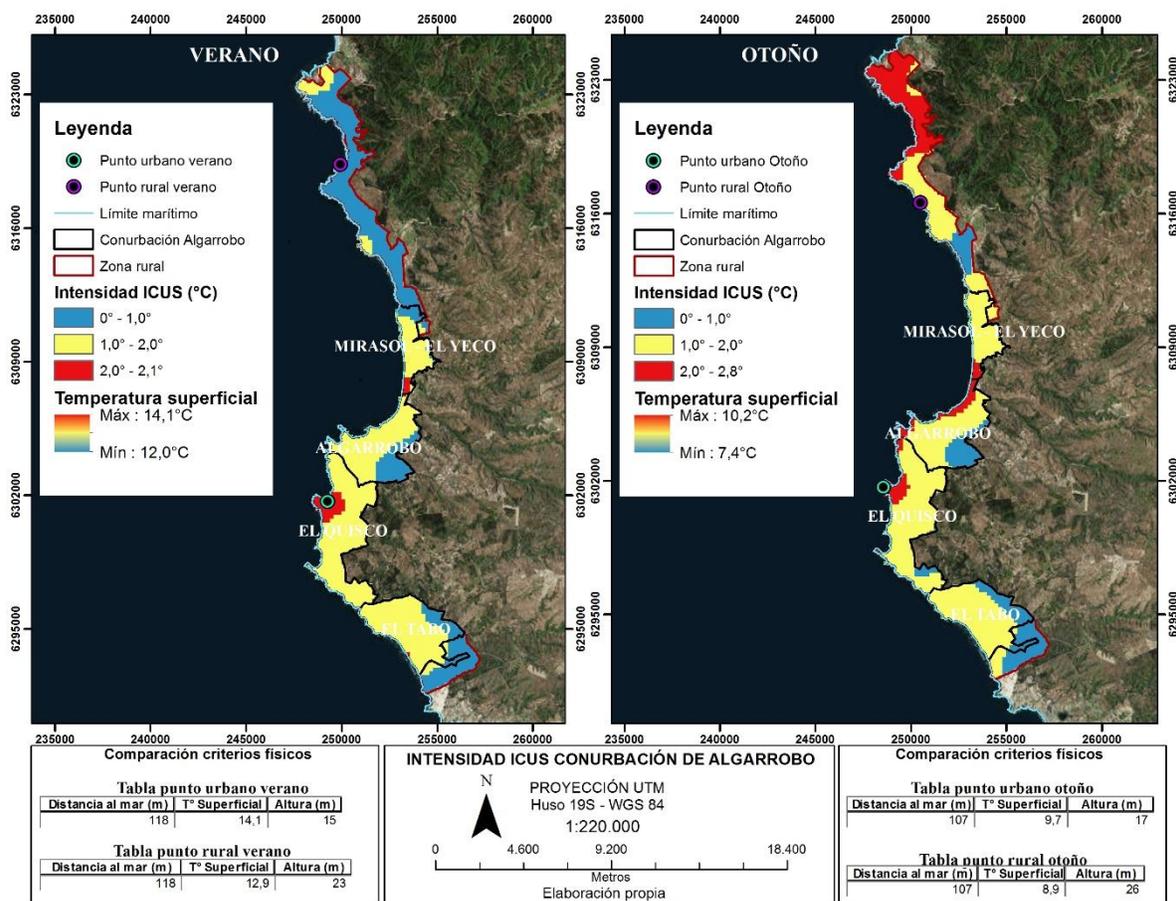
Intensidad de las islas de calor urbanas superficiales en las principales conurbaciones de la V Región de Valparaíso y factores geográficos explicativos para el caso específico de la conurbación del Gran Valparaíso

Tiempo	Distancia al mar (m)	T° (°C)	Altura (m.s.n.m)	Distancia al mar (m)	T° (°C)	Altura (m.s.n.m)	ICUs
Verano	293	14,7°	13	293	12,9°	15	1,8°
Otoño	110	10,4°	35	110	9,3°	30	1,1°
Invierno	105	8,2°	10	105	7,1°	9	1,1°
Primavera	293	12,4	13	293	11,2°	17	1,2°
Anual	217	11,4°	11	216	10,7°	13	0,7°

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°6 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Algarrobo para verano y otoño

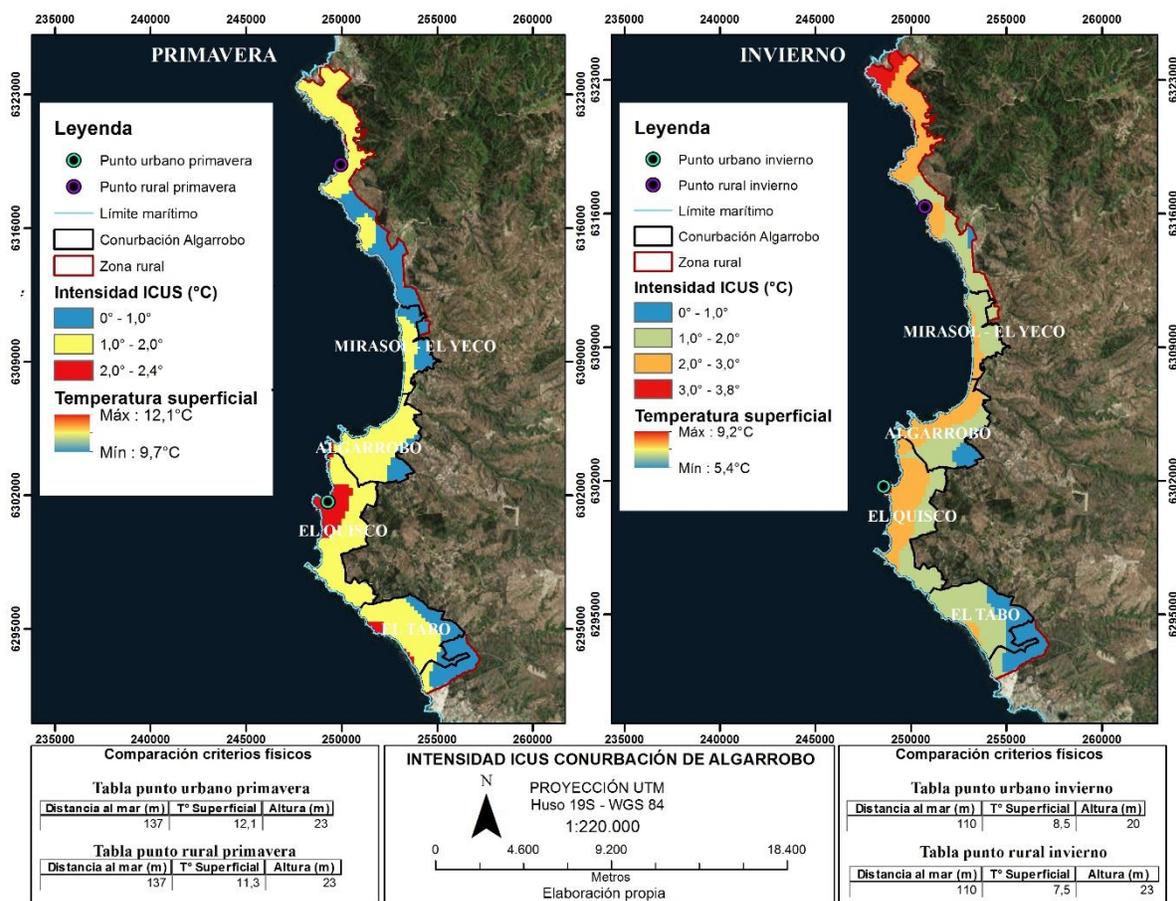
Intensidad de las islas de calor urbanas superficiales en las principales conurbaciones de la V Región de Valparaíso y factores geográficos explicativos para el caso específico de la conurbación del Gran Valparaíso



Fuente: Elaboración propia

Anexo N°7 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Algarrobo para primavera e invierno

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



Fuente: Elaboración propia

Anexo N°8 Intensidad de la ICUs nocturna con criterios físicos, conurbación de Algarrobo

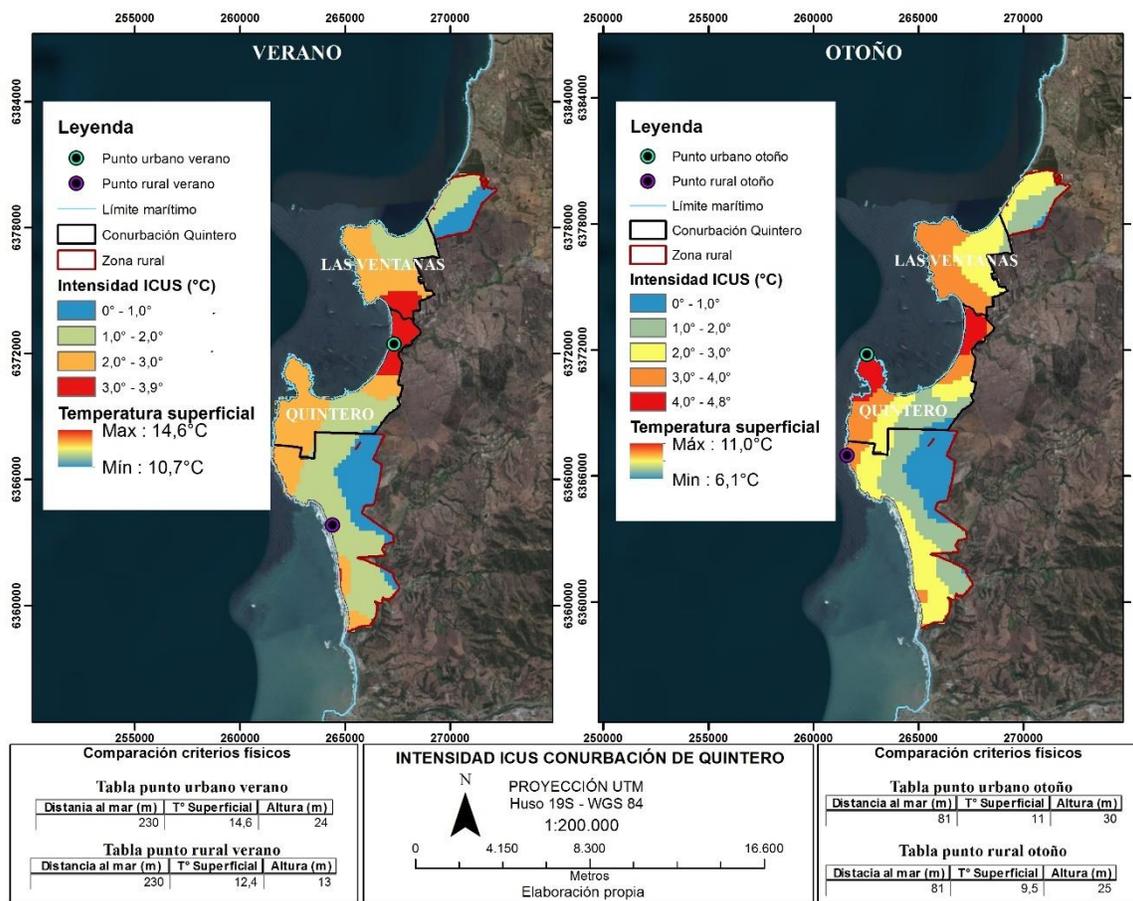
Tiempo	Punto urbano			Punto rural			ICUS
	Distancia al mar (m)	T° (°C)	Altura (m.s.n.m)	Distancia al mar (m)	T° (°C)	Altura (m.s.n.m)	
Verano	118	14,1°	15	118	12,9°	23	1,2°
Otoño	107	9,7°	17	107	8,9°	26	0,8°
Invierno	110	8,5°	20	110	7,5°	23	1,0°

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

Primavera	137	12,1°	23	137	11,3	23	0,8°
Anual	133	10,9°	18	24	10,4°	17	0,5°

Fuente: Elaboración propia

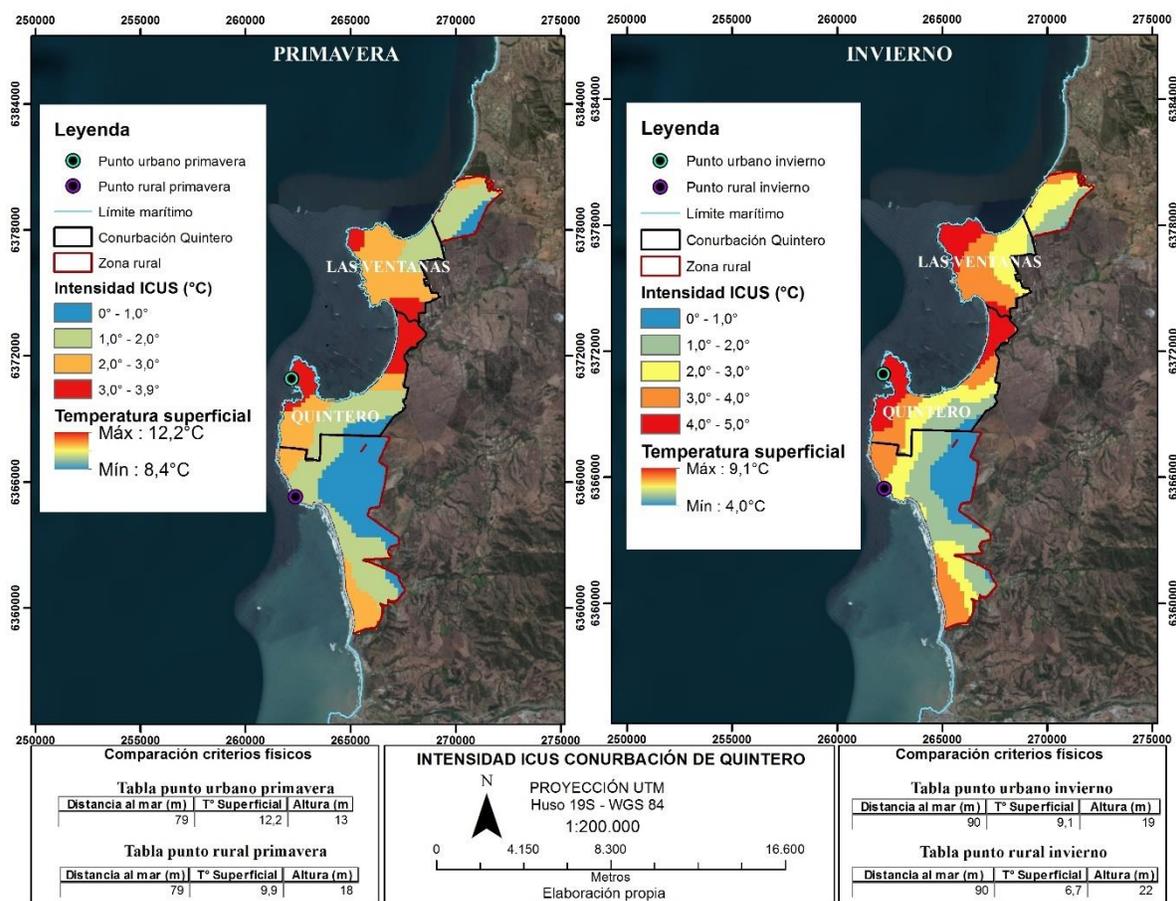
Anexo N°9 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Quintero para verano y otoño



Fuente: Elaboración propia

Anexo N°10 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Quintero para primavera e invierno

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



Fuente: Elaboración propia

Anexo N°11 Intensidad de la ICUs nocturna con criterios físicos, conurbación de Quintero

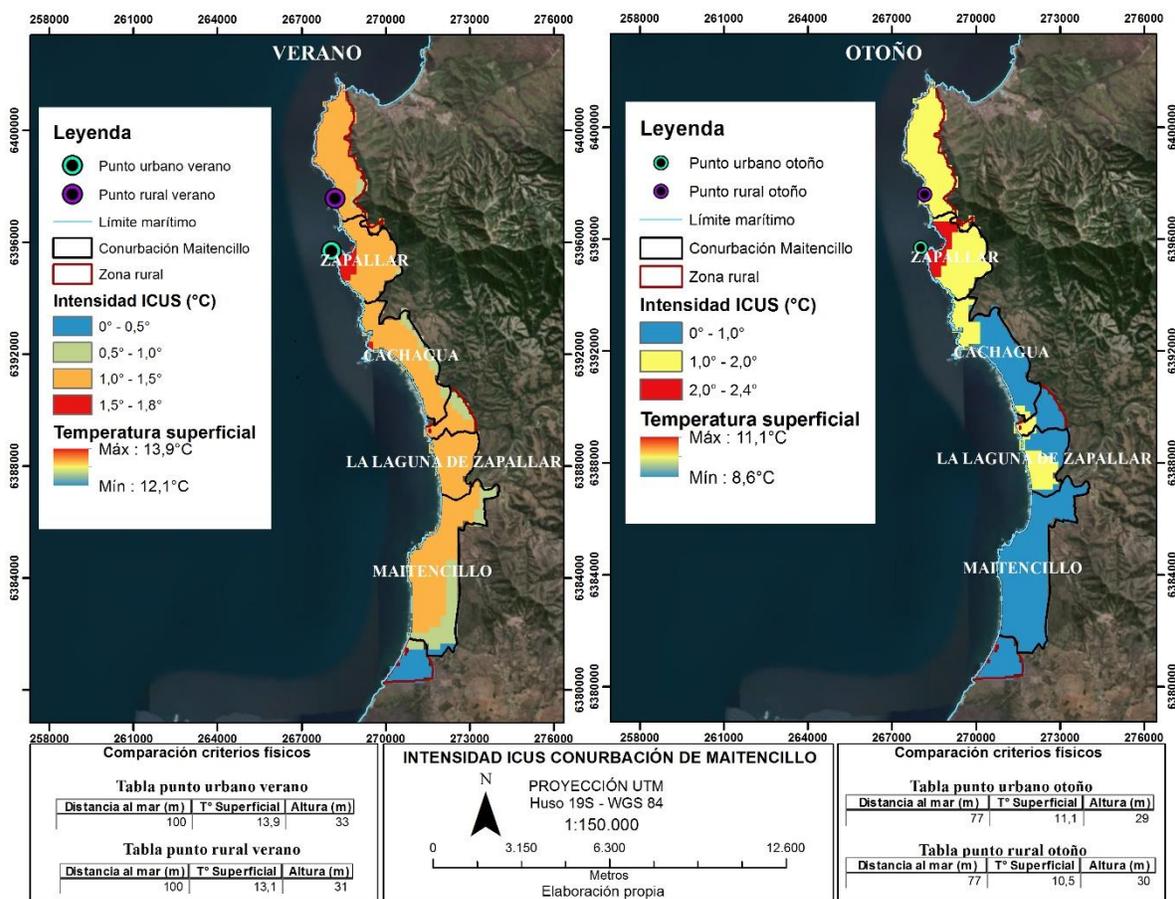
Tiempo	Punto urbano			Punto rural			ICUS
	Distancia al mar (m)	T° (°C)	Altura (m.s.n.m)	Distancia al mar (m)	T° (°C)	Altura (m.s.n.m)	
Verano	230	14,6°	24	230	12,4°	13	2,2°
Otoño	81	11,0°	30	81	9,5°	25	1,5°
Invierno	90	9,1°	19	90	6,7°	22	2,4°

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

Primavera	79	12,2°	13	79	9,9°	18	2,3°
Anual	87	11,8°	16	87	10,0°	15	1,8°

Fuente: Elaboración propia

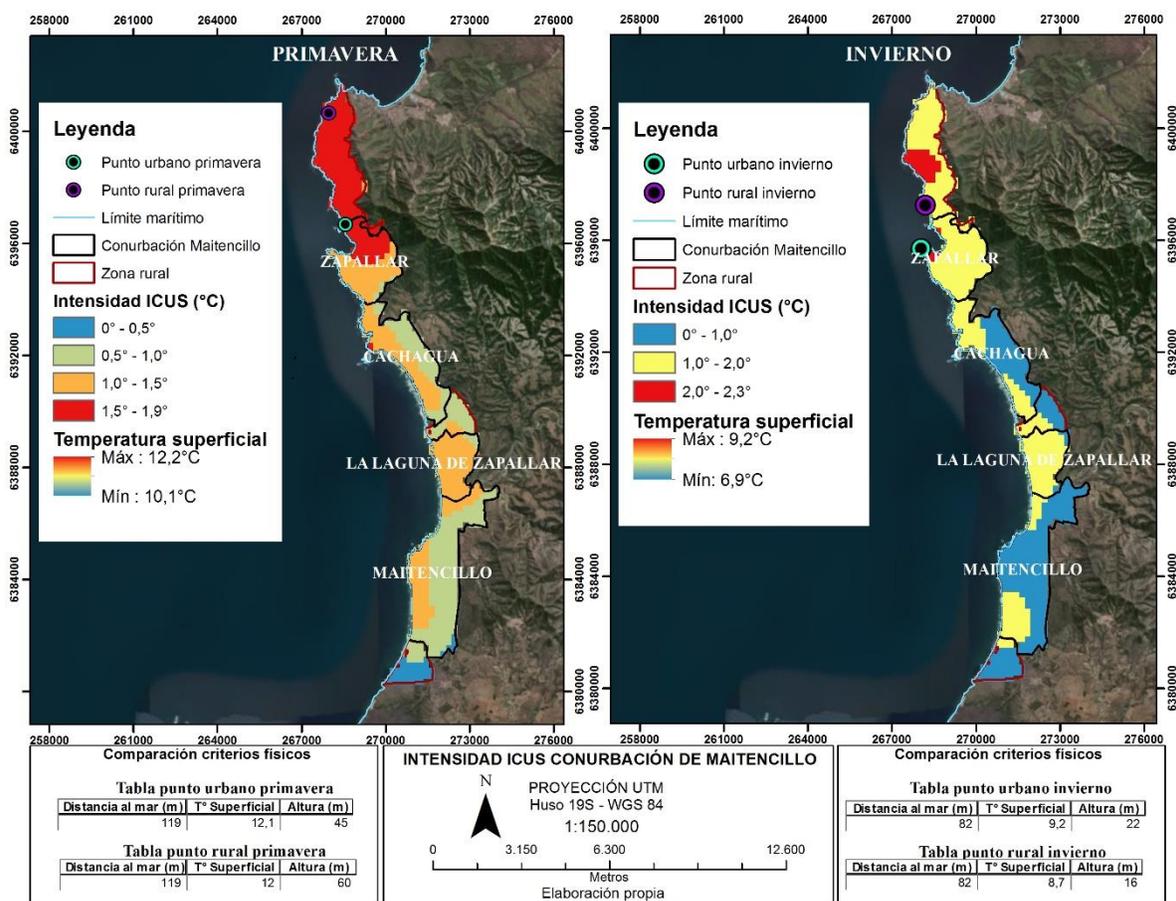
Anexo N°12 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Maitencillo para verano y otoño



Fuente: Elaboración propia

Anexo N°13 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Maitencillo para primavera e invierno

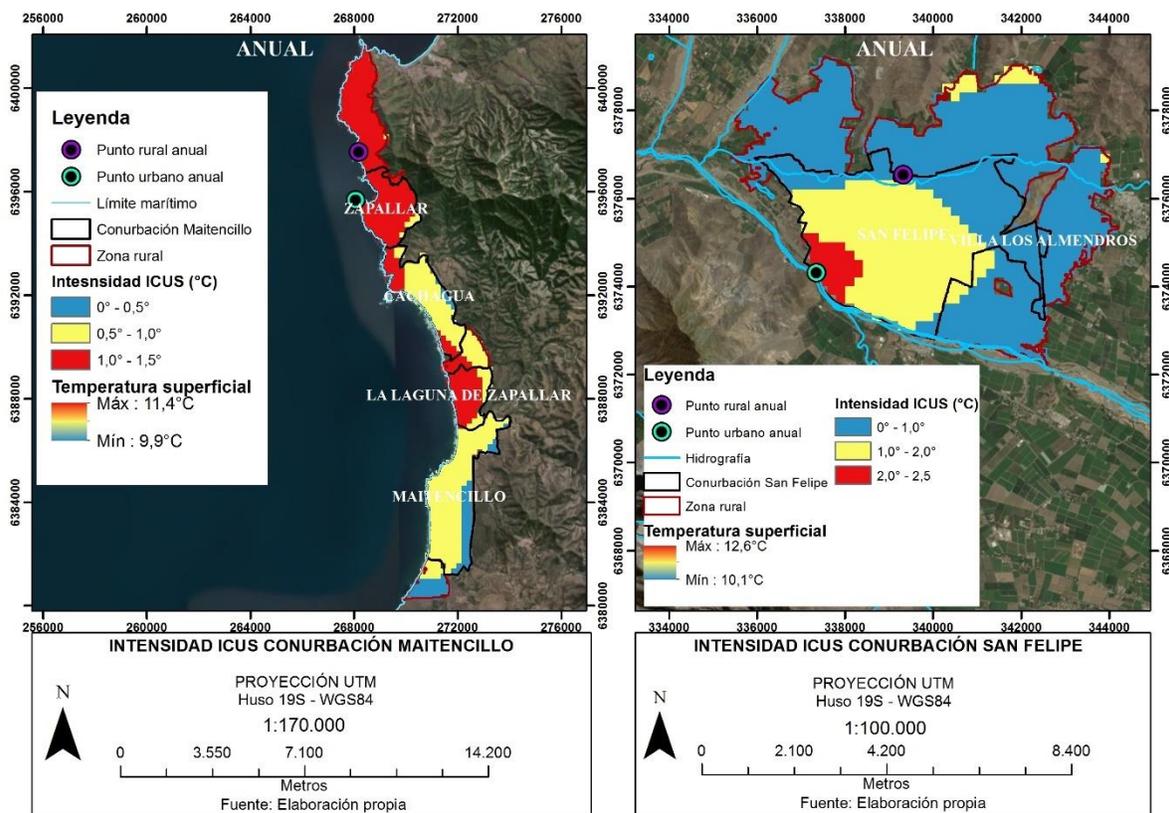
Intensidad de las islas de calor urbanas superficiales en las principales conurbaciones de la V Región de Valparaíso y factores geográficos explicativos para el caso específico de la conurbación del Gran Valparaíso



Elaboración propia

Anexo N°14 Intensidad ICUs nocturna anual conurbación de Maitencillo y San Felipe

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



Fuente: Elaboración propia

Anexo N°15 Intensidad de la ICUs nocturna con criterios físicos, conurbación de Maitencillo

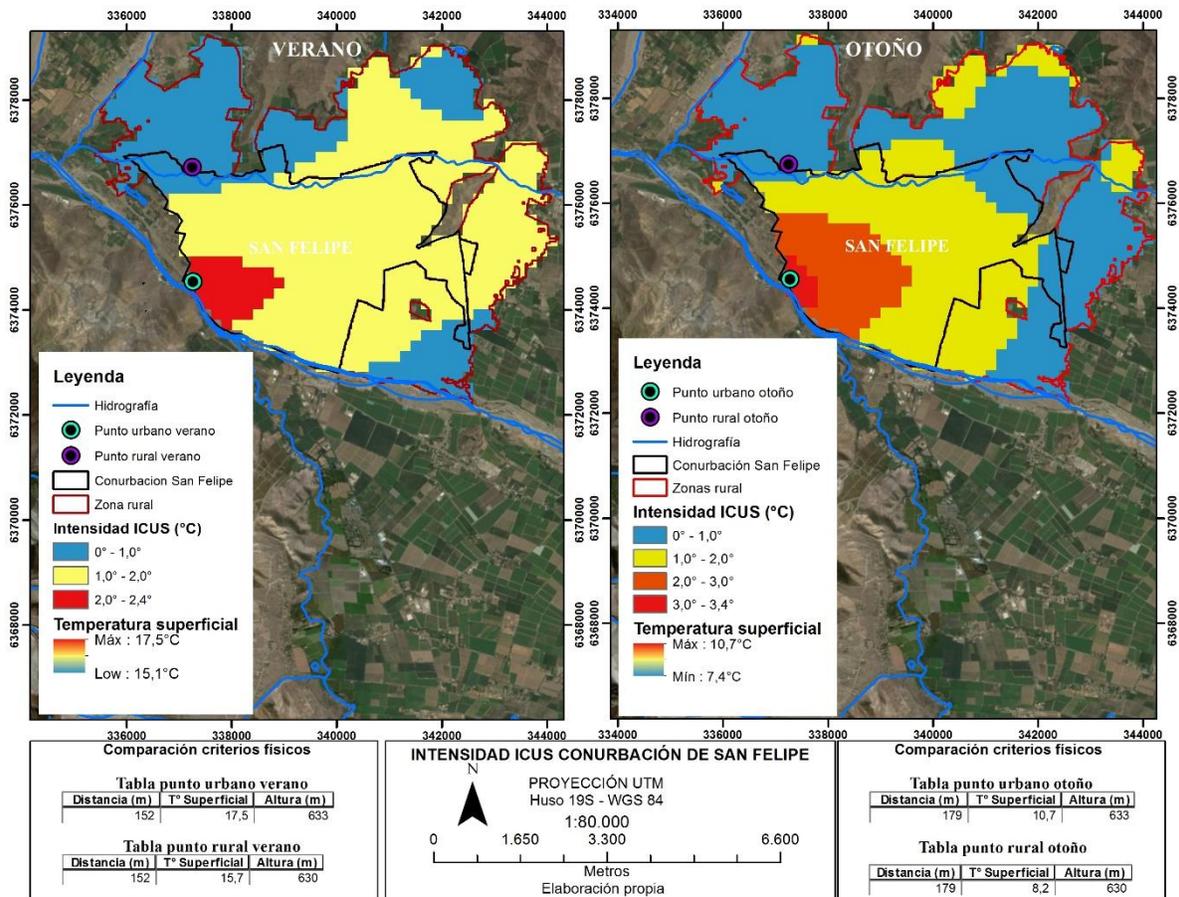
Tiempo	Punto urbano			Punto rural			Intensidad
	Distancia al mar (m)	T° (°C)	Altura (m.s.n.m)	Distancia al mar (m)	T° (°C)	Altura (m.s.n.m)	
Verano	100	13,9°	33	100	13,1°	31	0,8°
Otoño	77	11,1°	29	77	10,5°	30	0,6°
Invierno	82	9,2°	22	82	8,7°	16	0,5°
Primavera	119	12,1°	45	119	12,0°	60	0,1°

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

Anual	86	11,4°	33	92	11,1°	20	0,3°
-------	----	-------	----	----	-------	----	------

Fuente: Elaboración propia

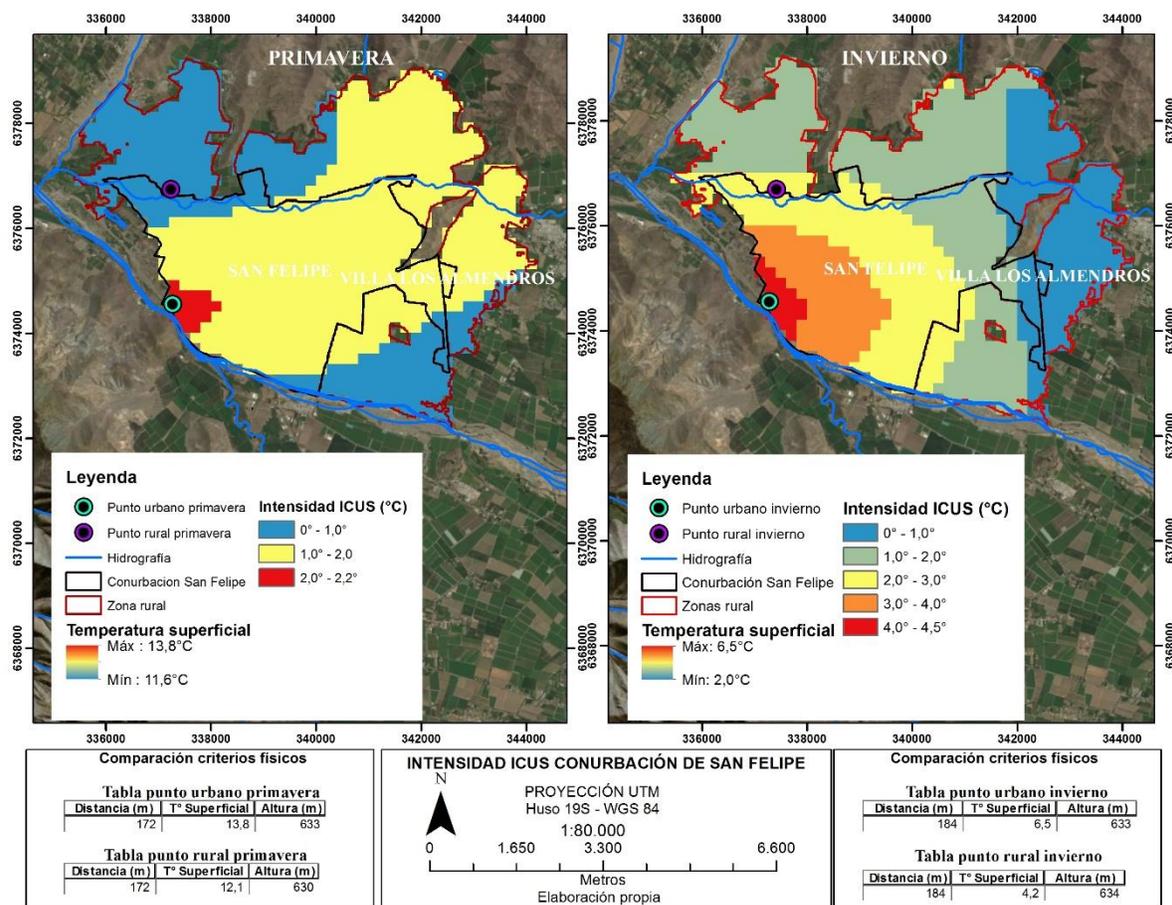
Anexo N°16 Intensidad ICUs nocturna conurbación de San Felipe para verano y otoño



Fuente: Elaboración propia

Anexo N°17 Intensidad ICUs nocturna conurbación de San Felipe para primavera e invierno

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



Fuente: Elaboración propia

Anexo N°18 Máxima Intensidad de la ICUs nocturna con criterios físicos, conurbación de San Felipe

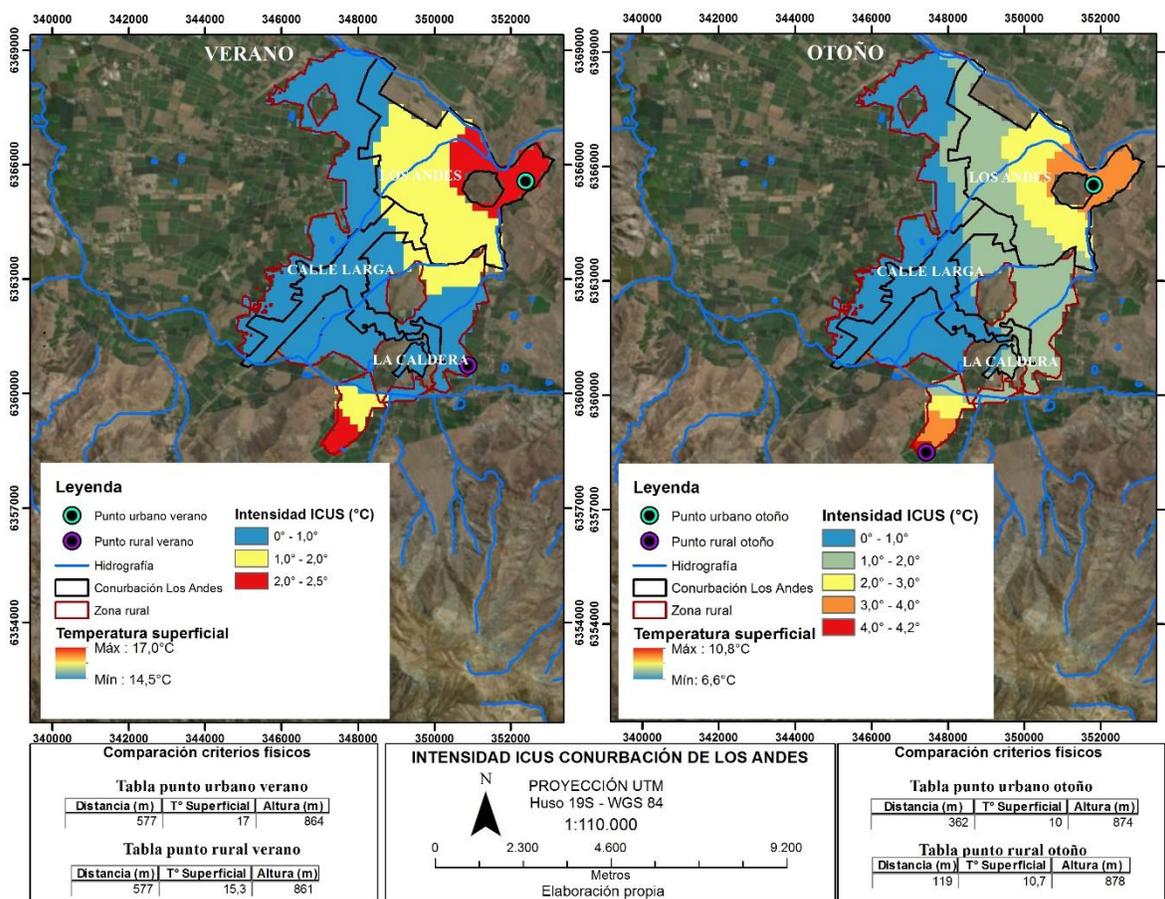
Tiempo	Punto urbano			Punto rural			Intensidad
	Distancia al mar (m)	T° (°C)	Altura (m.s.n.m)	Distancia al mar (m)	T° (°C)	Altura (m.s.n.m)	
Verano	152	17,5°	633	152	15,7°	630	1,8°
Otoño	179	10,7°	633	179	8,2°	630	2,5°
Invierno	184	6,5°	633	184	4,2°	634	2,3°

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

Primavera	172	13,8°	633	172	12,1°	630	1,7°
Anual	45	12,6°	637	153	11,0°	652	1,6°

Fuente: Elaboración propia

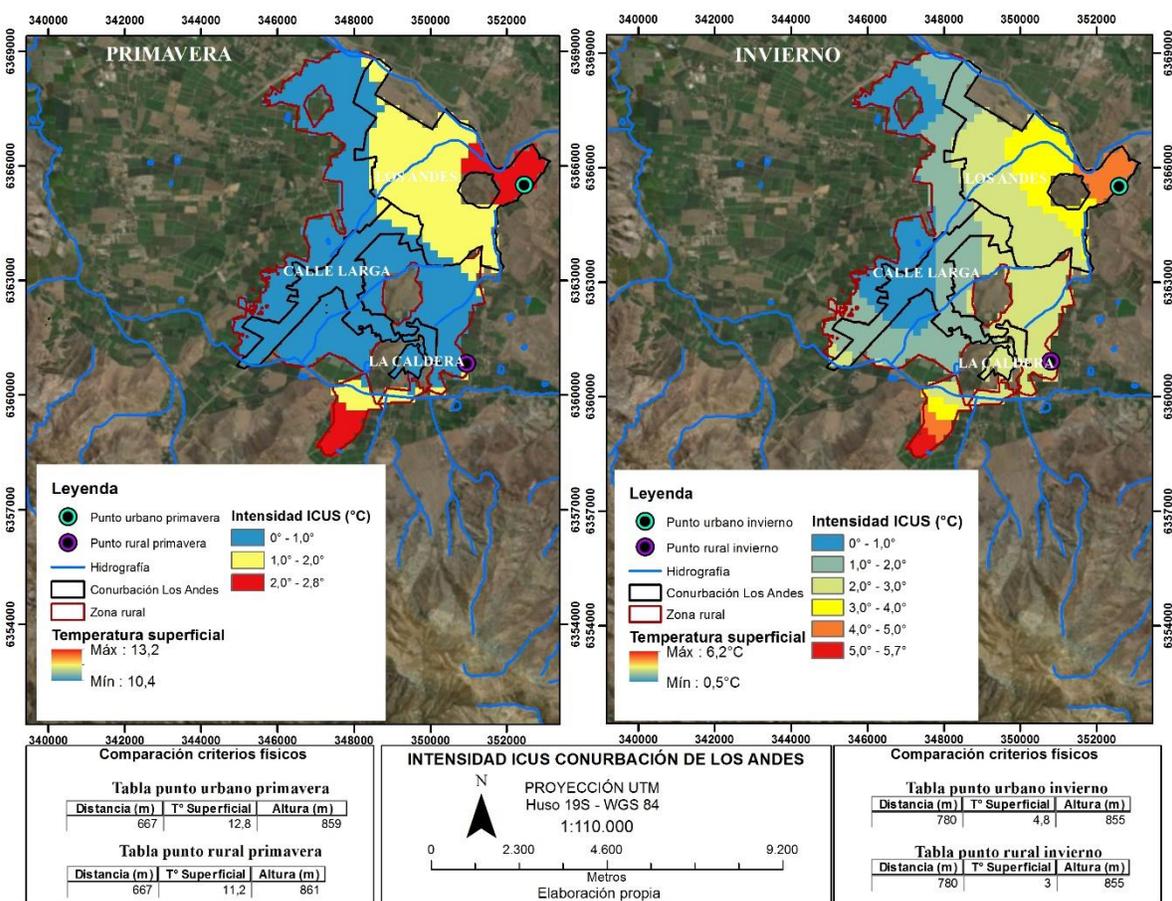
Anexo N°19 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Los Andes para verano y otoño



Fuente: Elaboración propia

Anexo N°20 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Los Andes para invierno y primavera

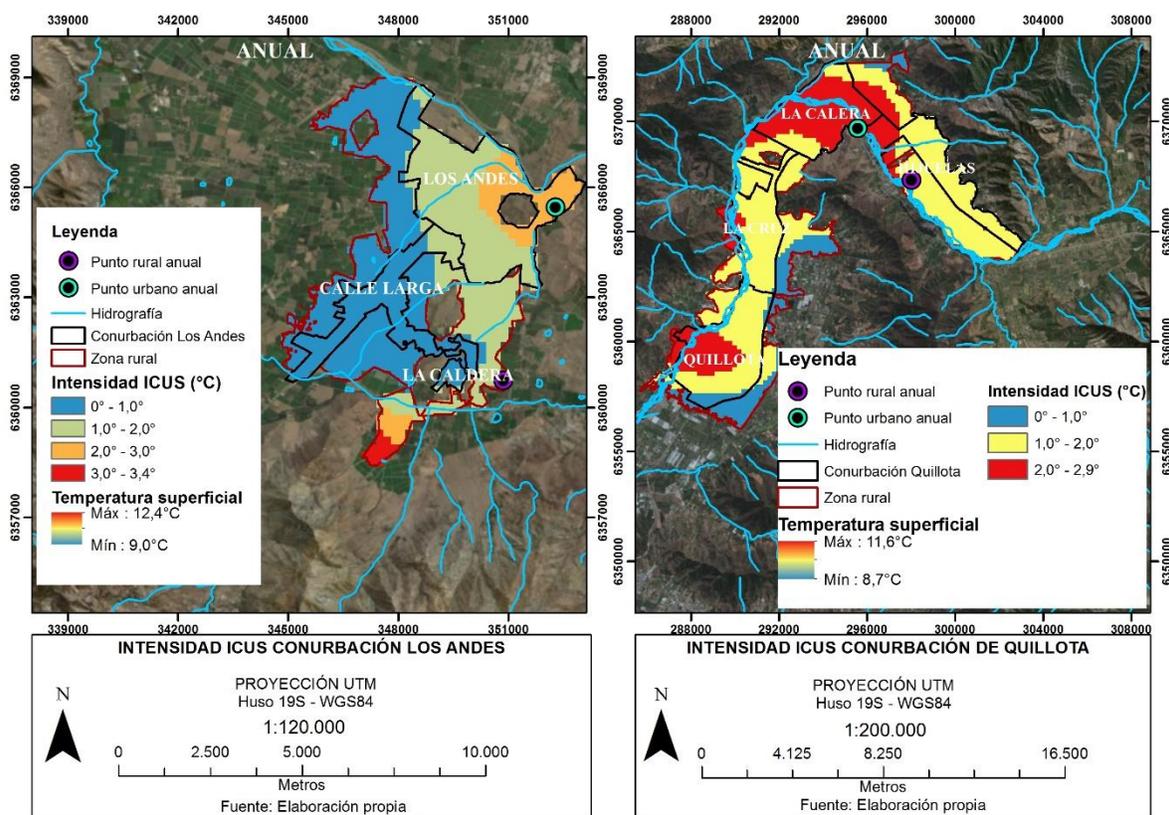
Intensidad de las islas de calor urbanas superficiales en las principales conurbaciones de la V Región de Valparaíso y factores geográficos explicativos para el caso específico de la conurbación del Gran Valparaíso



Fuente: Elaboración propia

Anexo N°21 Intensidad ICUs nocturna anual para las conurbaciones de Los Andes y Quillota

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



Fuente: Elaboración propia

Anexo N°22 Máxima Intensidad de la ICUs nocturna con criterios físicos, conurbación de Los Andes

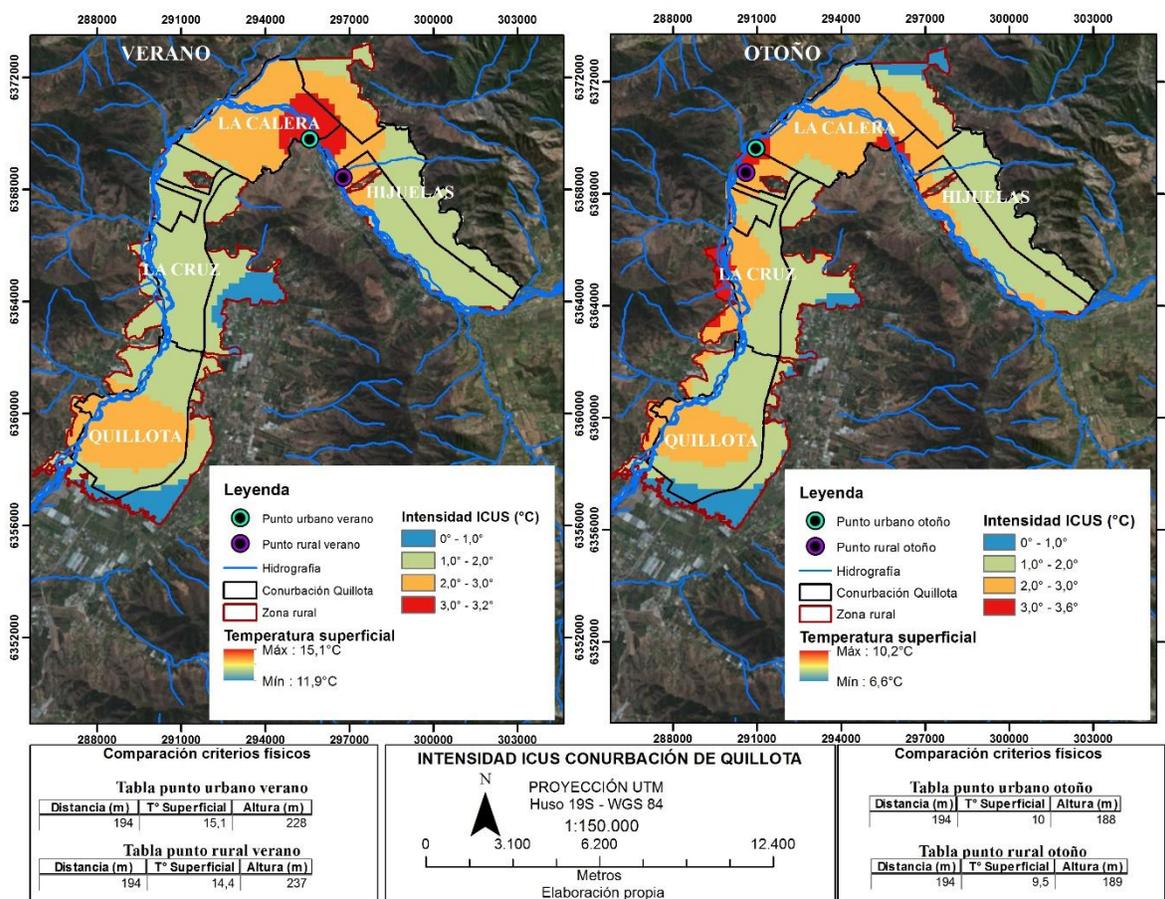
Tiempo	Punto urbano			Punto rural			ICUS
	Distancia al mar (m)	T° (°C)	Altura (m.s.n.m)	Distancia al mar (m)	T° (°C)	Altura (m.s.n.m)	
Verano	577	17,0°	864	577	15,3°	861	1,7°
Otoño	362	10,0°	874	119	10,7°	878	-0,7°
Invierno	780	4,8°	855	780	3,0°	855	1,8°
Primavera	667	12,8°	859	667	11,2°	861	1,6°

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

Anual	583	11,6°	869	582	10,2°	861	1,4°
-------	-----	-------	-----	-----	-------	-----	------

Fuente: Elaboración propia

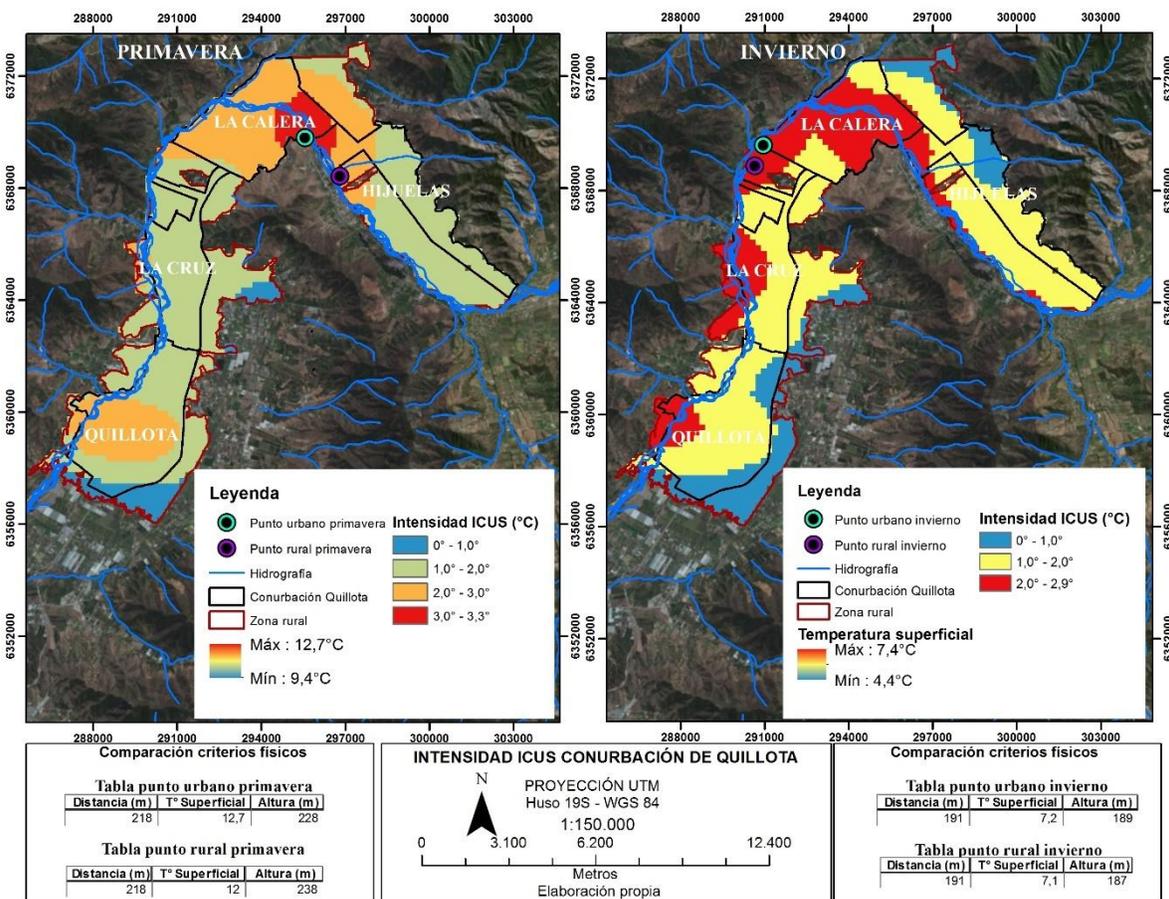
Anexo N°23 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Quillota para verano y otoño



Fuente: Elaboración propia

Anexo N°24 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Quillota para invierno y primavera

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



Fuente: Elaboración propia

Anexo N°25 Máxima Intensidad de la ICUs nocturna con criterios físicos, conurbación de Quillota

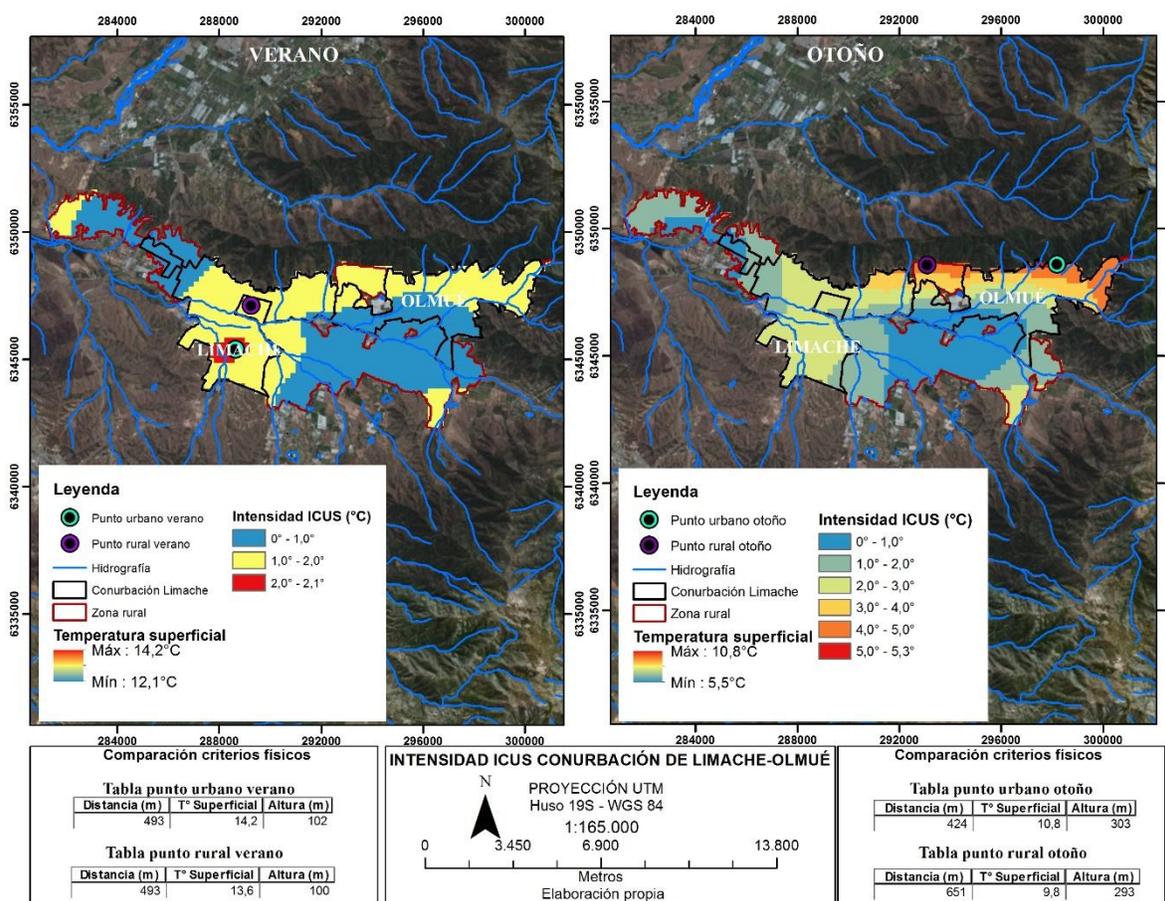
Tiempo	Punto urbano			Punto rural			ICUS
	Distancia al mar (m)	T° (°C)	Altura (m.s.n.m)	Distancia al mar (m)	T° (°C)	Altura (m.s.n.m)	
Verano	194	15,1°	228	194	14,4°	237	0,7°
Otoño	194	10,0°	188	194	9,5°	189	0,5°
Invierno	191	7,2°	189	191	7,1°	187	0,1°

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

Primavera	218	12,7°	228	218	12,0°	238	0,7°
Anual	239	11,6°	229	222	10,5°	250	1,1°

Fuente: Elaboración propia

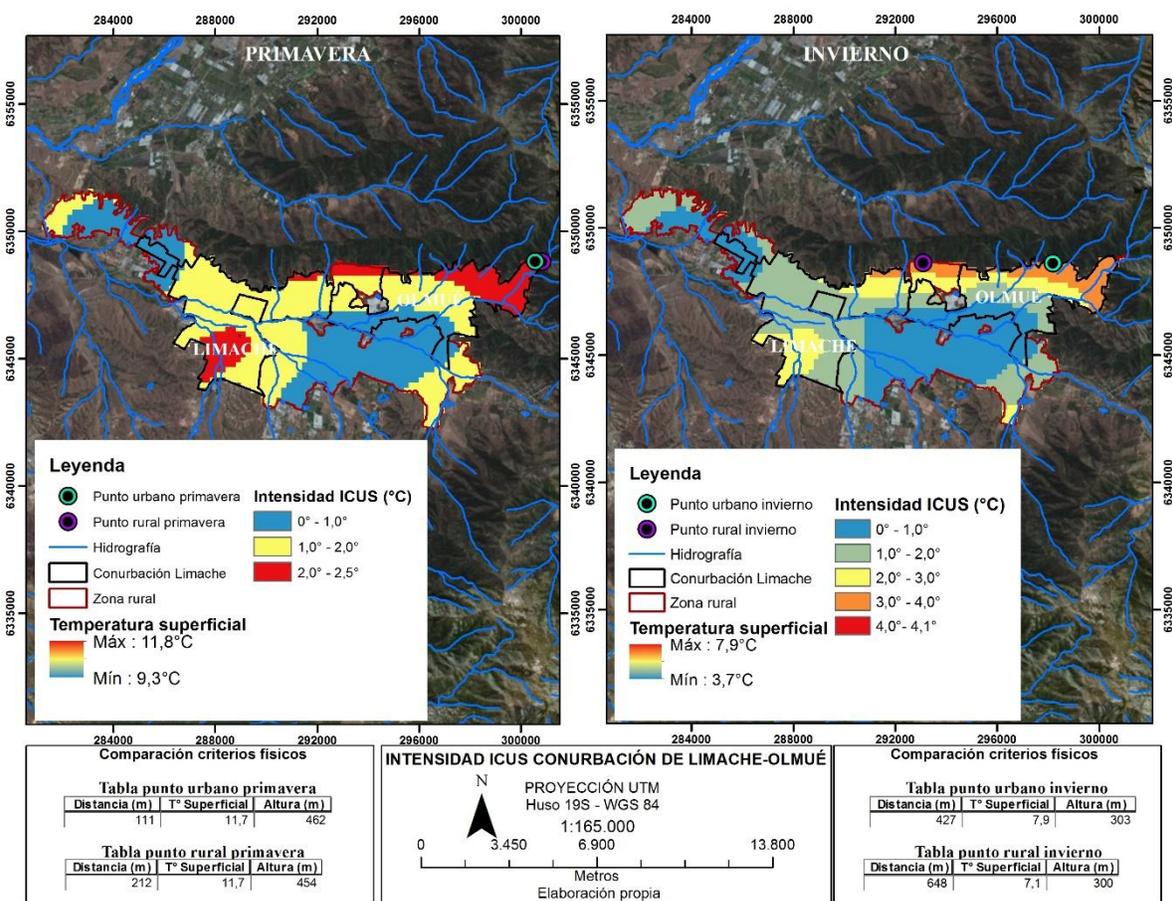
Anexo N°26 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Limache-Olmué para verano y otoño



Fuente: Elaboración propia

Anexo N°27 Intensidad ICUs nocturna conurbación de Limache-Olmué para invierno y primavera

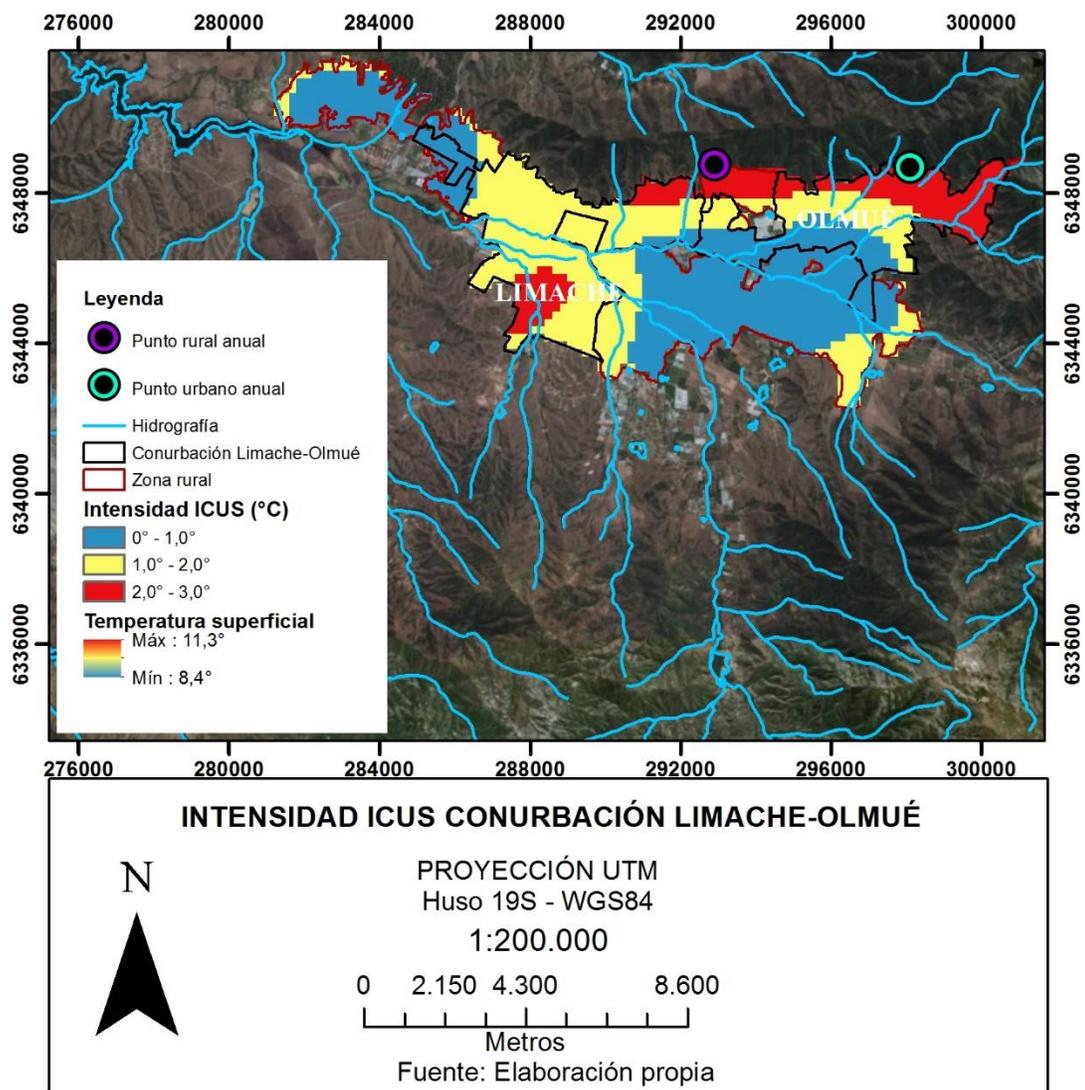
Intensidad de las islas de calor urbanas superficiales en las principales conurbaciones de la V Región de Valparaíso y factores geográficos explicativos para el caso específico de la conurbación del Gran Valparaíso



Fuente: Elaboración propia

Anexo N°28 Intensidad ICUs nocturna anual para la conurbación de Limache-Olmué

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



Fuente: Elaboración propia

Anexo N°29 Máxima Intensidad de la ICUs nocturna con criterios físicos, conurbación de Limache-Olmué

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

Tiempo	Punto urbano			Punto rural			Intensidad
	Distancia al mar (m)	T° (°C)	Altura (m.s.n.m)	Distancia al mar (m)	T° (°C)	Altura (m.s.n.m)	
Verano	493	14,2°	102	493	13,6°	100	0,6°
Otoño	424	10,8°	303	651	9,8°	293	1,0°
Invierno	427	7,9°	303	648	7,1°	300	0,8°
Primavera	111	11,7°	462	212	11,7°	454	0°
Anual	542	11,3°	290	447	10,9°	286	0,4°

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°30 Máxima intensidad de las ICUs nocturna con criterios físicos, conurbaciones de la V Región de Valparaíso

Conurbación	San Antonio	Algarrobo	Gran Valparaíso	Quintero	Maitencillo	San Felipe	Los Andes	Quillota	Limache-Olmué
Verano	1,8°C	1,2°C	2,9°C	2,2°C	0,8°C	1,8°C	1,7°C	0,7°C	0,6°C
Otoño	1,1°C	0,8°C	1,7°C	1,5°C	0,6°C	2,5°C	-0,7°C	0,5°C	1,0°C
Invierno	1,1°C	1,0°C	0,6°C	2,4°C	0,5°C	2,3°C	1,8°C	0,1°C	0,8°C
Primavera	1,2°C	0,8°C	2,6°C	2,3°C	0,1°C	1,7°C	1,6°C	0,7°C	0°C
Anual	0,7°C	0,5°C	2,0°C	1,8°C	0,3°C	1,6°C	1,4°C	1,1°C	0,4°C

Fuente: Elaboración propia

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

Anexo N°31 Máxima intensidad de las ICUs diurna sin criterios físicos, conurbaciones de la V Región de Valparaíso

	San Antonio	Algarrobo	Gran Valparaíso	Maitencillo	San Felipe	Los Andes	Quillota	Limache-Olmué
Anual	8,8°C	6,5°C	16,0°C	6,3°C	5,5°C	4,9°C	5,7°C	7,4°C

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°32 Máxima Intensidad de la ICUs diurna con criterios físicos, conurbaciones de la V Región de Valparaíso

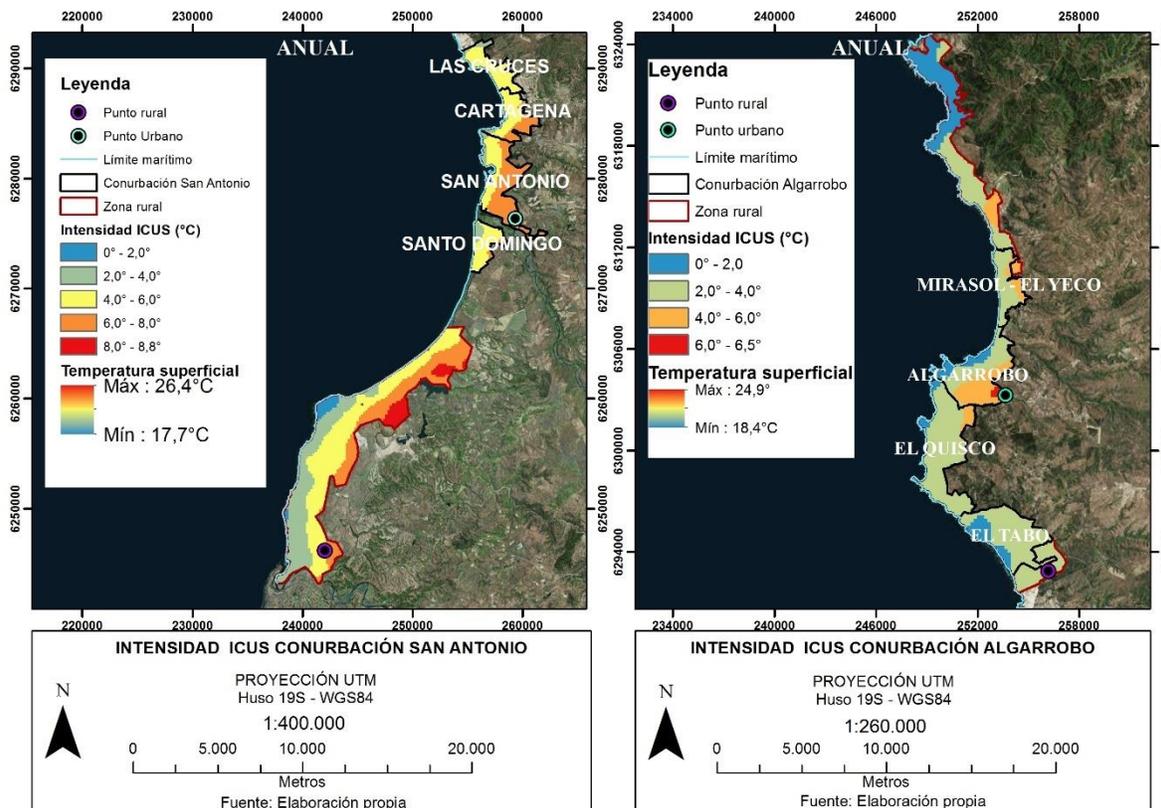
Conurbación	Punto urbano			Punto rural			Intensidad
	Distancia al mar (m)	T° (°C)	Altura (m.s.n.m)	Distancia al mar (m)	T° (°C)	Altura (m.s.n.m)	
San Antonio	3.411	25,9°	126	3.460	23,6°	114	2,3°
Algarrobo	2.838	24,9°	84	2.106	21,4°	84	3,5°
Gran Valparaíso	14	32,3°	134	14	28,4°	137	3,9°
Quintero	1.544	28,9°	55	1.777	26,8°	56	2,1°
Maitencillo	1.449	24,7°	58	1.135	21,4°	57	3,3°
San Felipe	104	35,1°	659	103	31,8°	661	3,3°
Los Andes	791	34,1°	833	786	32,0°	825	2,1°
Quillota	1.945	31,6°	126	1912	29,9°	134	1,7°

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

Limache-Olmué	526	31,0°	104	526	27,7°	103	3,3°
---------------	-----	-------	-----	-----	-------	-----	------

Fuente: Elaboración propia

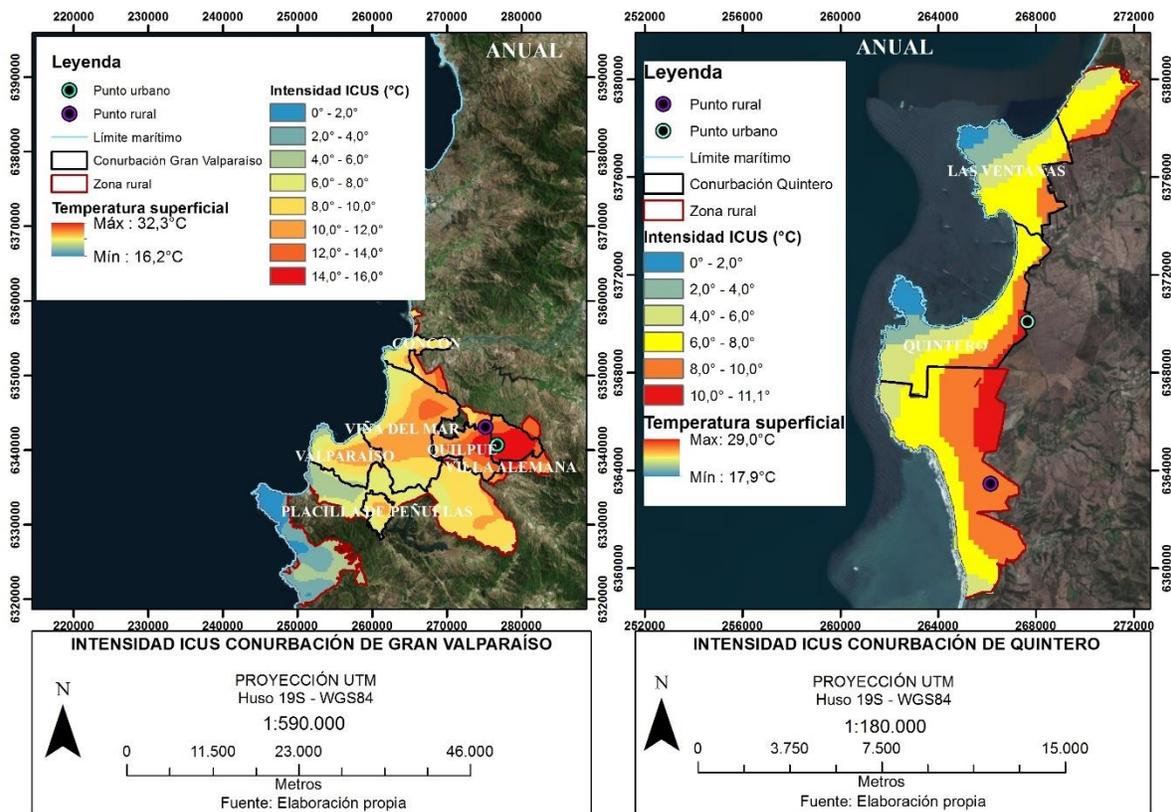
Anexo N°33 Intensidad ICUs diurna anual conurbación de San Antonio y Algarrobo



Fuente: Elaboración propia

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

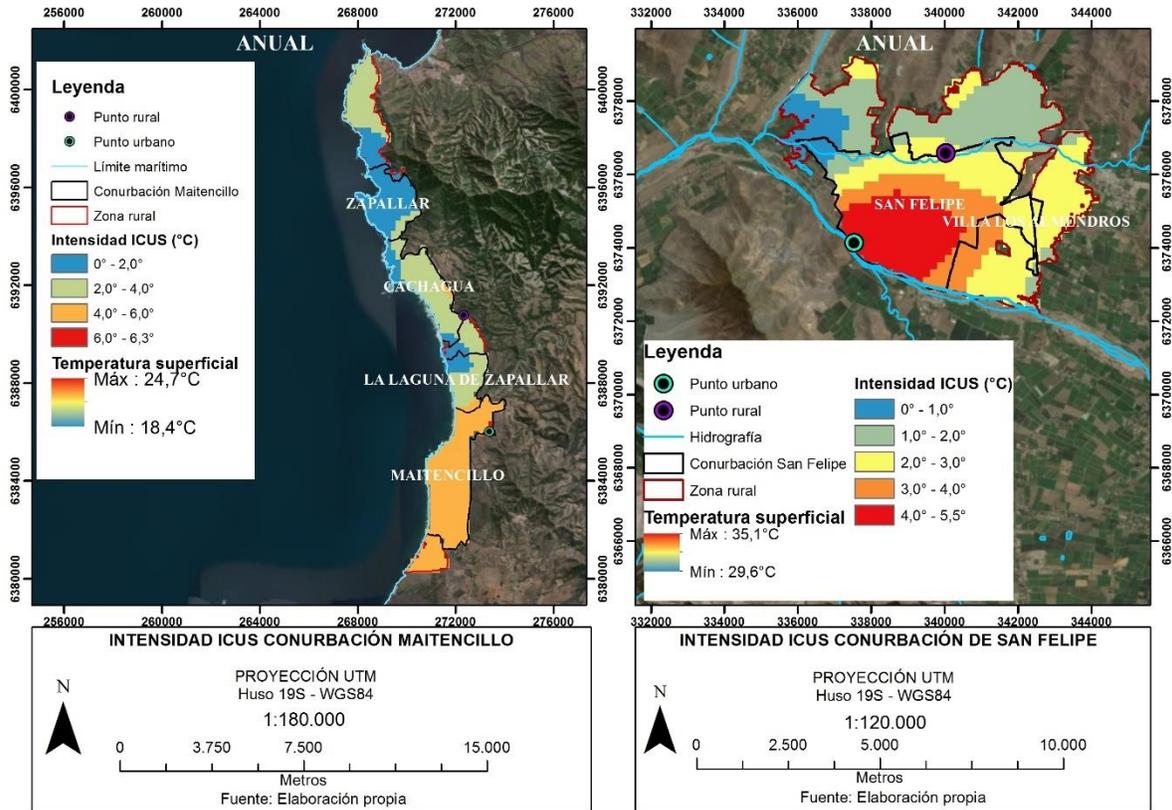
Anexo N°34 Intensidad ICUs diurna anual conurbación de Gran Valparaíso y Quintero



Fuente: Elaboración propia

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

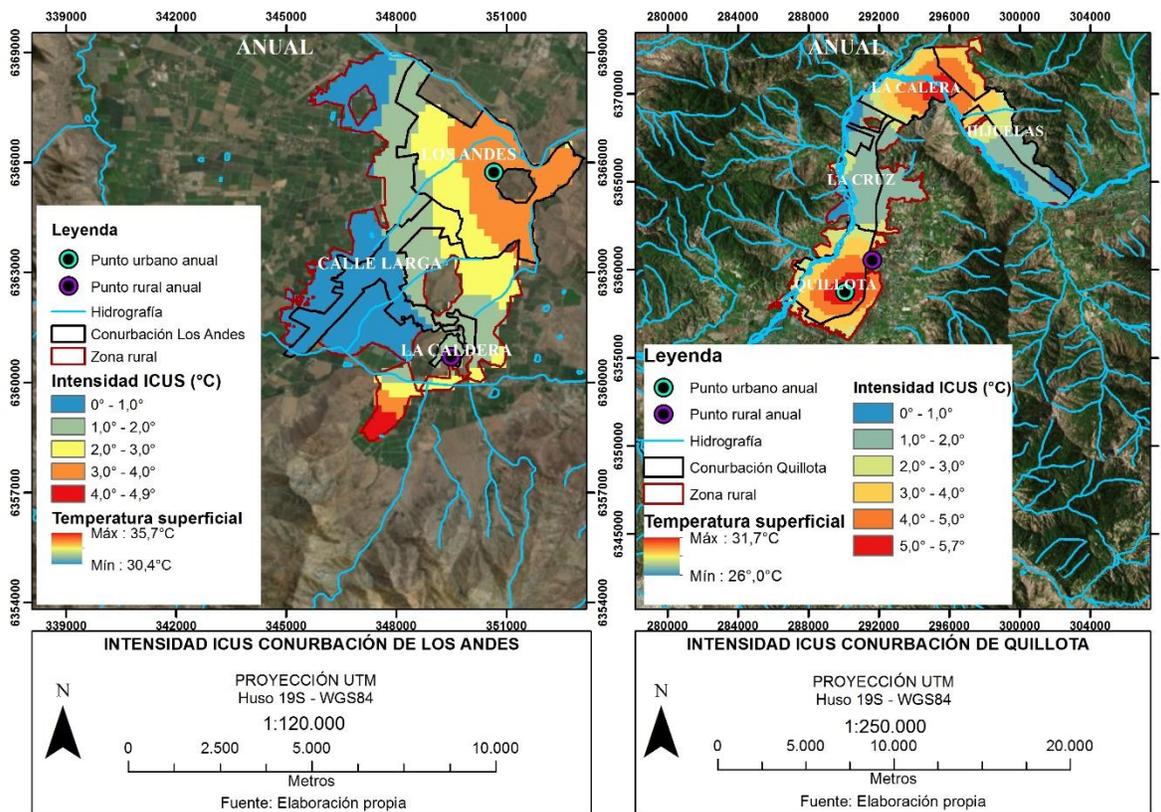
Anexo N°35 Intensidad ICUs diurna anual conurbación de Maitencillo y San Felipe



Fuente: Elaboración propia

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

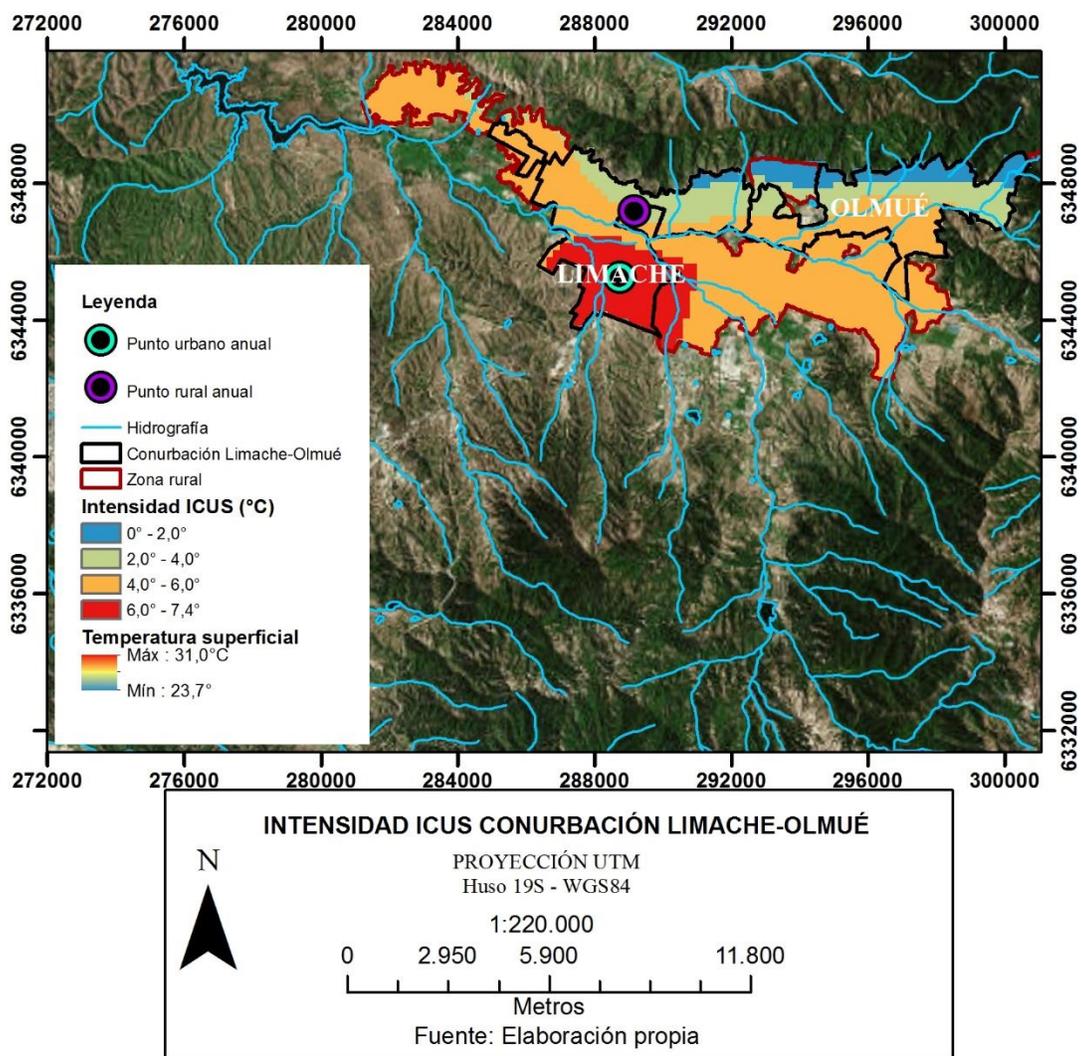
Anexo N°36 Intensidad ICUs diurna anual conurbación de Los Andes y Quillota



Fuente: Elaboración propia

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

Anexo N°37 Intensidad ICUs diurna anual conurbación de Limache-Olmué



Fuente: Elaboración propia

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

Anexo N°38 Total de personas por rango de temperatura y categoría de intensidad de la ICUs, conurbación de San Antonio

CONURBACIÓN DE SAN ANTONIO		
Rango ICUs (°C)	N° de personas	Categoría ICUs
0° - 1,0°	0	Débil
1,0° - 2,0°	7.153	
2,0° - 3,0°	62.801	Moderada
3,0° - 4,0°	64.758	
4,0° - 4,2°	939	Fuerte

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°39 Total de personas por rango de temperatura y categoría de intensidad de la ICUs, conurbación de Algarrobo

CONURBACIÓN DE ALGARROBO		
Rango ICUs (°C)	N° de personas	Categoría ICUs
0° - 1,0°	6.468	Débil
1,0° - 2,0°	30.028	
2,0° - 2,3°	2.509	Moderada

Fuente: Elaboración propia

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

Anexo N°40 Total de personas por rango de temperatura y categoría de intensidad de la ICUs, conurbación de Gran Valparaíso

CONURBACIÓN DE GRAN VALPARAISO		
Rango ICUs (°C)	N° de personas	Categoría ICUs
0° - 1,0°	49	Débil
1,0° - 2,0°	32.321	
2,0° - 3,0°	449.383	Moderada
3,0° - 4,0°	463.231	
4,0° - 5,1°	64.672	Fuerte

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°41 Total de personas por rango de temperatura y categoría de intensidad de la ICUs, conurbación de Quintero

CONURBACIÓN DE QUINTERO		
Rango ICUs (°C)	N° de personas	Categoría ICUs
0° - 1,0°	518	Débil
1,0° - 2,0°	4.921	
2,0° - 3,0°	14.194	Moderada
3,0° - 4,0°	19.081	
4,0° - 4,2°	2.933	Fuerte

Fuente: Elaboración propia

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

Anexo N°42 Total de personas por rango de temperatura y categoría de intensidad de la ICUs, conurbación de Maitencillo

CONURBACIÓN DE MAITENCILLO		
Rango ICUs (°C)	N° de personas	Categoría ICUs
0° - 1,0°	4.542	Débil
1,0° - 1,5°	2.318	

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°43 Total de personas por rango de temperatura y categoría de intensidad de la ICUs, conurbación de San Felipe

CONURBACIÓN DE SAN FELIPE		
Rango ICUs (°C)	N° de personas	Categoría ICUs
0° - 1,0°	16.153	Débil
1,0° - 2,0°	53.722	
2,0° - 2,5°	7.182	Moderada

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°44 Total de personas por rango de temperatura y categoría de intensidad de la ICUs, conurbación de Los Andes

CONURBACIÓN DE LOS ANDES		
Rango ICUs (°C)	N° de personas	Categoría ICUs
0° - 1,0°	12.605	Débil
1,0° - 2,0°	48.733	

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

2,0° - 3,0°	17.159	Moderada
-------------	--------	----------

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°45 Total de personas por rango de temperatura y categoría de intensidad de la ICUS, conurbación de Quillota

CONURBACIÓN DE QUILLOTA		
Rango ICUs (°C)	N° de personas	Categoría ICUs
0° - 1,0°	6.809	Débil
1,0° - 2,0°	88.040	
2,0° - 2,9°	75.314	Moderada

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°46 Total de personas por rango de temperatura y categoría de intensidad de la ICUs, conurbación de Limache-Olmué

CONURBACIÓN DE LIMACHE-OLMUÉ		
Rango ICUs (°C)	N° de personas	Categoría ICUs
0° - 1,0°	8.563	Débil
1,0° - 2,0°	39.145	
2,0° - 3,0°	16.995	Moderada

Fuente: Elaboración propia

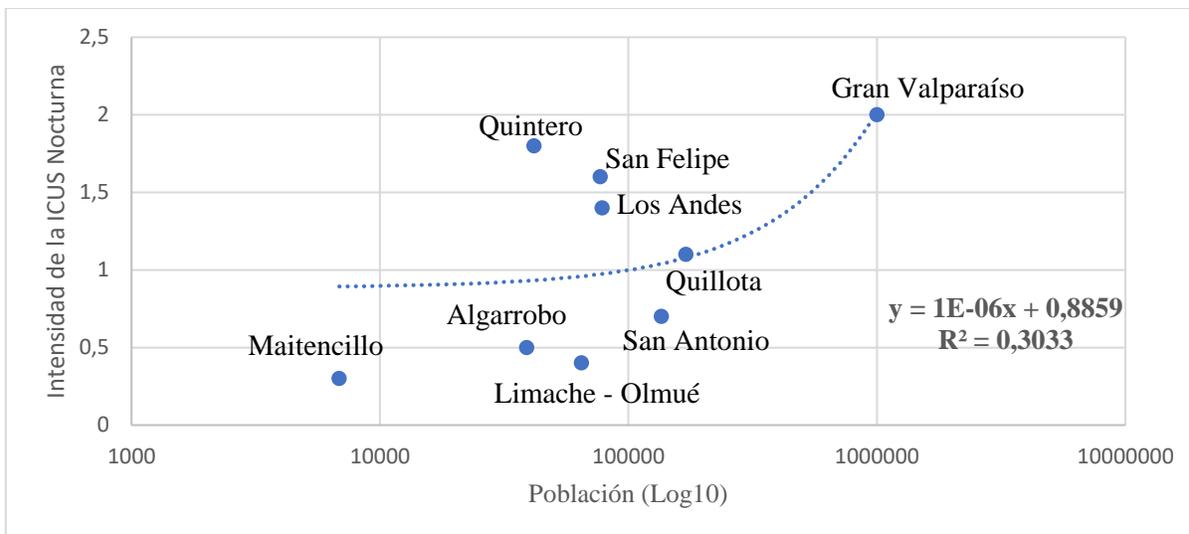
Intensidad de las islas de calor urbanas superficiales en las principales conurbaciones de la V Región de Valparaíso y factores geográficos explicativos para el caso específico de la conurbación del Gran Valparaíso

Anexo N°47 Total de personas por conurbación

Conurbación	Cantidad de población
Gran Valparaíso	1.000.656
Quillota	170.163
San Antonio	135.651
Los Andes	78.497
San Felipe	77.057
Limache-Olmué	64.703
Quintero	41.647
Algarrobo	39.005
Maitencillo	6.860

Fuente: Elaboración propia

Anexo N°48 Gráfico de relación de máxima intensidad de las ICUs nocturnas anuales y población total



Fuente: Elaboración propia