



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA.
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES.
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS SOCIO URBANOS
CENTRO DE ESTUDIOS ESTRATÉGICOS PARA EL DESARROLLO
DOCTORADO EN GEOGRAFÍA Y ORDENACIÓN TERRITORIAL.



Doctorado en Geografía y Ordenación Territorial

Tesis

“Riesgo a la salud por Isla y Ola de Calor en el municipio de Zapopan, México”

Que presenta para obtener el grado de
Doctor en Geografía y Ordenación Territorial
el estudiante:

M. en C. Alejandro Ramón López García

DIRECTOR DE TESIS:

Dra. Bertha Márquez Azúa

Universidad de Guadalajara, México

CO-DIRECTOR:

Dr. Faustino Omar García Concepción

Universidad de Guadalajara, México

GUADALAJARA, JALISCO, ESTADOS UNIDOS MEXICANOS,
DICIEMBRE 2018.

A mi Familia

AGRADECIMIENTOS:

A quienes han colaborado a realizar una labor tan compleja y difícil como lo es culminar un grado académico y una tesis, y que sin esa contribución, no haya sido posible llevarla a cabo.

A mis hijos Belén, Daniel y Samuel; y a mi esposa Araceli, por el gran apoyo que recibí a lo largo de estos cuatro años y por impulsarme cada día a ser mejor como persona, padre y profesionista.

A mis padres y hermanos por su gran apoyo moral.

A mis compañeros de generación Diana, Martha, Cecilia, Lorena, Liliana, Selene, Celio, Roberto y Hugo; por su apoyo moral y académico, y con quienes compartí nuevas enseñanzas con momentos agradables dentro de las aulas durante estos cuatro años.

A la doctores Bertha Márquez, Alicia Torres, Omar García, Mario García y Héctor Ulloa; por ser ejes rectores en todo momento para lograr llegar al cumplimiento de mis metas en el doctorado.

A mis profesores, a la coordinación del doctorado, a la Universidad de Guadalajara y al CONACYT; que fueron sin duda los pilares que permitieron sostener mi permanencia por esta travesía que formó parte de mi preparación académica y de mi vida.

¡A todos ellos y a muchos otros que se escapan de mi memoria, sinceramente mil gracias!



CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS	IX
RESUMEN.....	X
SUMMARY	X
RESUMO	XI
INTRODUCCIÓN	1
Capítulo 1. Consideraciones y aspectos preliminares de investigación	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Las Tecnologías de la Información Geográfica	5
1.2.1 La Percepción Remota	5
1.2.2 El espectro electromagnético.....	6
1.3 La Isla de Calor Urbana del Aire	7
1.5 Las Olas de Calor	10
1.6 El Ozono Troposférico.....	11
Capítulo 2. Marco teórico-conceptual. Antecedentes de investigación	13
2.1 La ICUS e indicadores ambientales	13
2.2 La ICUS relacionada con la cobertura, uso del suelo y la expansión urbana.....	14
2.3 La ICUS vinculada con indicadores socioeconómicos, sociodemográficos y aspectos de vulnerabilidad de la población	19
2.4 La evaluación del riesgo a la Salud por ICUS y Olas de Calor.....	22
2.5 Medidas de adaptación, mitigación y reducción por ICUS	23
2.6 Las Olas de Calor, la salud y métodos de estimación	25
2.7 El Ozono, la salud y las variables meteorológicas	27
Capítulo 3. Planteamiento metodológico.....	29
3.1 Área de estudio.....	29
3.2 Imágenes LANDSAT.....	30
3.3 Base de datos del Sistema de Monitoreo Atmosférico de Jalisco	33
3.4 Conjunto de datos vectoriales y estadísticos	34
3.5 Metodología	35
3.5.1 Fase preliminar.....	35
3.5.2 Fase de procesamiento y análisis.....	36



Capítulo 4. Resultados y discusión	38
4.1 Cálculo e identificación de la época de calor	38
4.1.1 Comportamiento interanual de la Temperatura máxima del aire	39
4.1.2 Comportamiento intermensual de la Temperatura máxima del aire.....	40
4.1.3 Comportamiento diario de la Temperatura máxima del aire	42
4.1.4 Comportamiento horario de la Temperatura promedio para cada mes	43
4.2 Cálculo de las Olas de Calor	43
4.3 Índice de Peligrosidad de Ola de Calor	46
4.4 Estimación de la Temperatura superficial	48
4.5 Estimación de la Isla de Calor Urbana Superficial.....	51
4.6 Estimación del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada	56
4.7 Relación de la ICUS con la Ola de Calor.....	57
4.8 Capa de exposición.....	59
4.8.1 Grupo de población total	60
4.9 Capa de vulnerabilidad.....	63
4.9.1 Grupo con falta de acceso a la educación.....	63
4.9.2 Grupo de viviendas con limitaciones	68
4.9.3 Grupo de edad extrema	74
4.9.4 Grupo de densidad de población	79
4.9 Construcción del Índice de Riesgo a la Salud por Isla de Calor Urbano Superficial	84
4.10 Análisis comparativo del riesgo entre colonias.....	87
4.11 Propuesta para la reducción del Índice de Riesgo a la Salud por ICUS	91
4.11.1 Análisis de regresión entre NDVI y Ts	92
4.11.2 Colonia Miramar	93
4.11.3 Colonia Santa Margarita Poniente.....	95
4.11.4 Colonia Arenales Tapatíos	97
4.11.5 Colonia San Juan de Ocotán.....	99
4.11.6 Colonia Arcos de Zapopan.....	100
4.11.7 Colonia Villa de Guadalupe	102
4.11.8 Colonia Santa Ana Tepetitlán	104
4.12 Comportamiento de la concentración de Ozono	107
4.12.1 Comportamiento intermensual histórico de la concentración de Ozono.....	108



4.13 Valores límites de Ozono para protección de la salud	110
4.13.1 Valor límite de 0.095 ppm para una hora	111
4.13.2 Valor límite histórico para la estación Las Águilas.....	112
4.13.3 Valor límite histórico para la estación Atemajac	116
4.13.4 Valor límite histórico para la estación Vallarta	120
4.13.5 Valor límite de 0.070 ppm para el promedio móvil de 8 horas	124
4.14 Distribución temporal del peligro por concentración horaria de Ozono	127
4.15 Consideraciones previas en la construcción del Índice del Riesgo a la Salud por Ozono ..	130
4.16 Capa de exposición.....	131
4.16.1 Grupo de población total	132
4.17 Capa de vulnerabilidad.....	136
4.17.1 Grupo de población menor a 14 años	136
4.17.2 Grupo de población de 65 años y más.....	140
4.18 Construcción del Índice de Riesgo a la Salud por Ozono	145
Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones	149
5.1 Conclusiones	149
5.2 Recomendaciones.....	151



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Perfil típico de ICUA.....	7
Figura 1.2 Diversos valores de albedos dentro de la ciudad.	9
Figura 3.1 Localización geográfica del municipio de Zapopan.	29
Figura 3.2 Conjunto de colonias del municipio de Zapopan.....	30
Figura 3.3 Escena correspondiente al sistema WRS2 de LANDSAT 8.....	32
Figura 3.4 Rango de observación espectral para los distintos sensores LANDSAT y su transmisión atmosférica.	33
Figura 3.5 Localización geográfica del SIMAJ.....	34
Figura 3.6 Diagrama de decisión del IRS por ICUS..	37
Figura 3.7 Diagrama de identificación del Índice de Riesgo a la Salud por Ozono (IRSO).	38
Figura 4.1 Comportamiento interanual de la T_{max} promedio.....	39
Figura 4.2 Anomalías interanuales de la T_{max}	40
Figura 4.3 Comportamiento intermensual de la T_{max}	41
Figura 4.4 Anomalías intermensuales de la T_{max}	42
Figura 4.5 Comportamiento promedio diario de la T_{max} para el periodo 1996-2016.	43
Figura 4.6 Promedio de la marcha diaria de la temperatura en cada mes.	44
Figura 4.7 Índice de Peligrosidad por Ola de Calor (IPOC).	48
Figura 4.8 Temperatura superficial de Zapopan.	52
Figura 4.9 Puntos de muestreo sobre el área urbana de Zapopan.	53
Figura 4.10 Temperatura superficial de los puntos de muestreo sobre el área urbana de Zapopan. .	53
Figura 4.11 Colonias que experimentaron ICUS	54
Figura 4.12 Distribución de frecuencias de T_s de las colonias que experimentan ICUS.	55
Figura 4.13 Distribución espacial de las colonias que experimentan ICUS.....	56
Figura 4.14 Distribución espacial del NDVI de las 578 colonias que experimentan ICUS.....	57
Figura 4.15 Comportamiento de la T_s y la T_{max} para la Ola de Calor del año 2000.....	58
Figura 4.16 Diagrama de dispersión entre la T_s y la T_{max} y ecuación de regresión lineal con sus estadísticos R y R ² para la Ola de Calor del 2000.	59
Figura 4.17 a, b y c <i>Población total</i> para las 197 colonias que experimentan ICUS.	62
Figura 4.18 <i>Población total</i> (capa de exposición) por colonia con presencia de ICUS.	62
Figura 4.19 a, b y c <i>Población con falta de acceso a la educación</i>	66
Figura 4.20 <i>Población ≥ 15 años y analfabeta</i>	67
Figura 4.21 <i>Población ≥ 15 años con primaria incompleta</i>	67
Figura 4.22 a, b y c <i>Grupo de limitaciones en la vivienda</i>	74
Figura 4.23 a, b y c <i>Grupo de edad extrema</i>	78
Figura 4.24 Distribución espacial de la <i>población de 0–4 años</i>	78
Figura 4.25 Distribución espacial de la <i>población de 65 años y más</i>	79
Figura 4.26 a, b y c <i>Grupo de densidad de población</i>	83
Figura 4.27 Distribución espacial del grupo de densidad de población.	83
Figura 4.28 Distribución espacial del Índice de Riesgo a la Salud por ICUS.....	85
Figura 4.29 Distribución espacial de las catorce colonias de IRS por ICUS de <i>muy alto y moderado</i>	89



Figura 4.30 Diferencia del promedio de las variables de vulnerabilidad (población) entre los grupos de IRS por ICUS de <i>muy alto</i> y <i>moderado</i>	90
Figura 4.31 Diferencia del promedio de las variables de vulnerabilidad (limitaciones en la vivienda) entre los grupos de IRS por ICUS de <i>muy alto</i> y <i>moderado</i>	91
Figura 4.32 Gráfico de dispersión entre T_s y NDVI, ecuación de regresión, R y R^2	93
Figura 4.33 Distribución espacial de las áreas verdes de la colonia Miramar.....	94
Figura 4.34 Viviendas particulares de la colonia Miramar.	95
Figura 4.35 Distribución espacial de las áreas verdes de la colonia Santa Margarita Poniente	96
Figura 4.36 Viviendas particulares en colonia Santa Margarita Poniente.....	97
Figura 4.37 Distribución espacial de las áreas verdes de la colonia Arenales Tapatíos.....	98
Figura 4.38 Viviendas particulares en la colonia Arenales Tapatíos.	99
Figura 4.39 Distribución espacial de las áreas verdes de la colonia San Juan de Ocotán.....	99
Figura 4.40 Colonia San Juan de Ocotán.	100
Figura 4.41 Distribución espacial de las áreas verdes de la colonia Arcos de Zapopan.	101
Figura 4.42 Edificios de departamentos de INFONAVIT en colonia Arcos de Zapopan.....	102
Figura 4.43 Distribución espacial de las áreas verdes de la colonia Villa de Guadalupe.	103
Figura 4.44 Panorámica de la colonia Villa de Guadalupe.	104
Figura 4.45 Distribución espacial de las áreas verdes de la colonia Santa Ana Tepetitlán.....	105
Figura 4.46 Viviendas particulares en la colonia Santa Ana Tepetitlán.....	106
Figura 4.47 Áreas necesarias para forestar por colonia.....	106
Figura 4.48 Comportamiento medio interanual de la concentración de Ozono.	108
Figura 4.49 Comportamiento de la concentración de Ozono intermensual.	109
Figura 4.50 Concentración media de Ozono para el periodo 1996-2016.....	110
Figura 4.51 Frecuencias horarias interanuales por estación para la época cálida.	111
Figura 4.52 Frecuencias horarias diarias de concentración de Ozono para la época cálida en la estación <i>Las Águilas</i>	114
Figura 4.53 Valores límites de las concentraciones máximas de Ozono para la estación <i>Las Águilas</i>	116
Figura 4.54 Frecuencias horarias diarias de concentración de Ozono para la época cálida en estación <i>Atemajac</i>	118
Figura 4.55 Valores límites de las concentraciones máximas de Ozono para la estación <i>Atemajac</i>	120
Figura 4.56 Frecuencias horarias diarias de concentración de Ozono para la época en estación <i>Vallarta</i>	122
Figura 4.57 Valores límites de las concentraciones máximas de Ozono para la estación <i>Atemajac</i>	124
Figura 4.58 Comportamiento medio interanual de la concentración de Ozono.	125
Figura 4.59 Concentración máxima interanual de Ozono por estación (0.070 ppm).....	126
Figura 4.60 Frecuencias horarias interanuales de la época cálida por estación.	127
Figura 4.61 Frecuencias interhorarias de Ozono durante época cálida en el periodo de estudio. ...	128
Figura 4.62 Frecuencias semanales de Ozono durante época cálida el periodo de estudio.	129
Figura 4.63 Áreas de coberturas para cada estación con sus colonias correspondientes.	131



Figura 4.64 Población total (exposición) para las colonias pertenecientes a la estación <i>Las Águilas</i> .	133
Figura 4.65 Distribución de la exposición para la estación <i>Las Águilas</i> .	133
Figura 4.66 Población total (exposición) para las colonias pertenecientes a la estación <i>Atemajac</i> .	134
Figura 4.67 Distribución de la exposición para la estación <i>Atemajac</i> .	134
Figura 4.68 Población total (exposición) para las colonias pertenecientes a la estación <i>Vallarta</i> .	135
Figura 4.69 Distribución de la exposición para la estación <i>Vallarta</i> .	136
Figura 4.70 Población menor de 14 años para las colonias pertenecientes a la estación <i>Las Águilas</i> .	138
Figura 4.71 Distribución de la vulnerabilidad (población <14 años) para la estación <i>Las Águilas</i> .	138
Figura 4.72 Población menor de 14 años para las colonias pertenecientes a la estación <i>Atemajac</i> .	139
Figura 4.73 Distribución de la vulnerabilidad (población $\leq$ 14 años) para la estación <i>Atemajac</i> .	139
Figura 4.74 Población menor de 14 años para las colonias pertenecientes a la estación <i>Vallarta</i> .	140
Figura 4.75 Distribución de la vulnerabilidad (población $\leq$ 14 años) para la estación <i>Vallarta</i> .	140
Figura 4.76 Población de 65 años y más para las colonias pertenecientes a la estación <i>Las Águilas</i> .	142
Figura 4.77 Distribución de la vulnerabilidad (población $\geq$ 65 años) para la estación <i>Las Águilas</i> .	142
Figura 4.78 Población de 65 años y más para las colonias pertenecientes a la estación <i>Atemajac</i> .	143
Figura 4.79. Distribución de la vulnerabilidad (población $\geq$ 65 años) para la estación <i>Atemajac</i> .	143
Figura 4.80 Población de 65 años y más para las colonias pertenecientes a la estación <i>Vallarta</i> .	144
Figura 4.81 Distribución de la vulnerabilidad (población $\geq$ 65 años) para la estación <i>Vallarta</i> .	144
Figura 4.82 Índice de Riesgo a la Salud por Ozono para colonias de Zapopan.	146
Figura 4.83. Distribución espacial del Índice de Riesgo a la Salud por Ozono para las colonias de Zapopan.	149

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Olas de Calor y días cálidos en el periodo 1996-2016.	44
Tabla 4.2 Resumen de Olas de Calor y días cálidos en el periodo 1996-2016.	46
Tabla 4.3 Constantes de calibración de la banda TIR para LANDSAT 8.	49
Tabla 4.4 Criterios de selección de las imágenes LANDSAT 8	50
Tabla 4.5 Conjunto de imágenes seleccionadas para el estudio.	50
Tabla 4.6 Población total (exposición) y conjunto de colonias con ICUS	60
Tabla 4.7 Población con falta de acceso a la educación.	64
Tabla 4.8 Viviendas con limitaciones por colonia.	69
Tabla 4.9 Grupos de edad extrema por colonia.	75
Tabla 4.10 Densidad de población por colonia	80
Tabla 4.11 Índice de Riesgo a la Salud por ICUS	86
Tabla 4.12 Colonias empleadas en el análisis comparativo con sus respectivos valores de IRS por ICUS.	88



Tabla 4.13 Variables y valores promedio usados en el IRS por ICUS para los dos grupos y su diferencia.....	88
Tabla 4.14 Estadísticas de la situación térmica y de vegetación y propuesta de reducción de la T_s para la colonia Miramar.	94
Tabla 4.15 Estadísticas de la situación térmica y de vegetación y propuesta de reducción de la T_s para la colonia Santa Margarita Poniente.....	96
Tabla 4.16 Estadísticas de la situación térmica y de vegetación y propuesta de reducción de la T_s para la colonia Arenales Tapatíos.	98
Tabla 4.17 Estadísticas de la situación térmica y de vegetación y propuesta de reducción de la T_s para la colonia San Juan de Ocotán.....	100
Tabla 4.18 Estadísticas de la situación térmica y de vegetación y propuesta de reducción de la T_s para la colonia Arcos de Zapopan.	102
Tabla 4.19 Estadísticas de la situación térmica y de vegetación y propuesta de reducción de la T_s (columna sombreada) para la colonia Villa de Guadalupe.....	103
Tabla 4.20 Estadísticas de la situación térmica y de vegetación y propuesta de reducción de la T_s para la colonia Santa Ana Tepetitlán.....	105
Tabla 4.21 Representatividad de los registros horarios.....	111
Tabla 4.22 Frecuencias horarias (>0.095 ppm) para la estación <i>Las Águilas</i>	113
Tabla 4.23 Valores máximos históricos de Ozono (>0.095 ppm) para la estación <i>Las Águilas</i>	115
Tabla 4.24 Frecuencias horarias (>0.095 ppm) para la estación <i>Atemajac</i>	117
Tabla 4.25 Valores máximos históricos de Ozono (>0.095 ppm) para la estación <i>Atemajac</i>	119
Tabla 4.26 Frecuencias horarias (>0.095 ppm) para la estación <i>Vallarta</i>	121
Tabla 4.27 Valores máximos históricos de Ozono (>0.095 ppm) para la estación <i>Vallarta</i>	123
Tabla 4.28 Identificación horaria de la intensidad de concentración de Ozono por estación	128
Tabla 4.29 Distribución de los días de la época cálida en semanas.	129
Tabla 4.30 <i>Población total</i> por colonia (exposición).	132
Tabla 4.31 <i>Población menor a 14 años</i> a nivel de colonia (vulnerabilidad).....	137
Tabla 4.32 <i>Población de 65 años y más</i> a nivel de colonia (vulnerabilidad).	141



ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

AGEB: Área Geoestadística Básica	NO_x: Oxidos de nitrógeno
AMG: Área Metropolitana de Guadalajara	NO₂: Dióxido de nitrógeno
CO: Monóxido de carbono	NWS: National Weather Service
COV: Compuestos Orgánicos Volátiles	O₃: Ozono
ERTS: Earth Resources Technology Satellites	OLI: Operational Land Imager
ESRI: Environmental System Research Institute	OMM: Organización Meteorológica Mundial
ETM+: Enhanced Thematic Mapper Plus	OMS: Organización Mundial de la Salud
GMT: Greenwich Meridian Time	PIB: Producto Interno Bruto
ICUS: Isla de Calor Urbana Superficial	PM₁₀: Material particulado <10 micras
ICUA: Isla de Calor Urbana del Aire	ppm: Partes por millón
IDH: Índice de Desarrollo Humano	RAMA: Red Automática de Monitoreo Atmosférico
IFU: Islas Frescas Urbanas	PR: Percepción Remota
IIEG: Instituto de Información Estadística Geográfica de Jalisco	SEMADET: Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial
INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía	SIG: Sistema de Información Geográfica
IPOC: Índice de Peligrosidad por Ola de Calor	SIMAJ: Sistema de Monitoreo Atmosférico de Jalisco
IRC: Infrarrojo cercano	SO₂: Dióxido de azufre
IRM: Infrarrojo medio	T_a: Temperatura del aire
IRS por ICUS: Índice de Riesgo a la Salud por Isla de Calor Urbana Superficial	T_b: Temperatura de brillo
IRSO: Índice de Riesgo a la Salud por Ozono	TM: Thematic Mapper
IRT: Infrarrojo térmico	T_{max}: Temperatura máxima del aire
ISA: Impervious Surface Area	T_{min}: Temperatura mínima del aire
µm: Micrómetros	TIG: Tecnologías de la Información Geográfica
MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer	TIR: Thermal Infrared
MSS: Multi Scanner Sensor	TIRS: Thermal Infrared Sensor
MW: Microondas	Ts: Temperatura superficial
NDVI: Normalized Difference Vegetation Index	US EPA: United States Environmental Protection Agency
	USGS: United States Geological Survey
	VIS: Visible spectrum
	WRF: Weather Research and Forecasting
	WRS: Worldwide Reference System



RESUMEN

El ser humano se encuentra intrínsecamente enlazado con el ambiente y cualquier variación lo afecta, desequilibrando su bienestar. En este sentido, la Isla de Calor Urbana del Aire y la Isla de Calor Urbana Superficial son fenómenos físicos que influyen en la salud del individuo. Tanto ambas Islas Térmicas como las Olas de Calor, pueden manifestarse por un incremento de la temperatura en las ciudades o en zonas densamente construidas en comparación con áreas rurales y periferias menos urbanizadas. La cantidad y salud de la vegetación es un factor que incide directamente en la carga térmica que recibe la superficie, que en época cálida aumenta considerablemente el riesgo a ser afectado en su salud. El objetivo de la presente investigación es evaluar el riesgo a la salud por Isla y Ola de Calor, además de la asociación con la concentración de Ozono en la época cálida seca en el municipio de Zapopan, Jalisco, México. Mediante la aplicación de dos modelos espaciales y los SIG (Sistemas de Información Geográfica), además del análisis de los registros de tres estaciones de monitoreo atmosférico e imágenes satelitales multiespectrales LANDSAT 8 en el periodo 1996-2016, en conjunción con la información de variables sociodemográficas del Censo de Población y Vivienda del año 2010, se obtuvo un diagnóstico del riesgo a la salud de la población de Zapopan basado en los componentes de vulnerabilidad y peligro. Se creó el Índice de Peligrosidad por Ola de Calor como una guía cuantitativa del bienestar térmico y la salud. El mes de mayo resultó con la mayor cantidad de eventos de Olas de Calor y con la mayor intensidad, promediando 33.6 °C. Un rasgo de la presente investigación que difiere de lo reportado por la comunidad científica, es que en el área de estudio, la Isla de Calor Urbano Superficial se presenta en zonas rurales dedicadas a la agricultura de temporal. Con el Índice de Riesgo a la Salud por Isla de Calor Urbano Superficial, se detectaron siete colonias dentro de la clasificación de *muy fuerte* y 17 como *fuerte*. Asimismo, la obtención del Índice de Riesgo a la Salud por Ozono reportó que las concentraciones máximas de Ozono correspondieron a la época cálida, siendo máximas en mayo, coincidente con los eventos de las Olas de Calor, resaltando que el intervalo de mayor peligro se presenta alrededor de las 15 horas.

Palabras clave: *Isla de Calor Urbana Superficial, Olas de Calor, concentración de Ozono, LANDSAT 8, riesgo a la salud, modelos espaciales*

SUMMARY

The human being is intrinsically linked to the environment and any variation affects it, unbalancing their welfare. In this sense, the Urban Heat Island both of the Air and the Surface are physical phenomena that influence the health of population. Both these islands and the Heatwaves can be manifested by an increase in temperature in cities or densely built areas compared to rural areas and less urbanized peripheries. The amount and health of the vegetation is a factor that directly affects the thermal load that the surface receives, which in warm times considerably increases the risk of being affected in their health. The objective of the present investigation is to evaluate the health risk by Urban Heat Island and Heat Wave, with association to the concentration of Ozone in the dry hot season in the municipality of Zapopan, Jalisco, Mexico. Through the application of two spatial models and GIS (Geographic Information Systems), in addition to the analysis of the records of three stations of atmospheric monitoring and multispectral satellite images LANDSAT 8 in the period 1996-2016, in conjunction with the information of the Census of the year 2010, a diagnosis of the health risk of the population of Zapopan was obtained, based on the components of vulnerability and danger. The Heat Wave Hazard Index was created as a quantitative guide to thermal comfort and health. The month of May resulted with the highest number of Heat Wave events and with the highest intensity, averaging 33.6 °C. A feature of this research that differs from that reported by the scientific community, is that in the study area, the Surface Urban Heat Island is presented in rural areas dedicated to seasonal agriculture. With the Health Risk Index by Surface Urban Heat Island, seven colonies were detected within the classification of *very strong* and 17 as a *strong*. Likewise, obtaining the Ozone Health Risk Index reported that the maximum



Ozone concentrations corresponded to the warm season, being maximum in May, coinciding with the events of the Heat Waves, highlighting that the most dangerous interval occurs around 3 pm.

Keywords: *Surface Urban Heat Island, Heat Waves, Ozone concentration, LANDSAT 8, health risk, spatial models*

RESUMO

O ser humano está intrinsecamente ligado ao meio ambiente e qualquer variação o afeta, desequilibrando seu bem-estar. Nesse sentido, a Ilha do Calor Urbano do Ar e a Ilha do Calor Urbano Superficial são fenômenos físicos que influenciam na saúde do indivíduo. Tanto as Ilhas Térmicas quanto as Ondas de Calor podem se manifestar por um aumento de temperatura em cidades ou áreas densamente construídas em comparação com áreas rurais e periferias menos urbanizadas. A quantidade e a saúde da vegetação é um fator que afeta diretamente a carga térmica que a superfície recebe o que nos períodos quentes aumenta consideravelmente o risco de ser afetado em sua saúde. O objetivo desta pesquisa é avaliar o risco sanitário para Ilha ou Onda de Calor, além da associação com a concentração de Ozônio na estação seca quente no município de Zapopan, Jalisco, México. Através da aplicação de dois modelos espaciais e SIG (Sistemas de Informações Geográficas), além da análise dos registros de três estações de monitoramento atmosférico e imagens de satélite multiespectrais LANDSAT 8 no período 1996-2016, em conjunto com as informações sobre variáveis sociodemográficas em base aos valores censitários de população e habitação do ano de 2010, foi obtido um diagnóstico do risco para a saúde da população de Zapopan com base nos componentes de vulnerabilidade e perigo. Foi criado o Índice de Risco de Ondas de Calor como um guia quantitativo para o bem-estar térmico e a saúde. O mês de maio resultou com o maior número de eventos de Ondas de Calor e com a maior intensidade, com média de 33,6 °C. Uma característica desta pesquisa que difere da relatada pela comunidade científica, é que na área de estudo, a Ilha de Calor Urbana de Superfície é apresentada em áreas rurais dedicadas à agricultura sazonal. Com o Índice de Risco de Saúde para a Ilha de Calor Urbana de Superfície, sete colônias foram detetadas dentro da classificação de muito forte e 17 como forte. Da mesma forma, a obtenção do Índice de Risco de Saúde do Ozônio relatou que as concentrações máximas de Ozônio corresponderam à estação quente, sendo máxima em maio, coincidindo com os eventos das Ondas de Calor, destacando que o intervalo mais perigoso é apresentado por volta das 15h.

Palavras-chave: *Ilha de Calor de Superfície, Ondas de Calor, Concentração de Ozônio, LANDSAT 8, Risco à Saúde, Modelos Espaciais.*



INTRODUCCIÓN

A inicios del siglo XX el término “salud” fue definido como la ausencia de enfermedad; sin embargo, en 1947 la Organización Mundial de la Salud (OMS) lo clasificó como “un estado de completo bienestar, físico, mental y social”. El bienestar físico se alcanza cuando un individuo no percibe alteración alguna de sus órganos o funciones; por tanto, el organismo funciona correcta y eficientemente de tal manera que existe capacidad física apropiada para responder ante diversos desafíos de la actividad vital, logrando al mismo tiempo el bienestar mental y social.

Por lo anterior, el ser humano está íntimamente ligado con el medio físico y cualquier variación lo afecta, desequilibrando su bienestar térmico. En este sentido, la isla de calor urbana del aire (ICUA) y la isla de calor urbana superficial (ICUS) son fenómenos físicos que afectan el bienestar del individuo; así, la comunidad científica reconoce que las islas térmicas son un fenómeno que producen un incremento de la temperatura en el centro de las ciudades o en aquellas zonas densamente construidas en comparación con áreas rurales de la periferia o menos urbanizadas (Oke, 1982; Cardoso & Amorím, 2018).

Un segundo fenómeno relacionado son las Olas de Calor ocurren generalmente cuando el calentamiento superficial es máximo (presencia de ICUS), correspondiendo a la época cálida-seca sobre un área de estudio, caracterizada por elevadas temperaturas diurnas y nocturnas a lo largo de varios días y sin precipitación (Hernández y Bañón, 2012).

Las consecuencias sobre la salud (síntomas) ante eventos térmicos extremos, han sido ampliamente documentadas en los diversos grupos de población (etáreos), reportando que los ancianos y los niños son los más vulnerables, así como personas con enfermedades crónicas o que viven en áreas densamente pobladas y contaminadas (Tomlinson *et al.*, 2011).

Un tercer fenómeno típico de las grandes metrópolis y que interactúa con ésta problemática, es la contaminación por Ozono troposférico (O_3 superficial); un contaminante antrópico que aumenta su concentración durante la época cálida y en horas de mayor radiación solar. La magnitud de sus efectos depende de las concentraciones que se encuentran en el aire, de la dosis que se inhala, del tiempo y frecuencia de exposición, así como de las características sociodemográficas de la población expuesta.



Asociado a lo anterior, en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en su artículo 4, se reconoce el derecho de toda persona a la protección de su salud, así como el derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. En este sentido, los artículos 116 y 118, de la Ley General de Salud, señalan que las autoridades sanitarias establecerán las normas, tomarán las medidas y realizarán las actividades tendientes a la protección de la salud humana ante los riesgos y daños dependientes de las condiciones del ambiente. Para tal efecto, corresponde a la Secretaría de Salud, determinar los valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el ambiente. En materia de contaminación atmosférica por Ozono, la norma de salud ambiental NOM-020-SSA-2014, es un instrumento regulatorio diseñado para el cumplimiento de los objetivos de mejoramiento de la calidad del aire en el territorio nacional, a fin de garantizar la protección de la salud de la población (DOF, 2014).

Una característica particular, diferente a lo reportado por la comunidad científica en relación a que “las islas térmicas provocan un incremento de la temperatura en el centro de las ciudades o en aquellas zonas densamente construidas”, es que en el área urbanizada del municipio de Zapopan, la ICUS se pueden presentar en áreas rurales dedicadas a la agricultura de temporal, que en la época cálida seca presentan suelos desnudos, con alta capacidad térmica, dada la ausencia de vegetación.

En relación a lo planteado, el objetivo de la investigación es evaluar el riesgo a la salud por Isla y Ola de Calor en el municipio de Zapopan, Jalisco, México; además de la asociación de la ICUS y la concentración de Ozono en la época cálida seca, mediante la utilización de dos modelos espaciales y los SIG (Sistemas de Información Geográfica). Para lograrlo, se analizan los registros de tres estaciones de monitoreo atmosférico en el periodo 1996-2016, correspondientes a la época cálida. Además, la información del Censo de Población y Vivienda del año 2010, a nivel de colonia del municipio de Zapopan, es una fuente oficial e instrumento eficaz que coadyuva a identificar y evaluar la exposición de grupos vulnerables en presencia de ICUS y valores de Ozono fuera de norma.



Capítulo 1. Consideraciones y aspectos preliminares de investigación

1.1 Planteamiento del problema

Los problemas ambientales ocupan un lugar significativo para la sociedad y las autoridades, debido a las implicaciones negativas que estos representan en la calidad de vida de la población. Considerando que el surgimiento en la agenda pública es reciente, en las últimas décadas los gobiernos en unión con las universidades, empresas, medios de comunicación, organizaciones civiles, entre otros, han logrado diseñar mecanismos de gestión y posible solución a escenarios de deterioro ambiental y de bienestar. El constante aumento demográfico acompañado de un crecimiento urbano desmedido (sin planeación y control), ha propiciado que las ICUS y las Olas de Calor representen eventos nocivos de gran impacto para el ser humano y su hábitat, que conlleva a situaciones de desconfort térmico con implicaciones a la salud.

Da Silva *et al.*, (2015) afirman que los problemas ambientales urbanos son actualmente una importante preocupación por parte de la comunidad científica, debido a que es en el entorno urbano donde se generan cambios en el espacio de mayor intensidad y en periodos de tiempo cortos, dando un conjunto de numerosas y complejas problemáticas vinculadas a la intensificación de las actividades humanas.

Souza (2004) asevera que las ciudades mal planificadas sufren graves problemas derivadas del fenómeno de isla de calor, que ocurre en espacios locales con excesiva cantidad de construcciones y baja concentración de áreas verdes donde la temperatura es más elevada que las áreas vecinas no urbanizadas, cuyo aumento de la temperatura está perjudicando la salud de sus habitantes. Las áreas urbanas presentan una compleja distribución de áreas verdes, pues no presentan en muchas ocasiones continuidad y homogeneidad, con excepción de las colonias más antiguas o que presentan niveles socioeconómicos medios o altos.

El problema de las áreas urbanas es que están hechas por diversos materiales que reflejan o irradian la energía electromagnética de varias maneras, presentando gran amplitud espectral y altas frecuencias espaciales difícilmente separables, además la heterogeneidad espectral es consecuencia de la diversidad del paisaje urbano, que es constituida por varios materiales: hormigón y asfalto en las construcciones y vías, tejados



de diferentes materiales, suelo expuesto (desnudo), áreas verdes, plazas, estacionamientos, árboles, etc.

La contaminación atmosférica es una consecuencia negativa ocasionada por el hombre en su afán de alcanzar el desarrollo económico. En este sentido, el Ozono troposférico es un contaminante típico de las grandes urbes que combinado con las condiciones meteorológicas propicias (temperaturas elevadas, altos índices de radiación solar y baja rapidez del viento), favorecen las reacciones fotoquímicas y la ocurrencia de concentraciones peligrosas. En este contexto, el área metropolitana de Guadalajara (AMG) es una de las 56 ciudades de México en que la mala calidad del aire es una problemática a considerar y solucionar por los distintos actores sociales. Cabe destacar que el AMG dispone de un sistema de medición y monitoreo atmosférico de este y otros contaminantes.

La concentración de Ozono, no solo es un problema de contaminación ambiental, sino de salud pública, causada principalmente por las emisiones de fuentes móviles. De esta manera, el no contemplar un manejo integral de la ciudad, movilidad y calidad del aire, impacta sobre los grupos de población más vulnerables (adultos mayores, niños e individuos con enfermedades o deficiencias respiratorias).

En este sentido, como iniciativa el gobierno del estado de Jalisco estableció en la década de los 90s el programa de Verificación Vehicular y el inició de operaciones de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), así como las bases de política ambiental vinculadas a contingencias atmosféricas.

En relación al Municipio de Zapopan (área de estudio), en los últimos años ha ocurrido un acelerado crecimiento poblacional y de expansión urbana, con consecuencias que favorecen al aumento de la temperatura de la superficie y del aire, debida principalmente a la sustitución de los materiales originales por aquellos capaces de atrapar, almacenar y remitir el calor a la atmósfera o al espacio inmediato. Además, los escasos espacios con vegetación y agua, propician un medio ambiente menos confortable, o de incomodidad térmica que pueden generar diversos efectos negativos en la salud. Así, la ICUS incrementa el efecto negativo ya existente dentro de la época cálida convirtiéndose en una amenaza, que prolonga la carga térmica que el organismo humano recibe tanto en espacios exteriores como en interiores. La diferenciación del riesgo por ICUS es consecuencia de la variación de exposición y de la vulnerabilidad de los diferentes grupos



etéreos. Por lo anterior, se plantea la presente investigación denominada riesgo a la salud por Isla y Ola de Calor en el municipio de Zapopan, Jalisco, México.

1.2 Las Tecnologías de la Información Geográfica

Las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) constituyen un campo en creciente expansión dada su versatilidad, con aplicación en ámbitos tan diversos como el medio ambiente y los recursos naturales, la ordenación del territorio, el urbanismo, la planificación del transporte, la gestión y planificación de los servicios públicos, el geomarketing, la sociedad, entre otros. El núcleo de las TIG se encuentra en los SIG, permitiendo analizar diferentes parámetros o estudiar diversos aspectos de los objetos, fenómenos o acontecimientos que tienen lugar en cualquier territorio, así como sus relaciones. En la actualidad las TIG son una herramienta básica que han demostrado su capacidad para resolver multitud de problemas con componente espacial, lo que hace que sean cada vez más utilizadas en la investigación y en el ámbito profesional y sobre todo en la mejora de políticas y toma de decisiones de cualquier nivel de gobierno.

1.2.1 La Percepción Remota

Desde una perspectiva medioambiental y de las geociencias, Pérez y Muñoz (2006) consideran a la Percepción Remota (PR), una técnica que tiene como objetivo la captura, tratamiento y análisis de imágenes digitales tomadas por sensores instalados en satélites artificiales. Una de las principales aplicaciones es en el estudio del clima urbano, en particular con lo relacionado al comportamiento térmico superficial; es decir, análisis de ICUS (Voogt y Oke, 2003). La PR es posible debido a la interacción de la energía con la superficie terrestre, teniendo como fuente generadora única, la radiación electromagnética emitida por el Sol (Pérez y Muñoz, 2006). Dicha interacción con las distintas superficies, genera una energía denominada “radianza”, la cual al ser reflejada y traspasar la atmósfera es captada por los sensores remotos, que después de ser transformada en valores numéricos como una imagen en formato matricial o raster con posterior tratamiento, se convierte en la información esencial para un SIG (Larrosa, 2002).



1.2.2 El espectro electromagnético

La energía electromagnética es el sustento físico de la PR, cuyos fundamentos se explican en función de los medios físicos de la óptica, electrónica y magnetismo. Se basa en dos teorías físicas: 1) Teoría ondulatoria, en que la velocidad de propagación de una onda es función de su longitud y frecuencia; 2) Teoría cuántica, que considera a la energía transportada como el producto de la constante de Planck y la frecuencia (Pérez y Muñoz, 2006). Las diversas magnitudes de longitudes de onda expresan una respuesta espectral distinta, la cual es captada por determinadas bandas o canales a las que están diseñados los sensores remotos, entre los que se encuentra el VIS (visible) con ondas entre 0.4-0.7 μm (micrómetros) de longitud; un rango intermedio dividido en IRC (infrarrojo próximo o cercano) con longitud de onda $> 0.7\text{-}2.5 \mu\text{m}$, IRM (infrarrojo medio) $> 2.5\text{-}10 \mu\text{m}$ y IRT (infrarrojo térmico o lejano) longitud de onda $> 10\text{-}1\text{mm}$; por último, también se tiene información con respecto al rango de las MW (microondas) $>1 \text{ mm}$ (Chuvieco, 2010).

En la Tierra existen, de forma general, superficies de agua, vegetación y suelo, en que la respuesta espectral de cada una presenta variabilidad en función de factores físicos como la temperatura, humedad o textura; químicos en cuanto a composición; y ambientales, en relación a la pendiente, orientación del terreno y la hora de toma de la escena.

Según Pérez y Muñoz (2006) existen cinco resoluciones diferentes para el análisis de PR: espacial, radiométrica, espectral, temporal y angular. La espacial, permite diferenciar los objetos según sus dimensiones, representa el tamaño del pixel sobre la superficie, lo que establece la escala a la cual se va a trabajar, el detalle de análisis, de la fiabilidad y certidumbre de la interpretación y resultados; la radiométrica, excluye la intensidad de la radianza para codificar el nivel digital en un formato de número de bits; la espectral, muestra el número de bandas que tiene un determinado sensor; la temporal, establece la magnitud del tiempo de paso del satélite sobre una misma área o punto, lo que expresa el cubrimiento o existencia temporal de imágenes de un área determinada, por lo que esta resolución está condicionada por el tipo de órbita, ángulo de barrido y velocidad del satélite; y la angular, define la capacidad del sensor para tomar imágenes oblicuas.

1.3 La Isla de Calor Urbana del Aire

La ICUA constituye un deterioro ambiental como consecuencia de la expansión urbana y del incremento de la T_a (temperatura del aire) en las ciudades con respecto a su entorno de carácter rural (Moreno, 2016). A medida que las ciudades se desarrollan, se generan cambios en el paisaje natural, tales como edificios, viviendas, caminos y todo tipo de infraestructura que reemplaza a la vegetación y sella permanentemente al suelo que una vez fue permeable y húmedo, por lo que éste se vuelve impermeable y seco. Tal proceso es fundamental en la formación de la ICUA y conlleva a ciudades más calientes que sus alrededores (United States Environmental Protection Agency [US EPA, 2008a]). La figura 1.1 muestra un incremento sustancial de temperatura en espacios más densamente construidos y con poca o nula vegetación comparada con los espacios vegetados como parques urbanos o espacios rurales donde se presentan las temperaturas más bajas. Se presenta en cualquier localidad o ciudad, incluso la inserción de una nueva construcción implica modificaciones microclimáticas en comparación con el mismo espacio antes de ser modificado (Landsberg, 1981).

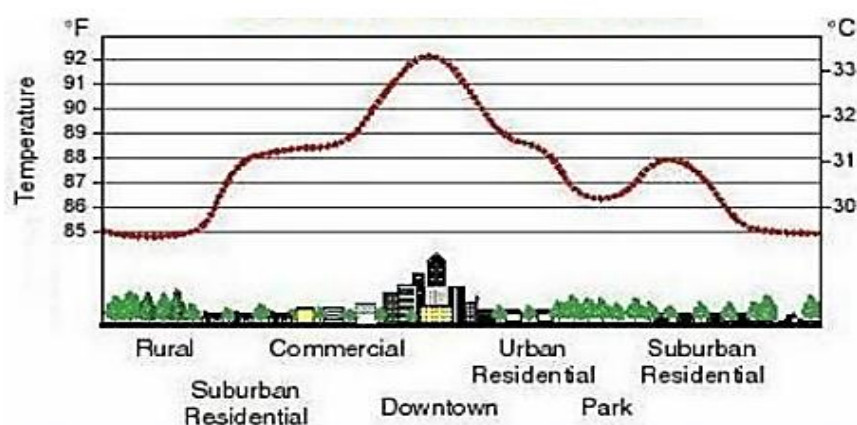


Figura 1.1 Perfil típico de ICUA.
Fuente: US EPA (2008).

De este perfil destaca la relación cercana entre la ICUA y la ICUS, en que los dos espacios físicos parecen estar interconectados, siendo el segundo el que determina en gran medida la intensidad del primero; los espacios vegetados disminuyen la intensidad térmica y los espacios construidos la incrementan. Por tanto, el aire más caliente se encuentra sobre



áreas con mayor cantidad de edificaciones (capa dosel), siendo el tipo de superficie un factor importante en cuanto a los patrones espaciales de las capas térmicas del aire superficial. Las distintas temperaturas de la superficie son especialmente susceptibles a sus características; es decir, durante el día las superficies secas y oscuras que absorben mayor cantidad de radiación solar se vuelven muy calientes, mientras que las superficies más claras y/o húmedas son más frías. Las sombras y la vegetación ayudan al control de la temperatura, originando en ocasiones islas frías (Romero y Molina, 2006).

1.4 La Isla de Calor Urbana Superficial

La ICUS es caracterizada en función de sus propiedades de absorción, acumulación y emisión de calor de las distintas superficies, así como de sus materiales, siendo más elevadas en temperatura aquellas que logran almacenar mayor energía que liberan lentamente en horas posteriores. La transformación de espacios naturales o verdes a espacios artificiales (construcciones), genera modificaciones físicas y químicas del lugar, disminuyendo el porcentaje de evapotranspiración, infiltración y escurrimiento superficial. Los cambios del flujo del aire, aunado a las características superficiales del entorno urbano, propiedades radiativas de los materiales y geometría de las edificaciones, producen un aumento en la T_a y cambios en los mecanismos de transferencia de los flujos de calor.

Las superficies artificiales se caracterizan por tener bajo albedo (reflexión de la radiación solar incidente hacia el espacio), que absorben más insolación comparada con una superficie natural, dando como resultado que las áreas urbanas sean un mosaico amplio de contrastes térmicos. Como se ha mencionado, a medida que una ciudad crece y se desarrolla, otros factores modifican el clima local de la misma, llevando a características complejas que contrastan en relación a los materiales superficiales. Cada material presenta distinto albedo y para una ciudad varía entre el 10 y 15% de radiación incidente (Villanueva-Solís *et al.*, 2013), indicando que gran proporción de radiación es absorbida por la superficie urbana. Además, la mayoría de los materiales con los cuales están hechas las construcciones tienen una alta capacidad y conductividad calorífica. Las tonalidades oscuras (asfaltos) de las superficies poseen albedos más bajos, mientras que las claras (edificios pintados de blanco) presentan valores altos de albedo. En la figura 1.2 se presentan los distintos valores de albedos para diversas superficies urbanas.

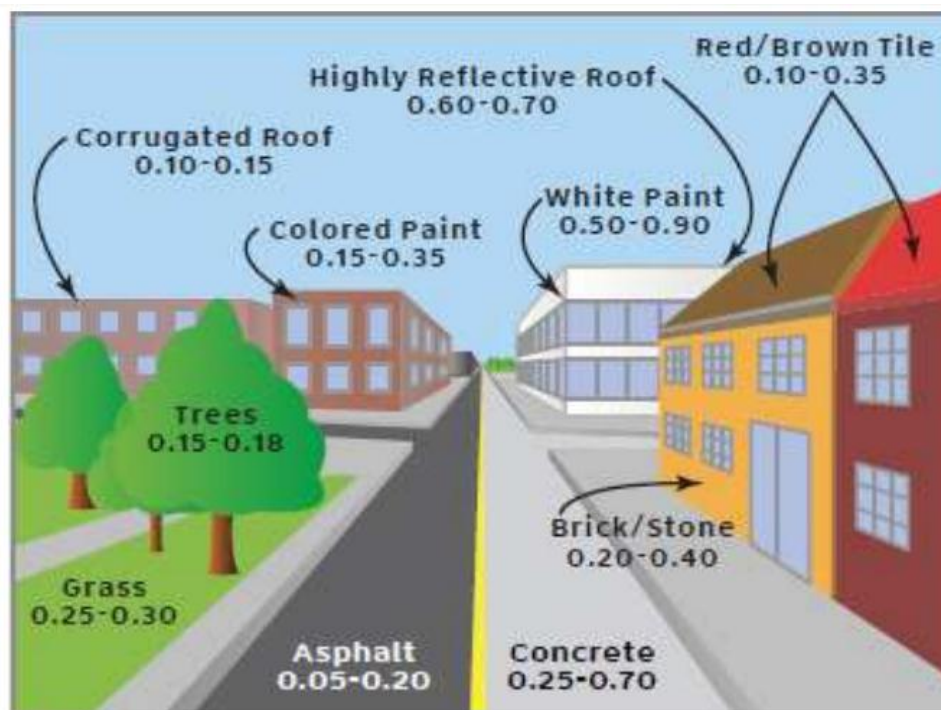


Figura 1.2. Diversos valores de albedos dentro de la ciudad.
Fuente: <http://yosemite.epa.gov/oar/globalwarming.nsf/content>

De la figura anterior se puede inferir la gran diversidad de materiales existentes en las ciudades que dan como resultado una amplia gama de intensidades térmicas. La US EPA (2016) afirma que las ICUS se forman cuando la vegetación es reemplazada por la infraestructura necesaria para satisfacer las necesidades de la población. Estas superficies absorben (en lugar de reflejar) el calor del Sol, lo que ocasiona que la temperatura del ambiente tienda a aumentar. No obstante, algunos impactos de las ICUS son positivos (por ejemplo, el que reciben ciertos procesos de cultivo y cosecha de especies vegetales); sin embargo, la mayoría de ellos son negativos e incluyen incrementos de consumo en electricidad, elevadas emisiones de gases de efecto invernadero, afectación de la calidad del agua, la salud humana y el confort.

Algunas ciudades del mundo han implementado mecanismos de mitigación sobre el efecto que ocasionan ambas islas térmicas (ICUA-ICUS), mediante la sustitución de superficies oscuras (opacas) por claras (pulidas), obteniéndose mayor reflectividad de los edificios, casas, calles y caminos, entre otros, logrando aumentar el albedo de la ciudad.



Las superficies oscuras absorben mucha más calor que las superficies claras que reflejan más cantidad de energía cuya diferencia puede llegar a ser de 21°C. Este exceso de energía logra transferirse hacia el interior del edificio u hogar creando la necesidad de enfriamiento para alcanzar el confort térmico.

Otra forma de mitigación es la plantación de árboles (forestación), que además de generar sombras para alcanzar el confort y aminorar el consumo de energía, incrementa la evapotranspiración y disminuye la T_a ; éstos pueden reducir los costos de energía por enfriamiento entre 10 y 20% (Oke, 1982). Además, desde finales de la década de los 80's, la manipulación de la geometría urbana (consistente en establecer una relación de altura de edificios con ancho de calles de 4:6 partes), es otra estrategia de alto potencial de mejora del confort a nivel de vecindario, la que permite disminuir el calor en la época cálida y aumentar en la época fría, (Oke, 1988). Similarmente, a inicios de la décadas de los 90's, fue propuesta la implementación de un dispositivo retráctil adjunto a edificios para generar sombras y que, a su vez, puede retirarse durante la noche (Swaid, 1992). Por último, la creación de los comités de conciencia pública como representantes ante la autoridad, participan en el mejoramiento y vigilancia de la ciudad (vecinal).

El estudio de la ICUS se realiza en base al comportamiento espacial de flujos de energía electromagnética que es detectada por sensores remotos instalados en satélites artificiales que observan el planeta desde el espacio, todo ello es posible a través de la PR (Voogt y Oke, 2003). La superficie terrestre, de acuerdo a las características propias de cada elemento, emiten energía térmica que se transmite hacia la atmósfera en forma de longitud de onda larga, los sensores captan esa señal dando una indicación de temperatura. Por medio de imágenes multiespectrales y en específico, en la región en que opera el Thermal Infrared Sensor (TIRS) y por medio de la aplicación de diversas técnicas de PR, se obtiene el comportamiento térmico superficial de las ciudades y con ello la estimación y detección de este fenómeno.

1.5 Las Olas de Calor

Una Ola de Calor es un fenómeno meteorológico y existen diferentes definiciones atendiendo a la latitud o zona geográfica. Díaz *et al.* (2006) la consideran como un periodo consecutivo de más de tres de días calurosos ininterrumpidos; están relacionadas con el



comportamiento y distribución de la T_{max} (temperatura máxima del aire) y sus anomalías, además de asociarse con el aumento de mortalidad en algunos países. En este sentido, Gosling *et al.* (2009) enfatizan que las Olas de Calor y las ICUS que ocurren dentro de la época cálida exacerban el problema. Se han reportado a nivel mundial eventos de mortandad asociados a este fenómeno; entre ellos, los ocurridos en Reino Unido (Rooney *et al.*, 1998), en Chicago 1995 (Semenza *et al.*, 1996; Klinenberg, 2002), en Francia 2003 (Le Tertre *et al.*, 2006), en Inglaterra (Johnson *et al.*, 2005), en Holanda (Garssen *et al.*, 2005), en Portugal (Nogueira *et al.*, 2005), en España (Simón *et al.*, 2005) y en México (Jáuregui, 1997).

En Europa occidental, la prolongada Ola de Calor en 2003 produjo una considerable cantidad de fallecimientos en Francia y Portugal (De Castro *et al.*, 2011; Kovats *et al.*, 2004). Cabe destacar el impacto significativo que tuvo Francia y España al registrar alrededor de 15,000 víctimas (Díaz *et al.*, 2014; Trigo *et al.*, 2009; Noji, 2000). En el caso de Norteamérica también han ocurrido este tipo de eventos; por ejemplo, en la ciudad de Chicago en 1995 se reportó la mayor afectación con 1,689 muertes.

Cuando el ser humano está ante la presencia de una Ola de Calor el cuerpo trata de mantener su temperatura normal mediante una variación en la circulación sanguínea y la transpiración. No siempre se logra el proceso anterior y ocurre un incremento en la temperatura del cuerpo ocasionando un golpe de calor, caracterizado por una elevación de la temperatura por encima de los 40 °C y alteraciones en el sistema nervioso central donde predomina la encefalopatía y la ocurrencia de un coma, sobretodo en personas de la tercera edad (Tirado, 2010; Sande *et al.*, 2004).

1.6 El Ozono Troposférico

El Ozono (O_3) es un gas que no solo existe en la troposfera, sino que también se encuentra de forma natural en la estratosfera (20 km de altitud) con la diferencia que a esta altura no es dañino a la salud; por el contrario, actúa favorablemente para los seres vivos al impedir que la radiación ultravioleta (UV) proveniente del Sol llegue a la superficie de la Tierra, convirtiéndolo en un gas benéfico.

Por su parte, el Ozono troposférico es un componente del aire limpio; entre sus características físico-químicas se puede mencionar que es un gas azulado y altamente



oxidante debido a la inestabilidad de su estructura molecular, puede tener efectos corrosivos sobre los materiales pétreos y la vegetación. Además, es perjudicial a la salud en altas concentraciones ocasionando efectos irritantes sobre las mucosas.

Su carácter antrópico puede presentar concentraciones por encima de las naturales, situación que lo identifica como un contaminante atmosférico. Al definirse como un contaminante secundario de origen fotoquímico, requiere de tanto de los contaminantes primarios o precursores y de la radiación solar. Estos precursores son básicamente los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs).

Los máximos niveles de Ozono troposférico ocurren en la época de mayor radiación solar y en horas de la tarde cuando se presenta la mayor temperatura del día. En presencia de estos escenarios, se afecta al aparato respiratorio, apareciendo síntomas desde tos, dolor de cabeza, náuseas, dolores pectorales, dificultad para respirar hasta el agravamiento de las afecciones pulmonares. Estos síntomas se han detectado a concentraciones de O₃ cercanas a 240 µg/m³ (0.122 ppm), el cual es un umbral de riesgo. Niveles superiores pueden producir hiperactividad de las vías respiratorias, inflamaciones pulmonares y severo deterioro de la actividad pulmonar.

Los efectos a la salud dependen de tres variables: el nivel de concentración, la ventilación durante la exposición y la duración. Entre los factores negativos a la salud se encuentran las actividades físicas al aire libre, consecuencia de mayor inhalación de Ozono y una mayor penetración en los pulmones, siendo los niños, ancianos y quienes tienen enfermedades respiratorias, los grupos de mayor riesgo.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), ha recomendado valores límite máximo permisibles de protección a la población expuesta, los cuales están comprendidos en el intervalo 150-200 µg/m³ (0.076- 0.102 ppm) durante una hora. Sin embargo, este organismo aclara que la exposición prolongada está más relacionada con los efectos respiratorios a niveles moderadamente altos que con valores puntuales elevados. Ante esto, la OMS subraya la importancia de controlar las concentraciones límite de exposición entre 100-120 µg/m³ (0.051-0.061 ppm) a periodos de tiempo largos (valores cada 8 horas como objetivo a largo plazo para la protección de la salud) que puede ser mensual o anual.

En este sentido, la legislación mexicana establece en la Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2014 en materia de salud ambiental, que “un sitio de monitoreo cumple



con el límite de 1 hora cuando cada una de las concentraciones horarias sea menor o igual que 0.095 ppm. En caso de que se tenga menos del 75% de los registros en el periodo y al menos 1 de las concentraciones horarias sea mayor que 0.095 ppm, se incumplirá la norma. Un sitio de monitoreo cumple con el límite del promedio móvil de 8 horas cuando el valor máximo anual sea menor o igual a 0.070 ppm. En caso de que se tenga menos del 75% de los registros en el periodo y al menos 1 de las concentraciones de los promedios móviles de 8 horas sea mayor que 0.070 ppm, se incumplirá la norma”.

Capítulo 2. Marco teórico-conceptual. Antecedentes de investigación

2.1 La ICUS e indicadores ambientales

Weng *et al.* (2003) enfatizan la importancia del Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) como un indicador para la estimación de la *Ts* (Temperatura superficial) utilizando una imagen LANDSAT ETM+ de 2002 correspondiente a la ciudad de Indianapolis E.U.A. De la misma se realizó una clasificación en base a tres criterios de cobertura del suelo:

- ✓ Áreas con vegetación sana,
- ✓ Suelo desnudo (seco)
- ✓ Áreas con sombras

Los autores aplicaron la técnica de remuestreo espacial (agregación de píxeles) a distintas resoluciones espaciales (30, 60, 120, 240, 480 y 960 metros) con el fin de encontrar la mejor correlación entre la *Ts* con las tres coberturas del suelo. Los resultados demostraron que existe una correlación inversa negativa fuerte en la resolución de 120 metros, proponiéndola como la mejor escala para este tipo de estudio.

Yuan & Bauer (2006) exploraron y compararon la relación de la *Ts* con el NDVI y el porcentaje de ISA (Impervious Surface Area) usando conjunto de imágenes LANDSAT TM y ETM+ para la ciudad de Minnesota, E.U.A. Ellos hacen hincapié en la relación de ISA con el crecimiento urbano y poblacional, siendo un importante indicador de la calidad medio ambiental. Los valores positivos del NDVI señalan áreas con vegetación en distintos grados de vigor y los valores negativos indican áreas no vegetadas como agua, suelo



desnudo, nubes o nieve. Los resultados mostraron una relación lineal significativa entre Ts-ISA y moderada para el Ts-NDVI según la época del año.

En este contexto, Shahabi *et al.* (2012) llevaron a cabo un estudio en el que aplicaron la técnica de “detección de cambios” (*change detection*) usando PR comparando dos momentos distintos para la ciudad de Saqqez, provincia de Kurdistan. Al observar un crecimiento urbano acelerado y la eliminación de áreas verdes, detectaron los cambios ocurridos en paisaje ecológico, tales como los cambios en los espacios verdes. Para ello, usaron imágenes LANDSAT TM y LANDSAT ETM+ dentro del periodo 1989 a 2009 y aplicaron tres técnicas de Percepción Remota:

- ✓ Comparación del NDVI
- ✓ Análisis de componentes principales
- ✓ Análisis post-clasificación

Los resultados mostraron que el NDVI puede emplearse para monitorear la cobertura vegetal en un periodo establecido, además de ser un índice efectivo para la evaluación de áreas verdes que han sido devastadas por la urbanización.

En el trabajo de Fernández y García (2013), se resalta la importancia de incorporar dentro de los procesos de planificación urbana, la funcionalidad de los beneficios que ofrecen elementos del medio físico como la vegetación. El objetivo fue caracterizar lo que definieron como islas frescas urbanas (IFU) en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia, relacionando las áreas de vegetación con la temperatura. Con ayuda de imágenes LANDSAT 5 TM de 1999 y 2011, además de la utilización de diversos procesos con *Ts* e índice (NDVI), se obtuvieron correlaciones que permitieron la identificación de áreas consideradas como IFU.

2.2 La ICUS relacionada con la cobertura, uso del suelo y la expansión urbana

En el concepto de López (1993) se plantean dos factores que ayudan en la formación de las ICUS; 1) superficies urbanas impermeables y 2) áreas verdes escasas. Cabe señalar la existencia de paliativos a los factores mencionados, entre los que se destacan la reducción del albedo de las distintas superficies mediante el uso de materiales de alta reflectividad (aquellos que poseen colores claros y que reflejan la luz en mayor cantidad en comparación con otras relativamente más oscuros) y la implementación de vegetación a escala micro



(edificios) y su extensión a escala de ciudad (parques y bosques urbanos); esto puede ayudar a reducir los costos por enfriamiento y ventilación (Cervantes, *et al.*, 2001).

Por su parte, Bello (1994) asocia la ICUS con usos del suelo en la ciudad de Guadalajara, España, encontrando correlaciones significativas directas (positivas) entre los valores de islas térmicas superficiales, situaciones atmosféricas específicas y densidad de edificación (0.7-0.8). Por el contrario, existe una correlación inversa (negativa) entre los valores de islas térmicas superficiales y los porcentajes de áreas verdes (-0.8 y -0.9). Además, se calculan las máximas de ICUS, como valor medio anual bajo distintas situaciones atmosféricas para una teórica densidad de edificación del 100%. Este caso hipotético puede alcanzar un valor medio anual de 2.5 °C, disminuyendo a 1.9 °C con tiempo inestable y aumentando a 3.7°C con tiempo estable.

Pérez y García (2002), mediante el uso de valores térmicos llevaron a cabo la cartografía del área metropolitana de Madrid y sus principales núcleos urbanos, comparando con la información de estaciones meteorológicas para el mismo periodo. Asimismo, utilizaron una imagen LANDSAT ETM+ (20/08/1999) para estimar la T_s . Fue necesario implementar puntos de muestreo en distintos núcleos urbanos y barrios, obteniendo valores digitales medios verificados en campo con datos meteorológicos. Finalmente, concluyen que los núcleos urbanos a la hora de la toma de la escena (10:48 GMT) presentan “islas de frío” resultado de la inercia térmica, sombras de edificios, materiales de construcción, entre otros.

Por otro lado, Bottyán *et al.* (2004) mencionan la diferencia térmica entre áreas rurales y urbanas al estudiar la influencia de las áreas construidas (*build up areas*) en el calentamiento de la superficie de una ciudad media, tal es el caso de Debrecen, Hungría. Reportaron una distribución de la intensidad espacial de la ICUS durante el periodo de marzo 2002-2003, encontrando una distribución concéntrica en el centro de la ciudad, la cual varió de acuerdo a la época del año y cuya intensidad alcanzó una diferencia de +2.0 °C en la estación cálida y de -2.5 °C en la estación no cálida, con respecto a un valor medio. El análisis de regresión lineal múltiple explica la relación entre los patrones de máxima intensidad de la ICUS y del uso del suelo. Estos parámetros desempeñan una función importante sobre el desarrollo de la máxima intensidad del campo térmico en la ciudad.



De igual manera, Romero y Molina (2007) encontraron que en la ciudad de Santiago de Chile se ha experimentado un crecimiento urbano incontrolado, duplicándose su superficie construida en los últimos tres décadas, además del reemplazo de cubiertas agrícolas y de vegetación natural por superficies construidas. Mediante el uso de foteointerpretación de una imagen satelital LANDSAT TM (2004) y fotografías aéreas, realizaron la caracterización de los usos y coberturas del suelo. Se identificaron islas de calor de carácter no urbano, las cuales aparecen a las primeras horas del día en la estación de verano y que éstas se trasladan conforme avanza el día en dirección al centro de la ciudad. La distribución de la ICUS depende del uso y cobertura del suelo, además de la presencia de vegetación y de espacios impermeabilizados. Encontraron que existe una variación espacial de las temperaturas que se asocia al uso y coberturas predominantes.

Moreira y Galvínio (2007) destacaron la importancia en la variación de la temperatura en la ciudad de Recife, Brasil. Usando una imagen LANDSAT 7 con técnicas de PR y geoestadística y con el uso del NDVI, fue posible estimar el campo térmico de la ciudad y localizar las temperaturas más bajas en espacios de mayor densidad de vegetación. Por otro lado, las mayores temperaturas se asociaron a espacios de menor vegetación y mayor densidad de construcciones, las cuales son consideradas como ICUS, existiendo una diferencia térmica de 5°C entre ambos espacios.

Para Fernández (2009) la atmósfera urbana presenta rasgos diferenciados del resto, con un comportamiento térmico especial que modifican los balances de radiación entre la superficie y el aire, al existir balances energéticos producidos en su interior que están asociados a calor latente, sensible y almacenado en edificaciones y suelo. Relaciona el concepto de cambio climático global con el crecimiento urbano como una de las dos contribuciones a este proceso, el cual se relaciona a su vez con el cambio de uso de suelo. De forma conceptual, define al clima urbano como un clima regional modificado que reproduce a escala local los impactos observados a escala global. Expone el concepto de ICUS que mejor define el clima urbano en cualquier ciudad y lo distingue en dos tipos:

- ✓ Islas de calor superficial
- ✓ Islas de calor atmosférica

La primera relaciona la temperatura de los distintos materiales urbanos y el aire situado encima de ellos y la segunda que representa la diferencia de temperatura entre el



área urbana y rural. Lo anterior afirma la existencia de áreas diferenciadas térmicamente de acuerdo a la distribución de los materiales, y expone que existen diferencias en los mecanismos de formación, técnicas de identificación y medidas de mitigación.

Oltra-Carrió *et al.* (2010) llevaron a cabo un análisis del impacto de la urbanización en el Gran San Miguel de Tucumán, Argentina, donde se ha triplicado la población en los últimos cuarenta años, con cambios importantes en el uso del suelo, el aumento de la densidad de construcción y disminución de áreas agropecuarias. Reportaron un análisis sobre la relación de la vegetación urbana y sus efectos en los patrones de la T_s . Realizaron mapas de suelo urbanizado a partir de imágenes LANDSAT para los años 1992, 2000 y 2008 con sus respectivas áreas de cambio (evolución); también elaboraron mapas de T_s con base a seis imágenes LANDSAT (febrero, septiembre, octubre, noviembre de 2008; enero y marzo de 2009), agrupándolos en verano e invierno. Se calculó la ICUS para cada época, encontrando un comportamiento variado atribuido al ángulo cenital. Se encontró una relación inversa entre cantidad y presencia de vegetación con porcentaje de edificación.

Por su parte, Preciado y Aldana (2011) reportaron que el acelerado crecimiento urbano de la ciudad de Santiago de Cali, Colombia, en la década de los 90's, generó la pérdida de humedad y disminución del estado de salud de la vegetación, provocando la creación de la ICUS. Tomando distintos índices ambientales y una base cartográfica vectorial, explicaron el comportamiento urbano con relación al aumento de la temperatura. Mediante la herramienta de álgebra de mapas del software *ArcGIS* derivaron la T_b (temperatura de brillo) del satélite LANDSAT 4 y 7 de los sensores TM 1989 y ETM+ 2001 a T_s , concluyendo que el cambio de uso del suelo de áreas con vegetación natural a áreas construidas es una de las causas del aumento y concentración de la T_s , así como a la formación de ICUS.

Fernández y Martilli (2012) hacen énfasis en una escala intraurbana de análisis en la que existe un complejo entramado de microclimas diferenciados, determinado por la estructura urbana y sus materiales. Exponen que existe una problemática al delimitar el espacio urbano y el rural dentro de las áreas metropolitanas, causadas por el proceso de artificialización. A lo anterior, se suma la ausencia de una red adecuada de estaciones meteorológicas que permite identificar el comportamiento urbano.



En general, para conocer y caracterizar el estudio de las islas térmicas superficiales se utilizan tres métodos distintos y a la vez complementarios:

- ✓ La comparación entre observatorios urbanos y rurales,
- ✓ Los recorridos o transectos térmicos
- ✓ La Percepción Remota

Asimismo, Soto y Pérez (2015) mencionan que el crecimiento urbano es el principal factor asociado a problemas ambientales, donde el cambio de uso de suelo y la implementación de materiales de construcción tradicionales con elevada capacidad de absorción de radiación electromagnética, son los que generan que la T_s en espacios contruidos sea mayor que en coberturas de suelo natural. En esta investigación determinaron el comportamiento e intensidad de la ICUS en Ciudad Juárez, México, para día y noche, mediante la utilización de PR y SIG. Consistió en tres pasos:

- ✓ Obtención de información satelital
- ✓ Procesamiento de la información
- ✓ Análisis de la información

La información satelital consistió de 46 imágenes satelitales del producto MOD11A2 LST & Emmisivity con resolución espacial de 1 km y temporal de 8 días para el año 2014. Los resultados mostraron la existencia de un patrón temporal dominado por la estacionalidad con valores máximos en verano y mínimos en invierno, con un rango de diferencia entre los 4-11°C. La oscilación de la temperatura fue mayor durante las horas de Sol entre la periferia y el centro, en la época de verano; mientras que, durante la noche se detectó un comportamiento similar pero con menor intensidad, en invierno.

Amorin *et al.*, (2015) hacen hincapié en la existencia de diferencias térmicas a nivel intraurbano, para lo cual proponen un método para la identificación de sitios de especial interés para aminorar el efecto de isla térmica en el municipio de Presidente Prudente perteneciente al estado de Sao Paulo, Brasil. Presentaron un conjunto de procedimientos para modelar la ICUS con el propósito de estimar la T_a , tomando en consideración algunas características superficiales de la ciudad, como lo son el uso del suelo, la vegetación y el relieve, a partir de las variables obtenidas de una imagen satelital LANDSAT 8, NDVI, y de una capa vectorial de hipsometría, respectivamente. Se crearon parámetros geográficos, como el porcentaje de vegetación, densidad de edificaciones y altitud, que fueron



estadísticamente relacionados en los sitios donde se identificaron ICUS. Los resultados mostraron un modelo satisfactorio ($R=0.81$), donde la Ta pudo ser relacionada con la Ts , lo que permitió intervenciones puntuales sobre los parámetros geográficos que pueden contrarrestar los efectos tanto de UCUA como de ICUS.

Para Ferrelli *et al.*, (2016), analizaron los efectos de la expansión urbana sobre el microclima y la biomasa en la ciudad de Bahía Blanca, Argentina, considerando la percepción de sus habitantes e información de variables meteorológicas. Ellos utilizaron imágenes LANDSAT 5, 7 y 8 en el periodo 1986-2014, de las cuales se estimó la Ts , el área urbana y la biomasa, encontrando que la expansión urbana redujo la biomasa, la Ts disminuyó debido al efecto de las sombras de edificios, la Ta se incrementó 0.7°C y la humedad relativa disminuyó 6% promedio. Además, la consulta social permitió generar información útil a favor de la planificación de la ciudad, las políticas públicas y la toma de decisiones; acciones encaminadas a mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

2.3 La ICUS vinculada con indicadores socioeconómicos, sociodemográficos y aspectos de vulnerabilidad de la población

Sarricolea y Romero (2006), analizaron la distribución y configuración espacial de la Ts en la ciudad de Santiago de Chile para el año 2002, relacionando factores del crecimiento urbano y niveles socioeconómicos de la población con el cambio de los patrones en el campo térmico superficial. Utilizando imágenes LANDSAT MSS y TM, determinaron la extensión del área urbana, el NDVI y la Ts , además de incorporar información del Censo de Población y Vivienda de 2002. Aplicaron diversos métodos estadísticos como regresión bivariada simple y múltiple explicados con modelos de tipo lineal y logarítmico. Así, reportaron que el crecimiento urbano y expandido ha pronunciado la desigual distribución de la Ts que muestra una fragmentación social de tal manera que los grupos con mayores ingresos habitan en zonas con menor Ts , ocurriendo lo contrario para los grupos con menores ingresos. Finalmente, estos autores recalcan la importancia en la igualdad del ingreso económico para romper con la segregación socio-ambiental y para alcanzar la sustentabilidad en ésta ciudad.

En este mismo orden, el trabajo de Velázquez-Ángulo *et al.* (2012) en dos ciudades fronterizas de México (Ciudad Juárez y El Paso), pone de relieve que los eventos de calor



extremo tendrán impactos negativos sobre grupos de niveles socioeconómicos bajos y en personas de la tercera edad. Se hace énfasis en la importancia de los espacios verdes dentro de la ciudad como una estrategia de adaptación al cambio climático. Se presenta una metodología que integra imágenes satelitales LANDSAT y datos censales de México y E.U.A, integrados a un SIG. La exposición al calor extremo y el NDVI se obtuvo de un conjunto de imágenes satelitales. La integración de esta información en un SIG, permitió representar gráficamente el calor extremo, la vegetación, la vulnerabilidad por calor y un análisis estadístico. Como resultado, se obtuvieron diez vecindarios en cada ciudad con alta vulnerabilidad a nivel de AGEB/block groups, resaltando el valor de los espacios verdes para reducción de la vulnerabilidad por concentración de calor.

En un estudio para la ciudad de Filadelfia, Johnson *et al.*, (2009), reportan que los eventos de calor extremo son catalogados como fenómenos esporádicos denominados “asesinos silenciosos”, debido a que no dejan evidencia de devastación física comparado con los huracanes, tornados o sismos. Resaltan la importancia de tomar en cuenta la variación espacial del riesgo a nivel intraurbano mediante la evaluación de un método que mejor represente su delineación espacial a través de mapas, mostrando información específica para la localización y variabilidad, como herramienta de planeación e intervención por parte de autoridades. Los efectos a la salud por calor extremo y de mayor riesgo se manifiestan en los adultos mayores, personas en pobreza, las que viven solas (aislamiento social) y aquellas que no tienen acceso a sistema de aire acondicionado. Personas vulnerables viviendo en un área con baja carga ambiental de calor pueden experimentar menor riesgo a presentar algún daño a la salud comparado con un grupo de personas viviendo en un ambiente con mayor carga de calor. Los datos sociodemográficos fueron tomados de la información censal del año 2000 a nivel de *census block groups*, con estimaciones de *Ts* a partir de información satelital de una imagen LANDSAT TM del año 1993, examinados en un modelo de regresión logística con el resultado siguiente: las personas de 65 años y más, en pobreza y la población total en pobreza, fueron las únicas variables significativas. Además, mencionan que los efectos de calor extremo por olas de calor se potencializan ante la presencia de isla de calor. La información térmica proveniente de una imagen satelital puede utilizarse para mejorar el entendimiento de la variación del riesgo a nivel intraurbano por calor extremo y, con ello, disminuir la probabilidad de



afectaciones o muertes, mejorar la asistencia médica oportuna y la entrega de recursos vitales durante este tipo de desastres.

Por su parte, con información obtenida a través de imágenes satelitales LANDSAT 5 y 7 de la Provincia de Quebec, Canadá, Kestens *et al.* (2011), modelan la variación de la T_s para los meses más calurosos del año (junio-agosto y en el periodo 1987-2002). En su investigación reportaron una correlación con eventos de riesgo a la salud y con predictores asociados con la T_a , velocidad del viento, cobertura del suelo, el NDVI, entre otros. El modelo resultante explicó un 77% de la varianza, siendo el NDVI y la cobertura del suelo los predictores de mayor peso para la T_s . Concluyeron que el enfoque estadístico es una herramienta útil para evaluar la exposición al calor durante la época cálida.

En este orden, tomando como caso de estudio algunas ciudades de Estados Unidos, Reid *et al.* (2009), estudiaron la vulnerabilidad al calor. Para ello, analizaron diez factores, de los cuales seis corresponden a características demográficas:

- 1) % de población por debajo de la línea de pobreza
- 2) % de población con menos de un grado escolar
- 3) % de población de raza diferente a la blanca
- 4) % de población que vive sola
- 5) % de población de 65 años o más
- 6) % de población de 65 años y más que vive sola

Otras dos se asocian a características de aire acondicionado generada por el *Census Bureau*:

- 7) % de hogares sin sistema de aire acondicionado
- 8) % de hogares sin ningún tipo de sistema de enfriamiento

Los dos restantes se relacionan con:

- 9) % de área sin vegetación (a partir de imágenes satelitales)
- 10) % de población con diabetes crónica (encuestas)

Mediante la aplicación de análisis de componentes principales encontraron que cuatro de los diez factores fueron estadísticamente independientes con más de un 75% de varianza explicada; mismo que les permitió crear un índice de vulnerabilidad al calor a nivel nacional. Finalmente, se obtuvieron *mapas de vulnerabilidad al calor* que muestran diversos contrastes entre áreas urbanas y ciudades.



Asimismo, Ruddell *et al.* (2010), examinaron el calor extremo como un peligro en el área urbana de la ciudad de Phoenix en el año de 2005 durante una ola de calor de cuatro días. Utilizando el modelo WRF (Weather Research and Forecasting) y el estudio en cuarenta vecindarios (de distintas características socioeconómicas), simularon la variabilidad de la *Ta* a dos metros de altura y crearon umbrales de temperatura críticos. Al igual que en los referentes anteriores, los resultados encontrados arrojaron que el calor extremo es variable en su distribución y que el mayor riesgo por exposición impacta principalmente en adultos mayores, personas con bajo ingreso económico y minorías étnicas. El estudio tuvo como contribución más significativa la inclusión de un método de análisis geotécnico que puede ayudar a las personas más vulnerables a prepararse y responder de manera oportuna ante periodos de calor extremo.

En este contexto, Huang, Zhou y Cadenasso (2011), aseveran que las altas temperaturas no solo impactan el confort de los habitantes de una ciudad, sino que incrementan el consumo de energía, la concentración de Ozono y el riesgo de muerte por onda de calor. Considerando el análisis de la *Ts* en la Cuenca *Gwynns Fall* en el estado de Maryland, E.U.A, reportaron una gran variabilidad espacial, pudiéndose identificar *hotspots* dentro de una isla de calor. Esto permite relacionar los factores sociales obtenidos a nivel de *census block groups*, siendo la *Ts* a este nivel, estadísticamente mayor; situación caracterizada por el bajo ingreso, bajo grado de educación, grupos étnicos específicos, número de ancianos y delincuencia. Tales variables fueron cartografiadas para evaluar la relación espacial de la *Ts* con factores sociales posibilitando la identificación de áreas específicas para priorizar en la prevención e intervención en caso de calor extremo. De igual forma, se indicó la localización de esfuerzos de prevención (programas de reforestación) para reducir la exposición y moderar el efecto de isla de calor urbana.

2.4 La evaluación del riesgo a la Salud por ICUS y Olas de Calor

Durante el estudio realizado en la ciudad de Birmingham, UK, Tomlinson *et al.* (2011), reportaron que las Olas de Calor son un factor de riesgo a la salud que se incrementarían significativamente ante un escenario de cambio climático antrópico, además de que su impacto es mayor en las ciudades y en donde el clima ha sido modificado, generando el efecto de la ICUS. Su trabajo interdisciplinario integró información de la ICUS con una



metodología para evaluar e identificar áreas potenciales de riesgo a la salud a través de un SIG. Su metodología se basó en la teoría de evaluación del riesgo mostrada en el *Triángulo de Crichton* (Crichton, 1999), que establece que el riesgo está en función del peligro, la exposición y la vulnerabilidad. El peligro es caracterizado por la intensidad de la ICUS; la exposición es ejemplificada por información demográfica a nivel de hogar y la vulnerabilidad es una combinación de cuatro variables ponderadas al 25% (personas mayores de 65 años, personas con problemas de salud, alta densidad de hogares y cantidad de departamentos). Se llevó a cabo una estandarización de cada elemento, en que cada uno fue representado como una capa de información en un SIG. La capa de exposición tuvo una ponderación global del 25% al igual que la capa de vulnerabilidad; ambas fueron fusionadas y formaron la capa de vulnerabilidad (50%) y sumada a la capa de peligro, con 50% de ponderación; se obtuvo la capa final (escala 0 a 1) visualizada en un mapa de riesgo a nivel de mosaicos censales en cinco grados de intensidad.

Similarmente, Buscail *et al.* (2012), realizaron un estudio sobre la evaluación del riesgo espacial en la ciudad de Rennes, Francia. Usaron el marco de trabajo conceptual del riesgo a la salud de *Crichton* (Crichton, 1999), siendo la exposición, la vulnerabilidad y el peligro los factores que lo definen. En tal estudio se consideró a la exposición como al inventario de elementos que el peligro puede afectar, es decir, las personas; la vulnerabilidad, que es considerada como la falta de recursos sociales y de limitaciones físicas o económicas de cada persona para enfrentar o mitigar los efectos del peligro; y por último, al peligro, que es representado por el fenómeno: la ICUS.

2.5 Medidas de adaptación, mitigación y reducción por ICUS

Solecki *et al.* (2005) proponen una serie de estrategias de mitigación de la ICUS para reducir los impactos de peligros biofísicos en la ciudad de New Jersey, E.U.A, que incluyen la tensión térmica ante temperaturas elevadas, contaminación del aire y los efectos asociados a la salud pública. Utilizaron un modelo llamado “CITYgreen” el cual es un SIG para estimar los beneficios potenciales de la vegetación urbana y los techos reflectivos. Los resultados mostraron que la vegetación urbana reduce los riesgos a la salud asociados al efecto de la ICUS y la disminución de contaminantes en el aire, además de ser una forma efectiva y económica para reducir el consumo de energía.



Pauleit, Ennos & Golding (2005), resaltan la importancia de la relación “alteración del medio ambiente urbano-dinámica de los espacios verdes” para mejorar el conocimiento de la sustentabilidad en los procesos de desarrollo urbano. Utilizando información del periodo 1975-2000 y mediante la interpretación de fotografías aéreas, los autores pudieron identificar cambios considerables en el uso y cobertura del suelo en once áreas residenciales de la ciudad de Merseyside, UK. Además, observaron alteraciones significativas en tres parámetros ambientales como la temperatura, el escurrimiento superficial y la diversidad de los espacios verdes. Las áreas densamente construidas perdieron más áreas verdes, específicamente de especies arbóreas, obteniendo ciertos modelos que predijeron impactos negativos para todas las áreas; además, resultados que enfatizan la necesidad de densificar y dar mayor peso a la preservación y manejo de espacios verdes urbanos.

Shashua-Bar & Hoffman (2000), estudiaron el efecto refrescante de lugares arbolados dentro de once sitios en la ciudad de Tel-Avid, Israel, para el periodo julio-agosto 1996. Utilizaron un modelo empírico para predecir tal efecto, basándose en el análisis estadístico de 714 observaciones horarias experimentales de las áreas y considerando los días en calma (vientos débiles 0-5 m/s). Se encontraron dos factores que explican más del 70% de la varianza total en la T_a en espacios verdes; es decir, las áreas sombreadas arboladas y la T_a de las áreas no arboladas de los alrededores, siendo las primeras las que proveen un efecto refrescante que incide en la disminución de la T_a .

La US EPA (2008a, b, c; 2012) presentó un compendio de estrategias para la reducción del efecto de ICUS e ICUA centrados en cuatro temas básicos:

- 1) La vegetación y arbolado, ayudan a refrescar el aire y la superficie en los espacios urbanos a través de las sombras y la evapotranspiración.
- 2) Los techos verdes, consisten en generar espacios con sombras que absorben radiación solar que bloquean el calentamiento de techos y muros de construcciones.
- 3) Los techos frescos, consisten en conocer los mecanismos en que la radiación solar calienta los materiales de las superficies de azoteas y cómo estos contribuyen en los mecanismos de calentamiento, siendo la emitancia térmica y la proporción de reflectancia solar (albedo) las propiedades que intervienen en su comportamiento.



- 4) Los pavimentos frescos, consisten en un conocimiento amplio de los procesos de cómo la energía solar, albedo, capacidad calorífica de los materiales, rugosidad de la superficie, las tasas de transferencia de calor, emitancia térmica y permeabilidad, afectan la temperatura de los pavimentos.

2.6 Las Olas de Calor, la salud y métodos de estimación

En México, entre los trabajos destacados sobre calor extremo se encuentran los de Herrera (2012) donde señala que los criterios para determinar la existencia de Olas de Calor son dos:

- 1) El umbral absoluto, asigna un valor fijo y cuando este se iguala o excede por un número de días consecutivos se dice que se presenta una Ola de Calor. Establece un umbral de 32 °C para dos días consecutivos de la serie de T_{max} (criterios similares al anterior se han establecido en Canadá y en los Estados Unidos por la National Weather Service).
- 2) El umbral relativo, queda determinado por la T_{max} y T_{min} (temperatura mínima del aire) dentro los límites de 40.6 y 26.7 °C respectivamente, en al menos dos días consecutivos.

Anteriormente, Jáuregui (2009), propuso el valor umbral entre los 24°C (temperatura media) y los 30°C (T_{max}) durante tres días consecutivos.

Para establecer el criterio de umbral relativo se utiliza alguna variable estadística; por ejemplo, la National Weather Service usa el percentil 95 y 99 de la serie diaria de T_{max} para dos días consecutivos.

Por su parte, García (2004), considera el percentil 80 tanto en T_{max} como T_{min} para dos días consecutivos, haciendo diferencia entre Ola de Calor Pura y Clúster o Grupo:

- 1) La Ola de Calor Pura, es cuando la temperatura sobrepasa el umbral establecido, tanto en la T_{max} como en la mínima, en al menos dos días consecutivos.
- 2) La Ola de Calor Clúster o Grupo, la forman dos Olas de Calor sucesivas si el tiempo entre ambas es mínimo de 24 horas y las temperaturas mínima y máxima superan el valor de la mediana.

Entre las características de las Olas de Calor se destacan la intensidad, la duración y el área en que se presentan, además de tener efectos acumulativos en la salud humana. No



obstante, es de señalar que una larga exposición a temperaturas elevadas, aunque no sobrepase el umbral establecido, podría tener consecuencias adversas en la población.

La Agencia Estatal de Meteorología de España (AEM, 2016) establece una metodología para estimar las Olas de Calor a partir de un conjunto de estaciones meteorológicas en España durante el periodo 1971-2000. Mediante la selección de 137 estaciones distribuidas uniformemente sobre el territorio, calcularon la temperatura umbral (para cada estación) con el criterio del *percentil* 95 de la serie de temperaturas máximas diarias entre los meses de julio y agosto. Asimismo, obtuvieron los episodios cálidos para cada estación (de al menos tres días consecutivos con *Tmax* que iguala o supera su temperatura umbral). Por último, cuando dos Olas de Calor están separadas por un día, se consideran un único evento.

Alberdi y Díaz (1997) enfatizan que las enfermedades circulatorias están relacionadas con el aumento de la mortalidad en la época estival. Los grupos de mayor edad son los que mayormente contribuyen con este exceso de morbi-mortalidad (Alberdi *et al.*, 1998; Ballester *et al.*, 2003). Algunos trabajos hechos en algunas ciudades de la península Ibérica, aseguran la existencia de una *Tmax* diaria (temperatura de disparo) en la cual se presenta un incremento acusado de la mortalidad. Para Madrid es de 36.5°C (Díaz *et al.*, 2002a); para Sevilla de 41°C (Díaz *et al.*, 2002b); para Lisboa de 33.5°C y para Barcelona de 30.3°C (García-Herrera *et al.*, 2004). La distribución temporal de los efectos del calor ocurren de 1 a 3 días.

La OMS (2004) afirma que no hay criterios uniformes en la definición de una Ola de Calor que ayuden a encontrar los efectos a la salud, sin embargo algunos autores definen umbrales térmicos en función de la *Tmax* y *Tmin* para un día o varios; otros autores utilizan índices como el de temperatura aparente (Nakai *et al.*, 1997) o las situaciones meteorológicas de escala sinóptica (Kalkstein, 1991).

En el trabajo de Pinacho-Velázquez (2014) asegura que los niños recién nacidos, los lactantes y escolares (grupo ≤ 14 años) son los más vulnerables debido a la inmadurez de sus organismos termorreguladores, por la extensión de su superficie corporal, menor capacidad de sudoración originando la progresión del estrés por calor a golpe de calor (temperatura corporal $> 40.6^{\circ}\text{C}$), cuyas complicaciones son falla renal aguda, falla hepática, alteraciones hidroelectrolíticas, trombocitopenia, rabdomiólisis, alteraciones



cardiovasculares, coagulación intravascular diseminada y falla orgánica múltiple. Destaca en que la prevención es un aspecto de importancia para evitar el golpe de calor en niños.

2.7 El Ozono, la salud y las variables meteorológicas

En los trabajos de García *et al.*, (2015) y García *et al.* (2014), reportaron la influencia de los vientos sobre el transporte y dispersión de los contaminantes en el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) durante el periodo 2001-2010. Establecieron los vientos predominantes para 16 categorías y el comportamiento de los cinco contaminantes denominados criterio, mediante la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) del Gobierno del Estado de Jalisco:

- 1) Ozono (O_3)
- 2) Bióxido de nitrógeno (NO_2)
- 3) Bióxido de azufre (SO_2)
- 4) Monóxido de carbono (CO)
- 5) Partículas Menores a 10 micrómetros (PM_{10})

Además, crearon estadísticas de concentración medias, máximas y mínimas, tanto mensuales como anuales para cada contaminante. Reportaron que el viento dominante proviene del oeste-noroeste con intensificación por la tarde. En cuanto al Ozono, las concentraciones máximas se registraron entre las 12 y 18 horas, coincidiendo con el intervalo de mayor radiación solar, factor dominante durante las reacciones fotoquímicas. Los picos máximos O_3 se presentaron en la época de estiaje y de mayor concentración de NO_x . Los autores identificaron que este contaminante es un factor de riesgo a la salud. La correlación del Ozono con la temperatura y la humedad relativa, fue significativa.

En este contexto, Rivera (2011) estableció el grado de importancia de las variables meteorológicas respecto al contenido de Ozono troposférico en la cuenca de Santiago, Chile, considerando el periodo estival de los años 1998 al 2006. Las variables meteorológicas que participan en las reacciones químicas de la formación de O_3 utilizadas fueron: la radiación solar, temperatura, vapor de agua y rapidez del viento. El estudio contempló el uso de tres técnicas estadísticas (método de regresión lineal simple, regresión lineal múltiple y componentes principales). Con estas técnicas establecieron que la variación diaria de Ozono está correlacionada primeramente con la Ta , en segunda



instancia con la humedad relativa y en menor grado, con la radiación solar y la rapidez del viento. En cuanto al ciclo semanal, determinaron que en este tipo de análisis las variaciones de los precursores son fundamentales, mientras que las variables meteorológicas ocupan un segundo plano.

Adame (2009), en la Provincia de Huelva, España, estudió el comportamiento del Ozono superficial, concluyendo que los valores medios mensuales más altos se obtienen en los meses de julio y agosto, mientras que los mínimos se miden en los meses de diciembre y enero. La concentración diaria de Ozono presenta variabilidad dependiendo de la época del año. Asimismo, las concentraciones máximas se obtienen entre las 14 y las 16 horas, con valores que en verano alcanzan $100-120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Los mínimos diarios tienen lugar entre las 6 y las 8 horas con concentraciones de entre $30-50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Analizó la relación entre los niveles de Ozono, PM_{10} y NO_x con las variables meteorológicas (rapidez del viento, temperatura y humedad relativa). Obtuvo que en invierno un aumento de la rapidez del viento se relaciona con un incremento en la concentración de Ozono; paradójicamente, en verano las concentraciones más altas de éste gas se relacionan con vientos débiles. Por otra parte, quedó demostrado que un aumento en la Ta durante el verano eleva los niveles de Ozono. Por el contrario, relaciones negativas se presentaron entre el O_3 y la humedad relativa. Así mismo, se evidenció la coincidencia entre la evolución diaria que presentan los mínimos de NO y NO_x con los máximos de Ozono y viceversa. Cuando las concentraciones de Ozono superan los umbrales definidos por la legislación, se considera un contaminante nocivo para la salud y para la vegetación. Los umbrales se superan con mayor frecuencia en los meses de primavera y verano, siendo más significativas en las áreas rurales que en las urbanas.

En el mismo orden, Nájera *et al.* (2005), recalcaron la importancia de los SIG en la representación de la contaminación por Ozono en el AMG y analizaron el comportamiento de las concentraciones de este contaminante, reportando que entre las 12 y 19 horas se presentan las máximas concentraciones. Concluyeron que las concentraciones no son homogéneas en el área de estudio y que es posible representar cartográficamente la distribución de O_3 para identificar áreas prioritarias en la toma de medidas pertinentes.

Capítulo 3. Planteamiento metodológico

3.1 Área de estudio

La presente investigación doctoral comprende el área urbana del municipio de Zapopan, Jalisco, México. Según el censo 2010, su población fue de 1, 243, 548 habitantes, siendo el octavo municipio más poblado de México y el segundo más poblado en el estado de Jalisco (INEGI, 2010), solo superado por el municipio de Guadalajara. Conforman junto con otros ocho municipios el AMG que es la segunda más poblada y extensa del país. Zapopan posee el PIB (Producto Interno Bruto) e IDH (Índice de Desarrollo Humano) más alto de Jalisco, además de ser uno de los 20 municipios de mayor IDH e ingreso per cápita de México (ONDH, 2008). La extensión territorial es de 893 km² los cuales representan el 1.12% de la superficie total de Jalisco con una altitud media de 1548 msnm. La localización geográfica de Zapopan es mostrada en la figura 3.1.

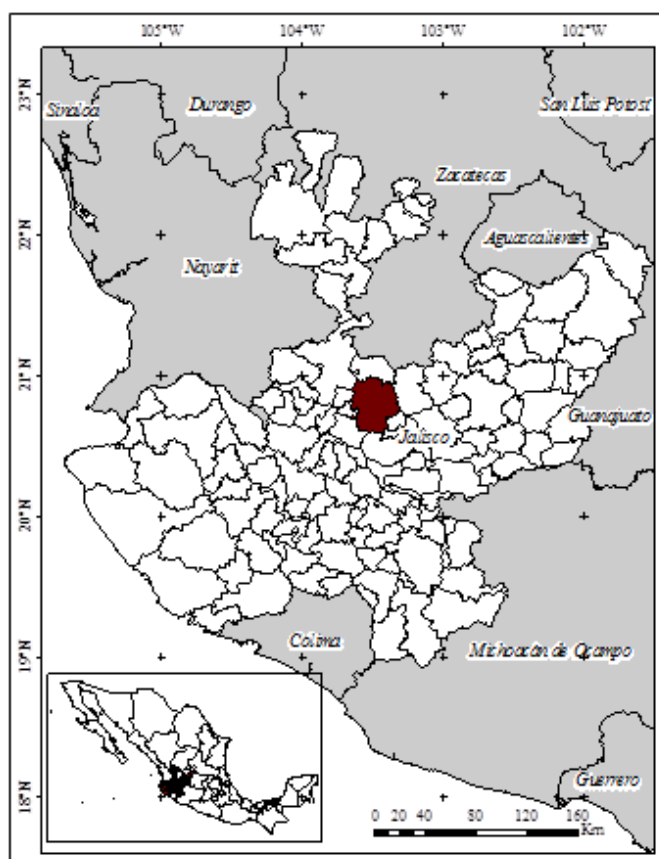


Figura 3.1 Localización geográfica del municipio de Zapopan.
Fuente: Elaboración propia en base a información cartográfica del INEGI

A continuación, en la figura 3.2 se muestra el conjunto de colonias (polígonos sombreados) que forman el área urbana; base fundamental en el desarrollo de la investigación.

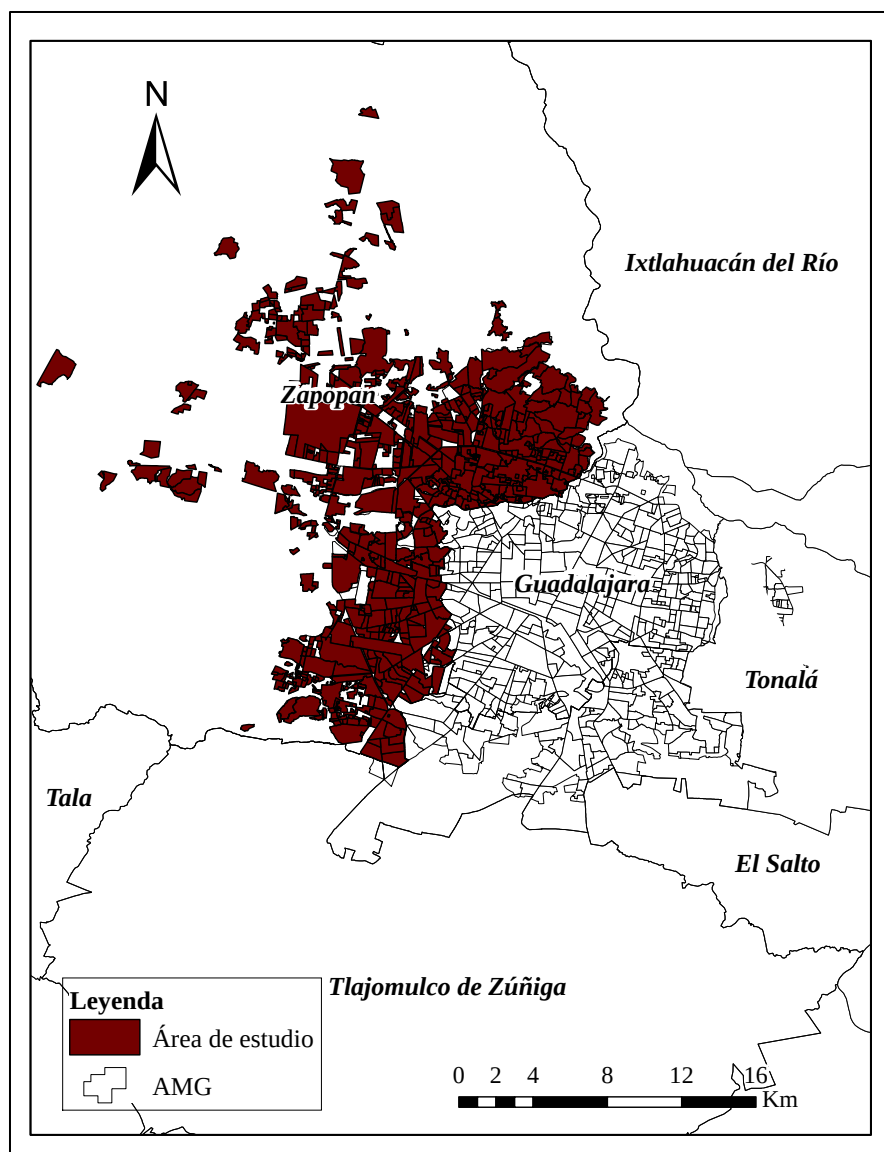


Figura 3.2. Conjunto de colonias del municipio de Zapopan.
Fuente: Elaboración propia en base a información cartográfica del INEGI

3.2 Imágenes LANDSAT

Las imágenes utilizadas provienen de la constelación de recursos naturales LANDSAT; desde sus inicios en 1972 hasta la fecha con ocho satélites (LANDSAT 1- LANDSAT 8),



mismos que se desplazan alrededor de la Tierra en una órbita heliosincrónica cuasi polar y situados a una altitud aproximada de 917 km. Denominada en principio ERTS (Earth Resources Technology Satellites), fue el primer programa de los Estados Unidos para el monitoreo de la superficie terrestre y de sus recursos naturales desde el espacio; en la actualidad se encuentran operativos los satélites LANDSAT 5, 7 y 8. El mantenimiento y operación está a cargo de la National Aeronautics and Space Administration (NASA), en tanto que la producción y comercialización de las imágenes depende del United States Geology Survey (USGS). Los satélites LANDSAT han llevado a bordo diferentes sensores pasivos que durante su evolución y desarrollo han captado la mayor información posible, con mejoras radiométricas y geométricas. El primero de ellos fue el Multispectral Scanner Sensor (MSS), luego el Thematic Mapper (TM) con mayor sensibilidad radiométrica y después siguió el Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) que incorporó adicionalmente una banda espectral (pancromática) con resolución de 15 metros. Por último, se incorporaron los radiómetros Operational Land Imager (OLI) y Thermal Infrared Sensor (TIRS) con 11 bandas y amplias posibilidades de combinación. Las imágenes LANDSAT se conforman de 4 a 11 bandas espectrales, que al combinarse generan una gama de imágenes de color (falso color) que incrementan notablemente sus aplicaciones. Dependiendo del satélite y el sensor, se incluye un canal pancromático y/o un canal térmico en que las resoluciones espaciales varían de 15, 30, 60 y 120 metros y con una temporalidad de 16 días (INEGI, 2016).

El acervo de imágenes LANDSAT es de acceso gratuito a cualquier usuario a través de los sitios EarthExplorer: <http://earthexplorer.usgs.gov>, Global Visualization Viewer: <http://glovis.usgs.gov> y LandsatLook Viewer: <http://landsatlook.usgs.gov>.

Cada una de las imágenes LANDSAT está referenciada en el Worldwide Reference System (WRS), un sistema o catálogo de ámbito global en el cual es posible localizar cualquier imagen en el planeta con tan solo conocer el centro nominal de cada escena (conocido como *path* y *row*: fila y columna). El WRS comprende 233 *paths* y 248 *rows* (Landsat 7 Science Data User's Handbook, 2007). La figura 3.3 muestra la localización del área de estudio correspondiente a ésta tesis, se ubica en la escena *path* 29 y *row* 46 con trayectoria descendente (norte a sur).

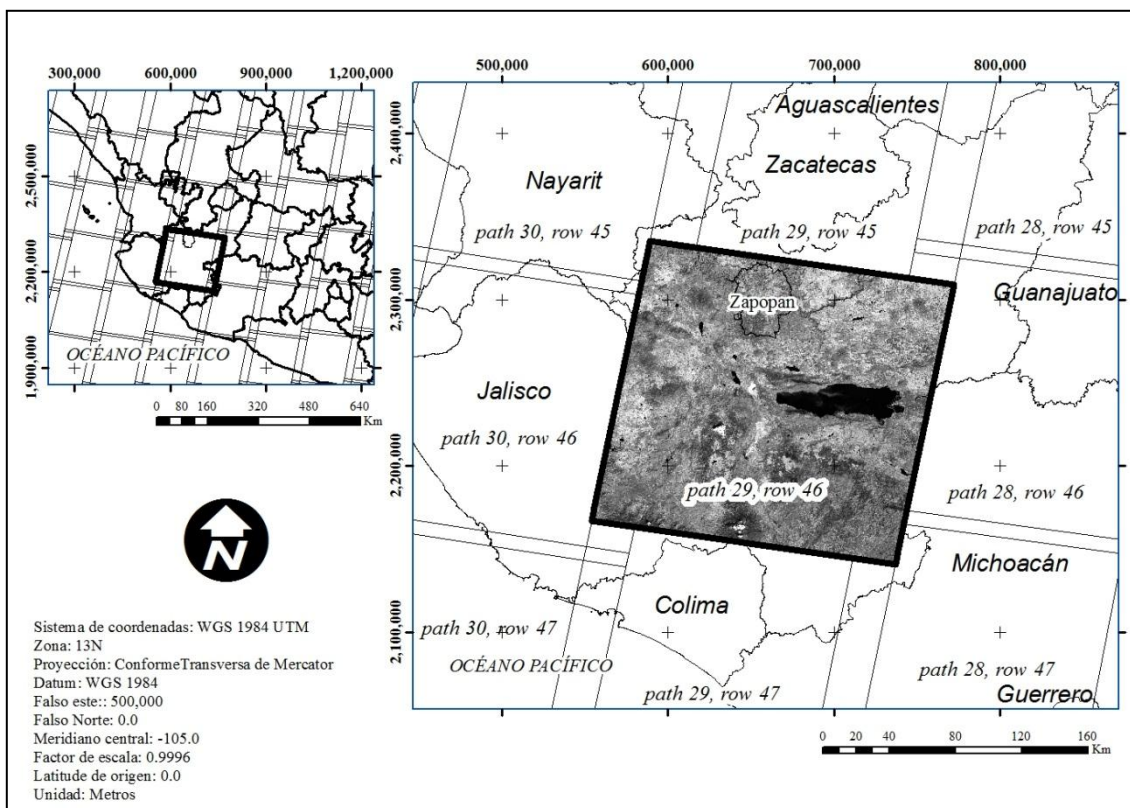


Figura 3.3. Escena correspondiente al sistema WRS2 de LANDSAT 8 (path 29 y row 46).
Elaboración propia.

La información espectral para cada uno de los sensores LANDSAT mostrados en la figura 3.4, se pueden ordenar de la forma siguiente:

- 1) La región del VIS se representa por las bandas 1, 2, y 3 (rojo, verde y azul) para MSS, TM y ETM+.
- 2) Las bandas 2, 3 y 4 para OLI.
- 3) La región del IRC lo componen las bandas 5 para TM y ETM+, y banda 6 para OLI.
- 4) La región del IRM lo componen la banda 7 para TM, ETM+ y OLI.
- 5) La región del TIR es representado por la banda 6 para TM, ETM+.
- 6) La banda 10 y 11 para el sensor TIRS.

La atmósfera y sus componentes (Ozono, vapor de agua, contaminantes, entre otros), modulan el flujo de energía a través de ella, por lo que la región IRC y IRM son

favorecidas en todo su rango espectral, mientras el TIR es muy variable en su transmisión; el rango del VIS es el que menos energía transmite.

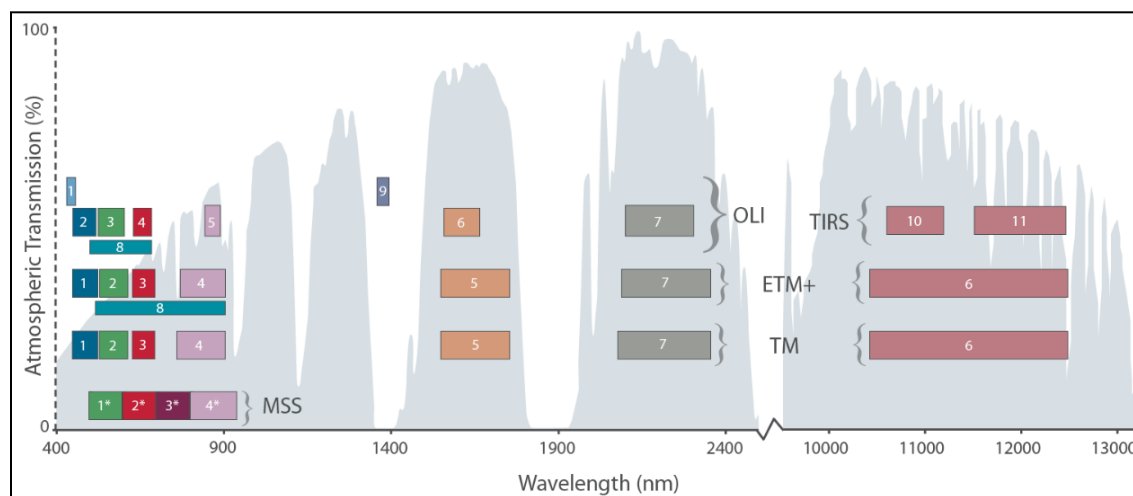


Figura 3.4 Rango de observación espectral para los distintos sensores LANDSAT y su transmisión atmosférica. Recuperado de: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/about/technical-information/>

3.3 Base de datos del Sistema de Monitoreo Atmosférico de Jalisco

Actualmente, el Sistema de Monitoreo Atmosférico de Jalisco (SIMAJ) está compuesta por una red de 10 estaciones capaces de medir y registrar diferentes variables meteorológicas y las concentraciones de los contaminantes en el aire denominados criterio. Esta red automática es administrada por el Gobierno del Estado de Jalisco a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET), misma que genera información desde 1996 a la fecha. Asimismo, se localiza sobre la AMG, destacándose que de las 10 estaciones, solo ocho cuentan con registros desde 1996 (Las Águilas, Atemajac, Vallarta, Centro, Tonalá, Tlaquepaque, Loma Dorada y Miravalle). Por su parte, las estaciones Las Pintas (desde 2010) y Santa Fé (desde 2013), todavía no cuentan con información suficiente para el desarrollo de estudios climáticos (Figura 3.5). Las variables observadas corresponden a registros horarios, entre ellas, la humedad relativa, la temperatura, la velocidad del viento; además del O_3 , NO_2 , CO , SO_2 y PM_{10} .

Para la presente investigación se analizó la base de datos de las dos estaciones dentro del municipio de Zapopan (Atemajac y Las Águilas), además de los registros la estación Vallarta correspondiente a los límites con Guadalajara. La información de todas las

variables son gratuitas y de libre acceso. Sitio:

<http://siga.jalisco.gob.mx/aire2017/Descargas>.

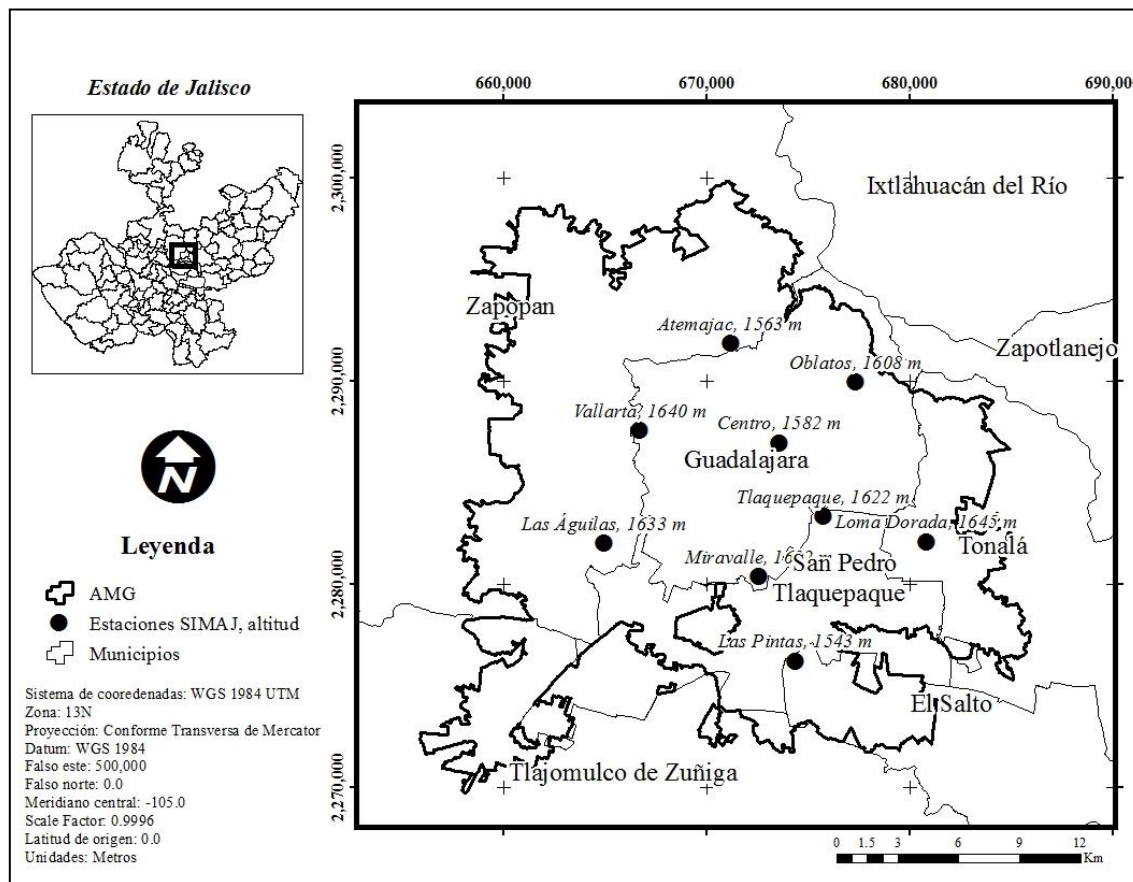


Figura 3.5 Localización geográfica del SIMAJ.

Fuente: Elaboración propia en base a cartografía del INEGI.

3.4 Conjunto de datos vectoriales y estadísticos

La información vectorial usada pertenece al Marco Geoestadístico Nacional; un sistema único, creado y diseñado por el INEGI en 1978, para referenciar la información estadística de los censos y encuestas con los lugares geográficos correspondientes. Este sistema proporciona la ubicación de las localidades, municipios y entidades del país, utilizando coordenadas geográficas. Se incorpora también el censo de 2010 disgregado a nivel de colonia, trabajo realizado por el Instituto de Información Estadística de Jalisco (IIEG, 2015).



3.5 Metodología

Este trabajo está basado en las Tecnologías de Información Geográfica (TIG), particularmente, en dos de sus componentes esenciales: Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Se incorporaron las siguientes herramientas de apoyo cartográfico:

- 1) *Software* computacional *ArcMap*, paquetería perteneciente a *ArcGIS* y propiedad de *Environmental System Research Institute* (ESRI) en su versión 10.5
- 2) *Statgraphics Centurion XV*, *software* de análisis de datos estadísticos y gráficos
- 3) *Excel MS*, *software* basado en hojas de cálculo que ofrece como resultado análisis estadísticos, gráficos y tablas.

Posteriormente, se presentan los bloques que constituyen las “fases” metodológicas y una secuencia lógica de las actividades con las cuales quedó delimitado este trabajo.

3.5.1 Fase preliminar

La base de datos incorpora 21 archivos *Excel* con las variables meteorológicas y los contaminantes atmosféricos en el periodo 1996-2016, incluyendo las tres estaciones mencionadas. La información seleccionada fue filtrada y depurada de tal manera que las series de datos fuera de orden (ceros y valores negativos) se eliminaron, creando una matriz continua con la cual fue posible obtener las estadísticas mensuales y anuales correspondientes.

En particular, el análisis del comportamiento de la variable de *Tmax*, permitió establecer la época cálida y la estimación de las Olas de Calor, bajo el criterio umbral del *percentil 95* del conjunto de las estaciones elegidas; de estas, aquellos que se presentan por tres o más días consecutivos. Es de aclarar que, en caso de presentarse una interrupción de la Ola de Calor por tan solo un día (debajo del umbral), ésta se considera dentro de la misma.

La época cálida del año inicia cuando se registra con el primer día de Ola de Calor y finaliza con el último día de Ola de Calor.

A continuación, se seleccionan y descargan las imágenes *LANDSAT* correspondientes a dicha época; en este caso, imágenes dentro del periodo posterior o cercano a 2010 (coincidentes con la información censal), representado por *LANDSAT 8*.



Una condición necesaria es que las imágenes seleccionadas presenten poca nubosidad, al menos en lo que respecta al área urbana del municipio.

Una vez descargado el conjunto de datos vectoriales y estadísticos, además de la incorporación de las variables censales, fue posible la construcción del índice de riesgo, la vulnerabilidad, la exposición y el peligro.

Enfatizando en lo anterior se tiene que,

- 1) La vulnerabilidad, representa la *falta de acceso a la educación* (población analfabeta de 15 años o más y población sin primaria completa de 15 años o más), *viviendas con limitaciones* (sin disponibilidad de agua entubada, sin drenaje ni servicio sanitario exclusivo, con piso de tierra y con algún nivel de hacinamiento), *población en edad extrema* (niños menores de 4 años y adultos mayores de 65 años), *densidad de población* (población total/área).
- 2) La exposición queda representada por la *población total*.
- 3) El peligro se refiere a la intensidad de las ICUS.

3.5.2 Fase de procesamiento y análisis

Para la estimación de la T_s se aplicó el método mono-canal (*single-channel method*), único método aplicable a la plataforma LANDSAT (Jiménez-Muñoz y Sobrino, 2003). El cálculo matricial de la imagen correspondió a la región TIR (bandas 10 y 11) para LANDSAT 8.

Con la herramienta *álgebra de mapas* utilizada en PR se editó la estructura de las imágenes, lo que permitió introducir ecuaciones y diversos cálculos matemáticos simples y avanzados. Cabe señalar que, al estar las imágenes referenciadas y libres de nubes no fue necesario la aplicación de correcciones geométricas y atmosféricas adicionales.

Siguiendo el procedimiento formulado por Santana *et al.*, (2010) para estimar la T_s , el valor de corrección de la emisividad propuesto fue de 0.935.

Para la evaluación de la ICUS, de un conjunto de imágenes del periodo que comprende la *época cálida* y en coincidencia con la información disponible del XIII Censo de Población y Vivienda, se obtuvo una imagen promedio. De esta imagen térmica promedio, mediante muestreo aleatorio en áreas urbanizadas, se obtiene un valor medio, el cual se establece como temperatura umbral (anomalía térmica positiva) para estimar la ICUS; que una vez calculada tiene cinco intensidades distintas.



La estimación del NDVI se llevó a cabo con la misma imagen con la cual se calcularon los valores de la ICUS, siguiendo el método propuesto por Chuvieco (2010) cuyo propósito es realzar las cubiertas con vegetación abundante y sana, para posteriormente agregarlo como un componente de la vulnerabilidad.

Del conjunto de datos vectoriales, se realizan diversos procesos, entre los que se destacan los siguientes:

- 1) El Ensamble (*join*) de la base estadística del XIII Censo de Población y Vivienda con la Capa de Polígonos de Colonias de Zapopan.
- 2) Creación de Capas Vectoriales (polígonos) del Estado de Jalisco, municipio de Zapopan y de Colonias.
- 3) Creación de la Capa Vectorial Georreferenciada de las estaciones meteorológicas con sus respectivas estadísticas.

Una vez extraída la información de las variables del Censo 2010, se ordenó para su procesamiento y construcción del IRS por ICUS, lo cual se muestra en la figura 3.6.

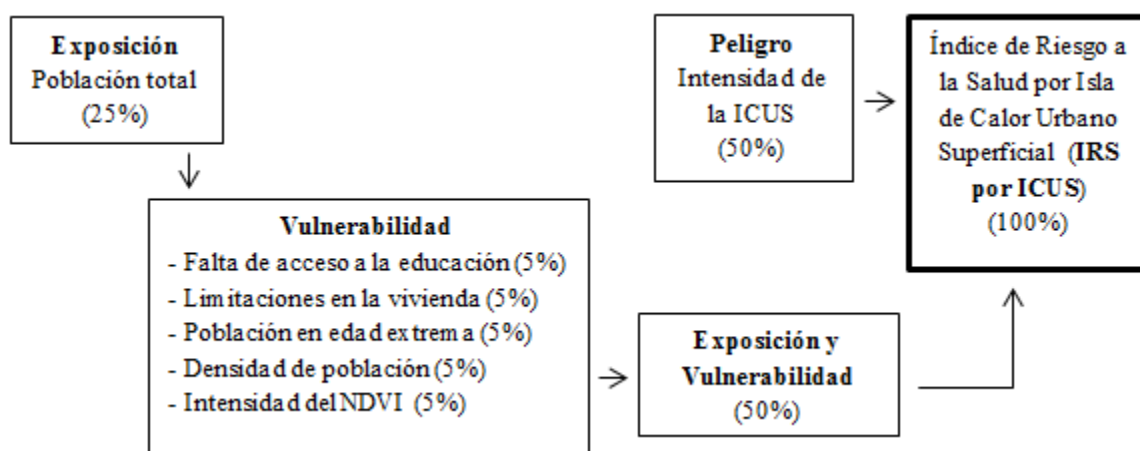


Figura 3.6 Diagrama de decisión del IRS por ICUS. Elaboración propia.

Para el análisis de la concentración de Ozono y sus efectos a la salud, se llevó a cabo la estadística del comportamiento temporal (horario, mensual y anual para la época cálida), así como la delimitación del cumplimiento de la legislación ambiental y sus normativas; que entre otros aspectos, exige el ordenamiento estadístico de los datos horarios por estación e identificación de aquellos valores superiores a 0.095 ppm. Similarmente, se

realizan los promedios móviles en ocho horas para identificar los valores mayores a 0.070 ppm para un año. Cuando es rebasado uno de los criterios antes expuestos, se incumple la norma. Para determinar la interpolación espacial de los datos entre estaciones, se aplicó una zona de influencia (*buffer*) de 2 kilómetros para cada una.

Lo expresado en el párrafo anterior se puede observar en la figura 3.7.

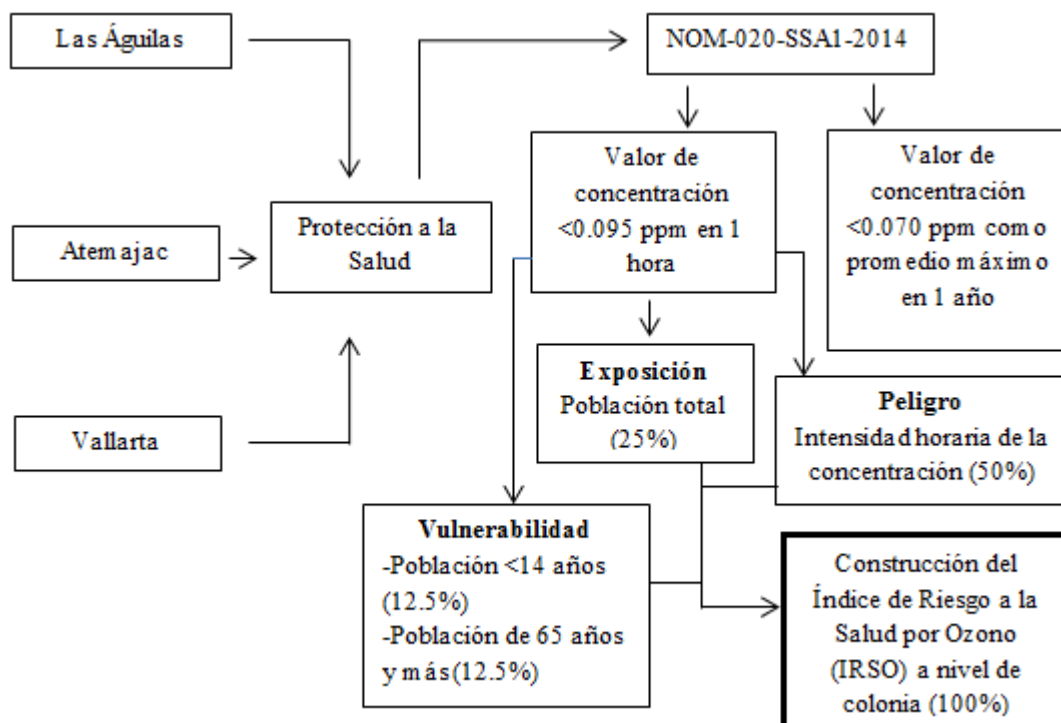


Figura 3.7. Diagrama de identificación del Índice de Riesgo a la Salud por Ozono (IRSO).

Capítulo 4. Resultados y discusión

4.1 Cálculo e identificación de la época de calor

La época de calor en el municipio de Zapopan se estableció con la estimación de las Olas de Calor, a través del *percentil* 95 usando la serie de *Tmax* para tres o más días consecutivos (mínimo un día de interrupción para considerarse dentro del mismo episodio cálido). Se desarrollaron las estadísticas que mostraron el comportamiento de la variable mencionada en la zona de estudio.

4.1.1 Comportamiento interanual de la Temperatura máxima del aire

En la figura 4.1 se destaca la variabilidad interanual, apreciando que los años 2000 y 2001 han sido los más cálidos; mientras que, 1997 y 2010 los menos cálidos. Por otra parte, no es posible observar una tendencia significativa (al aumento o disminución) en la muestra utilizada.

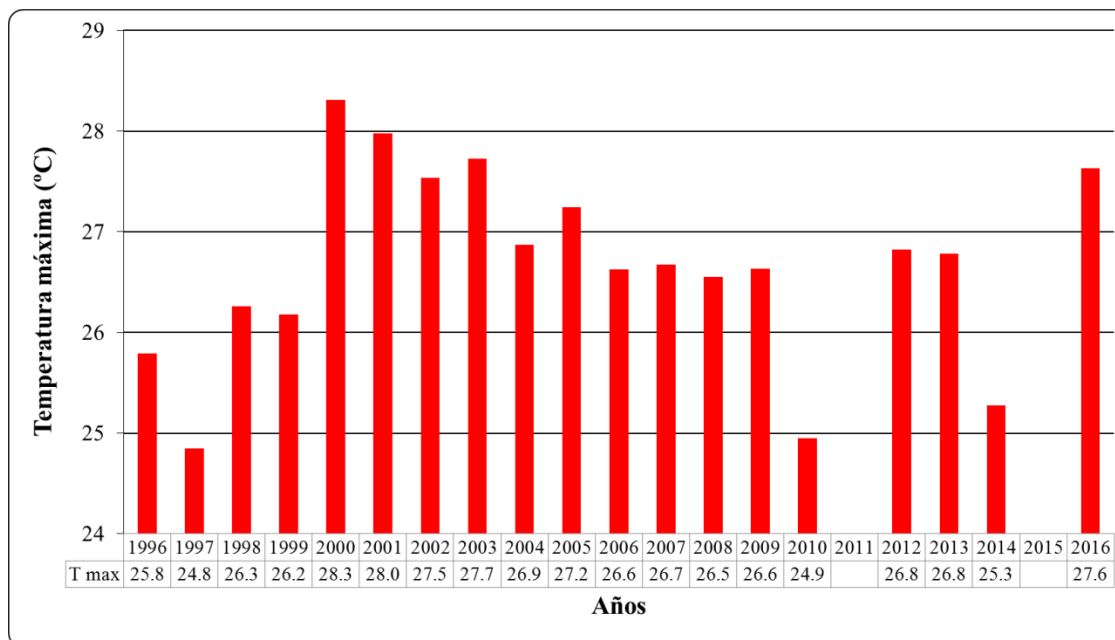


Figura 4.1 Comportamiento interanual de la T_{max} promedio

Fuente: Elaboración propia con información del SIMAJ (2011 y 2015, datos no disponibles)

Por su parte, la figura 4.2 permitió conocer el grado de variación de la T_{max} y las anomalías interanuales. Sobresalen dos bloques de anomalías negativas:

- 1) El intervalo correspondiente a los años 1996-1999
- 2) Los años entre 2010-2014

En cuanto a las anomalías positivas, se pueden observar:

- 1) Las correspondientes a los años 2000-2005
- 2) La anomalía del último año analizado 2016 y su posible continuidad

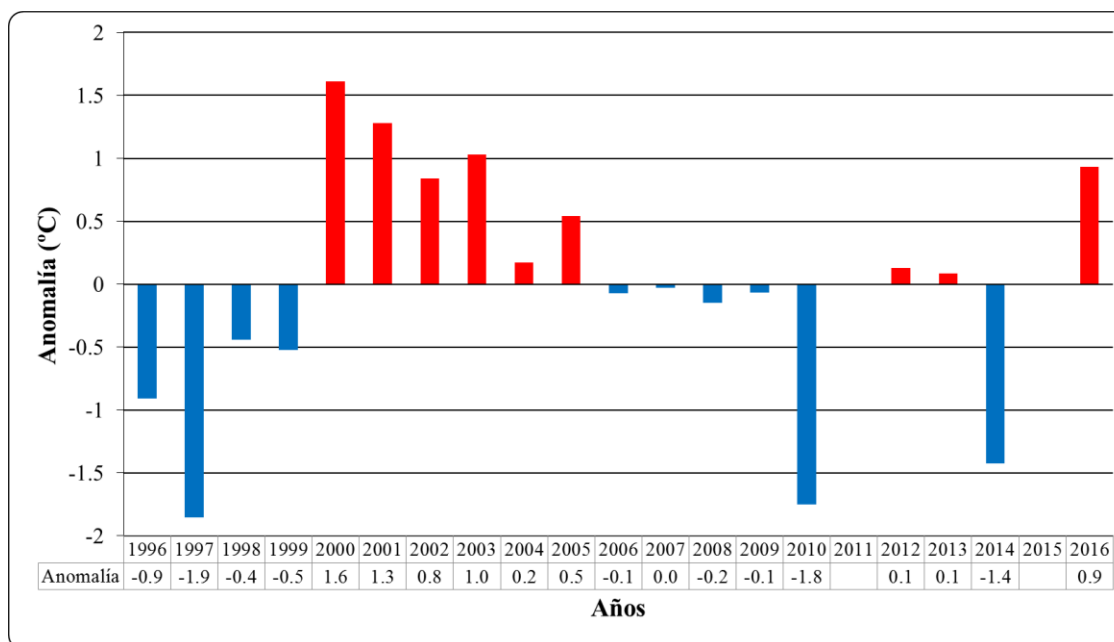


Figura 4.2 Anomalías interanuales de la T_{max}
Fuente: Elaboración propia en base a información del SIMAJ

4.1.2 Comportamiento intermensual de la temperatura máxima del aire

Los rasgos sobresalientes en la figura 4.3 corresponden al intervalo de los meses abril-junio, destacando en el presente estudio los picos concernientes a mayo; en contraparte, el periodo de los mínimos de T_{max} se presenta entre diciembre y enero. En lo expresado en el párrafo anterior, queda la evidencia de que el periodo de interés en esta investigación está acotado entre abril y junio.

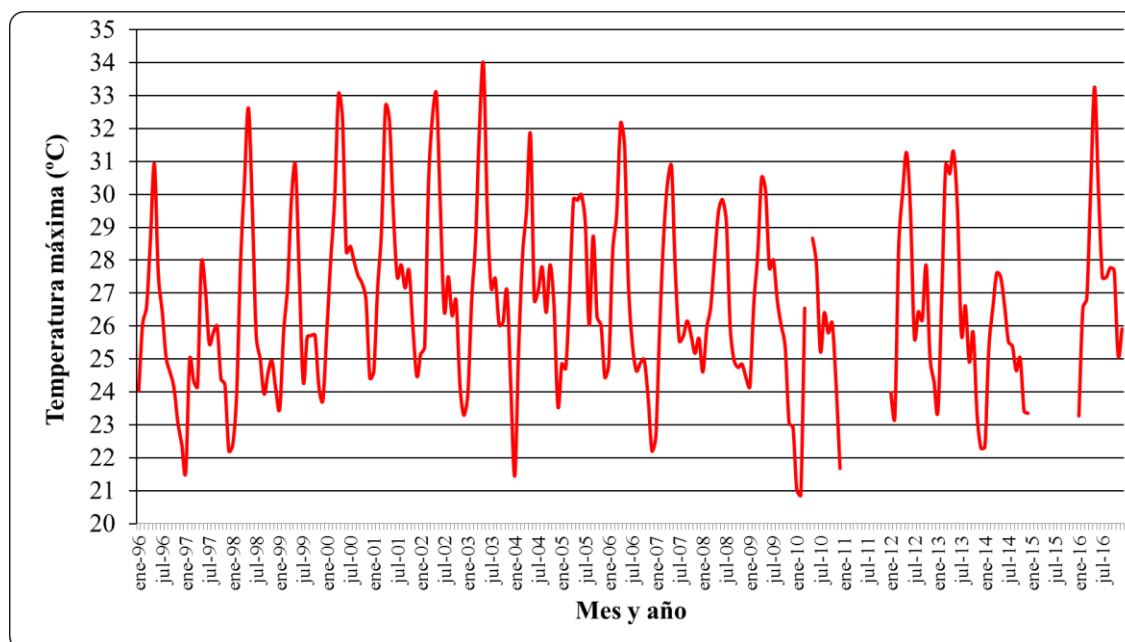


Figura 4.3. Comportamiento intermensual de la T_{max}
Fuente: Elaboración propia en base a información del SIMAJ

En la figura 4.4 se aprecias las anomalías intermensuales y el mes más cálido para cada año. Se destacan los meses de mayo 2003 y 2016 por sus temperaturas extremas. Existe correspondencia con las anomalías de los bloques detectados en la figura 4.2, aunque con una característica más específica.

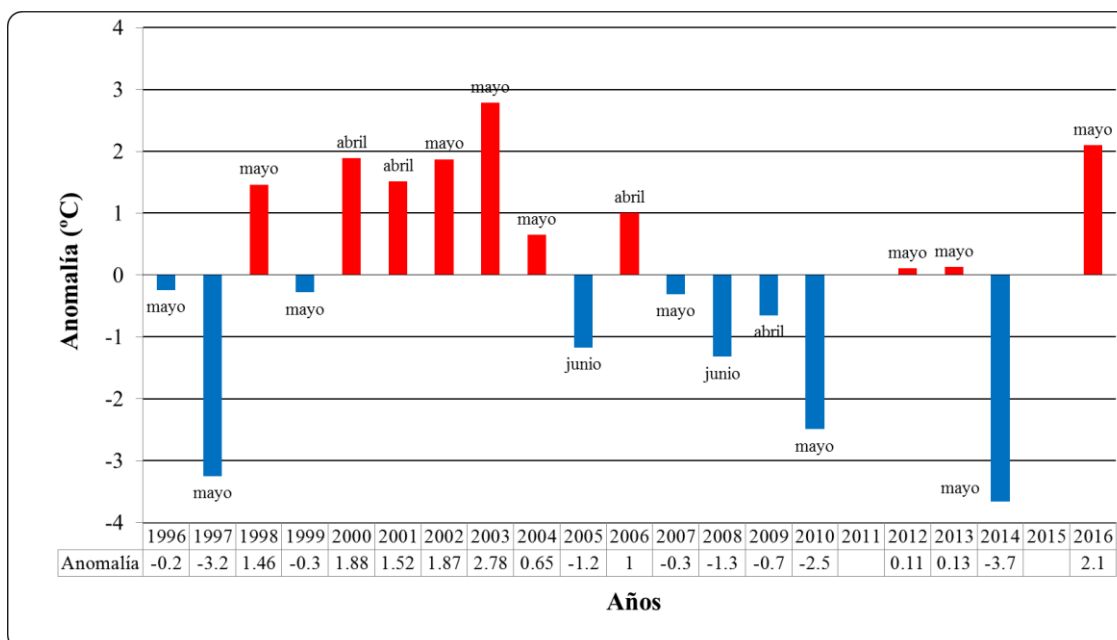


Figura 4.4. Anomalías intermensuales de la T_{max} . Las barras en color rojo indican anomalías positivas y en azul, anomalías negativas (el mes en que se ha presentado).
Fuente: Elaboración propia en base a información del SIMAJ

4.1.3 Comportamiento diario de la temperatura máxima del aire

Los trabajos reportados sobre el comportamiento de la T_{max} en otras regiones del mundo, diferencian al periodo del verano como el más cálido. Sin embargo, en el área de estudio en cuestión, las T_{max} extremas ocurren durante la primavera (abril-junio).

En la figura 4.5, quedan establecidos los rasgos principales sobre la línea de T_{max} , con una cresta de máximos extremos en el periodo mayo-junio.

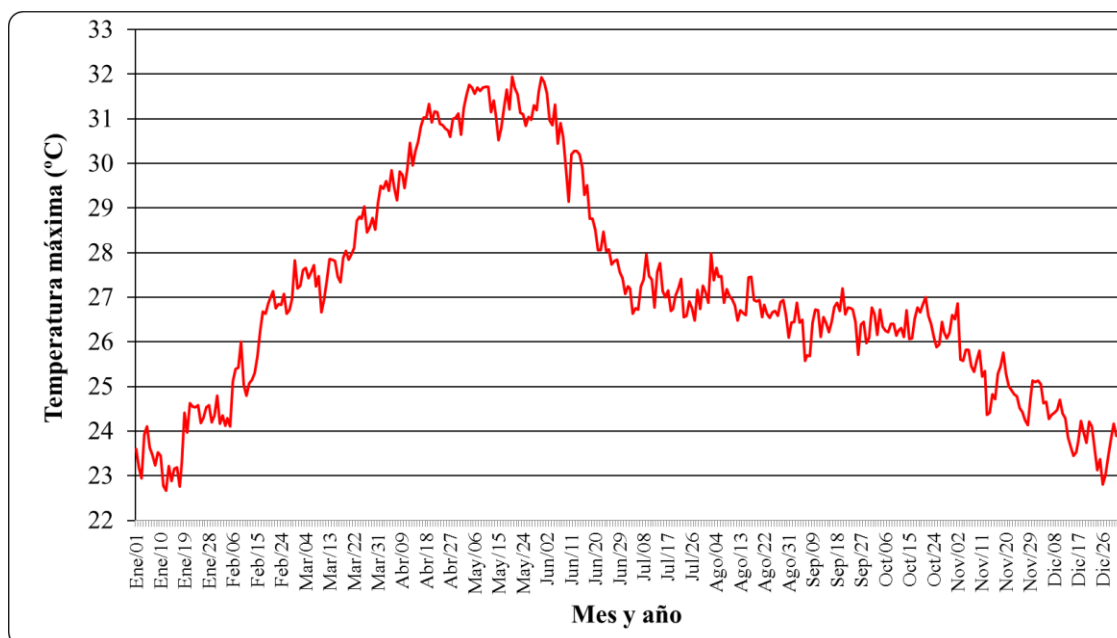


Figura 4.5. Comportamiento promedio diario de la T_{max} para el periodo (1996-2016).

Fuente: Elaboración propia en base a información del SIMAJ

4.1.4 Comportamiento horario de la temperatura promedio para cada mes

A través de la figura 4.6 se distingue la marcha diaria de la temperatura promedio por meses. Independientemente del mes, el rasgo significativo es que la ocurrencia de las T_{max} (línea roja) son alrededor de las 17 horas, siendo los meses de abril, mayo y junio, los más cálidos.

4.2 Cálculo de las Olas de Calor

Como se ha expresado anteriormente, a partir de las tres estaciones de monitoreo y la serie diaria de T_{max} para cada año dentro del periodo 1996-2016 (7779 datos), se promedió y aplicó la técnica estadística del *percentil 95* para conocer la temperatura umbral (32.7 °C). A continuación se establece el criterio de que todo valor igual o mayor, se considera un día o episodio cálido; si éste persiste por tres o más días, se considera Ola de Calor. En la tabla 4.1 se observan los episodios característicos registrados en el periodo de estudio. Como es de esperar, la variabilidad natural interanual está presente al no existir una homogeneidad en la frecuencia, inicio, duración y fin de la época de calor. Algunas de las características se describen a continuación:

- 1) En 1996, inició el 10 de mayo y terminó el día 29 del mismo mes.

- 2) En 2005, inició el 28 de marzo y terminó el 18 de junio, siendo el periodo más extenso.
- 3) En los años 1997 y 2010, no se experimentaron Olas de Calor; solo 2010 presentó cinco días cálidos.

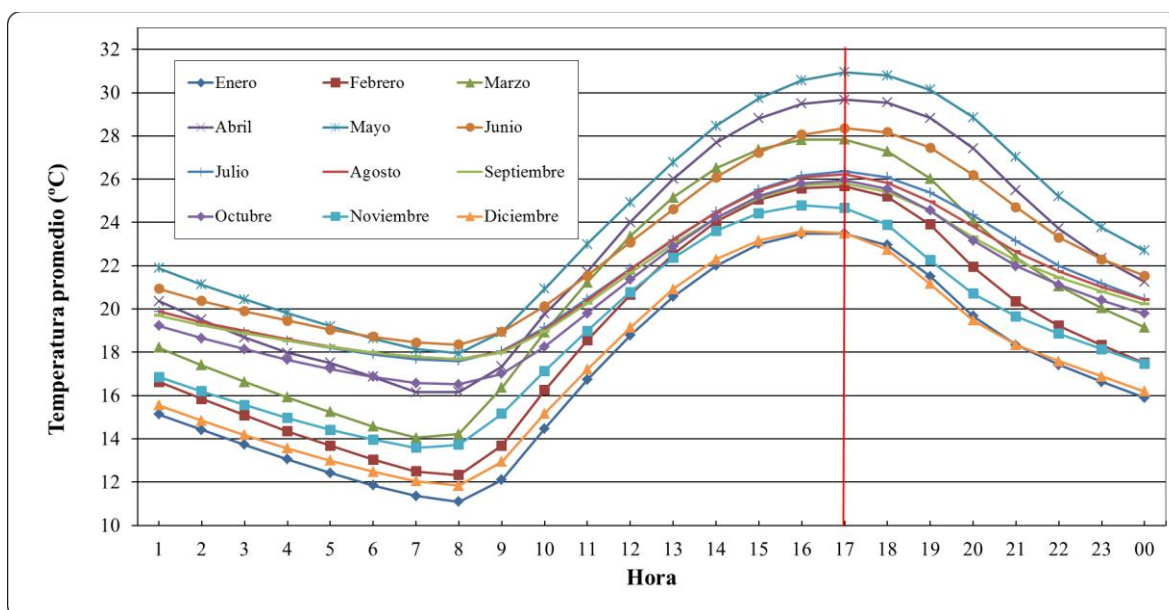


Figura 4.6. Promedio de la marcha diaria de la temperatura en cada mes. La línea roja vertical indica la hora a la cual se presenta la T_{max} .

Fuente: Elaboración propia en base a información del SIMAJ.

En este sentido, el comportamiento de las Olas de Calor y días cálidos se resume en la tabla 4.2. Los episodios más prolongados ocurrieron en los años 2000 (40 días), 2002 (26 días) y 2003 (28 días), siendo sus promedios de temperatura 34.1 °C, 34.7 °C y 34.7 °C respectivamente. Por su parte, los años 2000 (40 días), 2002 (44 días), 2003 (38 días) y 2005 (38 días) experimentaron la mayor cantidad de días cálidos.



Riesgo a la salud por Isla y Ola de Calor en el municipio de Zapopan, México

Tabla 4.1. Olas de Calor y días cálidos en el periodo 1996-2016.

Fuente: Elaboración propia con información del SIMAJ.

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Mar/26	25.9	26.6	28.9	27.4	31.3	29.5	34.1	30.1	32.5	30.2	27.9	28.6	28.7	27.6	28.5		28.2	30.1	29.4	28.9	
Mar/27	25.8	25.3	28.8	26.1	30.7	27.6	34.1	29.2	31.0	32.6	27.9	26.7	28.6	26.7	28.7		28.5	29.1	28.0	27.5	
Mar/28	21.6	25.3	30.0	26.3	30.9	27.6	34.0	26.8	31.0	32.8	28.3	28.0	28.9	27.7	30.0		29.0	29.8	28.3	30.5	
Mar/29	27.2	26.6	29.3	27.0	30.2	28.7	32.4	26.1	28.2	30.4	29.7	30.2	27.6	28.2	27.3		28.0	30.3	30.2	31.5	
Mar/30	28.8	26.6	28.1	27.6	30.2	29.1	30.7	21.4	27.4	31.5	30.6	30.4	27.5	28.2	27.3		28.6	31.1	29.7	30.3	
Mar/31	29.1	26.8	29.3	28.5	30.3	32.0	32.2	24.5	26.5	31.0	31.7	30.7	27.5	30.0	28.4		26.7	32.6	29.2	30.8	
Abr/01	29.4	26.1	30.1	27.7	31.7	32.5	31.7	27.5	26.5	32.2	32.1	28.0	28.7	29.6	27.8		27.7	31.0	30.9	30.0	
Abr/02	28.5	27.1	31.2	27.5	31.7	33.1	33.0	28.3	26.0	30.1	32.2	28.0	28.7	29.0	26.0		27.5	30.4	31.3	29.5	
Abr/03	26.4	24.9	31.8	25.8	31.4	33.1	33.5	30.5	27.5	31.7	33.9	29.7	27.9	29.4	28.1		28.5	29.6	29.8	30.0	
Abr/04	28.6	15.1	32.2	26.8	31.6	35.2	33.1	30.5	26.2	31.1	33.3	29.5	28.1	30.2	28.4		29.7	30.2	30.9	30.2	
Abr/05	28.1	21.4	32.8	30.0	31.1	35.1	33.4	30.6	27.1	31.8	33.3	30.1	26.6	31.4	30.5		24.5	30.1	31.5	31.8	
Abr/06	23.5	22.7	31.9	32.3	31.1	32.0	31.2	31.6	25.2	33.7	30.1	31.0	25.9	30.3	30.1		28.7	30.3	29.6	32.0	
Abr/07	24.2	23.8	31.4	32.2	31.1	32.5	27.9	29.6	25.4	33.6	30.3	29.6	26.4	29.6	30.2		29.2	29.9	28.8	31.7	
Abr/08	25.1	25.7	31.3	33.4	31.1	33.1	28.2	32.3	26.9	31.6	32.6	28.4	27.0	29.5	29.9		30.3	29.9	28.8	32.9	
Abr/09	26.4	24.6	30.9	32.5	30.9	33.2	29.8	31.6	28.3	31.2	33.1	27.9	26.4	29.1	28.5		30.5	29.2	28.9	32.4	
Abr/10	28.7	21.5	29.6	32.4	31.0	31.6	29.4	28.4	29.3	31.5	32.3	29.1	27.0	30.4	28.4		30.9	27.4	30.9	32.0	
Abr/11	28.7	24.4	30.8	32.0	32.1	32.5	30.5	27.6	29.1	30.8	33.2	29.8	27.2	30.7	30.2		30.4	28.5	31.3	31.1	
Abr/12	28.0	22.6	30.8	30.4	32.8	34.5	31.6	31.4	29.3	32.8	33.9	30.0	28.1	30.9	29.5		31.1	29.5	32.6	31.8	
Abr/13	27.8	15.0	31.6	29.9	34.2	35.8	31.2	32.5	30.5	33.2	32.5	29.3	26.7	30.1	27.8		31.0	28.6	32.1	31.1	
Abr/14	28.6	19.5	32.3	29.4	35.2	33.9	30.7	31.9	30.8	33.2	32.7	32.2	26.2	30.2	28.4		29.6	29.6	32.1	32.8	
Abr/15	30.4	22.7	33.4	29.2	34.8	36.5	27.9	31.8	31.7	33.0	32.5	31.2	27.5	29.5	27.8		29.2	30.3	31.9	31.3	
Abr/16	23.3	25.5	33.1	28.7	34.9	35.6	29.8	33.2	33.0	32.6	30.5	33.0	27.9	29.3	28.0		29.9	32.4	30.1	29.2	
Abr/17	29.3	26.2	32.1	27.9	34.7	35.4	31.8	35.4	34.8	33.3	31.6	32.8	28.1	29.3	28.7		30.4	32.9	28.8	26.3	
Abr/18	30.9	26.4	30.1	28.0	35.0	33.7	34.4	34.1	33.0	32.5	33.5	32.4	28.3	28.5	27.7		29.4	33.0	30.2	28.6	
Abr/19	30.8	26.2	29.3	29.1	34.5	32.9	35.1	33.3	34.5	32.3	33.5	30.1	28.3	30.5	28.0		30.0	33.8	30.3	32.6	
Abr/20	30.6	24.8	29.2	29.2	34.9	32.9	33.9	34.8	30.9	33.3	33.0	32.9	28.8	29.7	29.7		28.8	31.4	30.3	30.6	
Abr/21	30.6	26.8	28.9	29.0	34.9	33.1	34.4	33.5	30.6	34.5	33.8	32.5	29.7	29.9	29.5		31.5	31.0	31.4	28.5	
Abr/22	30.2	27.6	28.7	29.0	34.9	32.9	32.8	32.3	30.3	34.9	33.0	33.5	29.8	30.6	28.3		31.2	31.8	32.4	29.7	
Abr/23	30.2	28.5	28.8	29.2	35.3	33.5	35.4	32.0	29.1	33.9	31.7	31.6	29.6	30.1	27.6		31.2	30.8	30.8	27.5	
Abr/24	27.0	26.9	29.3	31.5	34.7	33.8	36.0	31.4	31.2	31.2	33.3	29.6	28.8	30.8	30.7		31.9	31.3	30.5	28.8	
Abr/25	29.3	25.9	29.1	30.4	34.6	31.4	35.9	32.5	31.2	31.0	33.0	29.7	29.5	31.4	30.1		32.0	30.2	30.6	29.2	
Abr/26	31.9	23.4	28.5	29.5	33.7	29.8	33.3	33.6	32.5	30.6	35.0	30.0	30.5	31.5	30.2		33.0	31.6	29.2	28.2	
Abr/27	31.7	22.4	29.6	29.8	33.5	30.0	33.3	33.9	31.2	31.4	33.8	28.9	30.0	31.3	29.8		32.7	32.2	29.5	27.2	
Abr/28	30.9	26.1	28.2	29.7	33.2	31.2	35.6	32.9	30.0	33.5	32.2	29.9	30.3	32.7	29.7		31.2	31.1	31.1	32.0	
Abr/29	30.6	28.7	27.4	30.2	32.6	31.4	36.3	32.8	29.6	34.7	31.6	29.6	28.8	32.7	29.3		31.7	30.0	31.1	32.1	
Abr/30	29.6	29.2	28.5	30.4	32.8	31.0	36.2	34.5	31.1	34.1	31.2	29.7	29.1	32.8	28.9		31.2	29.3	30.6	30.5	
May/01	28.6	29.6	30.3	31.0	32.7	32.2	34.6	32.6	31.0	33.9	29.5	27.5	29.5	32.8	23.6		32.6	31.1	30.1	31.0	
May/02	31.6	29.8	30.8	31.0	32.9	31.0	33.3	36.2	32.1	33.0	28.7	32.6	29.8	32.2	25.2		32.3	32.4	28.7	31.8	
May/03	30.3	31.0	32.4	30.5	33.4	29.8	35.8	36.2	27.2	30.7	30.9	33.2	30.7	31.9	28.8		32.9	30.9	29.5	35.1	
May/04	31.9	30.1	32.8	29.8	33.4	30.0	36.7	36.8	29.5	31.6	30.9	34.1	30.1	32.4	29.8		32.2	29.6	30.5	35.0	
May/05	32.0	30.6	33.5	29.5	33.3	31.1	34.4	35.0	29.8	31.7	32.3	32.9	29.8	32.5	29.8		31.6	29.6	31.4	33.6	
May/06	30.1	30.1	34.0	30.2	34.1	31.4	34.0	33.4	29.3	31.1	30.4	33.0	29.0	33.3	30.8		32.0	31.2	32.4	34.0	
May/07	32.3	29.1	34.3	31.0	34.4	33.0	33.3	34.4	31.1	29.9	33.4	34.0	27.7	33.8	31.9		32.5	30.3	22.6	34.6	
May/08	32.1	26.6	32.6	30.0	35.2	32.8	33.0	34.7	31.8	30.2	33.5	33.6	29.0	33.7	30.0		32.4	31.1	27.2	34.1	
May/09	32.2	27.9	32.7	29.4	34.7	30.5	34.8	34.0	31.1	32.6	33.2	33.7	29.6	32.6	29.6		32.0	32.2	29.5	32.9	
May/10	33.2	27.3	33.0	29.2	35.4	31.0	35.7	34.2	32.2	32.1	34.1	34.0	29.8	31.5	29.3		30.8	31.1	30.4	31.4	
May/11	32.6	27.8	32.6	29.8	34.3	31.5	35.0	36.5	31.9	32.2	34.2	32.9	30.4	30.7	28.9		31.1	30.3	31.2	31.5	
May/12	30.9	26.2	32.9	30.9	34.3	32.3	35.1	34.7	33.8	31.1	29.5	33.1	29.2	27.4	26.6		31.5	30.1	31.4	32.7	
May/13	32.8	26.6	32.6	30.2	34.1	30.1	34.1	34.6	33.8	31.7	33.5	32.9	30.8	29.6	28.7		31.0	29.2	30.1	32.9	
May/14	31.8	25.5	32.9	30.8	34.1	30.2	31.3	34.9	33.9	31.4	33.3	32.4	29.2	31.6	28.3		30.0	28.0	31.1	32.6	
May/15	31.5	26.1	31.1	30.7	34.3	32.3	30.9	35.5	33.4	30.2	31.7	31.4	27.2	29.3	26.6		32.0	27.9	28.5	31.3	
May/16	30.9	26.9	32.7	31.8	33.5	33.5	31.2	34.7	32.0	30.4	31.5	32.1	29.4	29.5	24.8		32.3	31.1	26.0	31.4	
May/17	29.5	28.2	32.7	33.0	34.5	32.1	32.7	35.4	32.4	30.3	30.4	31.6	29.0	28.9	27.6		32.3	32.1	32.0	31.3	
May/18	30.0	28.8	32.7	32.0	33.2	34.5	34.0	35.9	34.5	31.8	29.7	31.2	28.4	27.4	27.8		33.1	33.4	31.6	32.7	
May/19	29.1	29.1	32.4	31.0	33.8	33.4	28.9	34.2	33.1	32.0	30.4	31.3	28.1	27.8	29.8		33.7	33.8	28.3	33.2	
May/20	31.4	30.0	33.1	31.4	32.6	34.9	32.7	35.8	32.6	33.8	31.2	30.9	28.6	25.7	30.2		33.9	33.2	33.2	33.0	
May/21	33.7	29.0	32.5	31.8	33.1	33.9	32.3	34.3	32.6	32.7	32.7	29.9	28.6	27.9	30.0		30.7	32.9	31.3	33.7	
May/22	31.1	25.5	32.8	30.9	31.0	35.3	32.6	35.3	31.7	33.5	34.1	30.8	29.6	27.5	29.9		30.9	33.3	30.2	34.5	
May/23	31.1	26.2	32.7	32.1	30.4	32.9	32.1	33.6	32.7	32.0	33.3	31.3	30.4	27.6	28.7		30.6	31.7	29.0	33.9	
May/24	31.6	27.2	32.1	31.1	29.5	33.3	32.8	31.8	34.7	31.8	33.8	31.5	31.1	28.4	27.1		29.8	31.8	27.9	34.4	
May/25	32.6	28.6	31.7	30.3	28.4	33.2	34.1	31.3	34.0	32.4	32.9	27.6	30.6	30.2	28.7		26.7	29.3	30.5	35.3	
May/26	32.2	29.1	31.6	31.4	27.9	35.0	33.4	31.9	31.9	34.0	31.8	24.8	30.0	29.7	30.2		31.2	30.2	29.9	35.5	
May/27	27.9	30.5	32.1	29.7	28.9	35.5	31.2	32.7	31.3	32.4	30.9	29.3	31.0	31.6	29.8		31.0	30.8	30.0	34.3	
May/28	31.5	29.8	32.8	30.3	28.3	35.4	33.2	32.9	32.3	32.4	32.4	30.4	3								



Tabla 4.2 Resumen de Olas de Calor y días cálidos en el periodo 1996-2016.
Fuente: Elaboración propia con información del SIMAJ.

Año	Inicio	Fin	Duración	Promedio	Anomalía	Días cálidos	Ta max
1996	SIN OLA DE CALOR					4	
1997	SIN OLA DE CALOR					0	
1998	04-may	10-may	7	33.3	0.6	19	34.3
	28-may	31-may	4	33.1	0.4		33.6
1999	01-jun	03-jun	3	33.9	1.2	5	34.8
2000	12-abr	21-may	40	34.1	1.4	40	35.3
	02-abr	05-abr	4	34.1	1.4		33.5
2001	12-abr	24-abr	13	34.2	1.5	35	36.7
	18-may	31-may	14	34.1	1.4		35.5
2002	26-mar	28-mar	3	34	1.3		34.1
	02-abr	05-abr	4	33.3	0.6	44	33.5
	18-abr	13-may	26	34.7	2		36.7
	24-may	31-may	3	33.2	0.5		34.1
2003	16-abr	21-abr	6	34	1.3		35.4
	26-abr	23-may	28	34.7	2	38	36.5
	27-may	02-jun	7	33	0.3		33.4
2004	16-abr	19-abr	4	33.8	1.1	12	34.8
	12-may	15-may	4	33.7	1		33.9
2005	12-abr	17-abr	6	33	0.3		33.2
	20-abr	23-abr	4	34.2	1.5	38	34.9
	28-abr	02-may	4	33.8	1.1		34.7
	31-may	18-jun	19	34.3	1.6		36.5
2006	03-abr	05-abr	3	33.5	0.8		33.9
	18-abr	27-abr	10	33.4	0.7		33.8
	07-may	14-may	8	33.1	0.4	30	34.2
	21-may	25-may	5	33.4	0.7		34.1
	29-may	31-may	3	33	0.3		33.3
	03-may	13-may	11	33.4	0.7	18	34.1
2007	03-jun	05-jun	3	33.1	0.4		33.4
2008	SIN OLA DE CALOR					0	
2009	28-abr	01-may	4	32.7	0		32.8
	06-may	08-may	3	33.6	0.9	11	33.8
	08-jun	10-jun	3	32.9	0.2		32.9
2010	05-jun	08-jun	4	33	0.3	5	33.7
2011	SIN INFORMACIÓN						
2012	18-may	20-may	3	33.6	0.9	10	33.9
2013	18-may	22-may	4	33.3	0.6	13	33.8
	31-may	02-jun	3	34.7	2		35.2
2014	31-may	02-jun	4	33.3	0.6	5	34.6
2015	SIN INFORMACIÓN						
2016	03-may	09-may	7	34.2	1.5	29	35.1
	18-may	05-jun	18	34	1.3		35.5

4.3 Índice de Peligrosidad de Ola de Calor

El análisis de la información reportó la presencia de 33 Olas de Calor a lo largo del periodo.

De inmediato surgen dos preguntas...

- 1) ¿Cuál ha representado un riesgo significativo para la población?



- 2) ¿Qué factor es más importante para determinar el peligro, la intensidad (temperatura más alta registrada) o la duración (días consecutivos por encima del umbral)?

Para responder a estos cuestionamientos se elaboró un índice con el cual se sintetiza el grado de severidad que representan las Olas de Calor en función de dos parámetros: la *duración* y la *Tmax* promedio. Éste índice se denomina como Índice de Peligrosidad de Ola de Calor (IPOC), ecuación 1:

$$IPOC = \frac{D}{I} \quad (1)$$

Donde:

IPOC = Índice de Peligrosidad de Ola de Calor (días/°C)

D = Duración (días)

I = Intensidad (*Tmax* promedio en °C)

Los resultados obtenidos del IPOC mostrados en la figura 4.7, identificaron como rasgos relevantes las siguientes Olas de Calor:

- 1) El evento ocurrido del 12 de abril al 21 mayo del 2000, identificada como la más peligrosa con un *IPOC*=1.17 días/°C.
- 2) La Ola de Calor acaecida del 18 de abril al 13 de mayo del 2002 con *IPOC*=0.75 días/°C.
- 3) El registrado del 26 de abril al 23 de mayo de 2003 con un *IPOC*=0.80 días/°C.
- 4) Recientemente, el evento del 18 de mayo al 5 de junio el 2016 con un *IPOC*=0.52 días/°C.

Además, factores implícitos a considerar en el estudio de las Olas de Calor son la exposición y la vulnerabilidad. En éste sentido, se identificó que la *duración* es el parámetro que más influye en el *IPOC*, ($\sigma = \pm 0.84$) comparado con la *intensidad* ($\sigma = \pm 0.54$). En este caso, los resultados permiten establecer que una Ola de Calor prolongada es más peligrosa que una más intensa; es decir, el peligro debe centrarse más en la *duración* que en la *intensidad*.

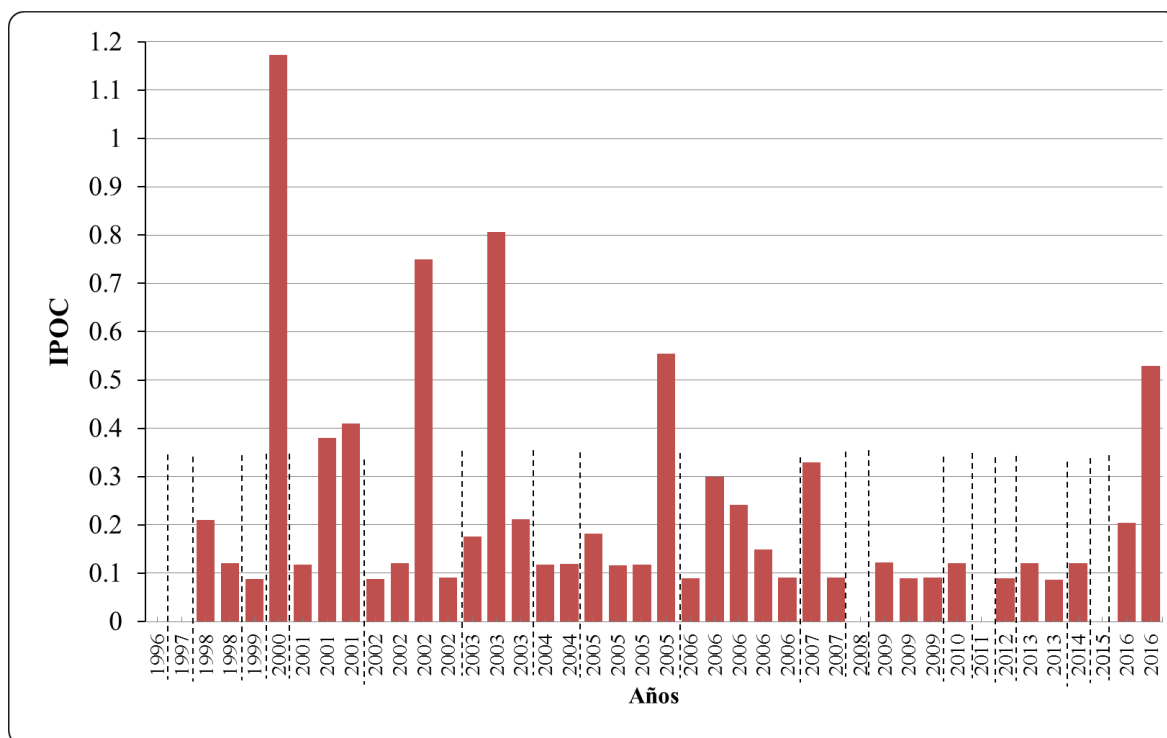


Figura 4.7. Índice de Peligrosidad por Ola de Calor (IPOC). El espacio entre las líneas punteadas representan la cantidad de olas de calor para cada año.

Fuente: Elaboración propia con información del SIMAJ

El autor de la presente investigación dividió los valores del IPOC en tres subcategorías para cuantificar la intensidad:

- 1) *Moderada* (0 a 0.20 días/°C)
- 2) *Fuerte* (0.21 a 0.80 días/°C)
- 3) *Muy fuerte* (superior a 0.80 días/°C)

El valor promedio del IPOC para el periodo fue de 0.22 días/°C, correspondiente a la clasificación de *fuerte*.

4.4 Estimación de la Temperatura superficial

Como primer paso se convierten los DN (números digital o valor de pixel) de la banda de temperatura infrarroja (TIR) a radianza espectral o reflectancia (L_{λ}) mediante la aplicación de la ecuación 1 propuesta por Chander *et al.*, (2009) y aplicada por Nascentes y De Souza (2013).

$$L_{\lambda} = Gain \times DN + Offset \quad (1)$$



Donde:

L_λ : es la radianza espectral o reflectancia ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$)

Gain: es la variación en la función de conversión radianza

DN: es el número digital de cada pixel (0-255)

Offset: es la intercepción de la función de conversión de radianza

Los valores anteriores se encuentran en formato *mtl* (archivo de imágenes 3D) de cada una de las imágenes.

Posteriormente, los DN que contienen los valores de L_λ se convierten a temperatura de brillo del sensor (T_b), conocida como temperatura efectiva del satélite bajo el supuesto de emisividad uniforme y referenciados a un *cuerpo negro* mediante la ecuación 2 (NASA, 2007):

$$T_b = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1\right)} - 273.15 \quad (2)$$

Donde:

T_b : es la temperatura de brillo ($^{\circ}C$)

$K1$: es una constante de calibración ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$)

$K2$: es una constante de calibración (K)

L_λ : es la radianza espectral o reflectancia ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$)

Las constantes de calibración $K1$ y $K2$ presentan distintos valores en dependencia del sensor o satélite, en particular para LANDSAT 8 asumen los valores específicos que aparecen en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Constantes de calibración de la banda TIR para LANDSAT 8 (Chander *et al.*, 2009)

Satélite	$K1 (W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$	$K2 (K)$
LANDSAT 8	774.89 (b10)	1321.08 (b10)
	480 (b11)	1201.14(b11)

La adquisición de imágenes satelitales se realizó a través del sitio web EarthExplorer (earthexplorer.usgs.gov) operado por el United States Geological Survey (USGS); de acceso libre.



Para la selección de las imágenes se consideraron la fecha de inicio y fin de la época cálida y que la cantidad de nubosidad sobre el municipio fuera nula. De esta manera, se encontraron un total de siete imágenes para LANDSAT 8. En la tabla 4.4 y 4.5 se detallan los criterios de selección de imágenes adquiridas.

Tabla 3.4 Criterios de selección de las imágenes LANDSAT 8

<i>Parámetro</i>	<i>Descripción</i>
Path	29
Row	46
Nivel	L1T
Plataforma/sensor	LANDSAT 8 OLI/TIRS
Época del año	26 de marzo a 19 de junio
Periodo	2013-2017
Nubosidad	nula

Tabla 4.5 Conjunto de imágenes seleccionadas para el estudio

<i>Fecha de toma</i>	<i>Hora de toma (Z)</i>	<i>Satélite</i>
10/06/2013	17:20:09	LANDSAT 8
15/05/2015	17:17:09	LANDSAT 8
02/06/2016	17:17:49	LANDSAT 8
01/05/2016	17:17:46	LANDSAT 8
18/04/2017	17:17:34	LANDSAT 8
04/05/2017	17:17:26	LANDSAT 8
05/06/2017	17:17:47	LANDSAT 8

Cabe señalar, que a los valores de temperatura que el sensor recibe se le aplica un factor de corrección de la emisividad superficial propuesto por López y Caselles (1986). En las áreas urbanizadas, la emisividad varía entre 0.920 - 0.950 (Voogt & Oke, 2003). En la presente investigación se utiliza 0.935 como valor de corrección. Artis & Carnaham (1982), Weng *et al.* (2004) y Santana *et al.* (2010), reportaron un procedimiento que permitió calcular la T_s . Esto se observa en la ecuación 3:

$$T_s = \frac{T_b}{1 + \left(\lambda x \frac{T_b}{\rho} \right) \ln \varepsilon} \quad (3)$$



Donde:

T_s : es la temperatura superficial ($^{\circ}\text{C}$)

T_b : es la temperatura de brillo ($^{\circ}\text{C}$)

λ : es la longitud de onda media de la banda térmica ($11.5\ \mu\text{m}$)

ρ : es igual a $14,380\ \mu\text{m}$ ($\rho = h \cdot c / \sigma$; h =constante de Planck [$6.626 \times 10^{-34}\text{Js}$]; c = velocidad de la luz [$2.998 \times 10^8\ \text{m/s}$] y σ =constante de Boltzman [$1.38 \times 10^{-23}\text{J/K}$])

ε : es la emisividad de la superficie urbana (fijada en 0.935)

Para estimar la T_s a partir de LANDSAT 8, es necesario obtener un valor medio, ya que la banda 10 y 11 comparten la región del TIR. Así, de las siete imágenes se obtuvo una representativa para la época cálida (figura 4.8). El mapa térmico resultante corresponde al territorio municipal, del cual se hace un acercamiento del área urbana que permite observar más detalladamente los principales rasgos térmicos.

De esta manera, se logró constatar la existencia de dos áreas con extremos térmicos:

1. Las áreas de cultivos, que presentan suelos desprovistos de vegetación en la época cálida con temperatura promedio de $5\ ^{\circ}\text{C}$ superior al promedio del área urbana.
2. El área natural protegida Bosque “La Primavera”, con temperatura promedio de $10\ ^{\circ}\text{C}$ por debajo de la media del área urbana.

4.5 Estimación de la Isla de Calor Urbana Superficial

Considerando lo expuesto anteriormente, se estimó para el área urbana un valor térmico medio a través del muestreo aleatorio simple, obteniendo la temperatura umbral y la estimación de la ICUS. El muestreo constó de 380 puntos (Figuras 4.9 y 4.10). La línea punteada en la figura 4.10 indica el valor de $35.7\ ^{\circ}\text{C}$, definido como la temperatura umbral. El área urbana presentó variaciones de temperatura entre $26.8\ ^{\circ}\text{C}$ y $43.0\ ^{\circ}\text{C}$ (rango de $16.2\ ^{\circ}\text{C}$) lo que indica la existencia de un comportamiento con cierto grado de variación térmica.

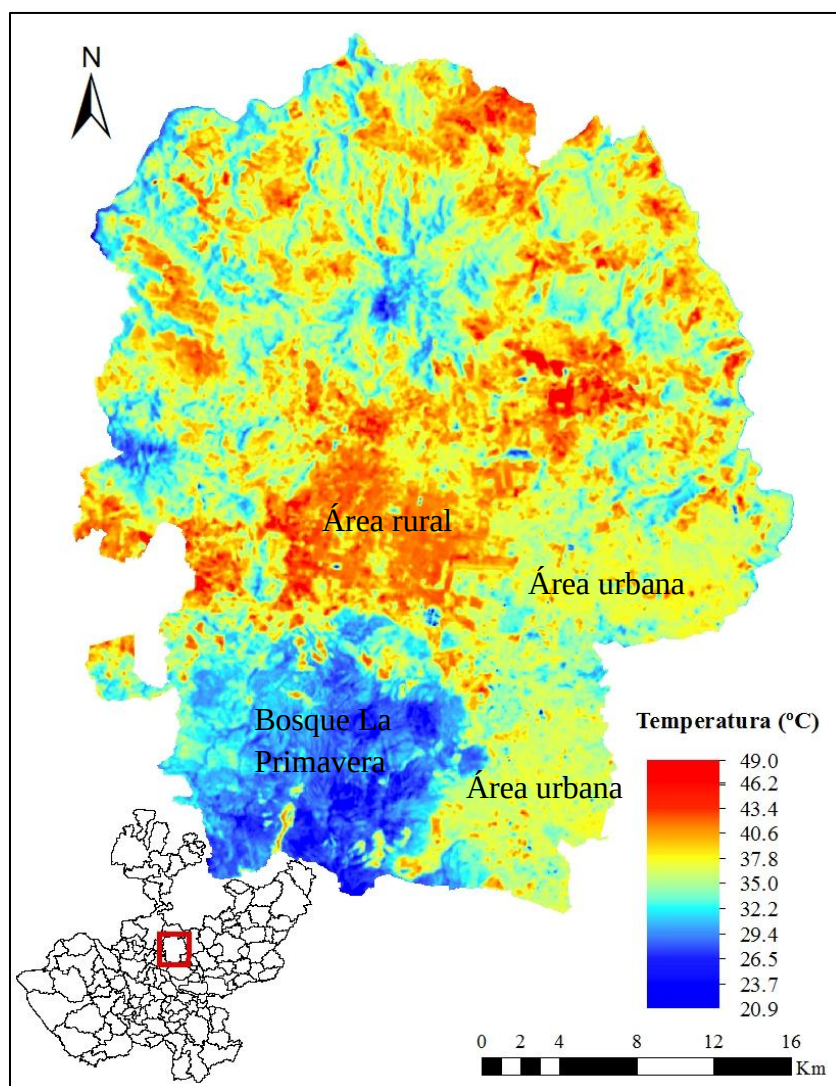


Figura 4.8. Temperatura superficial de Zapopan.

Fuente: Elaboración propia en base a información térmica satelital LANDSAT 8

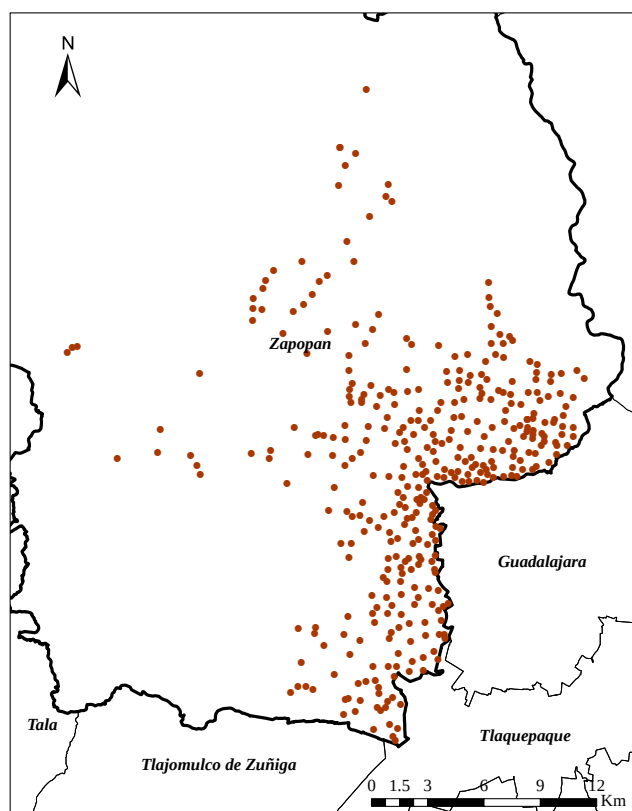


Figura 4.9. Puntos de muestreo (380) sobre el área urbana de Zapopan. Elaboración propia

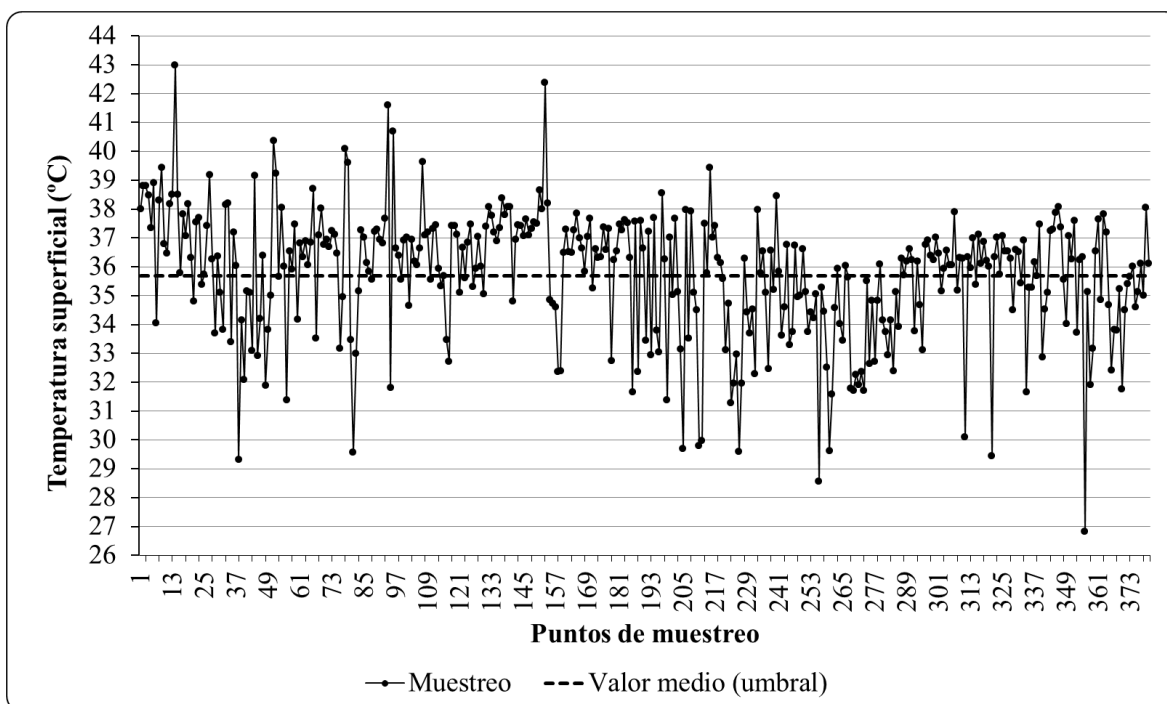


Figura 4.10. Temperatura superficial de los puntos de muestreo sobre el área urbana de Zapopan.

La línea punteada corresponde al valor umbral. Elaboración propia

Una vez aplicada la herramienta de geoproceso de *estadística zonal*, se encontró que de las 769 colonias que componen el municipio de Zapopan, en el año 2015, 578 estuvieron por arriba del valor umbral de 35.7 °C (Figura 4.11).

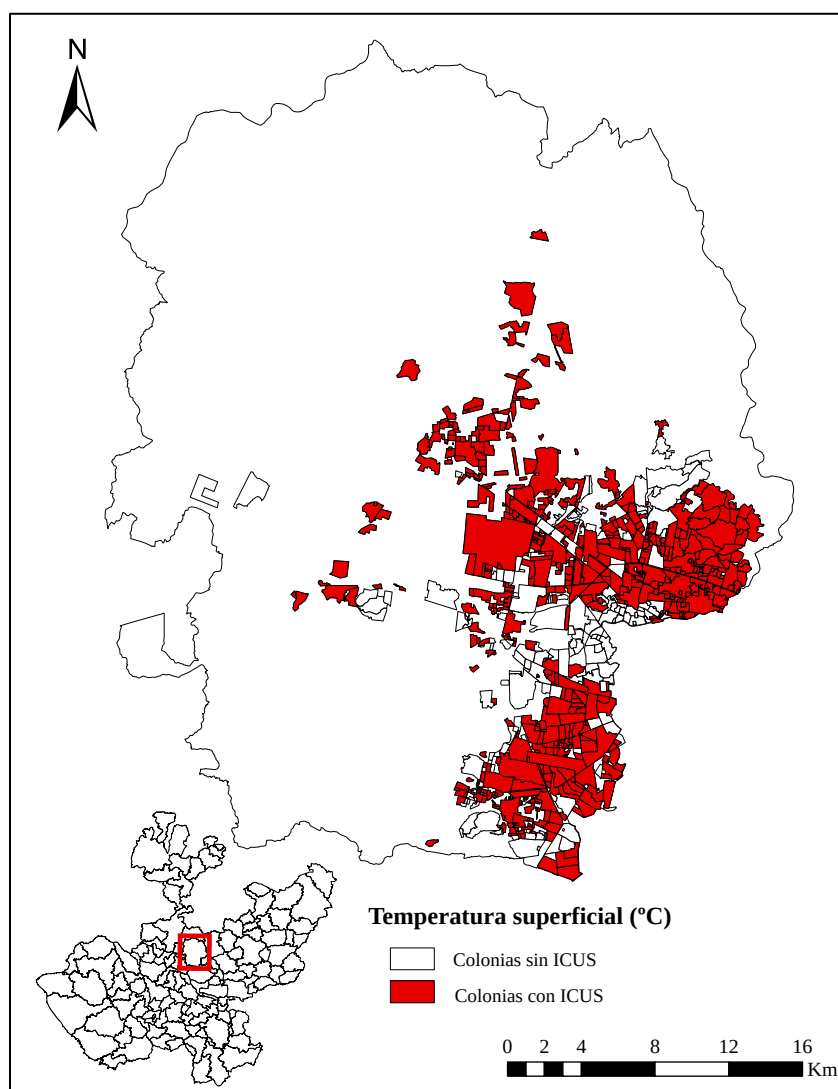


Figura 4.11. Colonias que experimentaron ICUS. Elaboración propia

Por su parte, la figura 4.12 presenta un gráfico de distribución de frecuencias para datos agrupados, dónde se destaca el rango en 11 clases. No obstante, en un análisis detallado permite observar similares entre la primera y la cuarta clase, la segunda y la tercera y desde la quinta a la onceava. De esta manera, se dividen en tres categorías de intensidad a la ICUS mediante el método de clasificación *cortes naturales (jenks)*, el cual

se basa en las agrupaciones naturales inherentes a los datos. Los cortes de clase agrupan los valores similares y maximizan las diferencias entre ellos.

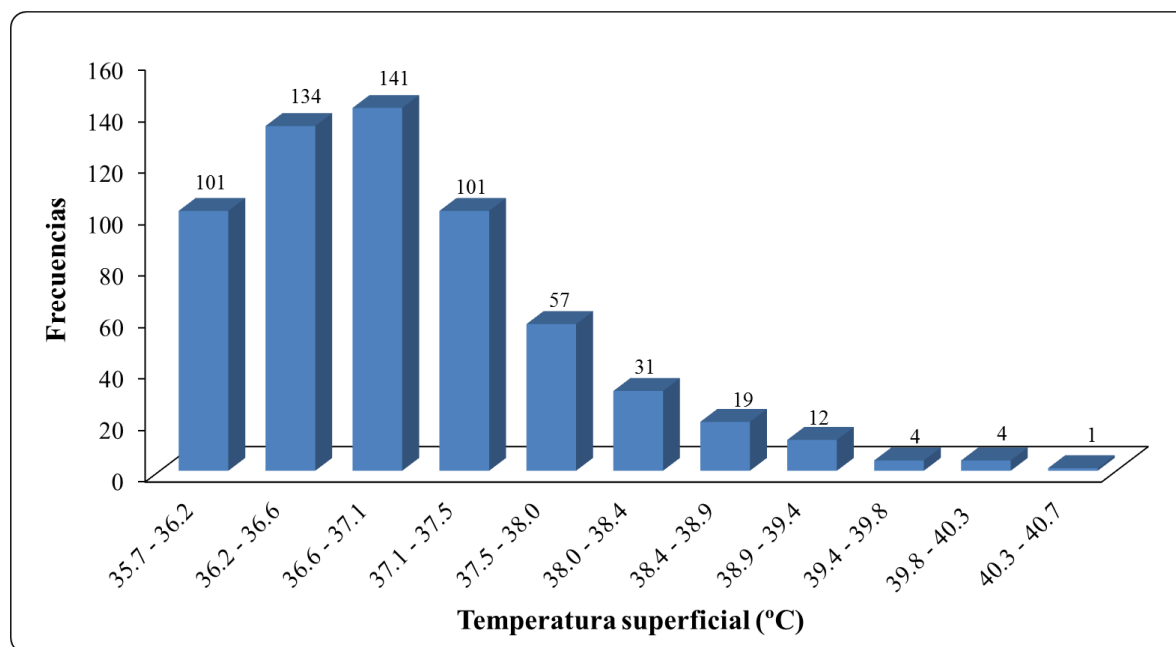


Figura 4.12. Distribución de frecuencias de T_s de las colonias que experimentan ICUS.
Fuente: Elaboración propia en base a información térmica satelital.

Partiendo de las propiedades de la capa vectorial que contiene los datos por colonia que experimentan ICUS y con el método de clasificación de *cortes naturales* en 3 clases, se obtuvieron los puntos de quiebre en los valores de 36.73 °C, 37.92 °C y 40.72 °C, asignándoles el valor nominal de *moderado*, *fuerte* y *muy fuerte*. Por su parte, el mapa de la figura 4.13 muestra las colonias que experimentan ICUS con los distintos grados de intensidad para cada una.

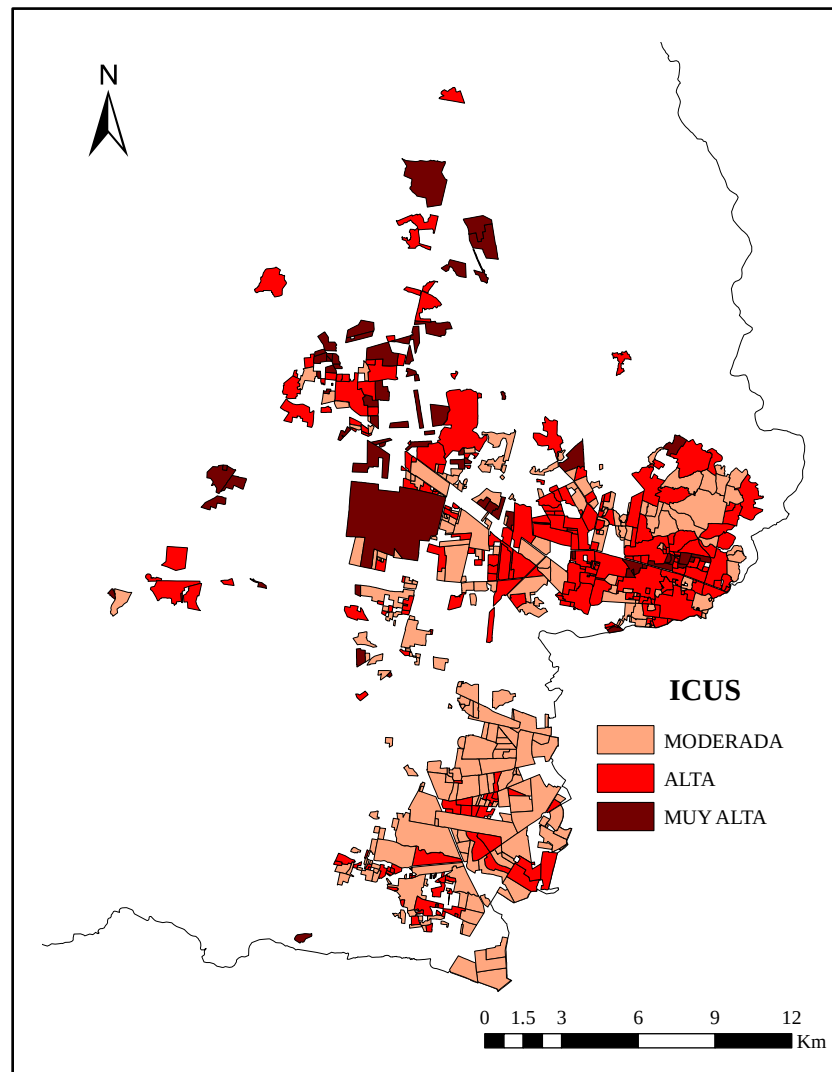


Figura 4.13. Distribución espacial de las colonias que experimentan ICUS.
Fuente: Elaboración propia en base a información térmica satelital.

4.6 Estimación del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

En relación a la obtención de los valores del NDVI para las colonias que experimentaron ICUS, se partió del grado de intensidad de la vegetación como uno de los elementos de la vulnerabilidad para la construcción del Índice de Riesgo a la Salud (IRS) por ICUS. Los puntos de quiebre correspondieron a los valores de 0.11, 0.14 y 0.23, asumiendo intensidades nominales de *moderado*, *bajo* y *muy bajo*. Los resultados mostrados en la figura 4.14, con intensidades de *bajo* y *muy bajo*, tienden a agruparse hacia el norte y sur del municipio; mientras que, los *moderados* se localiza hacia el oeste.

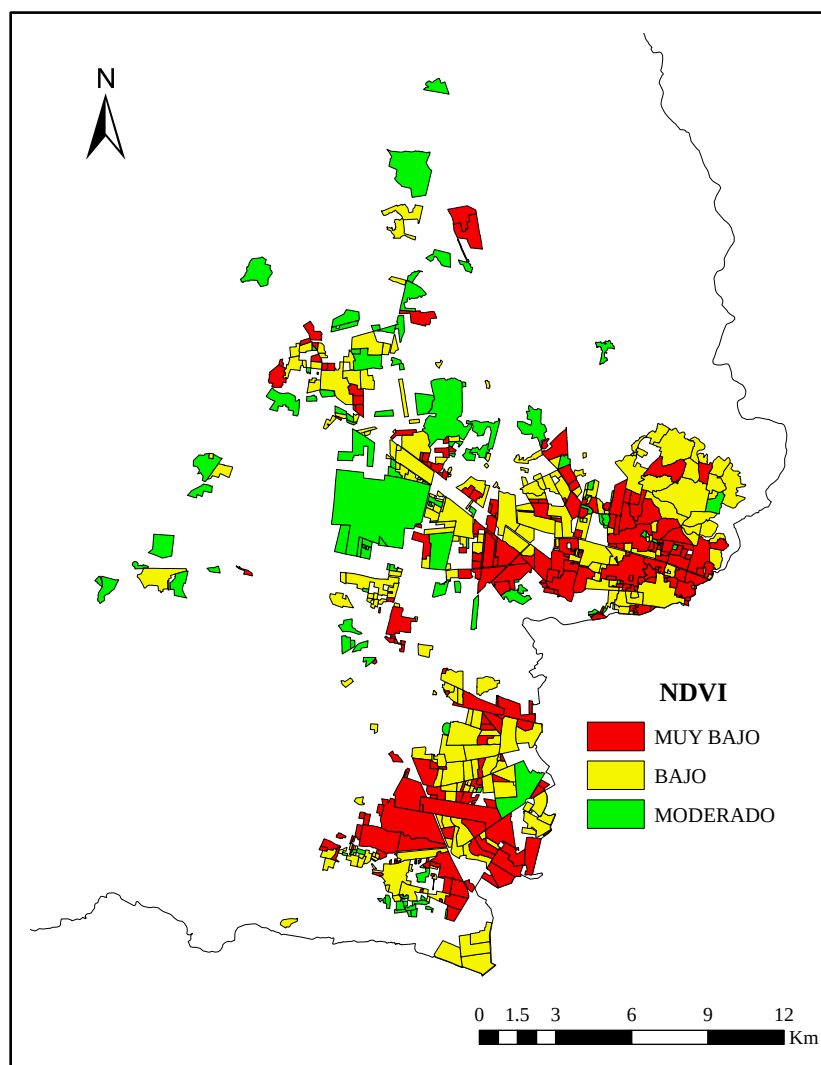


Figura 4.14. Distribución espacial del NDVI de las 578 colonias que experimentan ICUS. Las clasificaciones de *muy bajo* corresponden a valores con déficit de áreas verdes; *bajo* con poca vegetación; y *moderado* implica la existencia de mayor vegetación sin lograr el nivel óptimo.

Fuente: Elaboración propia en base a información satelital

4.7 Relación de la ICUS con la Ola de Calor

Para mostrar la relación entre estos dos fenómenos, se tomaron los datos del año 2000 donde la Ola de Calor fue la más prolongada; las variables son T_{max} proveniente del SIMAJ; y la T_s del producto MOD11A2 de la plataforma MODIS/TERRA, que corresponde a ICUS, ambas variables serán relacionadas.

El producto satelital MOD11A2 capta, una imagen del área de estudio cada ocho días, por lo que se identifican los días y los datos correspondientes de variable satelital con el fin de que la variable meteorológica coincida temporalmente con esta.

En la figura 4.15 después de procesados los datos, se puede observar que la T_s es superior en todos sus valores a la T_{max} (en promedio 6.3°C), precisando una mayor capacidad térmica del suelo con respecto al aire.

Se observa una marcha con cierto paralelismo de proporciones variables, siguiendo una tendencia general con un aumento continuo hasta el 16 de mayo para la T_s ; para el 8 de mayo la T_{max} inicia un decremento cayendo a un punto en donde para el 1 de junio sus valores tienen una diferencia mínima. Antes del 1 de junio la diferencia entre las variables fue de 10.6°C , después expresan una relación positiva con diferencia menor de 1.2°C .

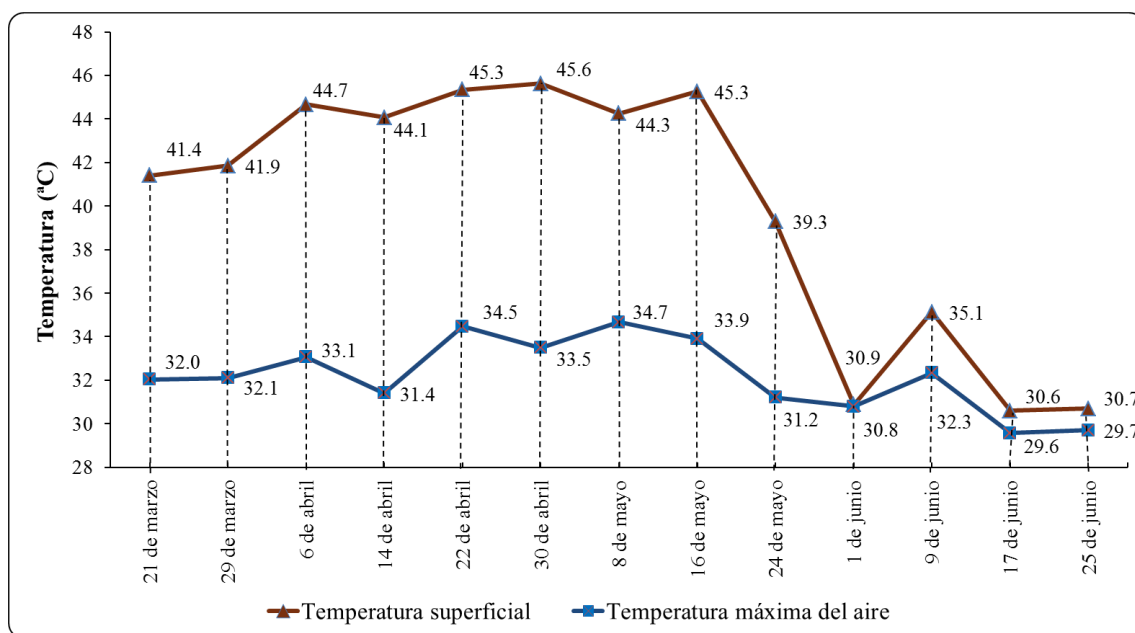


Figura 4.15. Comportamiento de la T_s y la T_{max} para la Ola de Calor del año 2000 para cada 8 días.
Fuente: Elaboración propia en base al SIMAJ y a información satelital del producto MOD11A2 de MODIS.

Después de haber presentado los datos y dar una descripción de la relación entre ambas variables térmicas, se presenta el gráfico de dispersión en la figura 4.16, en la cual se muestra la ecuación del modelo ajustado de tipo lineal con pendiente positiva con un nivel de significancia del 95%, dado que el *valor-p* fue menor que 0.05 (0.0004); el R (coeficiente de correlación) que fue igual a 0.8333 indicando una relación moderadamente

fuerte; el R^2 (coeficiente de determinación) fue igual a 0.693 mostrando que el modelo ajustado explica 69.3% de la variabilidad en la *temperatura máxima* del aire.

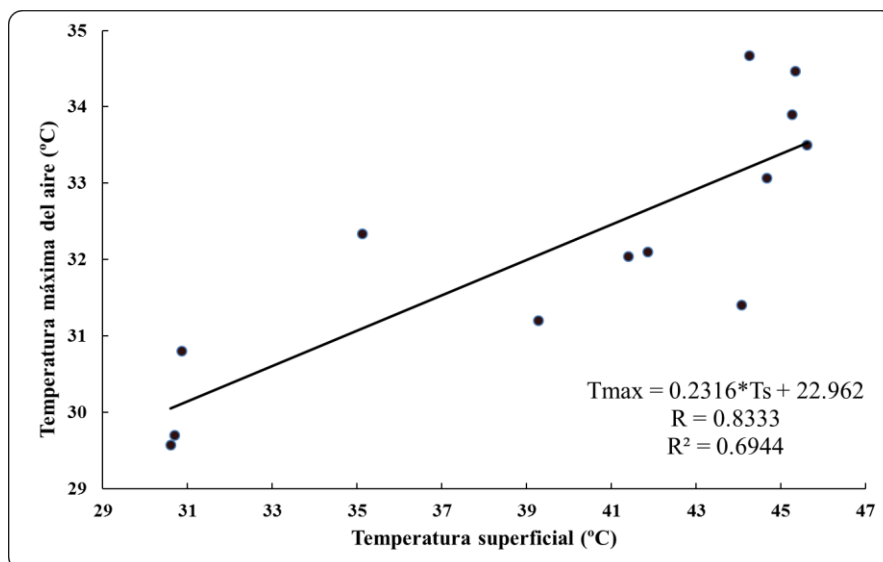


Figura 4.16. Diagrama de dispersión entre la T_s y la T_{max} y ecuación de regresión lineal con sus estadísticos R y R^2 para la Ola de Calor del 2000.

Fuente: Elaboración propia en base al SIMAJ y a información satelital del producto MOD11A2 de MODIS.

Con lo anterior se establece una relación de dependencia entre las dos variables, específicamente de la T_s sobre la T_{max} , aunque debe quedar claro que existen otros factores meteorológicos que inciden sobre la variación de su comportamiento. La época de lluvias pudiera ser un factor que disminuye la T_s de forma sustancial mediante el aporte de humedad al suelo, que no ocurre en la misma proporción para la T_{max} , cuyo aporte específico a la atmósfera sería de humedad.

La variación térmica se puede observar a partir del 16 de mayo (figura 4.15). Otro posible factor a considerar sería la cantidad de nubosidad existente después de esta fecha que se traduce en cantidad de energía absorbida por la tierra (insolación) que afecta más notoriamente al suelo que al aire.

4.8 Capa de exposición

Esta capa de información es representada por la población, sin hacer exclusión por edad, debido a que todas las personas por igual están expuestas al riesgo que representa la ICUS,



tomando como base el hogar censal. De esta manera, quedó establecida la exposición con la variable censal de *población total* (tabla 4.6).

Tabla 4.4 *Población total* (exposición) y conjunto de colonias con ICUS. Fuente: Elaboración propia en base a información estadística del Censo de 2010.

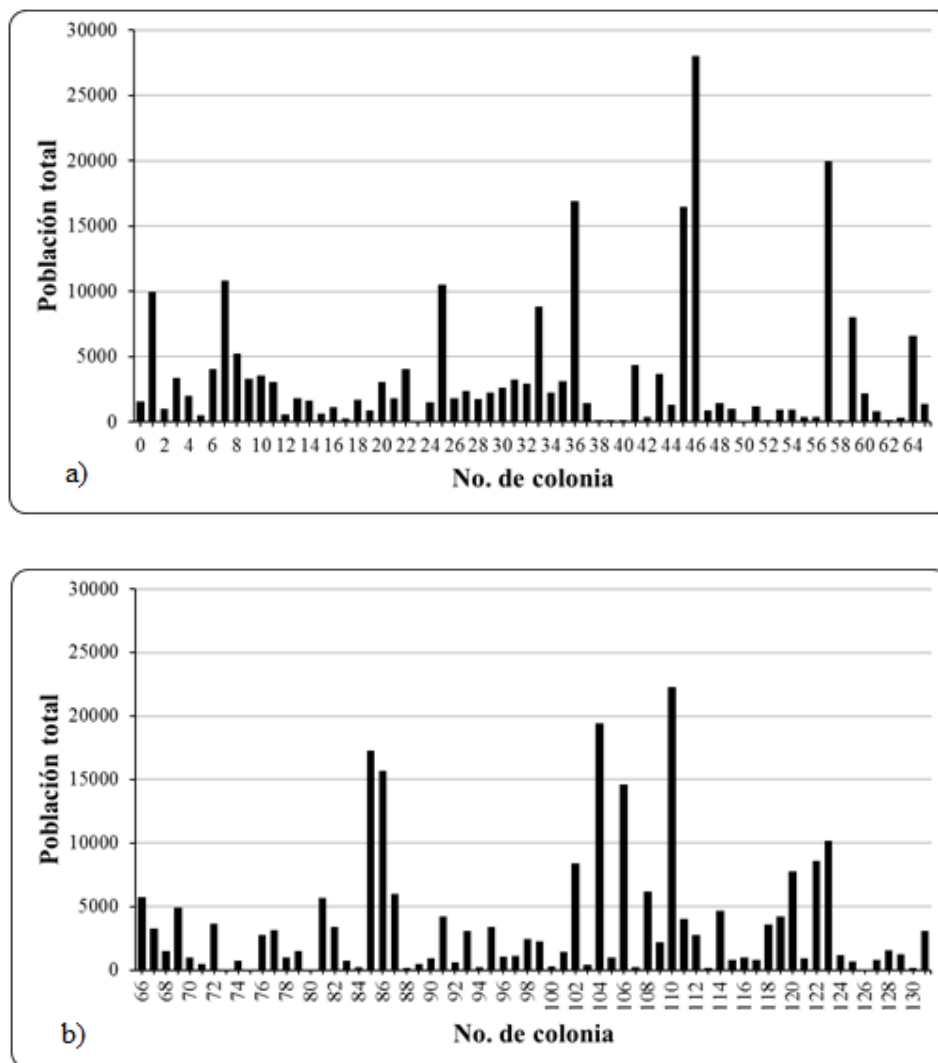
No.	NOMBRE	POB TOT	No.	NOMBRE	POB TOT	No.	NOMBRE	POB TOT
0	SAN JOSE DEL BAJIO	1602	66	SANTA LUCIA	5727	132	SAN JOSE EJIDAL	1813
1	SAN ISIDRO EJIDAL	9986	67	LAS AGUJAS	3250	133	VEINTISIETE DE SEPTIEMBRE	1730
2	ZAPOCAN CENTRO	991	68	LOMA CHICA	1502	134	EL CAMPANARIO	4359
3	VICTOR HUGO	3367	69	PRADOS DE SANTA LUCIA	4927	135	JUAN MANUEL VALLARTA	2725
4	HOGARES DEL BATAN	2038	70	VILLAS DE TESISTAN	1013	136	DON BOSCO VALLARTA	285
5	VILLAS ALCALDE	517	71	PRADERAS DE TESISTAN	459	137	EL BATAN	4591
6	LOMAS DE ATEMAJAC	4065	72	VISTAS DE TESISTAN	3642	138	CIUDAD DEL SOL	3888
7	ATEMAJAC DEL VALLE	10853	73	REAL DE LAS LOMAS	18	139	BOSQUES DEL CENTINELA	2924
8	LOMAS DEL BATAN	5250	74	MARTEL DEL VALLE	734	140	PARQUES DEL CENTINELA	1170
9	LA PALMITA	3287	75	LOS TELARES	27	141	VILLAS DEL MARQUES	3169
10	LAGOS DEL COUNTRY	3576	76	NEXTIPAC	2762	142	EL BOSQUE	932
11	VENUSTIANO CARRANZA	3052	77	VICENTE GUERRERO	3170	143	TESISTAN	6634
12	LA HUERTA	601	78	JUAN GIL PRECIADO	962	144	ALTUS QUINTAS	539
13	SANTA PAULA	1847	79	LOMAS DE SAN GONZALO	1503	145	CALLEJON DEL BOSQUE	317
14	SEATTLE	1617	80	JARDINES DE SAN GONZALO	42	146	NEXTIPAC	2762
15	G.V.S.A.	616	81	LA VENTA DEL ASTILLERO	5649	147	LA SOLEDAD	1246
16	LA AURORA	1123	82	NUOVO MEXICO EJIDAL	3380	148	CLUB ECUESTRE INTERNACIONAL	52
17	PINO SUAREZ	241	83	EL TIGRE I	760	149	SOLARES	1067
18	LOS MAESTROS	1689	84	LOMAS DEL BOSQUE	218	150	VALLE DE LA PROVIDENCIA	112
19	JARDINES DEL VIGIA	894	85	ARCOS DE ZAPOCAN	17296	151	COLLI SITIO	1491
20	PRADOS TEPEYAC	3085	86	LOMAS DE ZAPOCAN	15661	152	MIRADOR DE SAN ISIDRO	1406
21	EL ZAPOTE	1828	87	ALTAGRACIA	5965	153	EL CENTINELA II	713
22	JARDINES DEL SOL	4046	88	PASEOS DEL CAMICHIN	156	154	QUINTAS DEL BOSQUE	656
23	PLAZA DEL SOL	13	89	PUNTA VALDEPEÑAS	460	155	CANTERAS DEL CENTINELA	520
24	LOMA BONITA SUR	1500	90	SAN ISIDRO RESIDENCIAL	925	156	MISION DEL BOSQUE	5932
25	LOMA BONITA EJIDAL	10505	91	CAMINO REAL	4195	157	HACIENDA DEL SOL	538
26	LA GIRALDA	1795	92	LOMAS DE GUADALUPE	581	158	LAS PALOMAS	53
27	NUOVA PRIMAVERA	2382	93	JARDINES UNIVERSIDAD	3096	159	PASEOS DEL SOL PRIMERA SECCION	15869
28	LAS ALAMEDAS	1789	94	LA CIMA	202	160	BOSQUES DE SAN GONZALO	31
29	LA FLORIDA	2229	95	MIRADOR DEL SOL	3383	161	COLINAS DE LOS BELENES NORTE	715
30	LOS CAJETES	2609	96	SANTA CATALINA	1036	162	NUOVO VERGEL	5165
31	AGRICOLA	3256	97	VILLAS DEL TEPEYAC	1113	163	LOMAS DEL REFUGIO	2722
32	PASEOS DEL BRISEÑO	2925	98	LOMAS UNIVERSIDAD	2445	164	LOMAS DEL CENTINELA	5389
33	EL BRISEÑO	8817	99	PASEOS UNIVERSIDAD	2243	165	GIRASOLES ELITE	1361
34	MIGUEL DE LA MADRID	2238	100	EL CARMEN HABITAT	267	166	RESIDENCIAL SANTA MARGARITA	41
35	FRANCISCO SARABIA	3114	101	VILLAS DEL IXTEPETE	1455	167	LA CASITA	1867
36	SANTA ANA TEPETITLAN	16937	102	PARQUES DE TESISTAN III	8412	168	LAS BOVEDAS	4053
37	LA HACIENDITA	1469	103	QUINTAS DEL VALLE	409	169	JARDINES DE LOS BELENES	4419
38	VISTAS DEL SOL	123	104	JARDINES DEL VALLE	19423	170	LA EXPERIENCIA	1424
39	LA JOYA	139	105	EL FORTIN	1000	171	BENITO JUAREZ	7498
40	BUGAMBILIAS COUNTRY	157	106	JARDINES DE NUOVO MEXICO	14602	172	LA HIGUERA	2954
41	EL CAMPANARIO	4359	107	LOS FRAILES	215	173	MIRADOR ESCONDIDO	2918
42	PARQUE DE LAS AZALEAS	388	108	EL VIGIA	6163	174	LA CORONILLA	5041
43	LAS PALMAS II	3657	109	JARDINES VALLARTA	2170	175	EMILIANO ZAPATA	3202
44	JARDINES DEL IXTEPETE	1345	110	ARENALES TAPATIOS	22295	176	ARROYO HONDO PONIENTE	7301
45	PARAISOS DEL COLLI	16469	111	CARLOS RIVERA ACEVES	4032	177	ARROYO HONDO SEGUNDA SECCION	2448
46	MIRAMAR	28035	112	JARDINES DE SAN IGNACIO	2758	178	BALCONES DE LA CANTERA	8751
47	VOLCAN DEL COLLI	868	113	VALDEPEÑAS II	154	179	COLINAS DE TABACHINES	1256
48	EL REHILETE	1436	114	VALLE DE SAN ISIDRO	4674	180	LA MARTINICA	3803
49	VALLE DE SAN NICOLAS	1002	115	CHAPALITA DE OCCIDENTE	789	181	NUOVA ESPAÑA	2372
50	LOMAS DEL FORTIN	98	116	VALLARTA LA PATRIA	961	182	MESA COLORADA ORIENTE	5098
51	VALLE DE SAN NICOLAS III	1198	117	JARDINES DE CHAPALITA	791	183	MIGUEL HIDALGO	5200
52	VALLE DEL FORTIN	127	118	ARCOS DE GUADALUPE	3576	184	VISTA HERMOSA	3539
53	PARQUE ARRAYANES	939	119	JARDINES DE GUADALUPE	4245	185	JARDINES DE LA ESPERANZA	1397
54	EL TIZATE	928	120	LA ESTANCIA	7767	186	AGUA FRIA	7109
55	VILLAS DE LA PRIMAVERA	403	121	VALLE DE NUOVO MEXICO	893	187	LOMAS DE TABACHINES	14018
56	LA GRANJA	370	122	LA CALMA	8606	188	VILLA DE GUADALUPE	17689
57	SAN JUAN OCOTAN	19986	123	LAS AGUILAS	10153	189	MESA DE LOS OCOTES NORTE	7229
58	PALMA REAL	165	124	PRADOS GUADALUPE	1175	190	TABACHINES	14959
59	JARDIN REAL	8019	125	LOMAS DEL SEMINARIO	680	191	EL ZAPOTE II	638
60	LOS GIRASOLES ACUEDUCTO	2167	126	VALLE IMPERIAL	14	192	LA PERIQUERA	2552
61	LA NORIA	822	127	PRIMAVERA NORTE	801	193	MARCELINO GARCIA BARRAGAN	2536
62	RINCONADAS DEL VALLE	158	128	DIVISION DEL NORTE	1579	194	SANTA MARGARITA PONIENTE	23051
63	VALLE ESMERALDA	315	129	BOSQUE ESCONDIDO	1229	195	EL TRIANGULO	208
64	TESISTAN	6634	130	LA JOYA	139	196	COLEGIO DEL AIRE	1215
65	REVOLUCION	1399	131	LA MAGDALENA	3104			

4.8.1 Grupo de población total

Destacan en número de población, colonias como Miramar, Santa Margarita Poniente, Arenales Tapatíos, San Juan de Ocotán y Jardines del Valle; y en menor cantidad se ubican



Plaza del Sol, Valle Imperial, Real de las Lomas, Los Telares y Bosques de San isidro. La figura 4.17a, b y c representa de forma gráfica la *población total* para cada una de las colonias que experimentan ICUS, y para su representación espacial, se cuenta con el mapa de exposición clasificado en tres grupos (Figura 4.18).



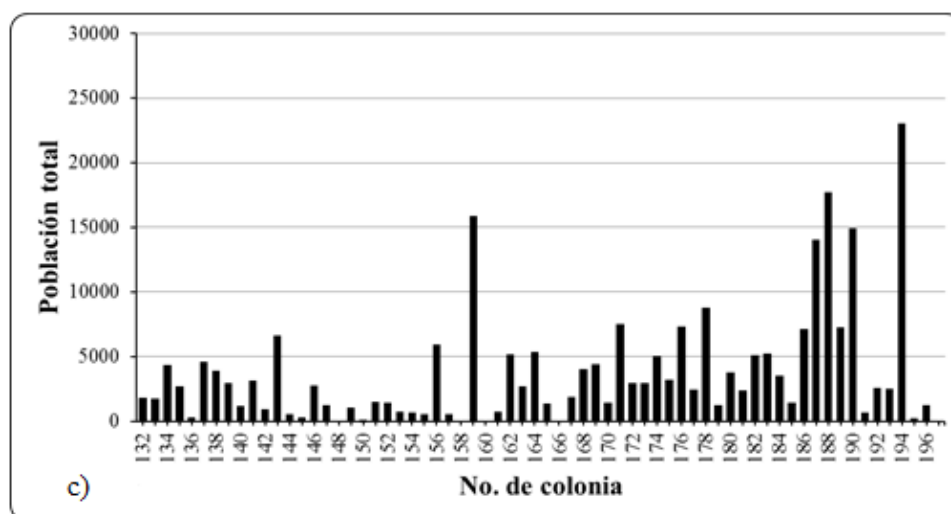


Figura 4.17 a, b, y c. Población total para las 197 colonias que experimentan ICUS.
Fuente: Elaboración propia en base a información del censo 2010.

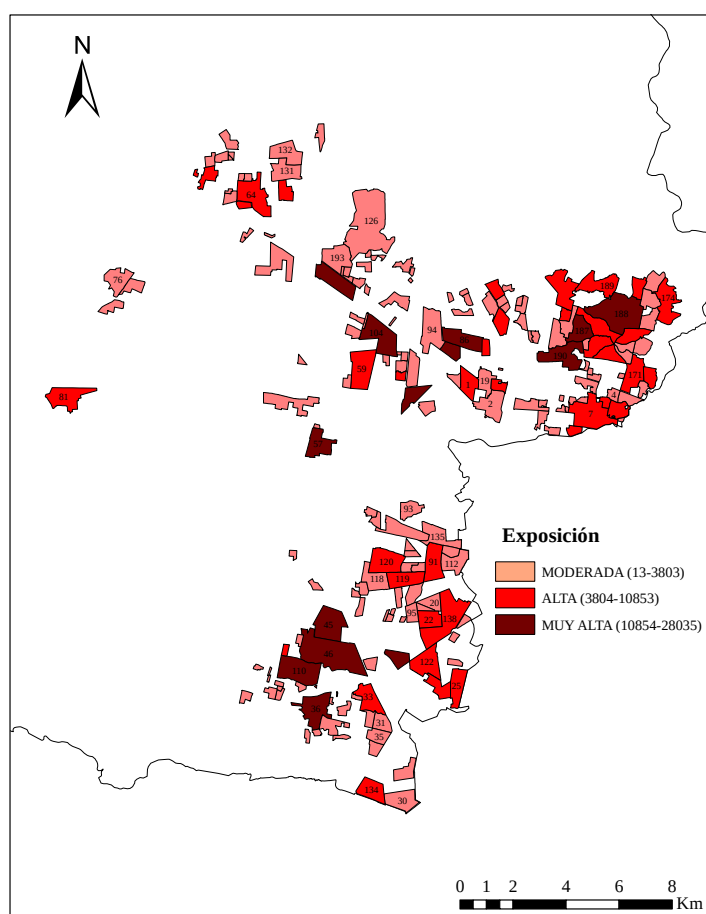


Figura 4.18. Población total (capa de exposición) por colonia con presencia de ICUS.
Fuente: Elaboración propia en base a información del censo 2010.



4.9 Capa de vulnerabilidad

Esta capa se construye mediante cinco grupos; cuatro de ellos son variables censales y el quinto es el índice ambiental NDVI. Estos grupos se relacionan con:

1. La falta de acceso a la educación
2. Viviendas con limitaciones
3. Población en edad extrema
4. Densidad de población
5. El índice ambiental NDVI (descrito en el apartado 4.6)

Esta capa aporta el 25% en la construcción del IRS con ponderaciones del 5% para cada grupo.

4.9.1 Grupo con falta de acceso a la educación

Este grupo se compone de dos variables censales: 1) *Población con edad ≥ 15 años y analfabeta*, destacando las colonias como Miramar, San Juan de Ocotán, Santa Margarita Poniente, Arenales Tapatíos y Santa Ana Tepetitlán; 2) *Población con edad ≥ 15 años y con primaria incompleta*, encontrándose las colonias Miramar, Arenales Tapatíos, Santa Margarita Poniente, San Juan de Ocotán y Villa de Guadalupe (Tabla 4.7 y Figura 4.19a, b y c.). Destacan también colonias en que no existe población con alguna de las dos variables; entre ellas, El Carmen Habitat, Lomas del Seminario, El Batán, Callejón del Bosque; entre otras.



Tabla 4.5 Población con falta de acceso a la educación. Fuente: Elaboración propia con base al censo 2010.

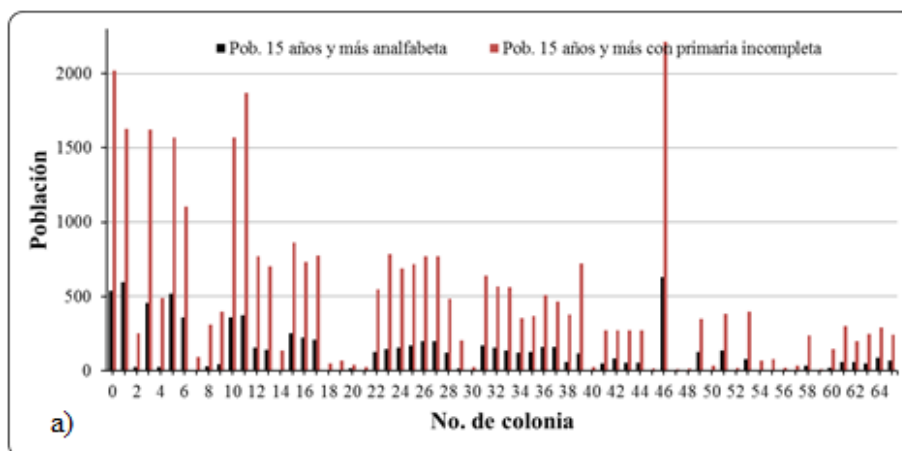
No.	NOMBRE	Analfabeta	Primaria inc	No.	NOMBRE	Analfabeta	Primaria inc
0	SAN JOSE DEL BAJIO	536	2018	50	LOMAS DEL FORTIN	3	33
1	SAN ISIDRO EJIDAL	594	1626	51	VALLE DE SAN NICOLAS III	138	385
2	ZAPOPAN CENTRO	23	254	52	VALLE DEL FORTIN	0	19
3	VICTOR HUGO	458	1624	53	PARQUE ARRAYANES	76	398
4	HOGARES DEL BATAN	26	492	54	EL TIZATE	6	66
5	VILLAS ALCALDE	519	1572	55	VILLAS DE LA PRIMAVERA	3	77
6	LOMAS DE ATEMAJAC	357	1106	56	LA GRANJA	3	22
7	ATEMAJAC DEL VALLE	0	93	57	SAN JUAN OCOTAN	3	36
8	LOMAS DEL BATAN	28	312	58	PALMA REAL	32	236
9	LA PALMITA	44	399	59	JARDIN REAL	0	11
10	LAGOS DEL COUNTRY	357	1568	60	LOS GIRASOLES ACUEDUCTO	21	147
11	VENUSTIANO CARRANZA	372	1869	61	LA NORIA	60	301
12	LA HUERTA	153	772	62	RINCONADAS DEL VALLE	58	201
13	SANTA PAULA	142	703	63	VALLE ESMERALDA	51	246
14	SEATTLE	3	138	64	TESISTAN	87	291
15	G.V.S.A.	251	861	65	REVOLUCION	68	245
16	LA AURORA	223	730	66	SANTA LUCIA	79	228
17	PINO SUAREZ	209	775	67	LAS AGUJAS	24	135
18	LOS MAESTROS	0	48	68	LOMA CHICA	61	117
19	JARDINES DEL VIGIA	4	69	69	PRADOS DE SANTA LUCIA	69	202
20	PRADOS TEPEYAC	16	37	70	VILLAS DE TESISTAN	0	16
21	EL ZAPOTE	0	23	71	PRADERAS DE TESISTAN	0	7
22	JARDINES DEL SOL	126	548	72	VISTAS DE TESISTAN	28	178
23	PLAZA DEL SOL	147	784	73	REAL DE LAS LOMAS	46	260
24	LOMA BONITA SUR	156	688	74	MARTEL DEL VALLE	59	265
25	LOMA BONITA EJIDAL	172	717	75	LOS TELARES	3	10
26	LA GIRALDA	199	770	76	NEXTIPAC	85	259
27	NUEVA PRIMAVERA	199	770	77	VICENTE GUERRERO	76	268
28	LAS ALAMEDAS	122	485	78	JUAN GIL PRECIADO	76	268
29	LA FLORIDA	15	202	79	LOMAS DE SAN GONZALO	0	8
30	LOS CAJETES	0	25	80	JARDINES DE SAN GONZALO	0	15
31	AGRICOLA	168	639	81	LA VENTA DEL ASTILLERO	47	209
32	PASEOS DEL BRISEÑO	157	567	82	NUEVO MEXICO EJIDAL	45	241
33	EL BRISEÑO	138	562	83	EL TIGRE I	40	201
34	MIGUEL DE LA MADRID	123	356	84	LOMAS DEL BOSQUE	63	206
35	FRANCISCO SARABIA	125	369	85	ARCOS DE ZAPOPAN	64	232
36	SANTA ANA TEPETITLAN	161	511	86	LOMAS DE ZAPOPAN	0	9
37	LA HACIENDITA	160	465	87	ALTAGRACIA	18	90
38	VISTAS DEL SOL	57	377	88	PASEOS DEL CAMICHIN	35	221
39	LA JOYA	117	723	89	PUNTA VALDEPEÑAS	17	46
40	BUGAMBILIAS COUNTRY	0	26	90	SAN ISIDRO RESIDENCIAL	31	176
41	EL CAMPANARIO	48	271	91	CAMINO REAL	71	220
42	PARQUE DE LAS AZALEAS	81	271	92	LOMAS DE GUADALUPE	0	3
43	LAS PALMAS II	53	274	93	JARDINES UNIVERSIDAD	90	118
44	JARDINES DEL IXTEPETE	53	274	94	LA CIMA	20	81
45	PARAISOS DEL COLLI	0	14	95	MIRADOR DEL SOL	13	94
46	MIRAMAR	629	2214	96	SANTA CATALINA	37	151
47	VOLCAN DEL COLLI	0	12	97	VILLAS DEL TEPEYAC	24	85
48	EL REHILETE	0	16	98	LOMAS UNIVERSIDAD	26	157
49	VALLE DE SAN NICOLAS	125	347	99	PASEOS UNIVERSIDAD	8	8

Tabla 4.7. Población con *falta de acceso a la educación* (continuación...)



Riesgo a la salud por Isla y Ola de Calor en el municipio de Zapopan, México

No.	NOMBRE	Analfabeta	Primaria inc	No.	NOMBRE	Analfabeta	Primaria inc
100	EL CARMEN HABITAT	0	0	149	SOLARES	11	51
101	VILLAS DEL IXTEPETE	49	165	150	VALLE DE LA PROVIDENCIA	0	4
102	PARQUES DE TESISTAN III	13	84	151	COLLI SITIO	0	4
103	QUINTAS DEL VALLE	26	157	152	MIRADOR DE SAN ISIDRO	0	0
104	JARDINES DEL VALLE	9	35	153	EL CENTINELA II	4	32
105	EL FORTIN	27	112	154	QUINTAS DEL BOSQUE	3	41
106	JARDINES DE NUEVO MEXIC	13	25	155	CANTERAS DEL CENTINELA	8	26
107	LOS FRAILES	15	115	156	MISION DEL BOSQUE	0	4
108	EL VIGIA	0	19	157	HACIENDA DEL SOL	0	0
109	JARDINES VALLARTA	29	155	158	LAS PALOMAS	0	0
110	ARENALES TAPATIOS	17	98	159	PASEOS DEL SOL PRIMERA SEC	0	3
111	CARLOS RIVERA ACEVES	0	7	160	BOSQUES DE SAN GONZALO	0	6
112	JARDINES DE SAN IGNACIO	21	124	161	COLINAS DE LOS BELENES NOR	0	0
113	VALDEPEÑAS II	10	98	162	NUEVO VERGEL	0	13
114	VALLE DE SAN ISIDRO	0	3	163	LOMAS DEL REFUGIO	0	0
115	CHAPALITA DE OCCIDENTE	15	105	164	LOMAS DEL CENTINELA	0	15
116	VALLARTA LA PATRIA	0	11	165	GIRASOLES ELITE	4	25
117	JARDINES DE CHAPALITA	7	17	166	RESIDENCIAL SANTA MARGARI	0	16
118	ARCOS DE GUADALUPE	29	92	167	LA CASITA	0	0
119	JARDINES DE GUADALUPE	10	108	168	LAS BOVEDAS	0	0
120	LA ESTANCIA	30	94	169	JARDINES DE LOS BELENES	0	7
121	VALLE DE NUEVO MEXICO	8	20	170	LA EXPERIENCIA	0	0
122	LA CALMA	4	37	171	BENITO JUAREZ	0	0
123	LAS AGUILAS	6	32	172	LA HIGUERA	3	3
124	PRADOS GUADALUPE	0	10	173	MIRADOR ESCONDIDO	0	0
125	LOMAS DEL SEMINARIO	0	0	174	LA CORONILLA	6	12
126	VALLE IMPERIAL	3	54	175	EMILIANO ZAPATA	0	0
127	PRIMAVERA NORTE	0	3	176	ARROYO HONDO PONIENTE	0	0
128	DIVISION DEL NORTE	0	3	177	ARROYO HONDO SEGUNDA SEC	0	0
129	BOSQUE ESCONDIDO	0	3	178	BALCONES DE LA CANTERA	0	0
130	LA JOYA	3	31	179	COLINAS DE TABACHINES	0	0
131	LA MAGDALENA	0	17	180	LA MARTINICA	0	0
132	SAN JOSE EJIDAL	6	15	181	NUEVA ESPAÑA	0	0
133	VEINTISIETE DE SEPTIEMBR	0	5	182	MESA COLORADA ORIENTE	0	0
134	EL CAMPANARIO	15	53	183	MIGUEL HIDALGO	8	10
135	JUAN MANUEL VALLARTA	0	3	184	VISTA HERMOSA	0	0
136	DON BOSCO VALLARTA	0	3	185	JARDINES DE LA ESPERANZA	6	13
137	EL BATAN	0	0	186	AGUA FRIA	0	0
138	CIUDAD DEL SOL	20	80	187	LOMAS DE TABACHINES	0	0
139	BOSQUES DEL CENTINELA	0	4	188	VILLA DE GUADALUPE	0	0
140	PARQUES DEL CENTINELA	24	71	189	MESA DE LOS OCOTES NORTE	3	0
141	VILLAS DEL MARQUES	0	8	190	TABACHINES	0	0
142	EL BOSQUE	0	46	191	EL ZAPOTE II	0	0
143	TESISTAN	36	111	192	LA PERIQUERA	0	0
144	ALTUS QUINTAS	0	13	193	MARCELINO GARCIA BARRAGA	0	0
145	CALLEJON DEL BOSQUE	0	0	194	SANTA MARGARITA PONIENTE	543	1888
146	NEXTIPAC	0	4	195	EL TRIANGULO	0	0
147	LA SOLEDAD	10	46	196	COLEGIO DEL AIRE	0	0
148	CLUB ECUESTRE INTERNACI	10	23				



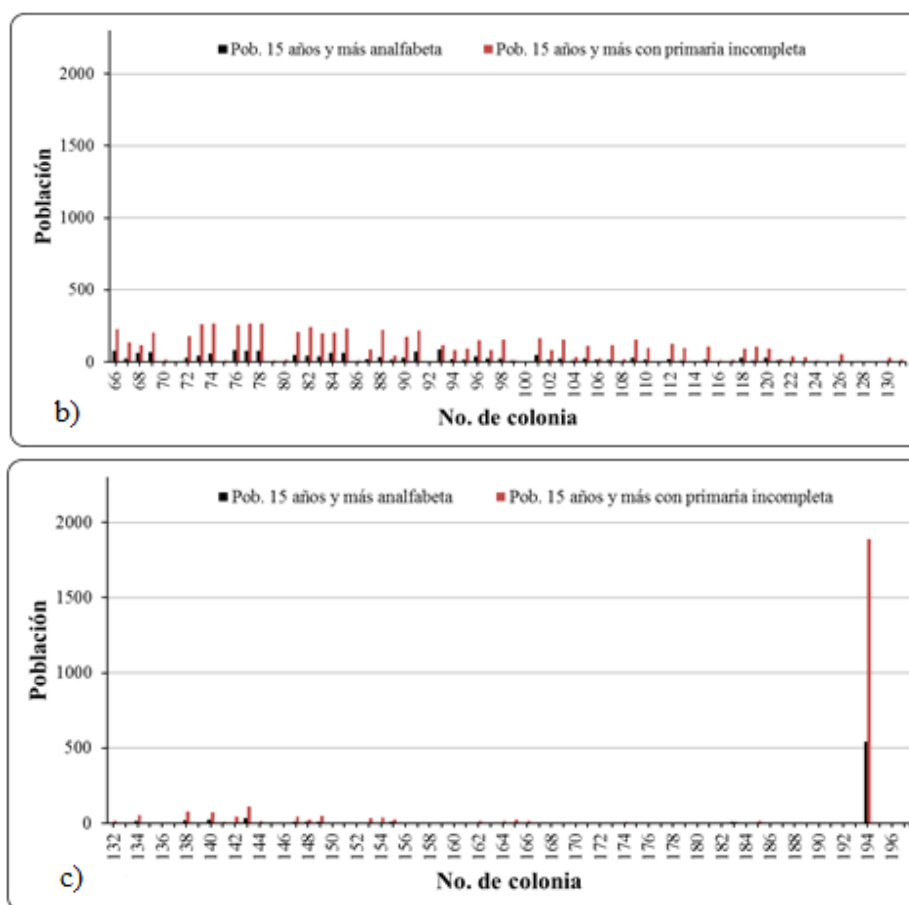


Figura 4.19 a, b y c. Población con falta de acceso a la educación.

Fuente: Elaboración propia con a información del censo 2010

Por su parte, en las figuras 4.20 y 4.21 se muestran las distribuciones espaciales de ambas variables censales. Los resultados destacan que la primera variable censal (*Población con edad ≥ 15 años y analfabeta*), tiene menor presencia que la segunda (*Población con edad ≥ 15 años y con primaria incompleta*). En el área en color negro no existe población para esta variable.

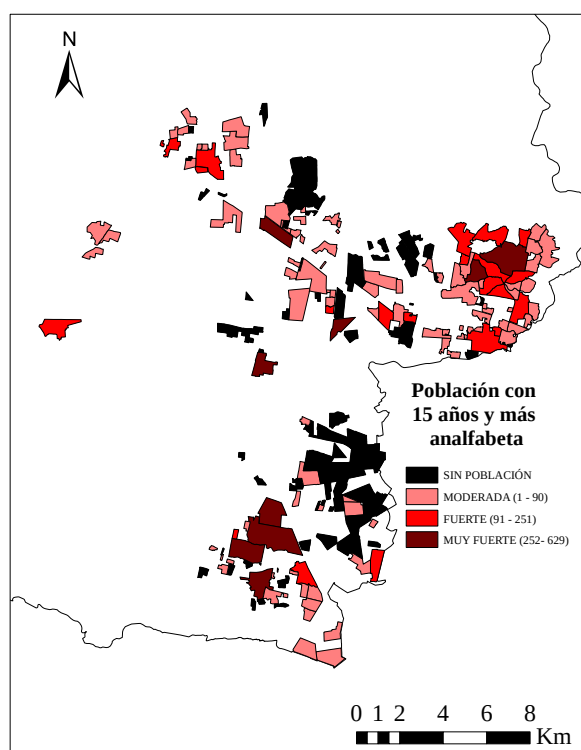


Figura 4.20. Población ≥ 15 años y analfabeta.

Fuente: Elaboración propia con información del censo 2010

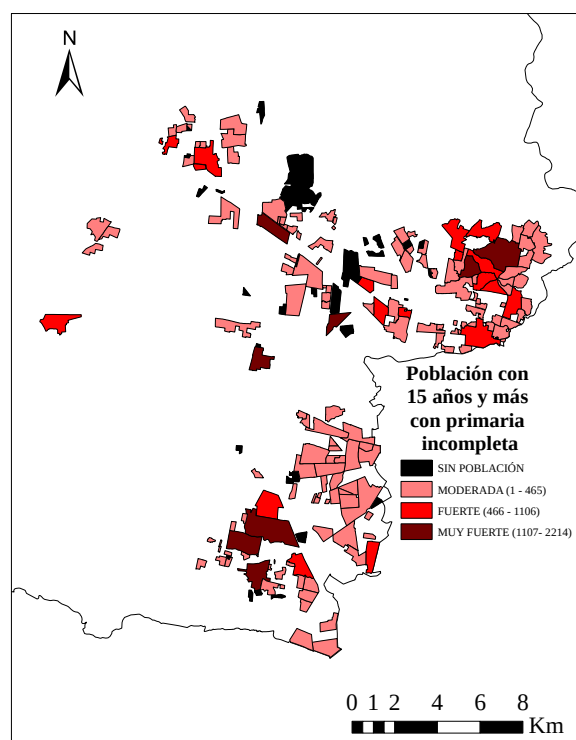


Figura 4.21. Población ≥ 15 años con primaria incompleta.



Fuente: Elaboración propia con información del censo 2010.

4.9.2 Grupo de viviendas con limitaciones

En este grupo se incorporan cuatro variables censales:

1. *Viviendas particulares habitadas con piso de tierra.*
2. *Viviendas particulares habitadas que no disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda.*
3. *Viviendas particulares que no disponen de drenaje.*
4. *Promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas.*

Así, la distribución para cada variable se observa en la tabla 4.8 y y figura 4.22.



Tabla 4.8 Viviendas con limitaciones por colonia. Fuente: Elaboración propia en base al censo 2010.

No.	NOMBRE	Viv. piso de tierra	Viv. sin agua ent.	Viv. sin drenaje	% ocup. por cuarto
0	SAN JOSE DEL BAJIO	53	10	0	1.1
1	SAN ISIDRO EJIDAL	104	163	3	0.9
2	ZAPOPAN CENTRO	22	0	0	0.9
3	VICTOR HUGO	134	155	6	1.2
4	HOGARES DEL BATAN	3	3	0	0.9
5	VILLAS ALCALDE	113	26	8	1.1
6	LOMAS DE ATEMAJAC	77	91	0	1.0
7	ATEMAJAC DEL VALLE	17	0	0	0.9
8	LOMAS DEL BATAN	93	0	0	0.8
9	LA PALMITA	23	4	3	0.9
10	LAGOS DEL COUNTRY	57	15	0	0.9
11	VENUSTIANO CARRANZA	83	19	0	1.2
12	LA HUERTA	37	0	0	1.0
13	SANTA PAULA	8	0	0	1.0
14	SEATTLE	12	0	0	0.9
15	G.V.S.A.	6	0	0	0.9
16	LA AURORA	50	0	0	0.9
17	PINO SUAREZ	46	3	0	1.1
18	LOS MAESTROS	0	0	0	0.8
19	JARDINES DEL VIGIA	27	0	0	0.9
20	PRADOS TEPEYAC	14	0	0	0.8
21	EL ZAPOTE	33	0	0	0.7
22	JARDINES DEL SOL	41	0	0	0.9
23	PLAZA DEL SOL	16	9	0	1.1
24	LOMA BONITA SUR	104	1051	131	1.3
25	LOMA BONITA EJIDAL	101	174	12	1.6
26	LA GIRALDA	109	72	8	0.9
27	NUEVA PRIMAVERA	109	72	8	0.9
28	LAS ALAMEDAS	0	0	0	0.8
29	LA FLORIDA	5	0	0	0.8
30	LOS CAJETES	0	0	0	0.9
31	AGRICOLA	68	38	0	1.0
32	PASEOS DEL BRISEÑO	6	135	5	0.9
33	EL BRISEÑO	153	989	15	1.4
34	MIGUEL DE LA MADRID	19	6	0	0.9
35	FRANCISCO SARABIA	17	0	0	1.0
36	SANTA ANA TEPETITLAN	32	16	0	1.3
37	LA HACIENDITA	42	20	3	1.3
38	VISTAS DEL SOL	32	116	9	1.2
39	LA JOYA	38	117	7	1.1
40	BUGAMBILIAS COUNTRY	3	0	0	1.0
41	EL CAMPANARIO	3	0	0	1.0
42	PARQUE DE LAS AZALEAS	10	3	0	1.0
43	LAS PALMAS II	7	0	0	0.9
44	JARDINES DEL IXTEPETE	7	0	0	0.9
45	PARAISOS DEL COLLI	0	0	0	0.6
46	MIRAMAR	86	66	11	1.0
47	VOLCAN DEL COLLI	3	0	0	0.6
48	EL REHILETE	0	0	0	0.8
49	VALLE DE SAN NICOLAS	0	0	0	0.9



Tabla 4.8. Viviendas con limitaciones por colonia (continuación...)

No.	NOMBRE	Viv. piso de tierra	Viv. sin agua ent.	Viv. sin drenaje	% ocup. por cuarto
50	LOMAS DEL FORTIN	9	0	0	1.0
51	VALLE DE SAN NICOLAS III	29	3	0	1.3
52	VALLE DEL FORTIN	0	0	0	0.6
53	PARQUE ARRAYANES	0	3	4	1.0
54	EL TIZATE	20	0	0	1.0
55	VILLAS DE LA PRIMAVERA	0	0	0	0.9
56	LA GRANJA	0	0	0	0.8
57	SAN JUAN OCOTAN	0	0	0	0.9
58	PALMA REAL	12	0	0	1.1
59	JARDIN REAL	3	0	0	0.9
60	LOS GIRASOLES ACUEDUCTO	9	38	0	0.9
61	LA NORIA	25	0	0	1.0
62	RINCONADAS DEL VALLE	6	0	0	1.0
63	VALLE ESMERALDA	13	6	6	1.0
64	TESISTAN	6	133	0	1.0
65	REVOLUCION	10	0	0	1.0
66	SANTA LUCIA	18	22	3	1.2
67	LAS AGUJAS	6	0	0	1.0
68	LOMA CHICA	3	3	0	0.9
69	PRADOS DE SANTA LUCIA	3	595	66	1.1
70	VILLAS DE TESISTAN	0	0	0	0.7
71	PRADERAS DE TESISTAN	0	0	0	0.6
72	VISTAS DE TESISTAN	0	0	0	1.0
73	REAL DE LAS LOMAS	29	191	0	1.2
74	MARTEL DEL VALLE	0	0	0	1.0
75	LOS TELARES	0	0	0	1.0
76	NEXTIPAC	26	48	0	1.2
77	VICENTE GUERRERO	10	16	0	1.0
78	JUAN GIL PRECIADO	10	16	0	1.0
79	LOMAS DE SAN GONZALO	0	0	0	0.5
80	JARDINES DE SAN GONZALO	3	0	0	0.8
81	LA VENTA DEL ASTILLERO	16	0	0	1.3
82	NUEVO MEXICO EJIDAL	8	3	0	0.9
83	EL TIGRE I	6	44	0	1.0
84	LOMAS DEL BOSQUE	0	96	0	1.0
85	ARCOS DE ZAPOPAN	8	23	0	1.1
86	LOMAS DE ZAPOPAN	0	0	0	0.9
87	ALTAGRACIA	0	0	0	0.9
88	PASEOS DEL CAMICHIN	6	0	0	1.2
89	PUNTA VALDEPEÑAS	4	0	0	0.8
90	SAN ISIDRO RESIDENCIAL	0	0	0	0.9
91	CAMINO REAL	7	0	0	1.0
92	LOMAS DE GUADALUPE	0	0	0	0.6
93	JARDINES UNIVERSIDAD	3	0	0	1.0
94	LA CIMA	8	4	0	0.8
95	MIRADOR DEL SOL	8	0	0	0.9
96	SANTA CATALINA	0	0	0	0.9
97	VILLAS DEL TEPEYAC	0	0	0	0.9
98	LOMAS UNIVERSIDAD	8	345	0	1.0
99	PASEOS UNIVERSIDAD	0	0	0	0.6



Tabla 4.8. Viviendas con limitaciones por colonia (continuación...)

No.	NOMBRE	Viv. piso de tierra	Viv. sin agua ent.	Viv. sin drenaje	% ocup. por cuarto
100	EL CARMEN HABITAT	5	0	0	0.9
101	VILLAS DEL IXTEPETE	0	3	0	1.0
102	PARQUES DE TESISTAN III	0	0	0	1.0
103	QUINTAS DEL VALLE	0	34	0	1.0
104	JARDINES DEL VALLE	3	0	0	0.7
105	EL FORTIN	0	0	0	1.0
106	JARDINES DE NUEVO MEXICO	0	0	0	0.9
107	LOS FRAILES	13	15	0	1.1
108	EL VIGIA	0	0	0	0.8
109	JARDINES VALLARTA	0	0	0	0.9
110	ARENALES TAPATIOS	8	0	0	1.0
111	CARLOS RIVERA ACEVES	6	0	0	0.8
112	JARDINES DE SAN IGNACIO	22	21	0	1.2
113	VALDEPEÑAS II	0	3	0	0.9
114	VALLE DE SAN ISIDRO	0	0	0	0.9
115	CHAPALITA DE OCCIDENTE	0	54	0	1.2
116	VALLARTA LA PATRIA	11	0	0	1.0
117	JARDINES DE CHAPALITA	7	0	0	1.0
118	ARCOS DE GUADALUPE	6	0	0	0.9
119	JARDINES DE GUADALUPE	6	0	0	1.0
120	LA ESTANCIA	16	0	3	1.0
121	VALLE DE NUEVO MEXICO	4	0	0	1.0
122	LA CALMA	7	6	3	0.9
123	LAS AGUILAS	8	0	0	0.3
124	PRADOS GUADALUPE	0	0	0	0.8
125	LOMAS DEL SEMINARIO	0	0	0	0.8
126	VALLE IMPERIAL	0	0	0	1.0
127	PRIMAVERA NORTE	0	0	0	0.1
128	DIVISION DEL NORTE	5	0	0	0.7
129	BOSQUE ESCONDIDO	0	0	0	0.8
130	LA JOYA	0	7	0	1.0
131	LA MAGDALENA	0	0	0	0.9
132	SAN JOSE EJIDAL	4	13	0	0.7
133	VEINTISIETE DE SEPTIEMBRE	4	10	7	0.6
134	EL CAMPANARIO	0	9	0	1.0
135	JUAN MANUEL VALLARTA	0	0	0	0.9
136	DON BOSCO VALLARTA	14	0	0	0.7
137	EL BATAN	0	0	0	1.0
138	CIUDAD DEL SOL	0	186	0	1.5
139	BOSQUES DEL CENTINELA	0	0	0	1.0
140	PARQUES DEL CENTINELA	0	0	0	0.7
141	VILLAS DEL MARQUES	0	0	0	0.9
142	EL BOSQUE	0	0	0	1.1
143	TESISTAN	6	17	0	1.5
144	ALTUS QUINTAS	0	0	0	1.0
145	CALLEJON DEL BOSQUE	0	0	0	0.9
146	NEXTIPAC	0	0	0	0.7
147	LA SOLEDAD	0	18	3	0.8
148	CLUB ECUESTRE INTERNACIONAL	5	12	0	0.6

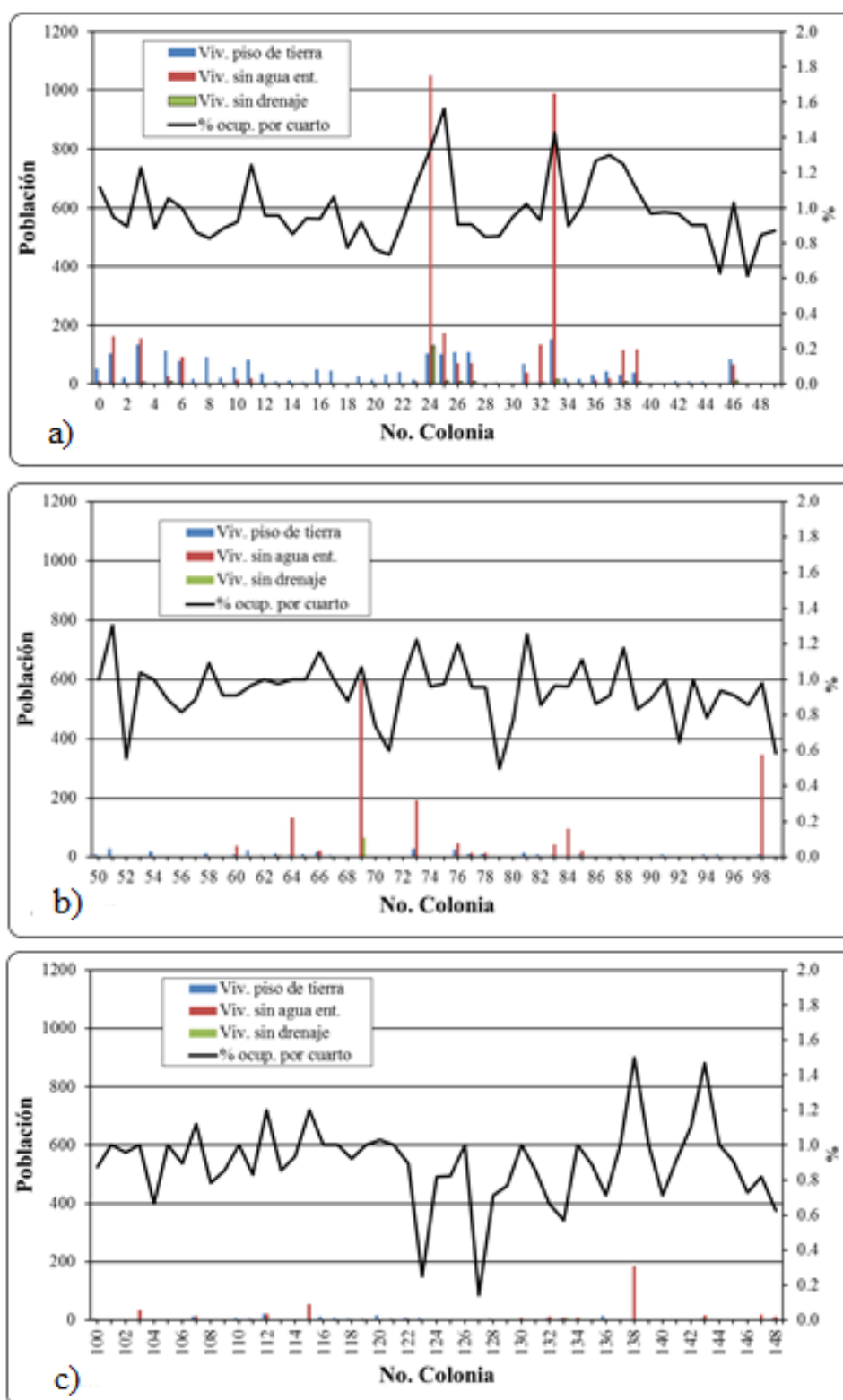


Tabla 4.8. Viviendas con limitaciones por colonia (continuación...)

No.	NOMBRE	Viv. piso de tierra	Viv. sin agua ent.	Viv. sin drenaje	% ocup. por cuarto
149	SOLARES	4	36	4	0.7
150	VALLE DE LA PROVIDENCIA	0	60	0	0.6
151	COLLI SITIO	0	0	0	1.0
152	MIRADOR DE SAN ISIDRO	3	0	0	0.6
153	EL CENTINELA II	0	18	9	0.8
154	QUINTAS DEL BOSQUE	0	0	0	1.0
155	CANTERAS DEL CENTINELA	0	0	0	1.0
156	MISION DEL BOSQUE	0	0	0	0.8
157	HACIENDA DEL SOL	0	0	0	0.9
158	LAS PALOMAS	0	0	0	0.6
159	PASEOS DEL SOL PRIMERA SECCION	0	0	0	0.7
160	BOSQUES DE SAN GONZALO	0	0	0	1.0
161	COLINAS DE LOS BELENES NORTE	0	0	0	1.0
162	NUEVO VERGEL	0	0	0	0.7
163	LOMAS DEL REFUGIO	0	0	0	1.0
164	LOMAS DEL CENTINELA	0	0	0	0.9
165	GIRASOLES ELITE	12	0	0	1.0
166	RESIDENCIAL SANTA MARGARITA	0	70	0	1.4
167	LA CASITA	0	0	0	0.6
168	LAS BOVEDAS	0	0	0	0.8
169	JARDINES DE LOS BELENES	0	0	0	0.8
170	LA EXPERIENCIA	0	0	0	0.7
171	BENITO JUAREZ	0	0	0	1.0
172	LA HIGUERA	0	0	0	1.0
173	MIRADOR ESCONDIDO	0	0	0	1.0
174	LA CORONILLA	0	39	0	1.0
175	EMILIANO ZAPATA	0	0	0	0.6
176	ARROYO HONDO PONIENTE	0	0	0	0.8
177	ARROYO HONDO SEGUNDA SECCION	0	0	0	1.0
178	BALCONES DE LA CANTERA	0	0	0	1.0
179	COLINAS DE TABACHINES	0	0	0	0.7
180	LA MARTINICA	0	0	0	0.5
181	NUEVA ESPAÑA	0	0	0	1.0
182	MESA COLORADA ORIENTE	0	0	0	1.0
183	MIGUEL HIDALGO	0	0	0	1.0
184	VISTA HERMOSA	0	0	0	0.7
185	JARDINES DE LA ESPERANZA	0	5	0	2.0
186	AGUA FRIA	0	0	0	0.5
187	LOMAS DE TABACHINES	0	0	0	1.0
188	VILLA DE GUADALUPE	0	0	0	0.3
189	MESA DE LOS OCOTES NORTE	0	0	0	0.5
190	TABACHINES	0	0	0	0.4
191	EL ZAPOTE II	0	0	0	0.1
192	LA PERQUERA	0	0	0	0.2
193	MARCELINO GARCIA BARRAGAN	0	0	0	1.0
194	SANTA MARGARITA PONIENTE	15	0	0	1.0
195	EL TRIANGULO	0	0	0	0.0
196	COLEGIO DEL AIRE	0	4	0	1.0



Riesgo a la salud por Isla y Ola de Calor en el municipio de Zapopan, México



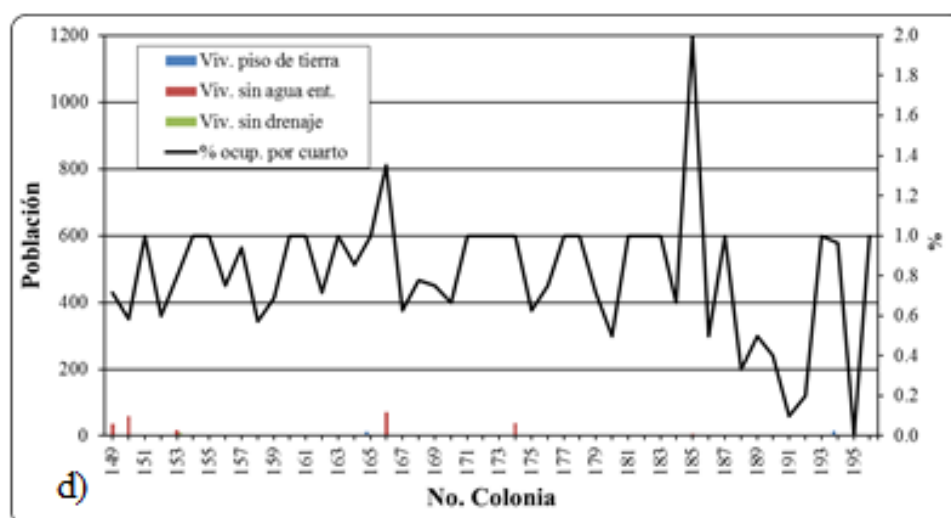


Figura 4.22 a, b y c. Grupo de limitaciones en la vivienda.
Fuente: Elaboración propia con datos del censo 2010

4.9.3 Grupo de edad extrema

Este grupo está conformado por las variables de edad de 0-4 años y ≥ 65 años. La tabla 4.9 muestra el dominio del primer conjunto en las colonias Miramar, San Juan de Ocotán, Arenales Tapatíos, Santa Margarita Poniente y Santa Ana Tepetitlán. Por su parte, el segundo predomina en las colonias de Santa Margarita Poniente, Las Águilas, Atemajac del Valle, Miramar y La Calma. Se destaca que el total de población infantil (0 - 4años) supera en más del doble a la población ≥ 65 años (Figuras 4.23a, b, c, y d).



Tabla 4.6 Grupos de edad extrema por colonia. Fuente: Elaboración propia con información del censo 2010.

No.	NOMBRE	0-4 años	65 años y más	No.	NOMBRE	0-4 años	65 años y más
0	SAN JOSE DEL BAJIO	135	34	50	LOMAS DEL FORTIN	13	0
1	SAN ISIDRO EJIDAL	853	762	51	VALLE DE SAN NICOLAS III	167	25
2	ZAPOPAN CENTRO	104	9	52	VALLE DEL FORTIN	10	0
3	VICTOR HUGO	296	200	53	PARQUE ARRAYANES	116	16
4	HOGARES DEL BATAN	178	71	54	EL TIZATE	97	0
5	VILLAS ALCALDE	23	15	55	VILLAS DE LA PRIMAVERA	55	0
6	LOMAS DE ATEMAJAC	202	266	56	LA GRANJA	37	0
7	ATEMAJAC DEL VALLE	839	913	57	SAN JUAN OCOTAN	2593	569
8	LOMAS DEL BATAN	440	385	58	PALMA REAL	13	4
9	LA PALMITA	317	163	59	JARDIN REAL	668	113
10	LAGOS DEL COUNTRY	162	301	60	LOS GIRASOLES ACUEDUCT	212	177
11	VENUSTIANO CARRANZA	252	158	61	LA NORIA	111	3
12	LA HUERTA	33	44	62	RINCONADAS DEL VALLE	0	14
13	SANTA PAULA	134	156	63	VALLE ESMERALDA	22	0
14	SEATTLE	90	222	64	TESISTAN	615	403
15	G.V.S.A.	43	43	65	REVOLUCION	185	15
16	LA AURORA	68	67	66	SANTA LUCIA	608	236
17	PINO SUAREZ	19	7	67	LAS AGUJAS	332	68
18	LOS MAESTROS	89	144	68	LOMA CHICA	162	27
19	JARDINES DEL VIGIA	84	71	69	PRADOS DE SANTA LUCIA	595	127
20	PRADOS TEPEYAC	124	234	70	VILLAS DE TESISTAN	128	13
21	EL ZAPOTE	124	160	71	PRADERAS DE TESISTAN	77	3
22	JARDINES DEL SOL	138	486	72	VISTAS DE TESISTAN	635	3
23	PLAZA DEL SOL	0	0	73	REAL DE LAS LOMAS	0	0
24	LOMA BONITA SUR	65	96	74	MARTEL DEL VALLE	87	10
25	LOMA BONITA EJIDAL	753	710	75	LOS TELARES	3	0
26	LA GIRALDA	210	82	76	NEXTIPAC	337	117
27	NUEVA PRIMAVERA	167	94	77	VICENTE GUERRERO	347	93
28	LAS ALAMEDAS	84	44	78	JUAN GIL PRECIADO	96	28
29	LA FLORIDA	264	51	79	LOMAS DE SAN GONZALO	164	11
30	LOS CAJETES	335	54	80	JARDINES DE SAN GONZALO	11	0
31	AGRICOLA	290	136	81	LA VENTA DEL ASTILLERO	567	248
32	PASEOS DEL BRISEÑO	273	111	82	NUEVO MEXICO EJIDAL	293	108
33	EL BRISEÑO	787	422	83	EL TIGRE I	48	16
34	MIGUEL DE LA MADRID	207	104	84	LOMAS DEL BOSQUE	5	7
35	FRANCISCO SARABIA	324	179	85	ARCOS DE ZAPOPAN	1310	509
36	SANTA ANA TEPETITLAN	1991	555	86	LOMAS DE ZAPOPAN	969	545
37	LA HACIENDITA	170	38	87	ALTAGRACIA	515	196
38	VISTAS DEL SOL	7	5	88	PASEOS DEL CAMICHIN	8	4
39	LA JOYA	10	0	89	PUNTA VALDEPEÑAS	49	8
40	BUGAMBILIAS COUNTRY	20	5	90	SAN ISIDRO RESIDENCIAL	125	15
41	EL CAMPANARIO	423	93	91	CAMINO REAL	137	446
42	PARQUE DE LAS AZALEAS	53	4	92	LOMAS DE GUADALUPE	21	28
43	LAS PALMAS II	322	79	93	JARDINES UNIVERSIDAD	117	244
44	JARDINES DEL IXTEPETE	118	42	94	LA CIMA	22	3
45	PARAISOS DEL COLLI	1604	524	95	MIRADOR DEL SOL	125	241
46	MIRAMAR	2751	911	96	SANTA CATALINA	62	28
47	VOLCAN DEL COLLI	73	10	97	VILLAS DEL TEPEYAC	73	18
48	EL REHILETE	168	21	98	LOMAS UNIVERSIDAD	128	83
49	VALLE DE SAN NICOLAS	116	11	99	PASEOS UNIVERSIDAD	145	66

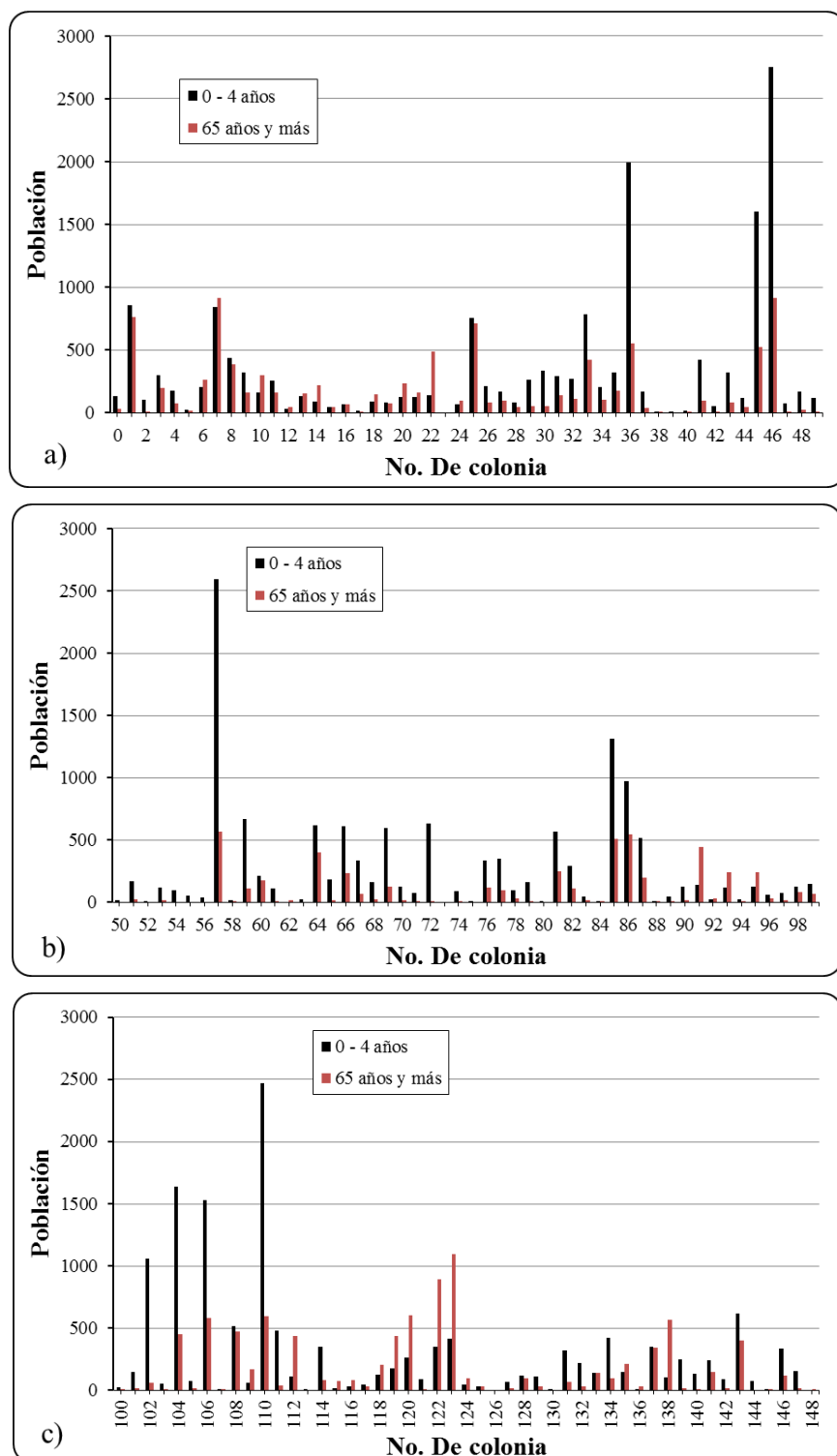


Tabla 4.9. Grupos de edad extrema por colonia(continuación...)

No.	NOMBRE	0-4 años	65 años y más	No.	NOMBRE	0-4 años	65 años y más
100	EL CARMEN HABITAT	22	6	149	SOLARES	109	7
101	VILLAS DEL IXTEPETE	149	20	150	VALLE DE LA PROVIDENCIA	4	3
102	PARQUES DE TESISTAN III	1059	59	151	COLLI SITIO	133	93
103	QUINTAS DEL VALLE	51	3	152	MIRADOR DE SAN ISIDRO	105	10
104	JARDINES DEL VALLE	1641	449	153	EL CENTINELA II	63	9
105	EL FORTIN	77	17	154	QUINTAS DEL BOSQUE	75	9
106	JARDINES DE NUEVO MEX	1531	580	155	CANTERAS DEL CENTINELA	46	3
107	LOS FRAILES	3	5	156	MISION DEL BOSQUE	519	55
108	EL VIGIA	516	475	157	HACIENDA DEL SOL	45	6
109	JARDINES VALLARTA	61	169	158	LAS PALOMAS	3	0
110	ARENALES TAPATIOS	2469	597	159	PASEOS DEL SOL PRIMERA	743	862
111	CARLOS RIVERA ACEVES	479	41	160	BOSQUES DE SAN GONZALC	0	0
112	JARDINES DE SAN IGNACIO	112	436	161	COLINAS DE LOS BELENES	71	15
113	VALDEPEÑAS II	4	0	162	NUEVO VERGEL	582	154
114	VALLE DE SAN ISIDRO	353	82	163	LOMAS DEL REFUGIO	269	61
115	CHAPALITA DE OCCIDENTE	16	71	164	LOMAS DEL CENTINELA	595	86
116	VALLARTA LA PATRIA	30	79	165	GIRASOLES ELITE	152	31
117	JARDINES DE CHAPALITA	48	28	166	RESIDENCIAL SANTA MARGA	0	0
118	ARCOS DE GUADALUPE	127	208	167	LA CASITA	205	63
119	JARDINES DE GUADALUPE	177	440	168	LAS BOVEDAS	375	169
120	LA ESTANCIA	264	601	169	JARDINES DE LOS BELENES	407	225
121	VALLE DE NUEVO MEXICO	87	3	170	LA EXPERIENCIA	83	167
122	LA CALMA	353	896	171	BENITO JUAREZ	641	450
123	LAS AGUILAS	413	1096	172	LA HIGUERA	387	40
124	PRADOS GUADALUPE	46	98	173	MIRADOR ESCONDIDO	312	55
125	LOMAS DEL SEMINARIO	30	31	174	LA CORONILLA	597	122
126	VALLE IMPERIAL	0	0	175	EMILIANO ZAPATA	336	87
127	PRIMAVERA NORTE	67	17	176	ARROYO HONDO PONIENTE	740	297
128	DIVISION DEL NORTE	117	99	177	ARROYO HONDO SEGUNDA	258	111
129	BOSQUE ESCONDIDO	111	31	178	BALCONES DE LA CANTERA	892	337
130	LA JOYA	10	0	179	COLINAS DE TABACHINES	151	57
131	LA MAGDALENA	323	68	180	LA MARTINICA	365	128
132	SAN JOSE EJIDAL	219	29	181	NUEVA ESPAÑA	267	61
133	VEINTISIETE DE SEPTIEMBRE	143	139	182	MESA COLORADA ORIENTE	585	169
134	EL CAMPANARIO	423	93	183	MIGUEL HIDALGO	545	144
135	JUAN MANUEL VALLARTA	145	210	184	VISTA HERMOSA	330	94
136	DON BOSCO VALLARTA	8	32	185	JARDINES DE LA ESPERANZA	94	15
137	EL BATAN	349	344	186	AGUA FRIA	828	116
138	CIUDAD DEL SOL	102	569	187	LOMAS DE TABACHINES	1620	393
139	BOSQUES DEL CENTINELA	248	13	188	VILLA DE GUADALUPE	1907	469
140	PARQUES DEL CENTINELA	132	7	189	MESA DE LOS OCOTES NOR	814	135
141	VILLAS DEL MARQUES	244	150	190	TABACHINES	943	792
142	EL BOSQUE	86	13	191	EL ZAPOTE II	72	15
143	TESISTAN	615	403	192	LA PERIQUERA	280	69
144	ALTUS QUINTAS	75	0	193	MARCELINO GARCIA BARRA	254	86
145	CALLEJON DEL BOSQUE	8	4	194	SANTA MARGARITA PONIENTE	2180	1696
146	NEXTIPAC	337	117	195	EL TRIANGULO	11	6
147	LA SOLEDAD	155	16	196	COLEGIO DEL AIRE	119	23
148	CLUB ECUESTRE INTERNA	0	4				



Riesgo a la salud por Isla y Ola de Calor en el municipio de Zapopan, México



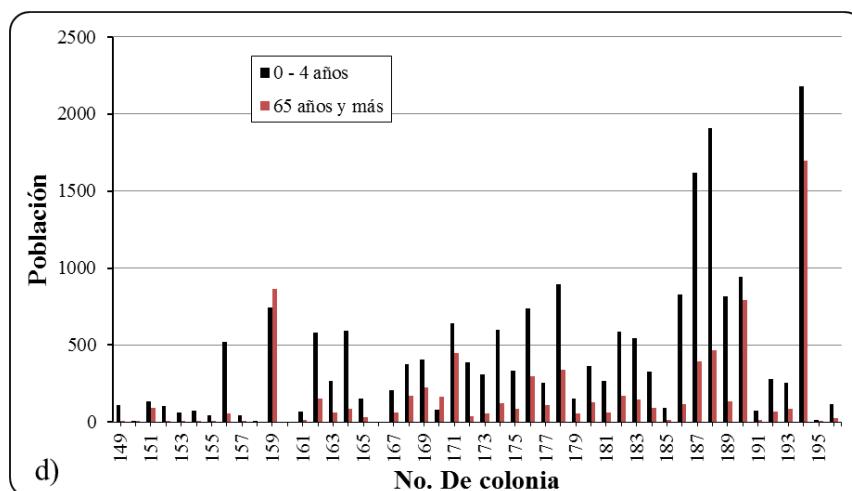


Figura 4.23 a, b y c. Grupo de edad extrema.

Fuente: Elaboración propia con información del censo 2010

Asimismo, en las figuras 4.24 y 4.25, se observa la distribución espacial de las dos variables.

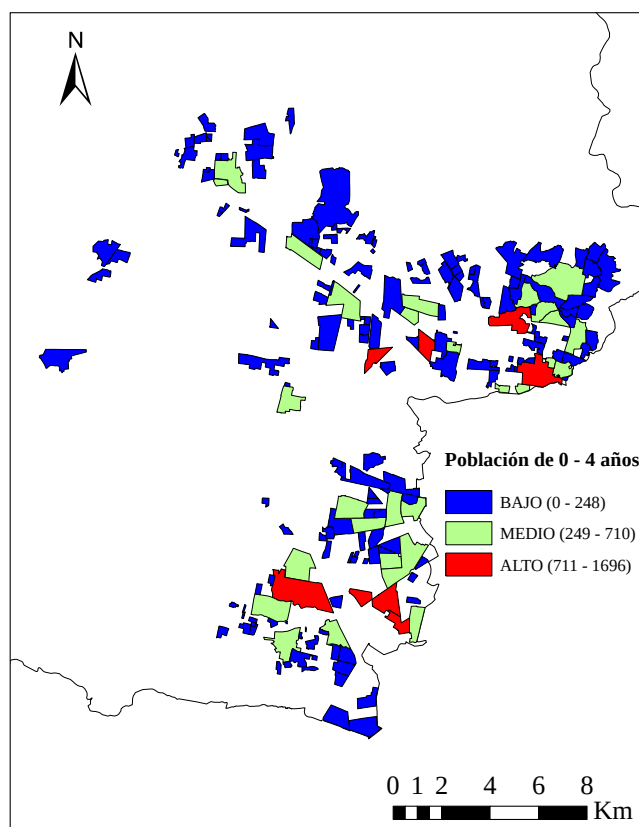


Figura 4.24. Distribución espacial de la población de 0-4 años.

Fuente: Elaboración propia con información del censo 2010.

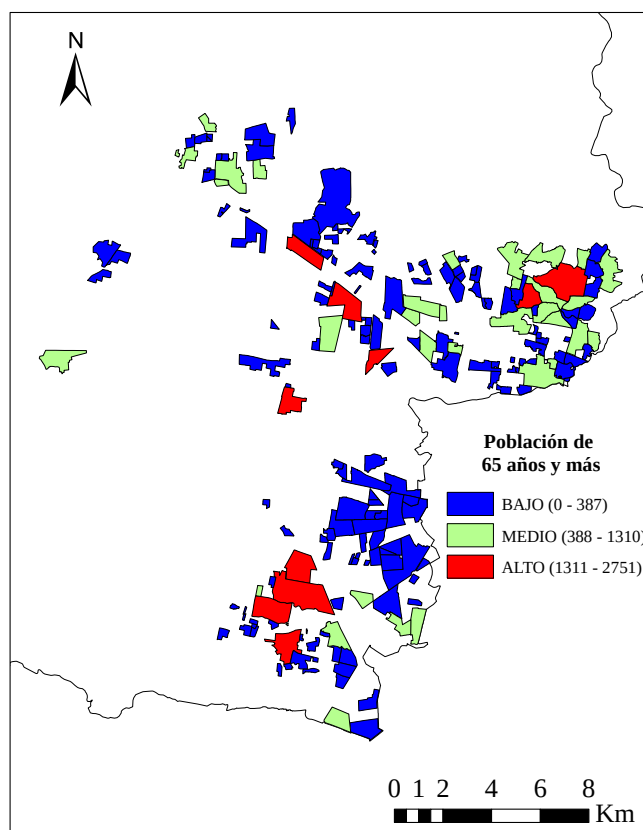


Figura 4.25. Distribución espacial de la *población de 65 años y más*.
Fuente: Elaboración propia con información del censo 2010

4.9.4 Grupo de densidad de población

Este grupo fue construido a partir de las variables censales de *población total* y el área calculada en hectáreas (ha) para cada una de las colonias, conformada por los 197 polígonos (tabla 4.10). Se destacan en concentración las colonias Prados de Santa Lucia, Los Girasoles Acueducto, Jardines Universidad, Santa Paula y Nuevo México Ejidal.



Tabla 4.7 Densidad de población por colonia. Fuente: Elaboración propia con información del censo 2010.

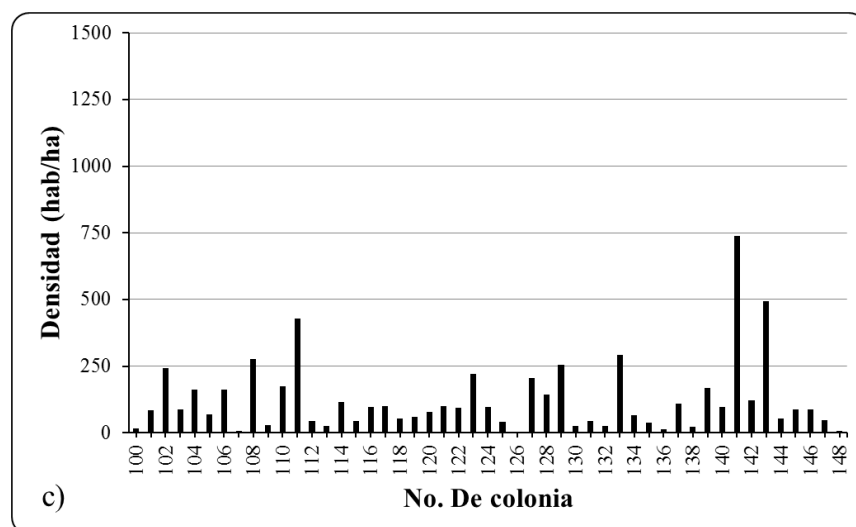
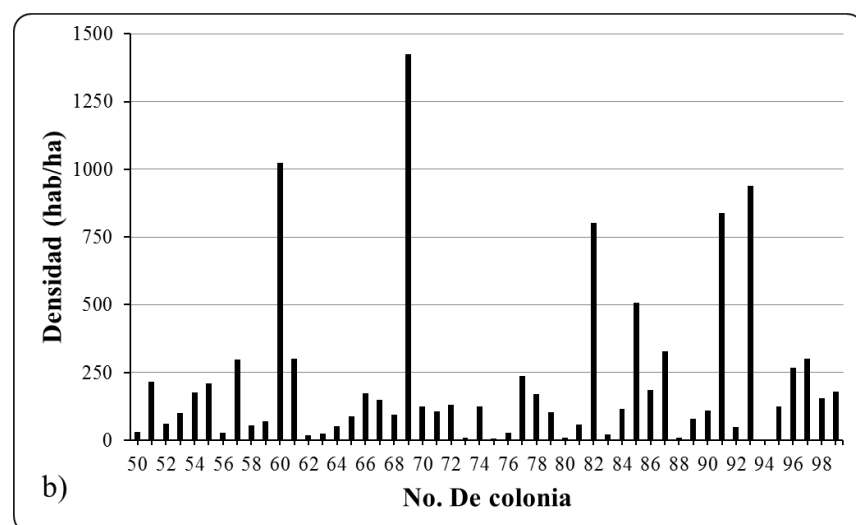
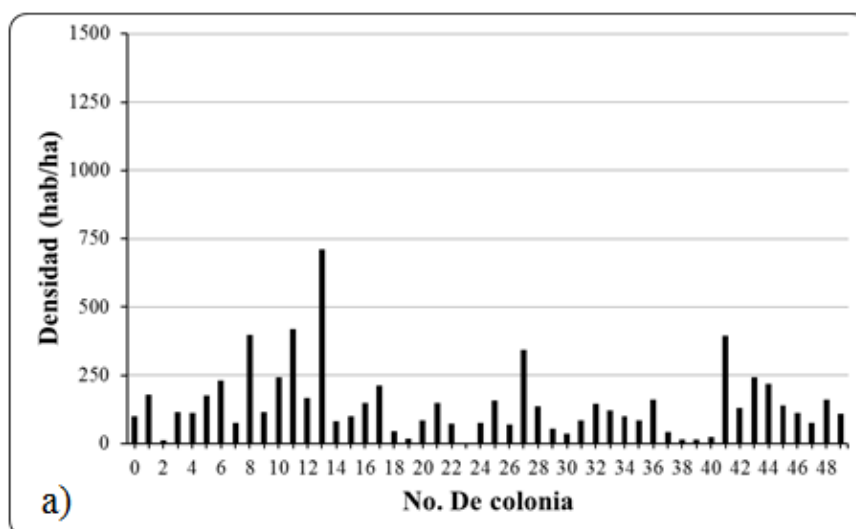
No.	NOMBRE	Densidad (hab/ha)	No.	NOMBRE	Densidad (hab/ha)
0	SAN JOSE DEL BAJIO	101.1	50	LOMAS DEL FORTIN	31.5
1	SAN ISIDRO EJIDAL	179.4	51	VALLE DE SAN NICOLAS III	216.9
2	ZAPOPAN CENTRO	12.1	52	VALLE DEL FORTIN	62.1
3	VICTOR HUGO	116.2	53	PARQUE ARRAYANES	101.6
4	HOGARES DEL BATAN	113.1	54	EL TIZATE	176.0
5	VILLAS ALCALDE	175.2	55	VILLAS DE LA PRIMAVERA	209.9
6	LOMAS DE ATEMAJAC	232.0	56	LA GRANJA	27.6
7	ATEMAJAC DEL VALLE	76.3	57	SAN JUAN OCOTAN	298.6
8	LOMAS DEL BATAN	398.1	58	PALMA REAL	55.1
9	LA PALMITA	116.2	59	JARDIN REAL	71.2
10	LAGOS DEL COUNTRY	243.2	60	LOS GIRASOLES ACUEDUCTO	1022.6
11	VENUSTIANO CARRANZA	419.0	61	LA NORIA	301.6
12	LA HUERTA	166.7	62	RINCONADAS DEL VALLE	18.1
13	SANTA PAULA	711.4	63	VALLE ESMERALDA	25.0
14	SEATTLE	81.8	64	TESISTAN	50.6
15	G.V.S.A.	101.4	65	REVOLUCION	89.1
16	LA AURORA	149.8	66	SANTA LUCIA	174.6
17	PINO SUAREZ	212.4	67	LAS AGUJAS	149.7
18	LOS MAESTROS	44.5	68	LOMA CHICA	93.7
19	JARDINES DEL VIGIA	19.6	69	PRADOS DE SANTA LUCIA	1424.0
20	PRADOS TEPEYAC	86.2	70	VILLAS DE TESISTAN	124.2
21	EL ZAPOTE	149.6	71	PRADERAS DE TESISTAN	105.3
22	JARDINES DEL SOL	74.1	72	VISTAS DE TESISTAN	131.8
23	PLAZA DEL SOL	1.1	73	REAL DE LAS LOMAS	7.9
24	LOMA BONITA SUR	77.1	74	MARTEL DEL VALLE	126.1
25	LOMA BONITA EJIDAL	156.8	75	LOS TELARES	7.7
26	LA GIRALDA	70.8	76	NEXTIPAC	28.2
27	NUEVA PRIMAVERA	343.4	77	VICENTE GUERRERO	236.2
28	LAS ALAMEDAS	135.7	78	JUAN GIL PRECIADO	169.6
29	LA FLORIDA	54.4	79	LOMAS DE SAN GONZALO	104.4
30	LOS CAJETES	35.3	80	JARDINES DE SAN GONZALO	8.7
31	AGRICOLA	84.1	81	LA VENTA DEL ASTILLERO	58.9
32	PASEOS DEL BRISEÑO	146.2	82	NUEVO MEXICO EJIDAL	802.9
33	EL BRISEÑO	122.8	83	EL TIGRE I	20.2
34	MIGUEL DE LA MADRID	101.3	84	LOMAS DEL BOSQUE	116.1
35	FRANCISCO SARABIA	84.4	85	ARCOS DE ZAPOPAN	508.1
36	SANTA ANA TEPETITLAN	159.8	86	LOMAS DE ZAPOPAN	185.3
37	LA HACIENDITA	43.7	87	ALTAGRACIA	329.8
38	VISTAS DEL SOL	14.3	88	PASEOS DEL CAMICHIN	10.5
39	LA JOYA	16.0	89	PUNTA VALDEPEÑAS	78.0
40	BUGAMBILIAS COUNTRY	23.3	90	SAN ISIDRO RESIDENCIAL	110.9
41	EL CAMPANARIO	396.3	91	CAMINO REAL	839.0
42	PARQUE DE LAS AZALEAS	129.4	92	LOMAS DE GUADALUPE	48.2
43	LAS PALMAS II	243.8	93	JARDINES UNIVERSIDAD	938.2
44	JARDINES DEL IXTEPETE	218.5	94	LA CIMA	2.2
45	PARAISOS DEL COLLI	139.0	95	MIRADOR DEL SOL	125.1
46	MIRAMAR	113.4	96	SANTA CATALINA	268.3
47	VOLCAN DEL COLLI	74.8	97	VILLAS DEL TEPEYAC	302.0
48	EL REHILETE	162.3	98	LOMAS UNIVERSIDAD	155.6
49	VALLE DE SAN NICOLAS	110.9	99	PASEOS UNIVERSIDAD	178.1



Tabla 4.10. Densidad de población por colonia (continuación...)

No.	NOMBRE	Densidad (hab/ha)	No.	NOMBRE	Densidad (hab/ha)
100	EL CARMEN HABITAT	15.1	149	SOLARES	12.7
101	VILLAS DEL IXTEPETE	85.2	150	VALLE DE LA PROVIDENCIA	1.2
102	PARQUES DE TESISTAN III	241.5	151	COLLI SITIO	93.6
103	QUINTAS DEL VALLE	87.9	152	MIRADOR DE SAN ISIDRO	43.9
104	JARDINES DEL VALLE	161.2	153	EL CENTINELA II	41.3
105	EL FORTIN	68.0	154	QUINTAS DEL BOSQUE	93.1
106	JARDINES DE NUEVO MEXICO	162.4	155	CANTERAS DEL CENTINELA	61.7
107	LOS FRAILES	8.5	156	MISION DEL BOSQUE	200.6
108	EL VIGIA	277.1	157	HACIENDA DEL SOL	53.1
109	JARDINES VALLARTA	27.9	158	LAS PALOMAS	2.4
110	ARENALES TAPATIOS	173.3	159	PASEOS DEL SOL PRIMERA SECCION	400.0
111	CARLOS RIVERA ACEVES	429.3	160	BOSQUES DE SAN GONZALO	4.5
112	JARDINES DE SAN IGNACIO	45.0	161	COLINAS DE LOS BELENES NORTE	62.1
113	VALDEPEÑAS II	25.6	162	NUEVO VERGEL	293.9
114	VALLE DE SAN ISIDRO	116.1	163	LOMAS DEL REFUGIO	78.6
115	CHAPALITA DE OCCIDENTE	43.3	164	LOMAS DEL CENTINELA	54.4
116	VALLARTA LA PATRIA	96.7	165	GIRASOLES ELITE	166.5
117	JARDINES DE CHAPALITA	101.5	166	RESIDENCIAL SANTA MARGARITA	0.8
118	ARCOS DE GUADALUPE	53.6	167	LA CASITA	110.0
119	JARDINES DE GUADALUPE	59.2	168	LAS BOVEDAS	326.7
120	LA ESTANCIA	78.4	169	JARDINES DE LOS BELENES	137.1
121	VALLE DE NUEVO MEXICO	100.3	170	LA EXPERIENCIA	81.9
122	LA CALMA	94.3	171	BENITO JUAREZ	96.7
123	LAS AGUILAS	219.5	172	LA HIGUERA	75.5
124	PRADOS GUADALUPE	97.9	173	MIRADOR ESCONDIDO	73.7
125	LOMAS DEL SEMINARIO	41.9	174	LA CORONILLA	51.9
126	VALLE IMPERIAL	0.0	175	EMILIANO ZAPATA	90.5
127	PRIMAVERA NORTE	206.9	176	ARROYO HONDO PONIENTE	169.8
128	DIVISION DEL NORTE	143.4	177	ARROYO HONDO SEGUNDA SECCION	121.4
129	BOSQUE ESCONDIDO	255.3	178	BALCONES DE LA CANTERA	162.1
130	LA JOYA	25.4	179	COLINAS DE TABACHINES	135.5
131	LA MAGDALENA	44.2	180	LA MARTINICA	81.5
132	SAN JOSE EJIDAL	24.3	181	NUEVA ESPAÑA	113.3
133	VEINTISIETE DE SEPTIEMBRE	293.3	182	MESA COLORADA ORIENTE	153.8
134	EL CAMPANARIO	65.7	183	MIGUEL HIDALGO	108.0
135	JUAN MANUEL VALLARTA	38.4	184	VISTA HERMOSA	87.8
136	DON BOSCO VALLARTA	13.2	185	JARDINES DE LA ESPERANZA	236.4
137	EL BATAN	107.8	186	AGUA FRIA	99.5
138	CIUDAD DEL SOL	23.4	187	LOMAS DE TABACHINES	220.1
139	BOSQUES DEL CENTINELA	169.5	188	VILLA DE GUADALUPE	86.1
140	PARQUES DEL CENTINELA	97.6	189	MESA DE LOS OCOTES NORTE	83.3
141	VILLAS DEL MARQUES	739.0	190	TABACHINES	139.4
142	EL BOSQUE	122.7	191	EL ZAPOTE II	31.0
143	TESISTAN	492.5	192	LA PERIQUERA	305.5
144	ALTUS QUINTAS	53.3	193	MARCELINO GARCIA BARRAGAN	30.1
145	CALLEJON DEL BOSQUE	87.9	194	SANTA MARGARITA PONIENTE	459.1
146	NEXTIPAC	89.0	195	EL TRIANGULO	19.1
147	LA SOLEDAD	46.5	196	COLEGIO DEL AIRE	59.5
148	CLUB ECUESTRE INTERNACIONA	8.1			

Por su parte, en la figura 4.26a, b, c, y d; se presenta de forma gráfica la distribución de las variables.



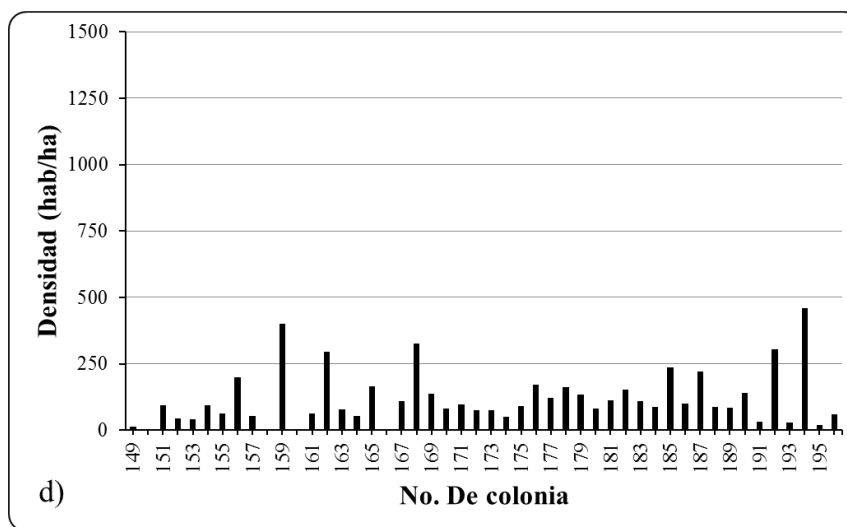


Figura 4.26a, b y c. Grupo de densidad de población.
Fuente: Elaboración propia con información del censo 2010

La distribución espacial del grupo de densidad de población, se observa en la figura 4.27.

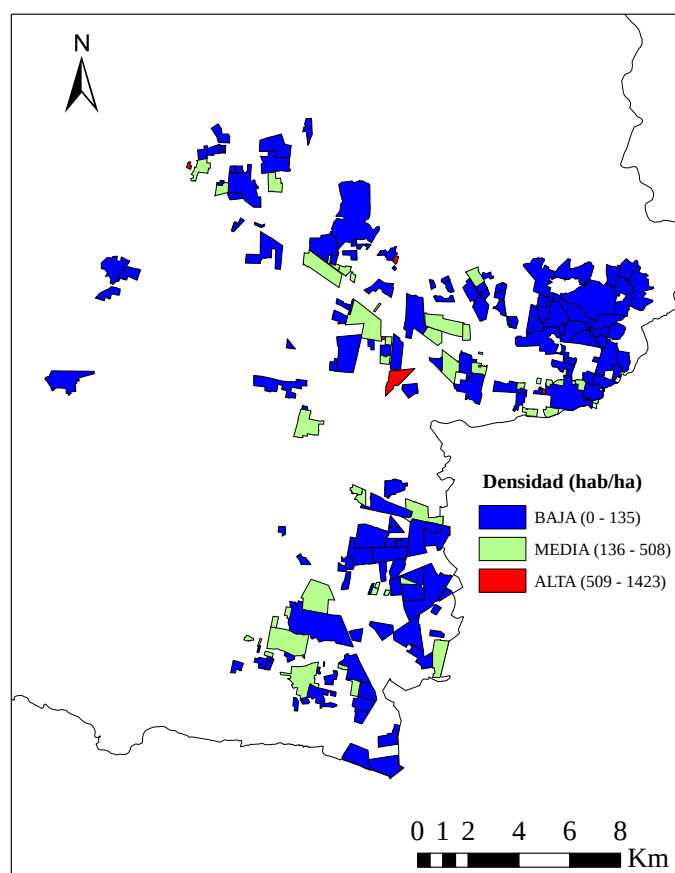


Figura 4.27. Distribución espacial del grupo de densidad de población.
Fuente: Elaboración propia en base a información censo de 2010



4.9 Construcción del Índice de Riesgo a la Salud por Isla de Calor Urbano Superficial

Para la construcción de este índice que relaciona a las colonias que experimentan ICUS, se conjuntó la información espacial y estadística proveniente del censo de 2010 de 197 colonias en distintas capas de información con sus respectivos grupos de variables en acuerdo al modelo propuesto. Se utiliza la ecuación 4 que es presentada a continuación, que hace una descripción de operaciones, componentes y ponderaciones indicadas para las variables censales que constituyen los grupos.

$$IRS \text{ por ICUS} = \text{Exposición (25\%)} + \text{Vulnerabilidad (25\%)} + \text{Peligro (50\%)} \quad (4)$$

Dónde:

Exposición = población total (25%)

Vulnerabilidad = falta de acceso a la educación (5%) + limitaciones en la vivienda (5%) + población en edad extrema (5%) + densidad de población (5%) – intensidad del NDVI (5%)

Peligro = intensidad de la ICUS (50%)

Falta de acceso a la educación = (población ≥ 15 años y analfabeta + población ≥ 15 años y con primaria incompleta)/2

Limitaciones en la vivienda = (Viviendas con piso de tierra + viviendas sin agua entubada + viviendas sin drenaje + % de ocupantes por cuarto)/4

Población en edad extrema = (población de 0 – 4 años + población ≥ 65 años)/2

Densidad de población = área (ha)/población total

Para obtener cada término de la ecuación 4, es necesario normalizar los valores de cada grupo. En la tabla 4.11 se presentan los valores absolutos y los normalizados del IRS por ICUS; mientras que, en la figura 4.28 se modela su distribución espacial.

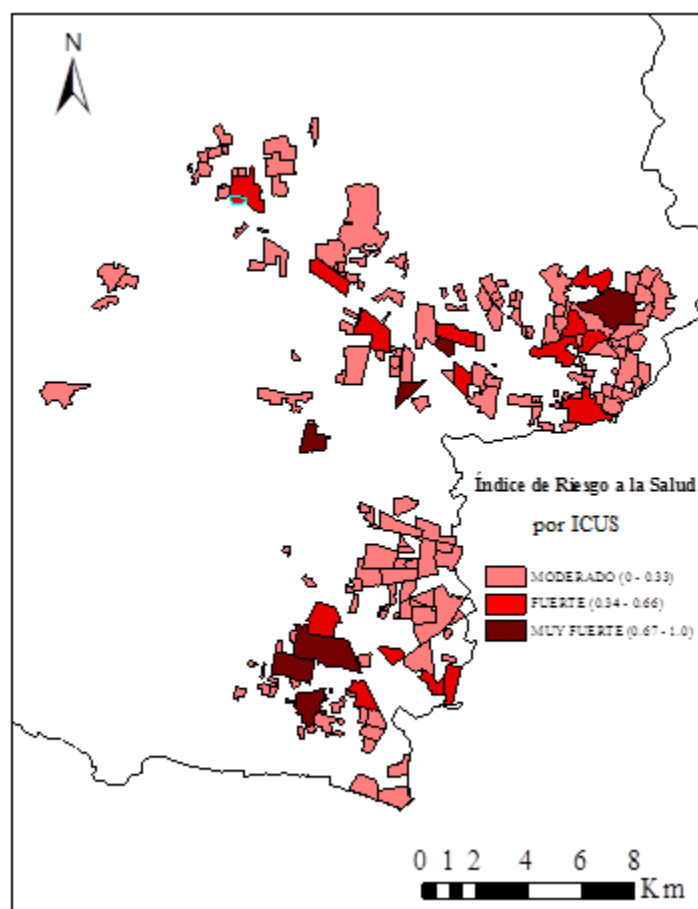


Figura 4.28. Distribución espacial del Índice de Riesgo a la Salud por ICUS.
Fuente: Elaboración propia con información del censo 2010 y térmica satelital



Tabla 4.8 Índice de Riesgo a la Salud por ICUS. Fuente: Elaboración propia con información del censo 2010 y térmica satelital

No.	NOMBRE	IRS	IRS (normalizado)	No.	NOMBRE	IRS	IRS (normalizado)
46	MIRAMAR	0.359	1.000	169	JARDINES DE LOS BELENES	0.083	0.189
194	SANTA MARGARITA PONIENTE	0.329	0.921	134	EL CAMPANARIO	0.082	0.185
110	ARENALES TAPATIOS	0.294	0.811	173	MIRADOR ESCONDIDO	0.081	0.183
57	SAN JUAN OCOTAN	0.279	0.771	137	EL BATAN	0.080	0.181
85	ARCOS DE ZAPOPAN	0.258	0.702	141	VILLAS DEL MARQUES	0.076	0.173
188	VILLA DE GUADALUPE	0.252	0.695	119	JARDINES DE GUADALUPE	0.076	0.170
36	SANTA ANA TEPETITLAN	0.249	0.678	180	LA MARTINICA	0.076	0.170
188	LOMAS DE TABACHINES	0.235	0.634	91	CAMINO REAL	0.076	0.168
45	PARAISOS DEL COLLI	0.218	0.590	193	MARCELINO GARCIA BARRAGAN	0.074	0.166
104	JARDINES DEL VALLE	0.212	0.571	168	LAS BOVEDAS	0.074	0.164
106	JARDINES DE NUEVO MEXICO	0.207	0.555	139	BOSQUES DEL CENTINELA	0.074	0.163
86	LOMAS DE ZAPOPAN	0.205	0.549	172	LA HIGUERA	0.071	0.161
190	TABACHINES	0.195	0.517	35	FRANCISCO SARABIA	0.070	0.154
159	PASEOS DEL SOL PRIMERA SECCION	0.189	0.502	144	ALTUS QUINTAS	0.069	0.149
1	SAN ISIDRO EJIDAL	0.163	0.425	138	CIUDAD DEL SOL	0.069	0.148
25	LOMA BONITA EJIDAL	0.163	0.425	79	LOMAS DE SAN GONZALO	0.068	0.147
7	ATEMAJAC DEL VALLE	0.162	0.423	95	MIRADOR DEL SOL	0.063	0.146
64	TESISTAN	0.152	0.395	132	SAN JOSE EJIDAL	0.065	0.143
178	BALCONES DE LA CANTERA	0.147	0.378	158	LAS PALOMAS	0.067	0.143
123	LAS AGUILAS	0.141	0.360	185	JARDINES DE LA ESPERANZA	0.066	0.141
189	MESA DE LOS OCOTES NORTE	0.140	0.360	9	LA PALMITA	0.066	0.141
33	EL BRISEÑO	0.087	0.347	6	LOMAS DE ATEMAJAC	0.065	0.139
41	EL CAMPANARIO	0.132	0.335	3	VICTOR HUGO	0.066	0.139
102	PARQUES DE TESISTAN III	0.130	0.333	98	LOMAS UNIVERSIDAD	0.064	0.138
176	ARROYO HONDO PONIENTE	0.123	0.305	163	LOMAS DEL REFUGIO	0.064	0.135
122	LA CALMA	0.085	0.301	184	VISTA HERMOSA	0.063	0.131
69	PRADOS DE SANTA LUCIA	0.121	0.301	22	JARDINES DEL SOL	0.062	0.130
186	AGUA FRIA	0.118	0.292	32	PASEOS DEL BRISEÑO	0.062	0.129
43	LAS PALMAS II	0.117	0.290	65	REVOLUCION	0.062	0.129
59	JARDIN REAL	0.117	0.288	118	ARCOS DE GUADALUPE	0.062	0.128
164	LOMAS DEL CENTINELA	0.104	0.278	20	PRADOS TEPEYAC	0.062	0.126
81	LA VENTA DEL ASTILLERO	0.111	0.273	77	VICENTE GUERRERO	0.060	0.126
72	VISTAS DE TESISTAN	0.107	0.261	60	LOS GIRASOLES ACUEDUCTO	0.061	0.125
156	MISION DEL BOSQUE	0.102	0.247	82	NUEVO MEXICO EJIDAL	0.061	0.125
66	SANTA LUCIA	0.101	0.247	67	LAS AGUJAS	0.058	0.120
108	EL VIGIA	0.102	0.246	177	ARROYO HONDO SEGUNDA SECCION	0.053	0.119
120	LA ESTANCIA	0.101	0.244	27	NUEVA PRIMAVERA	0.057	0.119
183	MIGUEL HIDALGO	0.101	0.243	13	SANTA PAULA	0.058	0.117
131	LA MAGDALENA	0.101	0.243	128	DIVISION DEL NORTE	0.058	0.116
87	ALTAGRACIA	0.098	0.241	99	PASEOS UNIVERSIDAD	0.058	0.115
146	NEXTIPAC	0.100	0.239	78	JUAN GIL PRECIADO	0.057	0.112
174	LA CORONILLA	0.099	0.235	133	VEINTISIETE DE SEPTIEMBRE	0.056	0.111
171	BENITO JUAREZ	0.094	0.228	10	LAGOS DEL COUNTRY	0.056	0.109
76	NEXTIPAC	0.093	0.221	135	JUAN MANUEL VALLARTA	0.055	0.109
182	MESA COLORADA ORIENTE	0.093	0.218	30	LOS CAJETES	0.053	0.109
147	LA SOLEDAD	0.089	0.209	90	SAN ISIDRO RESIDENCIAL	0.055	0.107
114	VALLE DE SAN ISIDRO	0.087	0.204	150	VALLE DE LA PROVIDENCIA	0.053	0.103
162	NUEVO VERGEL	0.087	0.201	167	LA CASITA	0.053	0.101
8	LOMAS DEL BATAN	0.085	0.195	129	BOSQUE ESCONDIDO	0.052	0.100
				11	VENUSTIANO CARRANZA	0.083	0.190
				145	CALLEJON DEL BOSQUE	0.053	0.100



Tabla 4.11. Índice de Riesgo a la Salud por ICUS (Continuación...)

No.	NOMBRE	IRS	IRS (normalizado)	No.	NOMBRE	IRS	IRS (normalizado)
71	PRADERAS DE TESISTAN	0.052	0.098	93	JARDINES UNIVERSIDAD	0.036	0.053
111	CARLOS RIVERA ACEVES	0.048	0.098	24	LOMA BONITA SUR	0.035	0.051
126	VALLE IMPERIAL	0.052	0.098	23	PLAZA DEL SOL	0.036	0.050
29	LA FLORIDA	0.049	0.096	26	LA GIRALDA	0.034	0.049
70	VILLAS DE TESISTAN	0.051	0.096	142	EL BOSQUE	0.034	0.048
112	JARDINES DE SAN IGNACIO	0.050	0.095	80	JARDINES DE SAN GONZALO	0.033	0.047
31	AGRICOLA	0.050	0.094	83	EL TIGRE I	0.034	0.047
68	LOMA CHICA	0.050	0.091	42	PARQUE DE LAS AZALEAS	0.034	0.047
101	VILLAS DEL IXTEPETE	0.047	0.088	155	CANTERAS DEL CENTINELA	0.034	0.046
181	NUEVA ESPAÑA	0.047	0.087	38	VISTAS DEL SOL	0.034	0.045
175	EMILIANO ZAPATA	0.046	0.086	149	SOLARES	0.032	0.044
28	LAS ALAMEDAS	0.047	0.084	195	EL TRIANGULO	0.033	0.044
4	HOGARES DEL BATAN	0.045	0.080	19	JARDINES DEL VIGIA	0.033	0.042
157	HACIENDA DEL SOL	0.044	0.079	55	VILLAS DE LA PRIMAVERA	0.032	0.041
44	JARDINES DEL IXTEPETE	0.045	0.079	62	RINCONADAS DEL VALLE	0.033	0.041
121	VALLE DE NUEVO MEXICO	0.045	0.078	5	VILLAS ALCALDE	0.032	0.041
148	CLUB ECUESTRE INTERNACIONAL	0.045	0.078	15	G.V.S.A.	0.032	0.040
53	PARQUE ARRAYANES	0.044	0.078	58	PALMA REAL	0.032	0.040
54	EL TIZATE	0.043	0.076	160	BOSQUES DE SAN GONZALO	0.032	0.040
51	VALLE DE SAN NICOLAS III	0.044	0.076	152	MIRADOR DE SAN ISIDRO	0.032	0.040
117	JARDINES DE CHAPALITA	0.044	0.076	97	VILLAS DEL TEPEYAC	0.031	0.040
73	REAL DE LAS LOMAS	0.043	0.074	48	EL REHILETE	0.031	0.038
74	MARTEL DEL VALLE	0.043	0.072	124	PRADOS GUADALUPE	0.031	0.037
165	GIRASOLES ELITE	0.042	0.071	166	RESIDENCIAL SANTA MARGAR	0.030	0.036
21	EL ZAPOTE	0.042	0.070	191	EL ZAPOTE II	0.030	0.036
154	QUINTAS DEL BOSQUE	0.041	0.070	94	LA CIMA	0.031	0.035
37	LA HACIENDITA	0.041	0.070	115	CHAPALITA DE OCCIDENTE	0.030	0.034
192	LA PERIQUERA	0.042	0.069	17	PINO SUAREZ	0.030	0.034
109	JARDINES VALLARTA	0.042	0.069	47	VOLCAN DEL COLLI	0.029	0.033
14	SEATTLE	0.041	0.068	63	VALLE ESMERALDA	0.030	0.033
34	MIGUEL DE LA MADRID	0.040	0.067	127	PRIMAVERA NORTE	0.029	0.033
151	COLLI SITIO	0.040	0.066	49	VALLE DE SAN NICOLAS	0.030	0.032
107	LOS FRAILES	0.041	0.064	61	LA NORIA	0.029	0.032
88	PASEOS DEL CAMICHIN	0.038	0.064	92	LOMAS DE GUADALUPE	0.028	0.028
0	SAN JOSE DEL BAJIO	0.040	0.064	39	LA JOYA	0.028	0.028
12	LA HUERTA	0.040	0.063	2	ZAPOPAN CENTRO	0.028	0.028
89	PUNTA VALDEPEÑAS	0.038	0.063	52	VALLE DEL FORTIN	0.027	0.027
170	LA EXPERIENCIA	0.038	0.060	125	LOMAS DEL SEMINARIO	0.027	0.025
196	COLEGIO DEL AIRE	0.039	0.059	40	BUGAMBILIAS COUNTRY	0.027	0.024
179	COLINAS DE TABACHINES	0.038	0.059	50	LOMAS DEL FORTIN	0.026	0.023
16	LA AURORA	0.037	0.058	116	VALLARTA LA PATRIA	0.026	0.023
84	LOMAS DEL BOSQUE	0.038	0.057	161	COLINAS DE LOS BELENES NOF	0.025	0.022
100	EL CARMEN HABITAT	0.038	0.057	130	LA JOYA	0.025	0.020
113	VALDEPEÑAS II	0.037	0.056	140	PARQUES DEL CENTINELA	0.025	0.020
75	LOS TELARES	0.037	0.055	103	QUINTAS DEL VALLE	0.020	0.004
18	LOS MAESTROS	0.036	0.054	153	EL CENTINELA II	0.019	0.004
105	EL FORTIN	0.035	0.053	136	DON BOSCO VALLARTA	0.019	0.001
96	SANTA CATALINA	0.036	0.053	56	LA GRANJA	0.018	0.000

4.10 Análisis comparativo del riesgo entre colonias

Con el propósito de identificar las características sociodemográficas que son clave para la determinación y diferenciación de los grados de riesgo en el modelo, se propone hacer un análisis comparativo, el cual consiste en hacer dos grupos, el primero constituido por el promedio de las variables censales de las primeras siete colonias ya identificadas como *muy alto*; y el segundo, con el promedio de las variables censales de las últimas siete colonias conocidas como *moderado*, las cuales son mostradas en la tabla 4.12. En la tabla 4.13 se



muestran los promedios para cada uno de las doce variables usadas en el IRS por ICUS correspondientes a los dos grupos mencionados; en tanto su distribución espacial se presenta en la figura 4.29.

Tabla 4.9 Colonias empleadas en el análisis comparativo con sus respectivos valores de IRS por ICUS.

Colonias con IRS <i>muy alto</i>	IRS por ICUS	Colonias con IRS <i>moderado</i>	IRS por ICUS
Miramar	1.000	Colinas de los Belenes Norte	0.022
Santa Margarita pte	0.921	La Joya	0.020
Arenales tapatíos	0.811	Parques del Centinela	0.020
San Juan de Ocotán	0.771	Quintas del Valle	0.004
Arcos de Zapopan	0.702	El Centinela II	0.004
Villa de Guadalupe	0.695	Don Bosco Vallarta	0.001
Santa Ana Tepetitlán	0.678	La Granja	0.000

Tabla 4.10 Variables y valores promedio usados en el IRS por ICUS para los dos grupos y su diferencia.

	Población total	Población de 15 años y más analfabeta	Población de 15 años y más con primaria incompleta	Población de 65 años y más	Población de 0 a 4 años	Ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas (%)	Viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje (%)	Viviendas particular es habitadas con piso de tierra	Viviendas particulares habitadas que no disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda	Ts (°C)	NDVI	Densidad de población (personas/Ha)
<i>Muy alto</i>	20,756	472	1,633	758	2,172	1.03	4	73	60	36.45	0.110	389.5
<i>Moderado</i>	543	2	11	9	53	0.89	1	1	24	36.32	0.133	64.4
Diferencia	20,213	471	1,622	749	2,118	0.14	3	72	37	0.131	-0.02	325.1

La característica en común de estas catorce colonias es que experimentan ICUS, pero la variabilidad de algunas de ellas, especialmente las demográficas, hace que estas tengan algunos valores que generan variación de consideración en el IRS por ICUS.

A partir de la tabla 4.13, se observa que para la variable de exposición (población total), el primer grupo es 38 veces mayor que el segundo, lo que provoca una marcada diferencia en lo que respecta al índice. Cabe mencionar que las diferencias para todas las variables son positivas lo que indica que el primer grupo tiene valores superiores que generan condiciones de mayor peso que afectan de forma considerable a la salud y al bienestar.

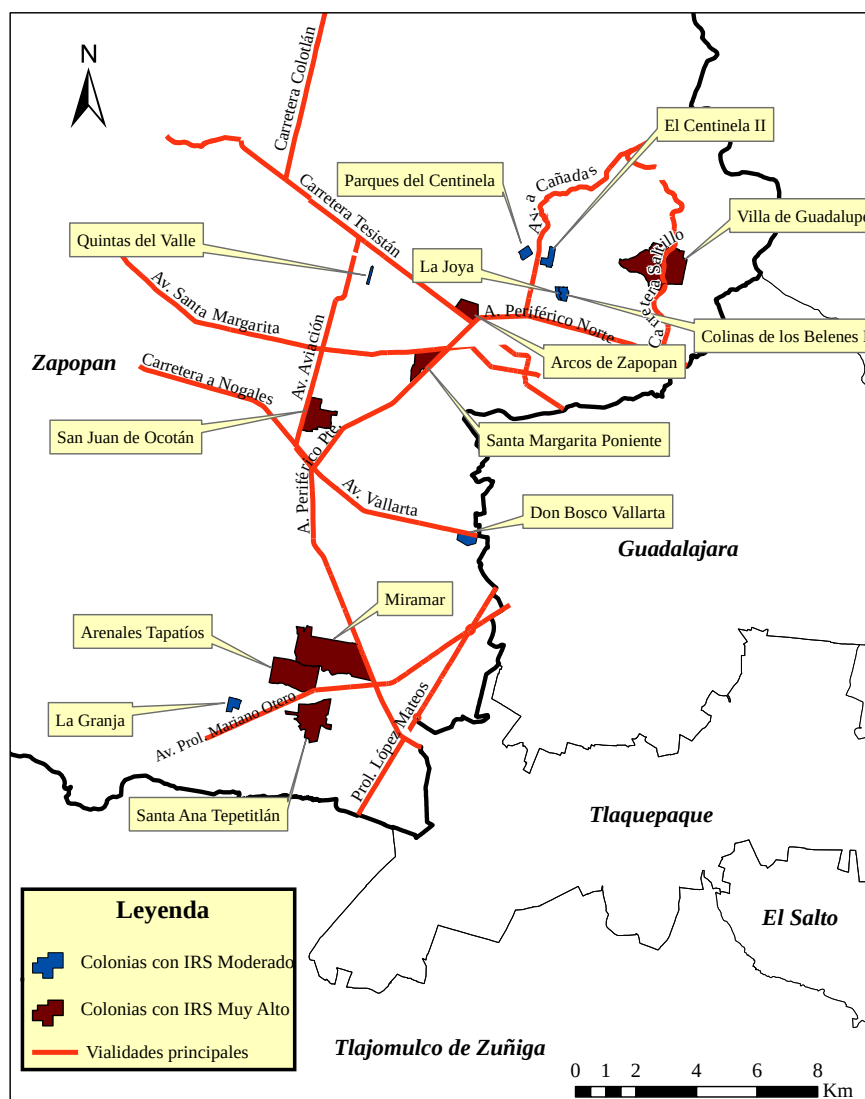


Figura 4.29. Distribución espacial de las catorce colonias de IRS por ICUS de *muy alto* y *moderado*.
Fuente: Elaboración propia en base a cartografía del IIEG e información censal del 2000 del INEGI.

Las variables que conforman la vulnerabilidad que involucra al número absoluto de población (figura 4.30), se observa que la variable de población de 0 a 4 años es de mayor peso, debido a que su diferencia polariza en cierta medida al índice, y casi de la misma forma ocurre con la variable de población de 15 años y más con primaria incompleta. Las variables de población de 65 años y más y la de población de 15 años y más analfabeta logran ser menos determinantes, debido a que representan el 35 y 22% de la variable mayor.

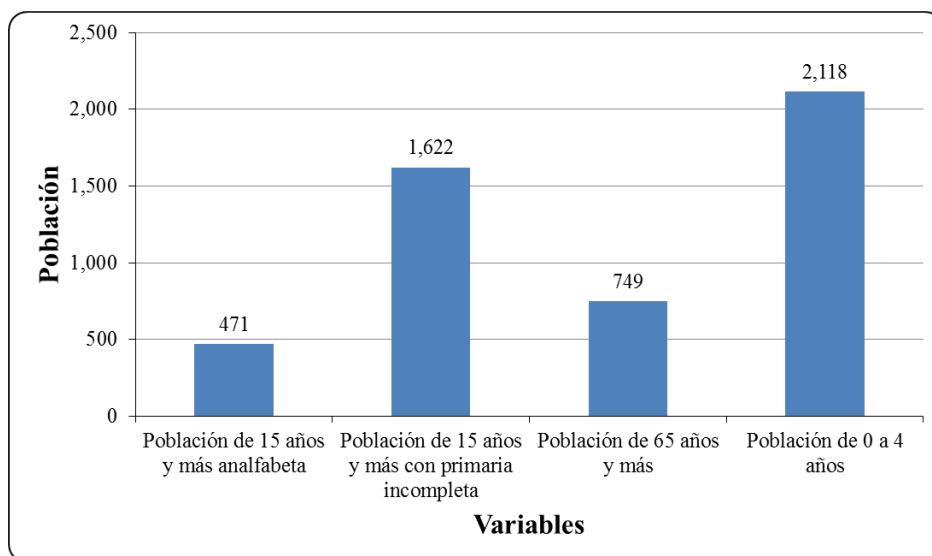


Figura 4.30. Diferencia del promedio de las variables de vulnerabilidad (población) entre los grupos de IRS por ICUS de *muy alto* y *moderado*.

Fuente: Elaboración propia en base a información censal del 2010 del INEGI.

La variable de *viviendas particulares habitadas con piso de tierra* logra ser la más dominante, seguida de las *viviendas particulares habitadas que no disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda*; y las *viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje* representan una proporción mínima (figura 4.31).

El *promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas* es de 16 % mayor el grupo de muy alto con respecto al de moderado; y la T_s es 0.13°C mayor. En otras palabras existen condiciones térmicas muy similares originadas posiblemente por la existencia de materiales superficiales afines en ambos grupos de colonias, siendo esta variable no tan influyente en la variación del grado de riesgo. La cantidad y salud de vegetación es representada por el NDVI, cuya diferencia de -0.02 indica que existen mayor área y mejores condiciones para el segundo grupo, pero no lo suficiente para generar un cambio significativo en la T_s .

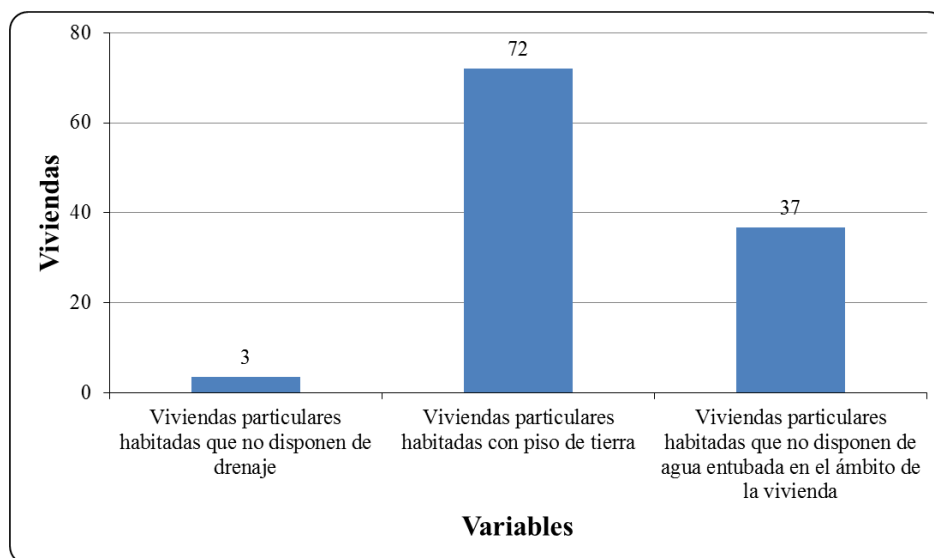


Figura 4.31. Diferencia del promedio de las variables de vulnerabilidad (limitaciones en la vivienda) entre los grupos de IRS por ICUS de *muy alto* y *moderado*

Fuente: Elaboración propia en base a información censal del 2010 del INEGI.

4.11 Propuesta para la reducción del Índice de Riesgo a la Salud por ICUS

Como necesidad primordial, se han identificado a siete colonias con IRS por ICUS con categoría de *muy alto*, para las cuales se deben implementar acciones para disminuir la *Ts* en cada una. Para lograrlo, se ha propuesto crear estimaciones de la disponibilidad y estado de la vegetación para posteriormente incrementar los valores de NDVI, considerando que esta característica puede ser modificable (manejable) e incidir directamente en la *Ts* y de este modo, lograr sacar a estas colonias de su característica de ICUS.

Teniendo en cuenta que las variables sociodemográficas del censo que forman el modelo no podrán ser modificadas, debido a que la presión demográfica junto con las características propias de cada grupo social está desvinculadas o son dominantes en comparación con los procesos naturales como es el funcionamiento y desarrollo de la vegetación. Se ha propuesto correlacionar los niveles de NDVI con la *Ts* de las colonias que no presentaron ICUS, para posteriormente proponer una prospección, empleando análisis de regresión lineal obteniendo así la acción en particular que puede ser controlable y aplicable a cada una.



4.11.1 Análisis de regresión entre NDVI y T_s

Para representar el grado de dependencia entre la temperatura y la vegetación, representados por las variables ambientales del NDVI y la T_s respectivamente, se han considerado 183 colonias, las cuales no experimentan ICUS.

Se manejaron los valores zonales de las dos variables para cada colonia, los cuales se presentan en el gráfico de dispersión (figura 4.32), existiendo una correlación inversa (negativa) con un modelo ajustado de tipo lineal. El *valor-p* es menor a 0.05 (0.000), se afirma que existe una relación estadísticamente significativa entre ambas variables con un nivel de confianza del 95%. El estadístico R^2 (coeficiente de determinación) indica que el modelo ajustado explica 39.48% de la variabilidad en T_s . El R (coeficiente de correlación) es igual a -0.6283, indicando una relación moderadamente fuerte entre las dos variables, lo que nos revela que a mayor NDVI la T_s disminuye.

En función a la ecuación de regresión, se ha calculado el valor de NDVI (variable dependiente) que debería de existir para alcanzar determinado valor de T_s (variable independiente), procurando que este sea al menos menor del umbral establecido de 35.7°C (capítulo 4.5), para poder considerar a estas colonias sin efecto ICUS.

Con ayuda de una imagen satelital pancromática del año 2015 del área urbana del municipio de Zapopan, con resolución espacial de 0.5 metros, se aplicó la técnica de clasificación supervisada para la identificación de áreas con vegetación, procurando muestrear la mayor cantidad de árboles, unidades deportivas y parques bien conservados para posteriormente estimar las proporciones existentes de esas áreas para cada colonia.

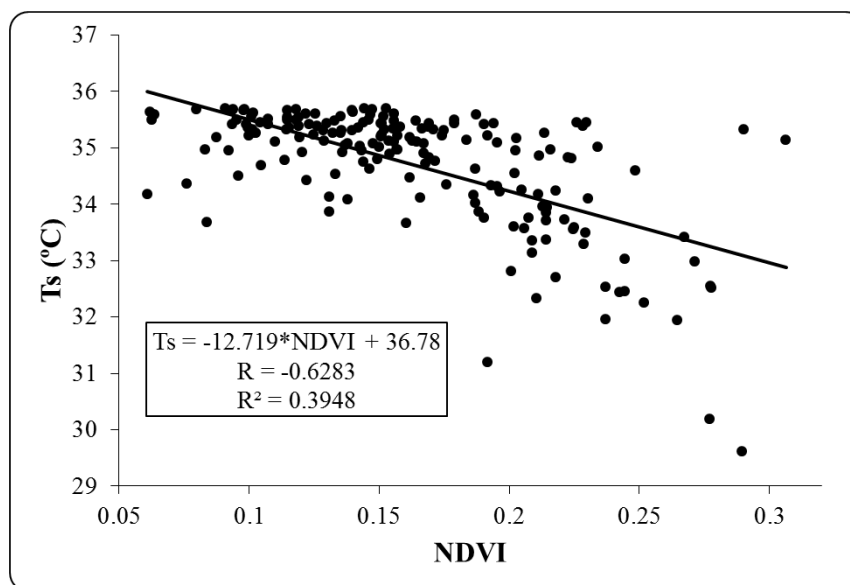


Figura 4.32. Gráfico de dispersión entre T_s y NDVI, ecuación de regresión, R y R^2 .

Fuente: Elaboración propia en base a información del censo de 2010 de INEGI.

Para conocer la forma de reducir la T_s , es preciso indicar que los incrementos en valores de NDVI generan la reducción, y específicamente, se requiere conocer el área verde que debe alcanzar para mantenerse por debajo del valor umbral de T_s .

Se presentan las propuestas para reducir la T_s para cada una de las siete colonias con mayor riesgo (tablas 4.14 a 4.20). Donde la primera columna es la T_s , sus límites van de los 25 a los 40°C, mismos que fueron establecidos de acuerdo a los límites térmicos del área urbana; en la segunda columna se presenta el valor de NDVI; la tercera columna indica el área verde forzosa en hectáreas para determinado valor de NDVI; la cuarta columna representa el porcentaje de área verde indispensable con respecto al área verde actual; la quinta columna es el porcentaje de área verde con respecto al área por colonia. El área sombreada representa la propuesta de área verde obligatoria para la situación que se pretende alcanzar, y el recuadro muestra las características actuales para cada colonia.

4.11.2 Colonia Miramar

Se ubica al sur del municipio a las márgenes del Anillo Periférico Poniente (figura 4.29), la misma requiere incrementar el espacio de sus áreas verdes de 48.7 a 71.6 ha, representado tal incremento el 47% con respecto al área verde actual. La figura 4.33 muestra la

distribución espacial de la vegetación. Una característica observada de las viviendas es mostrada en la figura 4.34, donde la mayoría se extienden hasta el límite frontal (banqueta), sin la presencia de algún tipo de jardín, ya sea de tipo ornamental o arbórea. Existe un centro comercial que tiene un amplio espacio de estacionamiento asfaltado que recibe gran cantidad de insolación, debido a la carencia de árboles que generen sombra, lo que sin duda provoca un ambiente térmico poco confortable.

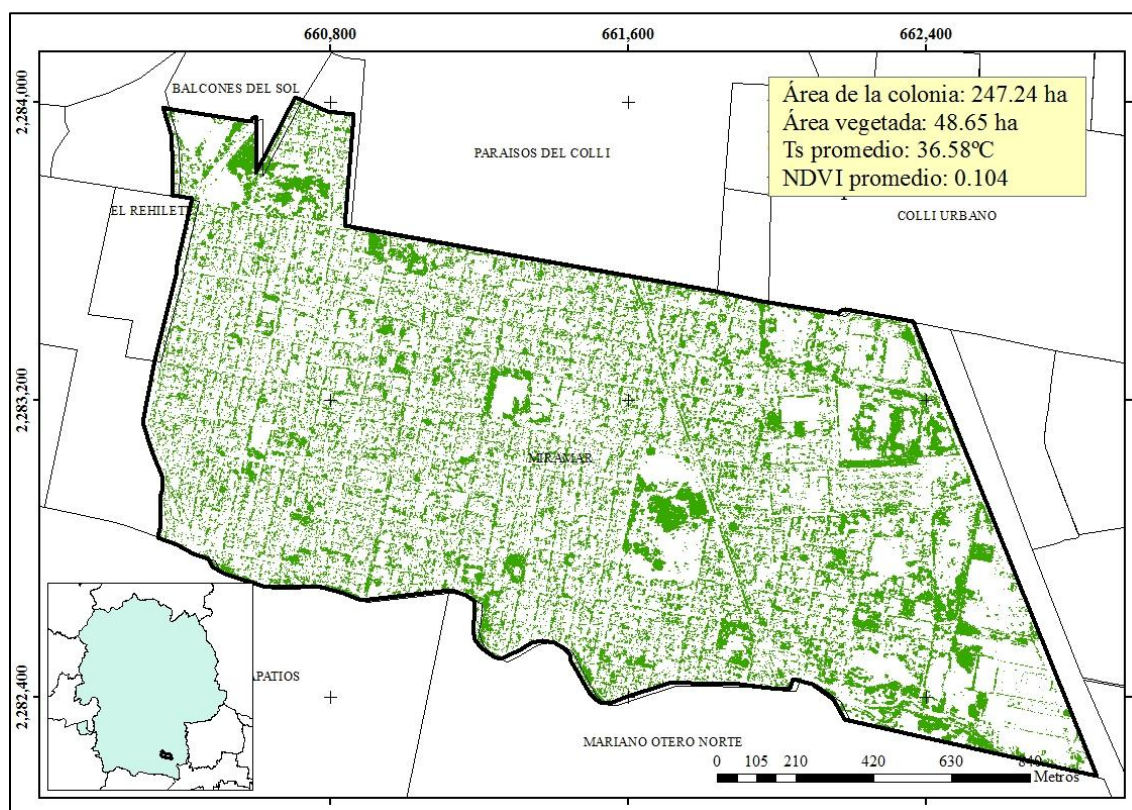


Figura 4.33 Distribución espacial de las áreas verdes de la colonia Miramar.
Fuente: Elaboración propia en base a información cartográfica del IIEG y satelital.

Tabla 4.11 Estadísticas de la situación térmica y de vegetación (recuadro) y propuesta de reducción de la T_s (columna sombreada) para la colonia Miramar. Fuente: Elaboración propia en base a información cartográfica del IIEG y satelital.

Ts (°C)	NDVI	Área verde necesaria (Ha)	Área verde necesaria con respecto al área verde actual (%)	Área verde necesaria con respecto al área de la colonia (%)
25	0.465	215.7	343	87
26	0.434	201.2	314	81
27	0.402	186.8	284	76
28	0.371	172.4	254	70
29	0.340	158.0	225	64
30	0.309	143.6	195	58
31	0.278	129.2	166	52
32	0.247	114.8	136	46
33	0.216	100.4	106	41
34	0.185	86.0	77	35
35	0.154	71.6	47	29
36	0.123	57.2	17	23
36.59	0.105	48.7	0	20
37	0.092	42.7	-12	17
38	0.061	28.3	-42	11
39	0.030	13.9	-71	6
40	-0.001		-100	0

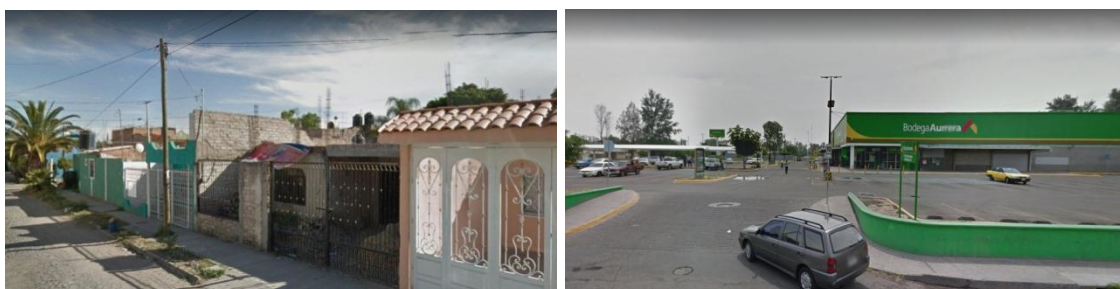


Figura 4.34 Viviendas particulares de la colonia Miramar sobre calle Bahía de Kino (izquierda). Bodega Aurrera sobre calle Puerto San Juan (derecha).

4.11.3 Colonia Santa Margarita Poniente

Esta colonia se localiza en la parte central del espacio urbanizado del municipio, sobre las confluencias de la avenida Santa Margarita y el Anillo Periférico Poniente (figura 4.29). Es indispensable un incremento de 3.4 a 5.2 ha, lo que corresponde a un 55% de área forestada con respecto a la actual (tabla 4.15). Esta colonia en su totalidad presenta calles asfaltadas lo que provoca una gran absorción de calor. La vegetación es escasa debido a que el espacio entre calle y banqueta en algunas viviendas es apenas de 30 cm, lo que permite escasamente la existencia de especies arbóreas de baja altura y en otras viviendas ni siquiera existe espacio para este fin (figura 4.36).

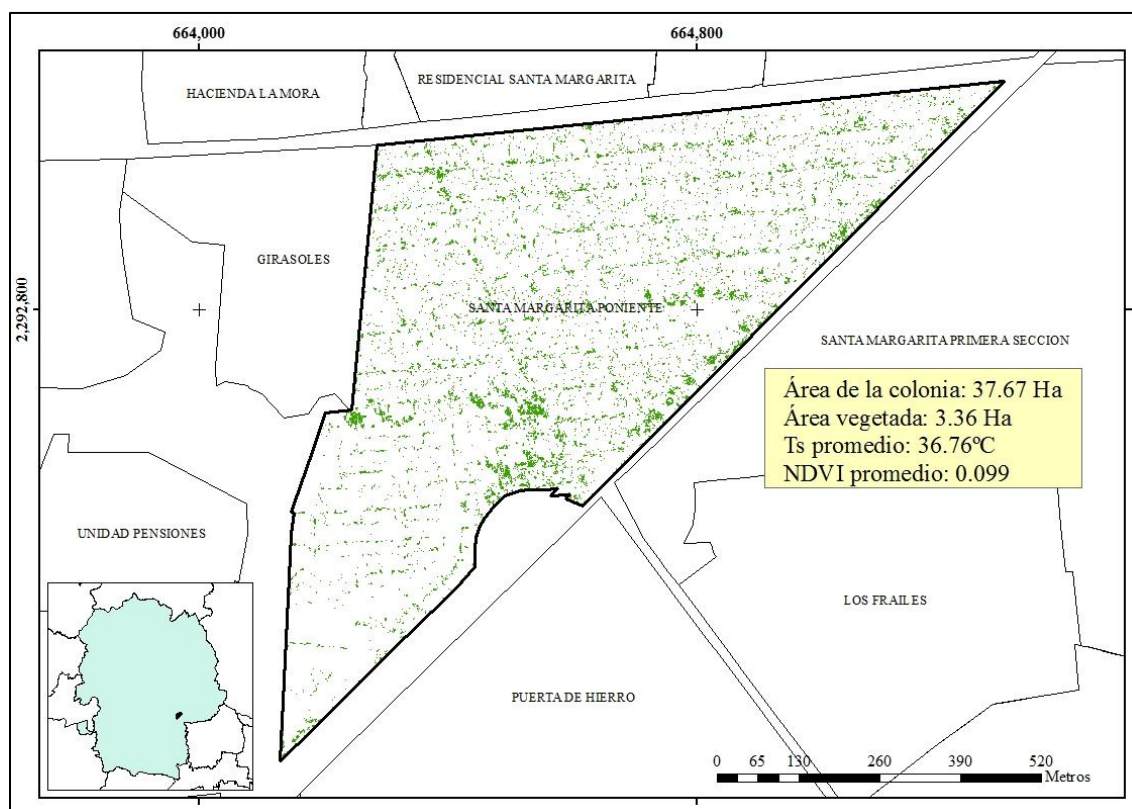


Figura 4.35. Distribución espacial de las áreas verdes de la colonia Santa Margarita Poniente
Fuente: Elaboración propia en base a información cartográfica del IIEG y satelital.

Tabla 4.12 Estadísticas de la situación térmica y de vegetación (recuadro) y propuesta de reducción de la Ts (columna sombreada) para la colonia Santa Margarita Poniente. Fuente: Elaboración propia en base a información cartográfica del IIEG y satelital.

Ts (°C)	NDVI	Área verde necesaria (Ha)	Área verde necesaria con respecto al área verde actual (%)	Área verde necesaria con respecto al área de la colonia (%)
25	0.465	15.7	367	42
26	0.434	14.6	336	39
27	0.402	13.6	304	36
28	0.371	12.5	273	33
29	0.340	11.5	242	31
30	0.309	10.5	211	28
31	0.278	9.4	180	25
32	0.247	8.4	148	22
33	0.216	7.3	117	19
34	0.185	6.3	86	17
35	0.154	5.2	55	14
36	0.123	4.2	24	11
36.76	0.100	3.4	0	9
37	0.092	3.1	-7	8
38	0.061	2.1	-39	5
39	0.030	1.0	-70	3
40	-0.001	0.0	-101	0



Figura 4.36. Viviendas particulares en colonia Santa Margarita Poniente en calle Santa Rosa.

4.11.4 Colonia Arenales Tapatíos

Se ubica en la parte sur del municipio (vecina de la colonia Miramar) sobre la avenida Prolongación Mariano Otero (figura 4.29). Es forzoso el incremento de sus áreas verdes de 23.2 a 31.7 ha (tabla 4.16), lo que significa 36% del área verde actual; comparte rasgos muy similares con la colonia Miramar; las avenidas principales están pavimentadas con concreto hidráulico y las calles en su mayoría con “piedra ahogada”. Una ventaja con los pavimentos claros es que absorben menos calor que los oscuros como lo es el concreto hidráulico, dando una ventaja relativa sobre el asfalto, además que puede absorber humedad lo que retarda el calentamiento. Sobresale un espacio abierto dedicado a la agricultura, que en época cálida está en desuso y que genera aumento térmico de consideración (figura 4.38).

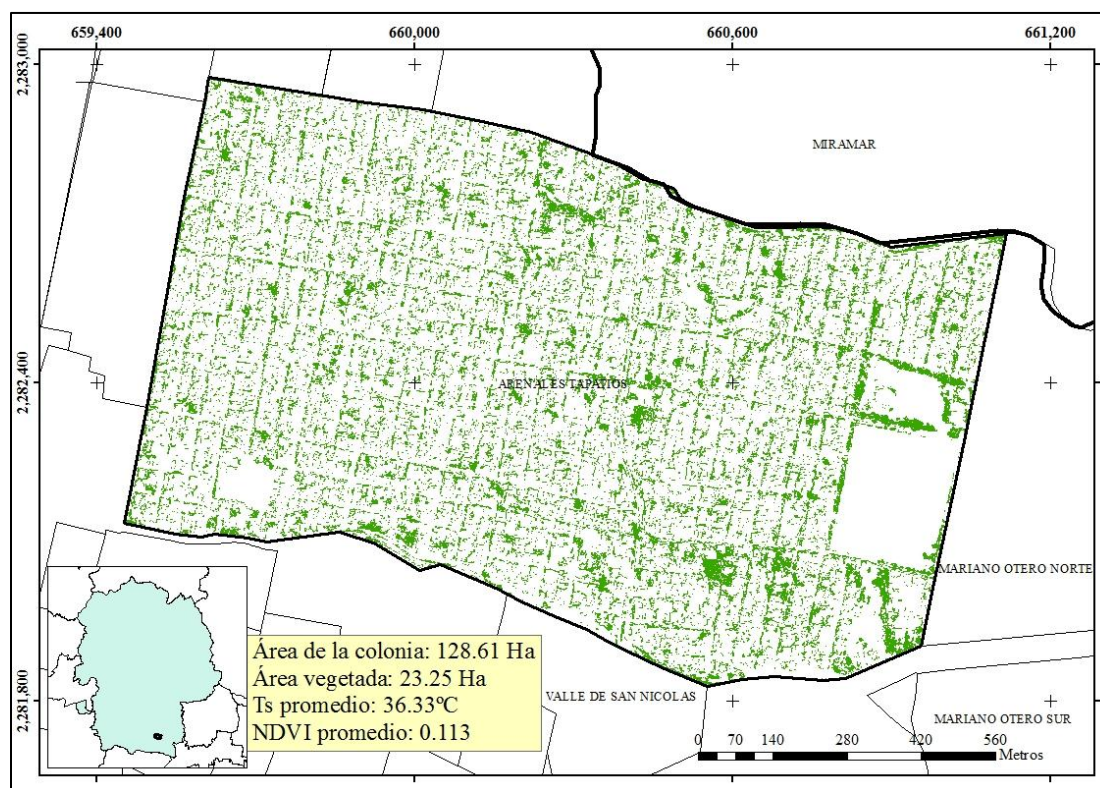


Figura 4.37. Distribución espacial de las áreas verdes de la colonia Arenales Tapatíos.
Fuente: Elaboración propia en base a información cartográfica del IIEG y satelital.

Tabla 4.13 Estadísticas de la situación térmica y de vegetación (recuadro) y propuesta de reducción de la Ts (columna sombreada) para la colonia Arenales Tapatíos. Fuente: Elaboración propia en base a información cartográfica del IIEG y satelital.

Ts (°C)	NDVI	Área verde necesaria (Ha)	Área verde necesaria con respecto al área verde actual (%)	Área verde necesaria con respecto al área de la colonia (%)
25	0.465	95.6	311	74
26	0.434	89.2	284	69
27	0.402	82.8	256	64
28	0.371	76.5	229	59
29	0.340	70.1	201	54
30	0.309	63.7	174	50
31	0.278	57.3	146	45
32	0.247	50.9	119	40
33	0.216	44.5	91	35
34	0.185	38.1	64	30
35	0.154	31.7	36	25
36	0.123	25.3	9	20
36.33	0.113	23.2	0	18
37	0.092	19.0	-19	15
38	0.061	12.6	-46	10
39	0.030	6.2	-73	5
40	-0.001		-100	0



Figura 4.38. Viviendas particulares en la colonia Arenales Tapatíos sobre calle Carbón (izquierda). Espacio abierto en calle Diamante (derecha).

4.11.5 Colonia San Juan de Ocotán

Está ubicada en la porción central del municipio delimitada por la avenida Aviación, Anillo Periférico Poniente y la carretera a Nogales (figura 4.29). La zona precisa incrementar de 7.5 a 9.3°C su T_s , que se traduce en un 25% del área verde actual (tabla 4.17). Sus viviendas carecen en su gran mayoría de vegetación frontal; sus calles son asfaltadas, siendo ambas condiciones no favorables a un ambiente térmico que contribuye al bienestar térmico y la salud (figura 4.40).

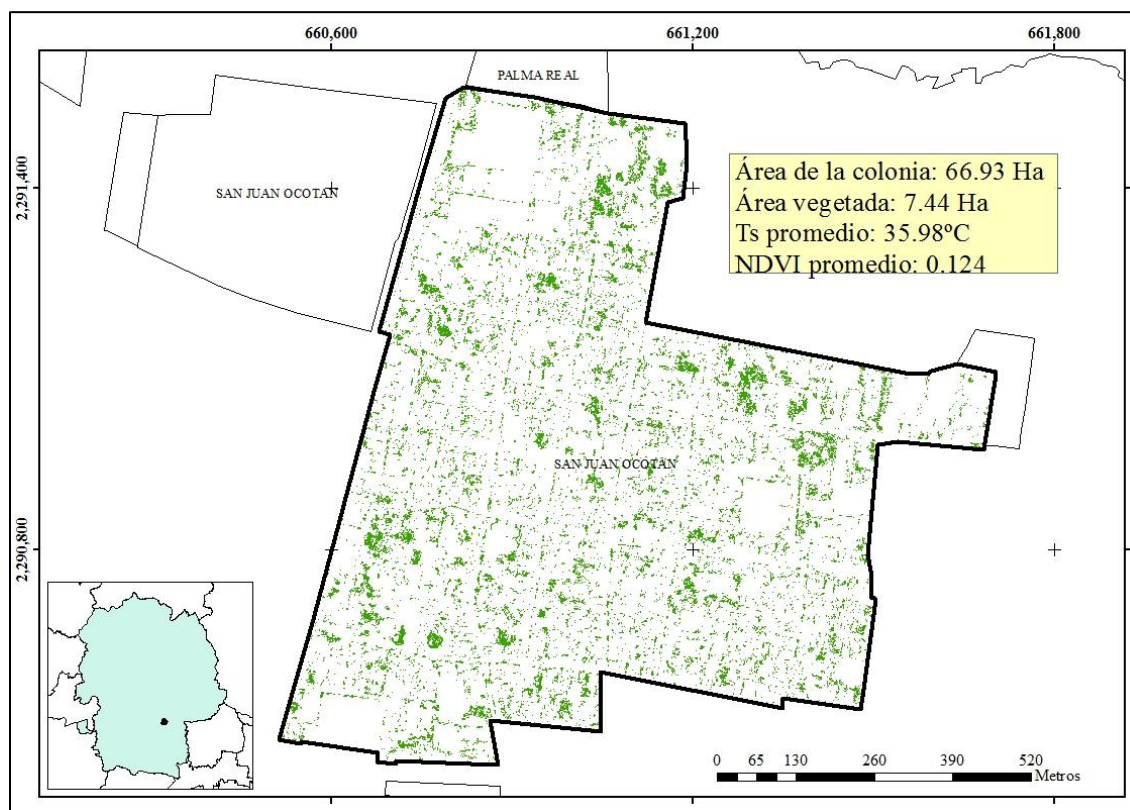


Figura 4.39. Distribución espacial de las áreas verdes de la colonia San Juan de Ocotán

Tabla 4.14 Estadísticas de la situación térmica y de vegetación (recuadro) y propuesta de reducción de la Ts (columna sombreada) para la colonia San Juan de Ocotán. Fuente: Elaboración propia en base a información cartográfica del IIEG y satelital.

Ts (°C)	NDVI	Área verde necesaria (Ha)	Área verde necesaria con respecto al área verde actual (%)	Área verde necesaria con respecto al área de la colonia (%)
25	0.465	27.9	274	42
26	0.434	26.2	250	39
27	0.402	24.3	225	36
28	0.371	22.5	200	34
29	0.340	20.6	175	31
30	0.309	18.7	150	28
31	0.278	16.8	125	25
32	0.247	14.9	100	22
33	0.216	13.1	75	20
34	0.185	11.2	50	17
35	0.154	9.3	25	14
35.98	0.124	7.5	0	11
36	0.123	7.4	-1	11
37	0.092	5.6	-26	8
38	0.061	3.7	-51	6
39	0.030	1.8	-76	3
40	-0.001	-0.1	-101	0

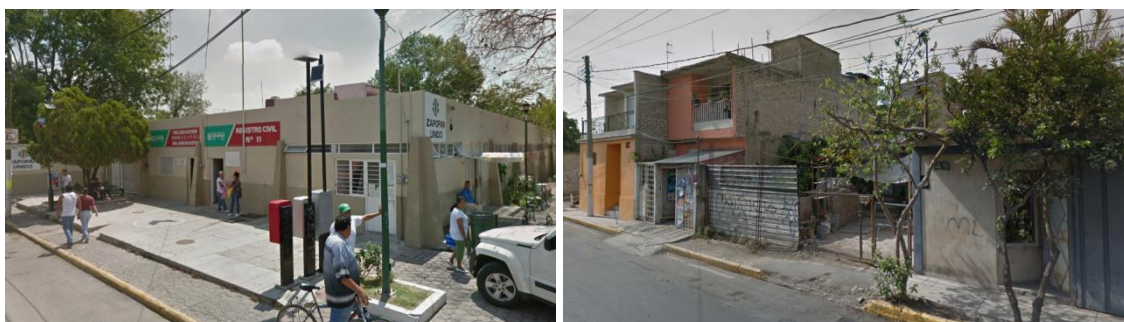


Figura 4.40. Colonia San Juan de Ocotán sobre calle Independencia (izquierda). Viviendas particulares en calle 5 de Mayo (derecha).

4.11.6 Colonia Arcos de Zapopan

Se ubica en el centro del municipio, sobre la carretera a Tesistán y a 500 metros del Anillo Periférico Norte (figura 4.29). Esta colonia requiere incrementar la zonas con vegetación de 3.1 a 3.7 ha que representa un 16% del área verde actual (figura 4.41) Es un espacio que un su mayoría pertenece a construcciones de interés social perteneciente al INFONAVIT (Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores) y al FOVISSSTE (Fondo de la Vivienda del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores

del Estado) siendo los primeros edificios verticales de cuatro niveles, y los segundos viviendas de dos niveles (figura 4.42). Un problema adicional en los edificios de cuatro niveles, es que los departamentos a partir del segundo nivel y que están orientadas hacia el sur, reciben insolación directa la gran parte del día, debido a que los árboles que podrían generar sombra y aminorar la carga térmica recibida por los materiales, son superados en altura por los departamentos, resultando en un ambiente térmico insano para sus ocupantes.

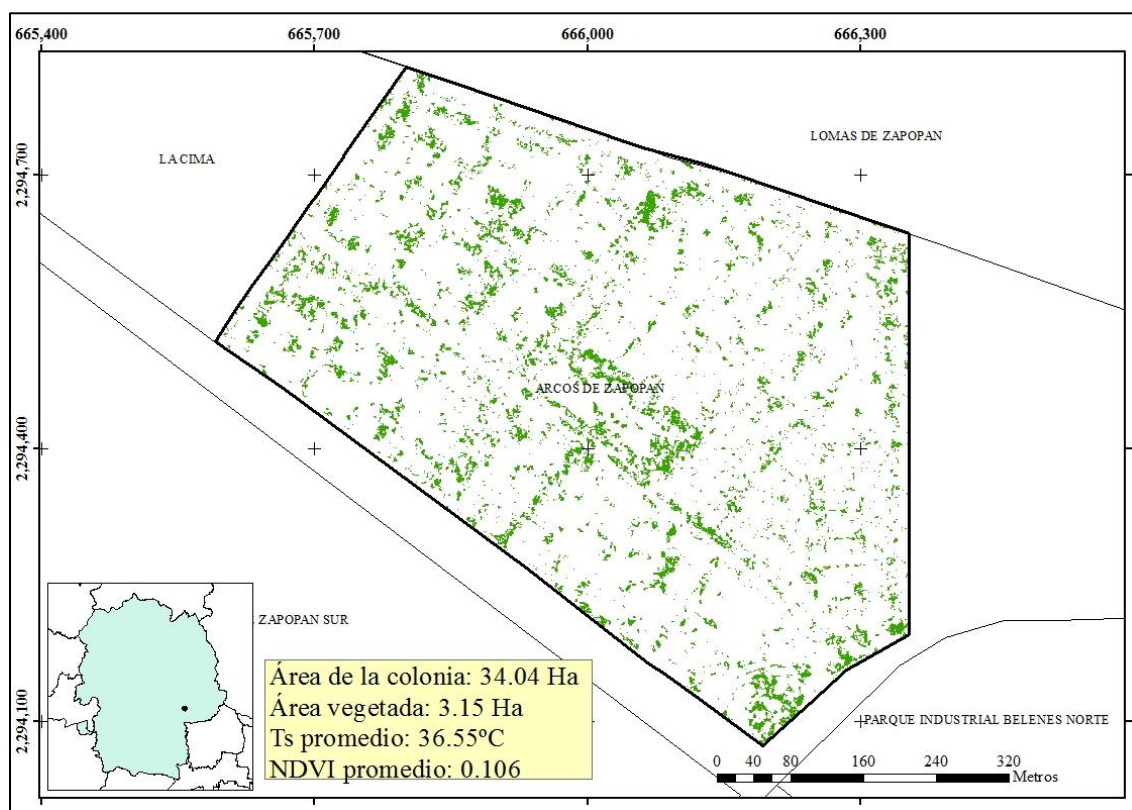


Figura 4.41. Distribución espacial de las áreas verdes de la colonia Arcos de Zapopan.
Fuente: Elaboración propia en base a información cartográfica del IIEG y satelital.

Tabla 4.15 Estadísticas de la situación térmica y de vegetación (recuadro) y propuesta de reducción de la Ts (columna sombreada) para la colonia Arcos de Zapopan. Fuente: Elaboración propia en base a información cartográfica del IIEG y satelital.

Ts (°C)	NDVI	Área verde necesaria (Ha)	Área verde necesaria con respecto al área verde actual (%)	Área verde necesaria con respecto al área de la colonia (%)
25	0.465	13.8	338	41
26	0.434	12.9	309	38
27	0.402	12.0	280	35
28	0.371	11.0	250	32
29	0.340	10.1	221	30
30	0.309	9.2	192	27
31	0.278	8.3	162	24
32	0.247	7.3	133	22
33	0.216	6.4	104	19
34	0.185	5.5	75	16
35	0.154	4.6	45	13
36	0.123	3.7	16	11
36.55	0.106	3.1	0	9
37	0.092	2.7	-13	8
38	0.061	1.8	-42	5
39	0.030	0.9	-72	3
40	-0.001	0.0	-101	0



Figura 4.42. Edificios de departamentos de INFONAVIT en colonia Arcos de Zapopan sobre avenida Arco Pertinax (izquierda). Casas de FOVISSSTE con acceso exclusivo sobre calle Arco Cómodo (derecha).

4.11.7 Colonia Villa de Guadalupe

Esta colonia se ubica al noreste (NE) del área urbanizada, sobre la Carretera a Saltillo y a 2.5 km del Anillo Periférico Norte (figura 4.29). El área verde forzosa es de 67.2 ha, lo que comprende 14% del área actual (figura 4.43). La mayoría de sus calles se encuentran pavimentadas con concreto hidráulico y en menor proporción con “piedra ahogada”, siendo una característica favorable para la disminución de calor. Es notoria la falta de árboles en la parte frontal de las viviendas donde no existe espacio para área verde en la mayoría de

ellas. A pesar de poseer abundante vegetación en barrancas y espacios naturales, existen espacios que evidencian el déficit de vegetación, sobre todo en la porción sur (figura 4.44).

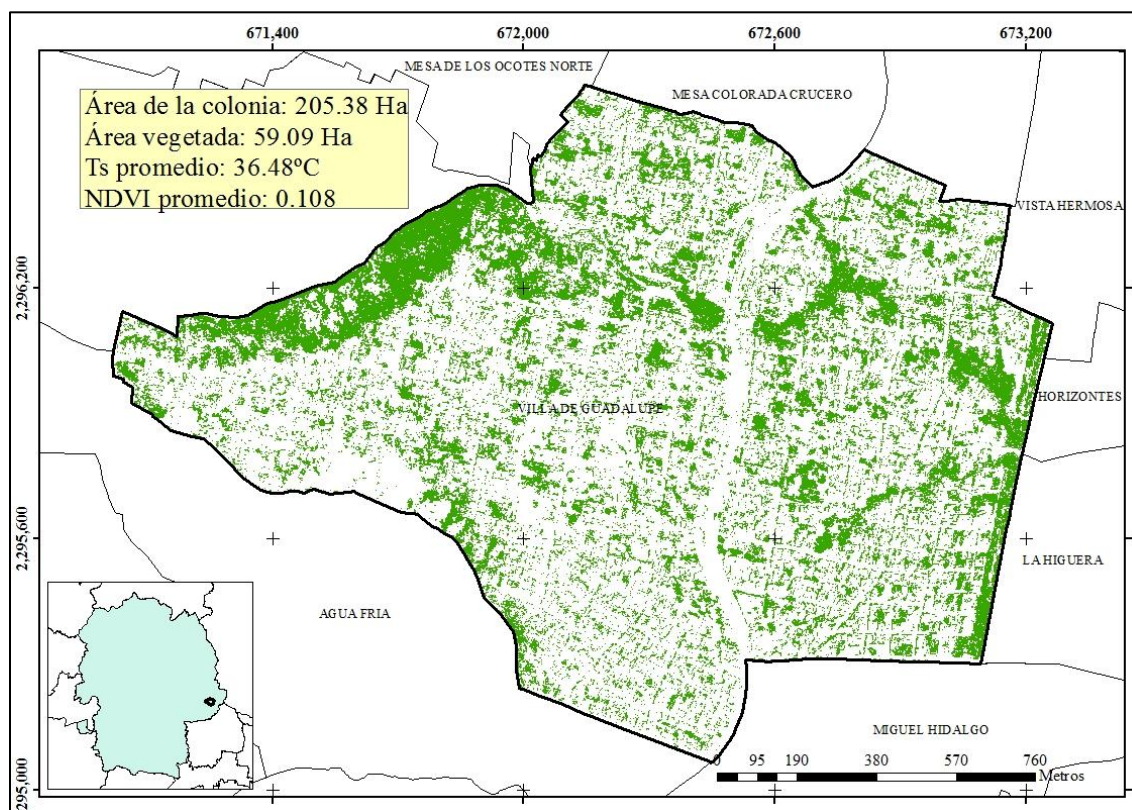


Figura 4.43. Distribución espacial de las áreas verdes de la colonia Villa de Guadalupe.
Fuente: Elaboración propia en base a información cartográfica del IIEG y satelital.

Tabla 4.16 Estadísticas de la situación térmica y de vegetación (recuadro) y propuesta de reducción de la Ts (columna sombreada) para la colonia Villa de Guadalupe. Fuente: Elaboración propia en base a información cartográfica del IIEG y satelital.

Ts (°C)	NDVI	Área verde necesaria (Ha)	Área verde necesaria con respecto al área verde actual (%)	Área verde necesaria con respecto al área de la colonia (%)
25	0.465			
26	0.434			
27	0.402			
28	0.371	202.8	243	99
29	0.340	185.9	215	90
30	0.309	168.9	186	82
31	0.278	152.0	157	74
32	0.247	135.0	128	66
33	0.216	118.1	100	57
34	0.185	101.1	71	49
35	0.154	84.2	42	41
36	0.123	67.2	14	33
36.48	0.108	59.1	0	29
37	0.092	50.3	-15	24
38	0.061	33.3	-44	16
39	0.030	16.4	-72	8
40	-0.001		-100	0



Figura 4.44. Panorámica de la colonia Villa de Guadalupe (izquierda). Vivienda típica sobre calle Pio V. Enríquez (derecha).

4.11.8 Colonia Santa Ana Tepetitlán

Este espacio se ubica al sur del municipio, en la avenida Prolongación Mariano Otero (figura 4.29). Debe de forestarse de 30.5 a 35.5 ha, que representa el 16% del área verde actual (figura 4.45). Sus calles están asfaltadas, pavimentadas y con “piedra ahogada” casi en igual proporción. La mayoría de las viviendas carecen de vegetación que pueda generar sombra, existiendo solo de tipo ornamental o en mal estado (seca o enferma). Existen algunos conjuntos de viviendas en “cotos”, las cuales presentan vegetación en buen estado y en abundancia relativa (figura 4.46).

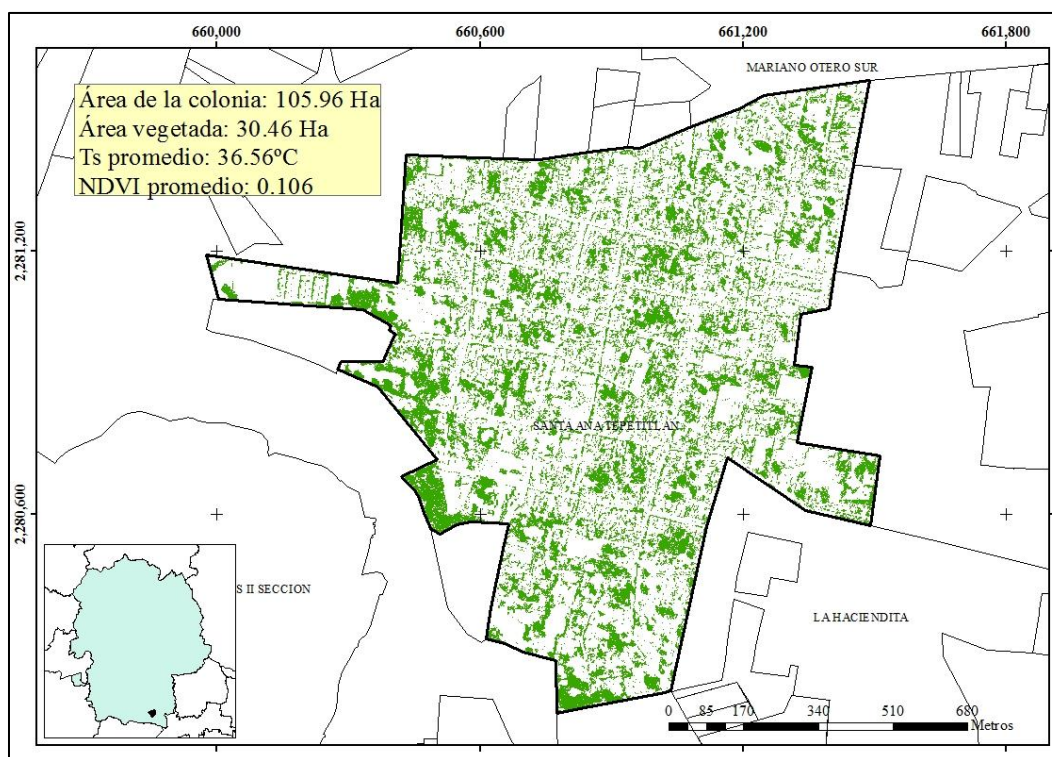


Figura 4.45. Distribución espacial de las áreas verdes de la colonia Santa Ana Tepetitlán.
Fuente: Elaboración propia en base a información cartográfica del IIEG y satelital.

Tabla 4.17 Estadísticas de la situación térmica y de vegetación (recuadro) y propuesta de reducción de la Ts (columna sombreada) para la colonia Santa Ana Tepetitlán. Fuente: Elaboración propia en base a información cartográfica del IIEG y satelital.

Ts (°C)	NDVI	Área verde necesaria (Ha)	Área verde necesaria con respecto al área verde actual (%)	Área verde necesaria con respecto al área de la colonia (%)
25	0.465	133.8	339	65
26	0.434	124.9	310	61
27	0.402	115.9	281	56
28	0.371	107.0	251	52
29	0.340	98.1	222	48
30	0.309	89.1	193	43
31	0.278	80.2	163	39
32	0.247	71.2	134	35
33	0.216	62.3	105	30
34	0.185	53.4	75	26
35	0.154	44.4	46	22
36	0.123	35.5	16	17
36.56	0.106	30.5	0	15
37	0.092	26.5	-13	13
38	0.061	17.6	-42	9
39	0.030	8.6	-72	4
40	-0.001	-0.3	-101	0



Figura 4.46. Viviendas particulares en la colonia Santa Ana Tepetitlán sobre calle Allende (izquierda). Conjuntos habitacionales exclusivos (cotos) en calle Javier Mina (derecha).

A forma de resumen, estas áreas verdes propuestas a forestar deben ser consideradas para mejorar la situación térmica, los efectos se verán en el largo plazo, lo cual depende de la fenología de la especie arbórea propuesta y de la disponibilidad del espacio para forestar.

En la figura 4.47 se muestra que las colonias con mayor necesidad de forestar son las colonias Villa de Guadalupe y Miramar; y con menor requerimiento son Arcos de Zapopan y San Juan de Ocotán, solo por citar a dos.

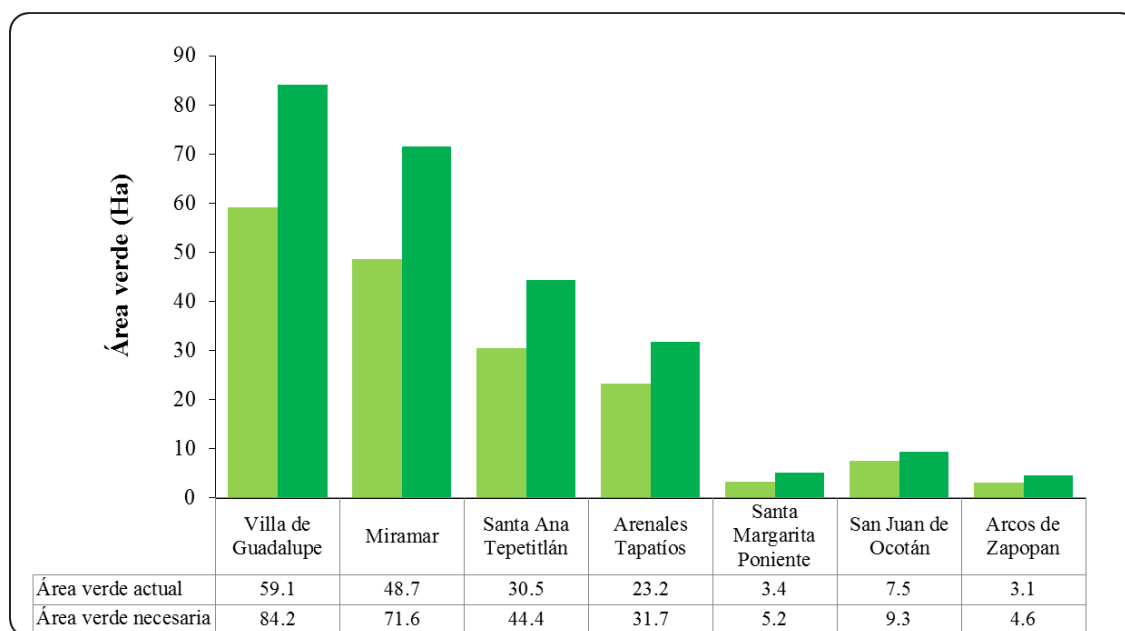


Figura 4.47. Áreas necesarias para forestar por colonia. Fuente: Elaboración propia en base a información censal del 2010 del IIEG y el INEGI.



A partir del trabajo de campo, fue posible caracterizar las siete colonias. En todas ellas existe un rasgo en común; las viviendas residenciales particulares fueron construidas bajo el régimen de la autoconstrucción a uno y dos niveles, con excepción de la colonia Arcos de Zapopan; predominan en las construcciones, materiales sólidos, los cuales incluye en las paredes materiales como el ladrillo de lama (ladrillo rojo), piedra o el block, que son reforzadas con estructuras verticales y horizontales de fierro coladas de concreto (dadas y castillos); y en techos, predomina la estructura de viga de fierro con bóveda de ladrillo de lama, y en menor cantidad la losa prefabricada (boveduca) o losa colada de concreto.

Otra característica observada tiene que ver con un déficit de áreas verdes en el frente de las viviendas, ya sea jardinera o por lo menos un árbol que genere sombra, existe un predominio de las áreas construidas, lo que genera un almacenamiento de calor que es máximo en horas de la tarde y en fachadas que están orientadas hacia el sur y suroeste.

Al hablar de las vialidades, éstas se encuentran en su mayoría impermeabilizadas, ya sea por asfalto, piedra, concreto o piedra ahogada, con capacidad calorífica variada para cada una. Para contrarrestar esta situación se recomienda la plantación de un árbol de especie adecuada en el espacio entre banqueta y calle, situación que debe de auxiliar la dirección de Parques y Jardines del municipio de Zapopan (a modo de campaña) para la habilitación de este espacio (en caso necesario) y facilitar la especie adecuada para este fin, siendo los cítricos de las especies mayormente observadas.

Cabe mencionar que la plantación de árboles en el medio urbano debe estar cuidadosamente planeada, teniendo en cuenta que algunas especies vegetales poseen características poco benéficas e incluso nocivas para la infraestructura y el hombre, como la liberación de alérgenos (sobre todo pólenes), débil adaptación al suelo y mayor riesgo de caída en situaciones de viento fuerte.

4.12 Comportamiento de la concentración de Ozono

El comportamiento promedio interanual ha presentado cierta variabilidad, sobresaliendo los años 1996 y 2011, con las concentraciones más elevadas. Por su parte, el año 1999 presentó las concentraciones promedio menos significativas (Figura 4.48).

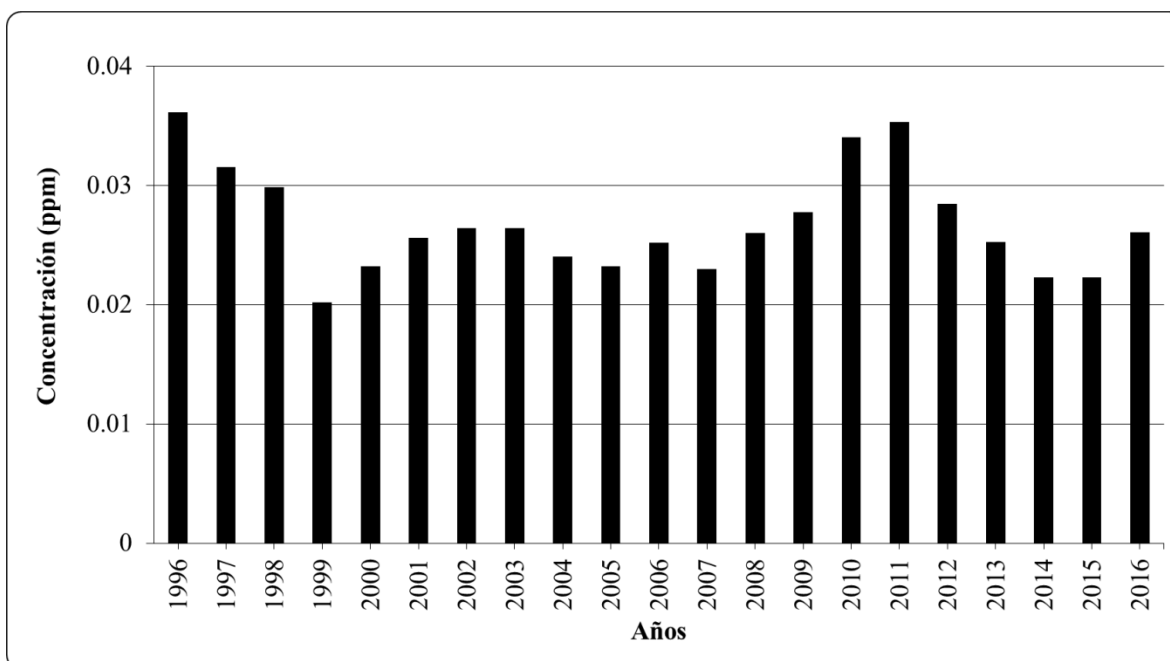


Figura 4.48. Comportamiento medio interanual de la concentración de Ozono.

Fuente: Elaboración propia en base a información del SIMAJ

4.12.1 Comportamiento intermensual histórico de la concentración de Ozono

En relación a las concentraciones intermensual máximas (Figura 4.47), los valores más elevados se presentaron en mayo de 1998 (0.113 ppm) y los más bajos en septiembre de 2013 (0.024 ppm).

Por otra parte, en relación con las concentraciones mínimas históricas, éstas se presentaron en noviembre de 1998 (0.001 ppm) y en junio de 2010 (0.142 ppm).

A la vista, se percibe gran variabilidad en las concentraciones máximas de Ozono, mientras que las mínimas tienen poca diferencia. El análisis estadístico así lo demuestra con las desviaciones estándar de 0.014 y 0.002 respectivamente. En el mes de mayo se reportaron las concentraciones más significativas (figura 4.49), seguido de abril y junio, coincidiendo con los meses más cálidos. Lo anterior, se justifica por las reacciones físico-químicas y la presencia de altas temperaturas que contribuyen como catalizadores de reacción y en consecuencia, mayores concentraciones de este contaminante secundario.

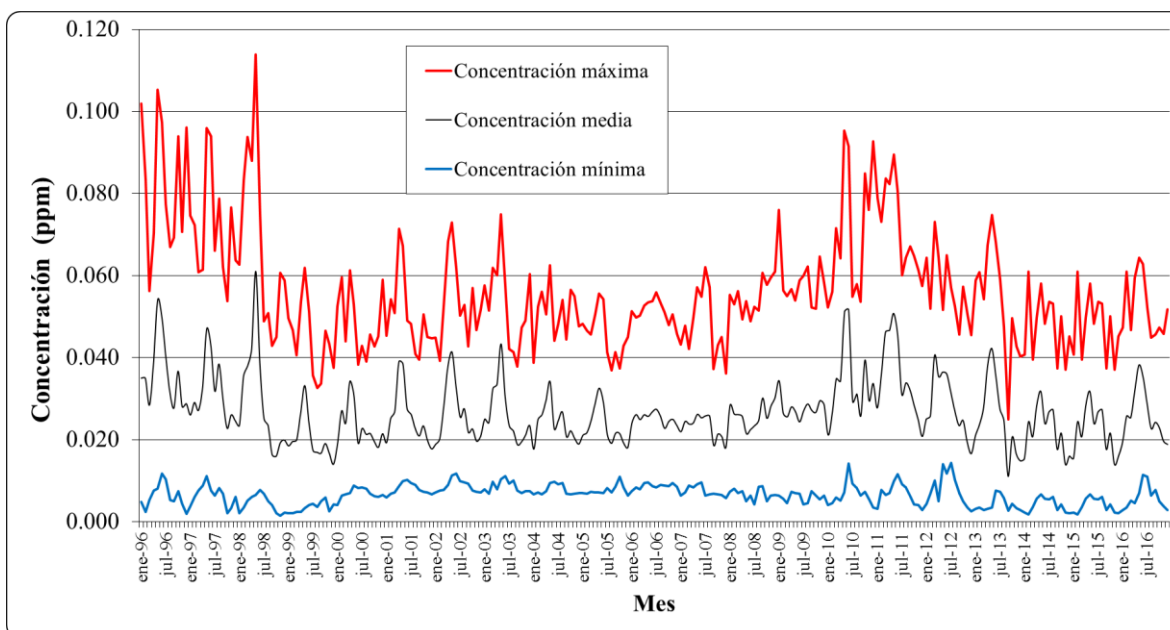


Figura 4.49. Comportamiento de la concentración de Ozono intermensual.

Fuente: Elaboración propia con información del SIMAJ

Lo explicado en el párrafo anterior, en relación a las concentraciones máximas de Ozono y durante la época cálida dentro del periodo de estudio es mostrado en la figura 4.50. Los valores más significativos correspondieron al pico entre marzo y junio (entre las líneas punteadas).

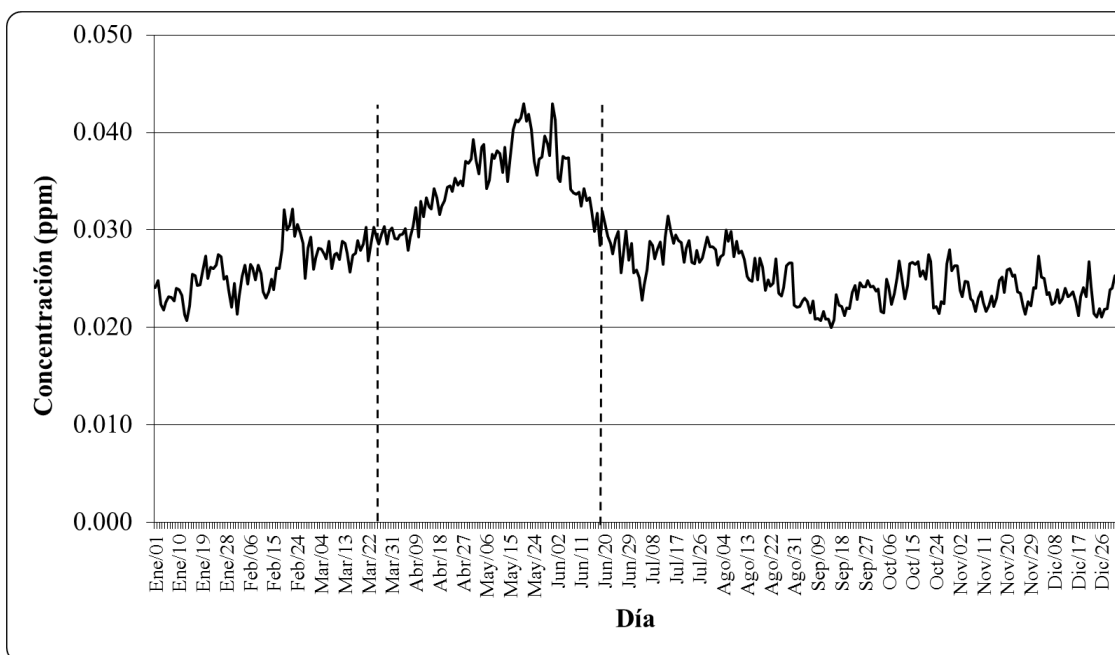


Figura 4.50. Concentración media de Ozono para el periodo 1996-2016. El espacio entre las líneas punteadas indica la época cálida.

Fuente: Elaboración propia con información del SIMAJ

4.13 Valores límites de Ozono para protección de la salud

La norma oficial mexicana NOM-020-SSA1-2014, establece dos valores límites para la concentración de Ozono en el aire ambiente y criterios para su evaluación, con la finalidad de proteger la salud de la población. El primero establece una concentración de Ozono ≤ 0.095 ppm como promedio horario, el cual nunca deberá ser rebasado. Por su parte, el segundo establece una concentración del promedio móvil de 8 horas de Ozono ≤ 0.070 ppm, tomado como el máximo en un periodo de un año.

En un sitio de monitoreo se cumplirá la norma si no se rebasan los límites establecidos. Dentro de las especificaciones normativas, se necesita que la cantidad de datos para la evaluación de las observaciones sea del al menos 75% de los registros por año. Con ello, se asegura la representatividad estadística de los datos; en particular, de las concentraciones de Ozono. De forma explícita, lo antes señalado significa que la cantidad de datos para evaluar cada límite en sus valores horario debe ser de al menos 6588 registros para un año bisiesto y de al menos 6570 registros para un año no bisiesto. En el caso de valores diarios, se consideran al menos 275 registros para un año bisiesto y al menos 274 registros para un año no bisiesto.



Dado que el presente estudio quedó delimitado a la época cálida, se tomaron 86 días con 2064 registros horarios. Por lo tanto, para lograr una representatividad óptima de las estimaciones, se establece el criterio de 1548 registros como límite inferior.

El resumen de los registros en porcentaje (%) para cada estación y año del periodo analizado aparece en la tabla 4.19. Se puede observar que las tres estaciones cumplen con las especificaciones normativas descritas con anterioridad (arriba del 75%).

Tabla 4.18 Representatividad de los registros horarios. Fuente: Elaboración propia con base al SIMAJ.

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Las Águilas	73.9	78.2	88.6	92.8	98.3	98.1	100.0	99.3	96.1	94.5	93.5	99.8	76.7	96.2	100.0	99.6	72.8	99.9	89.3	99.8	100.0
Atemajac	83.8	93.8	88.3	94.0	83.8	92.7	98.2	99.9	88.0	83.3	96.6	96.3	56.8	92.2	96.4	80.4	87.7	98.9	93.8	97.4	79.6
Vallarta	97.6	83.5	93.2	92.2	97.6	100.0	99.0	99.9	89.1	99.7	99.7	78.9	95.3	67.7	99.5	99.6	99.4	90.6	80.5	92.8	100.0

4.13.1 Valor límite de 0.095 ppm para una hora

Una vez realizado el ordenamiento de los datos por estación y año, se obtuvo la figura 4.51 que muestra las frecuencias horarias para la época cálida en que ha sido rebasado el valor límite de 0.095 ppm. En los años 1996, 1997 y 1998 se obtuvieron las frecuencias más significativas en los que no se cumplió la norma; en ese orden le siguen 2010, 2011 y 2013, mientras que el resto de los años reportó las mínimas.

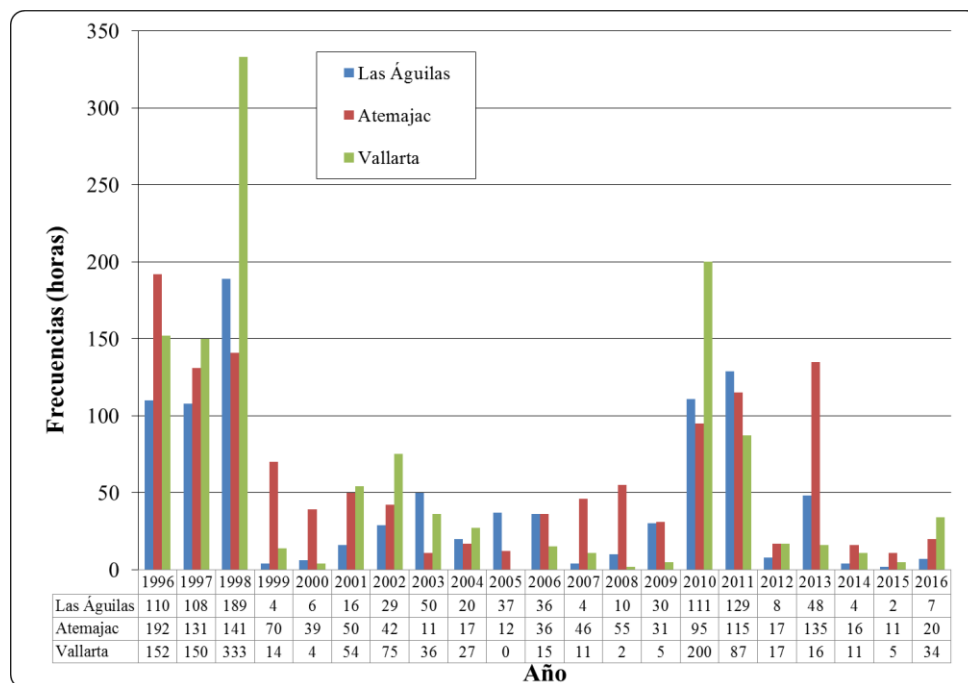


Figura 4.51. Frecuencias horarias interanuales por estación para la época cálida.



Fuente: Elaboración propia con información del SIMAJ

Prácticamente todos los días y para las tres estaciones, se presentaron concentraciones por arriba del valor límite, las cuales fueron más pronunciadas hacia el final de la época cálida. Cabe señalar que las diferencias mostradas entre años y también de una estación a otra, sugieren la necesidad de un análisis detallado para cada una.

4.13.2 Valor límite histórico para la estación Las Águilas

Dentro del periodo de estudio se reportaron 958 horas en que el valor límite fue rebasado. En la tabla 4.22 se muestra la distribución de frecuencias horarias >0.095 ppm. También se señala el número de veces por arriba de ese valor, considerando como referencia el dato horario máximo para cada día de la época cálida y para cada año.



Tabla 4.19 Frecuencias horarias (>0.095 ppm) para la estación *Las Águilas*. Fuente: Elaboración propia en base a información del SIMAJ

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Mar/26	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mar/27	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Mar/28	0	1	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
Mar/29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mar/30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
Mar/31	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Abr/01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/02	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/03	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/04	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Abr/05	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/07	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Abr/08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Abr/11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/12	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0
Abr/13	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/14	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/15	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/16	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/18	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/19	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/20	3	0	0	0	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/21	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
Abr/22	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Abr/23	2	0	3	0	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/24	4	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
Abr/26	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
Abr/27	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/28	4	1	0	0	4	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
Abr/29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0
Abr/30	4	0	0	0	4	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0
May/01	1	1	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
May/02	2	0	9	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
May/03	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
May/04	1	0	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
May/05	4	1	2	0	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1	2	0	0	0
May/06	2	4	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
May/07	1	1	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
May/08	7	5	3	0	7	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0
May/09	2	4	7	0	2	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
May/10	2	3	7	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
May/11	4	3	5	0	4	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
May/12	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0
May/13	2	0	8	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	5	3	0	0	0	0
May/14	2	0	6	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	0	0	0	0
May/15	4	4	5	0	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	0	0
May/16	7	5	6	0	7	5	0	1	0	1	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0
May/17	0	6	4	0	0	3	0	5	4	0	0	0	0	3	5	0	0	0	0	0	0
May/18	3	0	5	0	3	1	0	1	2	3	0	0	0	2	3	0	0	0	1	0	0
May/19	0	0	8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
May/20	2	5	6	0	2	0	0	4	0	3	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
May/21	6	3	7	0	6	0	0	0	0	5	0	0	0	0	4	3	0	0	0	0	0
May/22	0	0	10	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
May/23	0	5	6	0	0	0	2	3	0	0	5	0	0	0	1	0	0	4	0	0	0
May/24	0	3	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	2	0	4	0	0	0
May/25	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	4	0	0	0
May/26	0	0	0	0	0	1	1	2	0	1	7	0	0	0	0	6	0	0	0	0	1
May/27	0	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3	0	0	0
May/28	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7	0	0	0	0	0
May/29	0	6	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	4	8	1	0	0	1	0	0
May/30	0	5	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	3	3	3	0	0	1	0	0
May/31	3	9	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	8	5	0	8	0	0	0
Jun/01	4	4	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	7	0	0	1	0	0	0
Jun/02	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Jun/03	4	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
Jun/04	5	1	0	0	0	0	3	0	0	2	0	0	0	0	5	7	0	3	0	0	0
Jun/05	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	3	1	0	0
Jun/06	6	3	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	6	2	0	0	0	0	0
Jun/07	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	5	0	0	1	0	0	0
Jun/08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	1	3	0	0	0	0	0	0
Jun/09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	2	0	7	0	0	0	0	2	0
Jun/10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	6	0	0	2	0	0	0
Jun/11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
Jun/12	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	6	6	0	0	0	0	0
Jun/13	2	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	0	0	2	0
Jun/14	5	2	0	0	5	0	0	4	0	2	0	0	3	0	2	0	0	3	0	0	1
Jun/15	2	6	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0
Jun/16	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Jun/17	1	4	3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	7	0	1	0	0	0
Jun/18	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	7	0	0	0	0	0
Jun/19	6	3	0	0	6	0	4	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0



La cantidad total de horas para cada día de la época cálida presenta un comportamiento heterogéneo; no obstante, se destaca la tendencia positiva en el mes de mayo (final de la época cálida). En este sentido, la figura 4.52 demuestra que la mayoría de las frecuencias (56%) corresponden al mes señalado, coincidiendo con el de mayor temperatura ambiente; una condición idónea y necesaria para las reacciones fotoquímicas y el aumento de las concentraciones de Ozono.

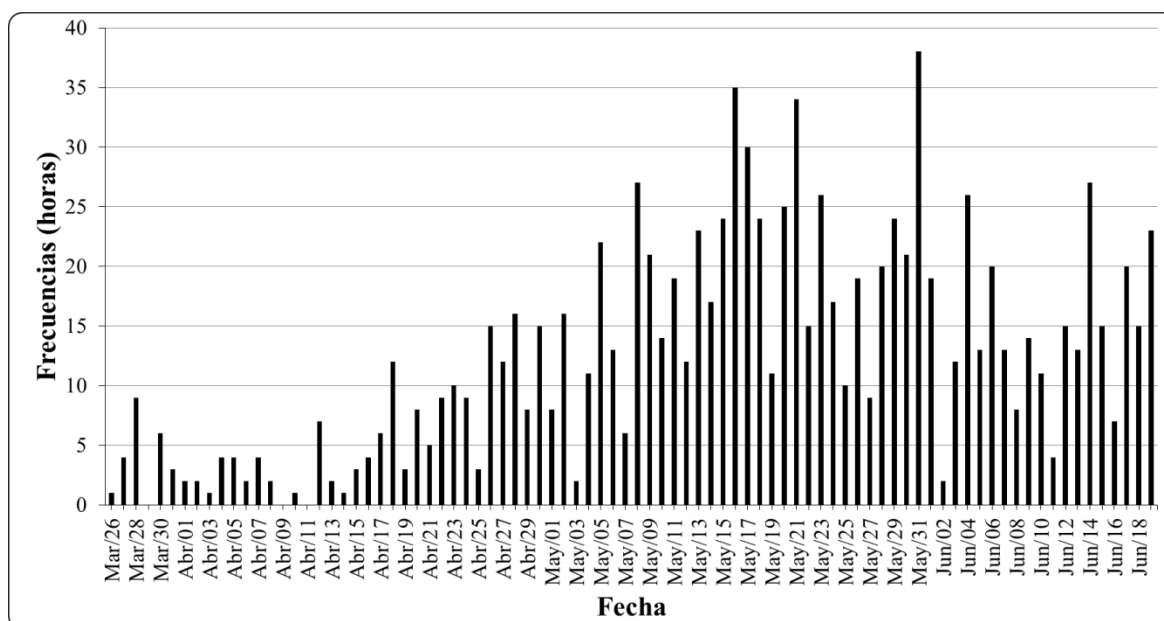


Figura 52. Frecuencias horarias diarias de concentración de Ozono (época cálida) en estación Las Águilas.

Fuente: Elaboración propia con información del SIMAJ

En la tabla 4.23 se señalan tres aspectos específicos que han superado el valor límite:

- 1) Con recuadro simple, el valor máximo presentado para un día y año.
- 2) Con recuadro en naranja se observa el valor máximo para un día del periodo.
- 3) Con recuadro en rojo se aprecia el valor máximo para un día del periodo en que el valor límite se ha superado más de dos veces.



Riesgo a la salud por Isla y Ola de Calor en el municipio de Zapopan, México

Tabla 4.20 Valores máximos históricos de Ozono (>0.095 ppm) para la estación Las Águilas. Fuente:

Elaboración propia con información del SIMAJ.

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Mar/26	0.038	0.042	0.083	0.037	0.043	0.038	0.065	0.099	0.084	0.058	0.039	0.027	0.023	0.056	0.072	0.075	0.071	0.095	0.032	0.059	0.043
Mar/27	0.045	0.043	0.085	0.024	0.041	0.038	0.079	0.055	0.127	0.097	0.060	0.028	0.027	0.087	0.076	0.098	0.071	0.051	0.033	0.055	0.040
Mar/28	0.033	0.117	0.117	0.037	0.052	0.037	0.101	0.053	0.079	0.063	0.019	0.015	0.028	0.079	0.159	0.072	0.068	0.058	0.045	0.057	0.047
Mar/29	0.030	0.034	0.085	0.057	0.039	0.042	0.066	0.041	0.065	0.053	0.059	0.057	0.034	0.073	0.087	0.089	0.044	0.035	0.045	0.036	0.036
Mar/30	0.039	0.034	0.078	0.046	0.036	0.045	0.046	0.044	0.060	0.046	0.100	0.047	0.027	0.125	0.061	0.082	0.043	0.057	0.050	0.047	0.050
Mar/31	0.043	0.034	0.108	0.046	0.035	0.069	0.058	0.057	0.071	0.083	0.067	0.031	0.055	0.101	0.072	0.061	0.035	0.081	0.041	0.046	0.048
Abr/01	0.052	0.023	0.084	0.041	0.043	0.053	0.089	0.087	0.054	0.116	0.048	0.036	0.045	0.064	0.065	0.071	0.038	0.051	0.038	0.029	0.039
Abr/02	0.043	0.044	0.153	0.035	0.044	0.048	0.063	0.053	0.034	0.074	0.070	0.032	0.048	0.089	0.077	0.065	0.042	0.042	0.038	0.032	0.045
Abr/03	0.034	0.028	0.089	0.027	0.085	0.041	0.103	0.053	0.040	0.059	0.060	0.018	0.045	0.083	0.083	0.080	0.059	0.057	0.033	0.032	0.065
Abr/04	0.038	0.029	0.062	0.025	0.037	0.114	0.086	0.059	0.037	0.052	0.037	0.031	0.035	0.027	0.072	0.078	0.087	0.108	0.056	0.023	0.052
Abr/05	0.054	0.016	0.062	0.036	0.053	0.143	0.097	0.051	0.038	0.059	0.036	0.031	0.035	0.049	0.080	0.083	0.045	0.061	0.044	0.023	0.091
Abr/06	0.039	0.013	0.049	0.082	0.048	0.045	0.049	0.073	0.039	0.128	0.036	0.017	0.042	0.045	0.068	0.091	0.052	0.048	0.038	0.025	0.058
Abr/07	0.032	0.073	0.044	0.109	0.069	0.055	0.041	0.057	0.044	0.088	0.058	0.039	0.043	0.031	0.072	0.089	0.050	0.046	0.042	0.014	0.098
Abr/08	0.049	0.090	0.054	0.044	0.050	0.058	0.038	0.081	0.048	0.075	0.118	0.043	0.042	0.062	0.080	0.076	0.047	0.042	0.050	0.011	0.062
Abr/09	0.061	0.030	0.086	0.064	0.046	0.058	0.041	0.068	0.052	0.062	0.035	0.025	0.042	0.062	0.068	0.093	0.056	0.037	0.065	0.016	0.073
Abr/10	0.062	0.010	0.056	0.063	0.049	0.062	0.041	0.059	0.037	0.053	0.054	0.018	0.028	0.063	0.062	0.089	0.056	0.044	0.092	0.022	0.055
Abr/11	0.055	0.018	0.062	0.054	0.090	0.065	0.055	0.059	0.065	0.045	0.090	0.008	0.036	0.059	0.069	0.094	0.063	0.055	0.047	0.024	0.043
Abr/12	0.045	0.019	0.069	0.051	0.061	0.067	0.053	0.096	0.069	0.074	0.025	0.005	0.035	0.065	0.053	0.110	0.048	0.063	0.077	0.024	0.044
Abr/13	0.048	0.016	0.086	0.031	0.050	0.077	0.086	0.106	0.065	0.071	0.101	0.028	0.029	0.068	0.092	0.077	0.057	0.058	0.048	0.072	0.049
Abr/14	0.065	0.014	0.070	0.031	0.057	0.065	0.080	0.096	0.050	0.058	0.078	0.025	0.029	0.062	0.089	0.085	0.045	0.062	0.050	0.070	0.036
Abr/15	0.066	0.071	0.130	0.046	0.084	0.071	0.058	0.063	0.048	0.058	0.035	0.018	0.031	0.070	0.086	0.083	0.046	0.062	0.054	0.079	0.035
Abr/16	0.066	0.062	0.146	0.031	0.096	0.079	0.095	0.077	0.061	0.066	0.101	0.033	0.078	0.027	0.084	0.088	0.076	0.060	0.038	0.048	0.039
Abr/17	0.061	0.082	0.092	0.035	0.067	0.066	0.083	0.083	0.065	0.109	0.104	0.031	0.030	0.062	0.033	0.086	0.063	0.076	0.034	0.044	0.057
Abr/18	0.150	0.057	0.040	0.048	0.097	0.053	0.082	0.061	0.074	0.081	0.031	0.020	0.025	0.066	0.023	0.083	0.067	0.041	0.047	0.051	0.054
Abr/19	0.075	0.023	0.068	0.071	0.062	0.062	0.078	0.062	0.138	0.070	0.095	0.065	0.031	0.049	0.023	0.067	0.068	0.058	0.058	0.044	0.050
Abr/20	0.134	0.035	0.079	0.052	0.055	0.050	0.096	0.074	0.059	0.058	0.102	0.051	0.040	0.062	0.046	0.067	0.048	0.066	0.054	0.040	0.037
Abr/21	0.092	0.066	0.072	0.038	0.057	0.060	0.069	0.106	0.052	0.065	0.046	0.036	0.062	0.065	0.020	0.108	0.073	0.053	0.047	0.047	0.065
Abr/22	0.157	0.087	0.074	0.037	0.045	0.062	0.054	0.073	0.061	0.070	0.078	0.064	0.058	0.057	0.018	0.074	0.054	0.065	0.096	0.078	0.064
Abr/23	0.099	0.073	0.118	0.045	0.105	0.050	0.111	0.054	0.058	0.096	0.081	0.077	0.033	0.089	0.020	0.084	0.056	0.060	0.054	0.061	0.040
Abr/24	0.149	0.071	0.073	0.073	0.062	0.081	0.099	0.068	0.095	0.071	0.049	0.042	0.080	0.082	0.026	0.077	0.069	0.061	0.031	0.072	0.052
Abr/25	0.083	0.050	0.082	0.039	0.052	0.060	0.064	0.051	0.080	0.047	0.063	0.041	0.076	0.065	0.032	0.083	0.132	0.064	0.046	0.078	0.046
Abr/26	0.143	0.044	0.080	0.020	0.091	0.071	0.055	0.069	0.086	0.056	0.078	0.058	0.043	0.085	0.036	0.077	0.137	0.069	0.043	0.057	0.049
Abr/27	0.202	0.066	0.073	0.035	0.080	0.052	0.063	0.063	0.061	0.081	0.032	0.028	0.027	0.077	0.039	0.085	0.083	0.067	0.039	0.070	0.074
Abr/28	0.111	0.099	0.084	0.030	0.085	0.073	0.084	0.045	0.044	0.131	0.048	0.038	0.057	0.063	0.037	0.120	0.052	0.072	0.045	0.052	0.068
Abr/29	0.088	0.073	0.082	0.038	0.052	0.065	0.079	0.069	0.043	0.114	0.065	0.046	0.026	0.082	0.044	0.116	0.058	0.072	0.048	0.055	0.068
Abr/30	0.108	0.073	0.083	0.038	0.068	0.063	0.060	0.157	0.062	0.076	0.023	0.018	0.050	0.067	0.069	0.107	0.057	0.071	0.047	0.062	0.069
May/01	0.097	0.124	0.121	0.054	0.060	0.076	0.075	0.051	0.049	0.066	0.029	0.038	0.059	0.041	0.038	0.093	0.062	0.094	0.040	0.066	0.070
May/02	0.133	0.048	0.139	0.031	0.064	0.048	0.062	0.059	0.075	0.051	0.030	0.053	0.035	0.053	0.051	0.078	0.063	0.131	0.031	0.072	0.076
May/03	0.074	0.097	0.083	0.033	0.071	0.051	0.086	0.065	0.054	0.061	0.010	0.020	0.069	0.043	0.093	0.083	0.108	0.078	0.059	0.074	0.086
May/04	0.096	0.066	0.134	0.036	0.083	0.044	0.075	0.080	0.064	0.062	0.044	0.041	0.074	0.068	0.046	0.129	0.090	0.073	0.072	0.066	0.072
May/05	0.141	0.110	0.157	0.037	0.138	0.046	0.098	0.091	0.076	0.068	0.093	0.044	0.044	0.086	0.065	0.152	0.099	0.107	0.038	0.063	0.053
May/06	0.125	0.115	0.100	0.036	0.052	0.058	0.078	0.067	0.066	0.079	0.027	0.022	0.022	0.080	0.053	0.133	0.064	0.069	0.063	0.064	0.064
May/07	0.119	0.098	0.106	0.042	0.059	0.045	0.108	0.069	0.072	0.050	0.042	0.046	0.064	0.064	0.049	0.084	0.054	0.046	0.029	0.044	0.088
May/08	0.175	0.226	0.108	0.058	0.068	0.061	0.030	0.091	0.099	0.064	0.051	0.039	0.020	0.103	0.054	0.120	0.059	0.045	0.050	0.068	
May/09	0.137	0.229	0.157	0.038	0.053	0.063	0.132	0.058	0.054	0.113	0.023	0.019	0.036	0.092	0.066	0.098	0.044	0.096	0.045	0.051	0.041
May/10	0.122	0.118	0.184	0.038	0.060	0.095	0.024	0.094	0.049	0.072	0.055	0.064	0.062	0.085	0.090	0.038	0.047	0.062	0.025	0.058	
May/11	0.105	0.124	0.116	0.033	0.080	0.061	0.111	0.113	0.050	0.078	0.086	0.068	0.033	0.063	0.091	0.093	0.040	0.073	0.046	0.028	0.078
May/12	0.064	0.074	0.153	0.060	0.060	0.069	0.063	0.074	0.060	0.091	0.035	0.030	0.023	0.060	0.102	0.096	0.054	0.063	0.046	0.028	0.068
May/13	0.097	0.095	0.127	0.051	0.037	0.067	0.067	0.163	0.053	0.071	0.046	0.053	0.060	0.108	0.129	0.043	0.050	0.045	0.020	0.071	
May/14	0.106	0.050	0.112	0.043	0.039	0.042	0.054	0.087	0.063	0.072	0.083	0.058	0.026	0.085	0.127	0.119	0.043	0.057	0.074	0.024	0.085
May/15	0.122	0.108	0.147	0.047	0.049	0.075	0.110	0.085	0.090	0.062	0.022	0.025	0.045	0.076	0.110	0.085	0.050	0.123	0.053	0.022	0.055
May/16	0.190	0.140	0.127	0.047	0.045	0.132	0.058	0.098	0.070	0.109	0.056	0.097	0.089	0.103	0.086	0.045	0.055	0.054	0.035	0.048	
May/17	0.095	0.147	0.115	0.072	0.044	0.127	0.090	0.124	0.123	0.087	0.048	0.076	0.038	0.120	0.115	0.068	0.058	0.068	0.087	0.031	0.049
May/18	0.106	0.095	0.109	0.078	0.050	0.110	0.076	0.102	0.110	0.131	0.019	0.039	0.022	0.097	0.123	0.070					

Partiendo de la información registrada en la tabla 4.23, se construyó la figura 4.53 en la que se reportan los 86 días de la época cálida en que se ha rebasado el valor límite para determinado año de ocurrencia. Destacan siete días para distintos años, cuyo dato horario fue rebasado al doble (0.190 ppm) en relación al valor límite (0.095 ppm), con duración entre 1 y 10 horas.

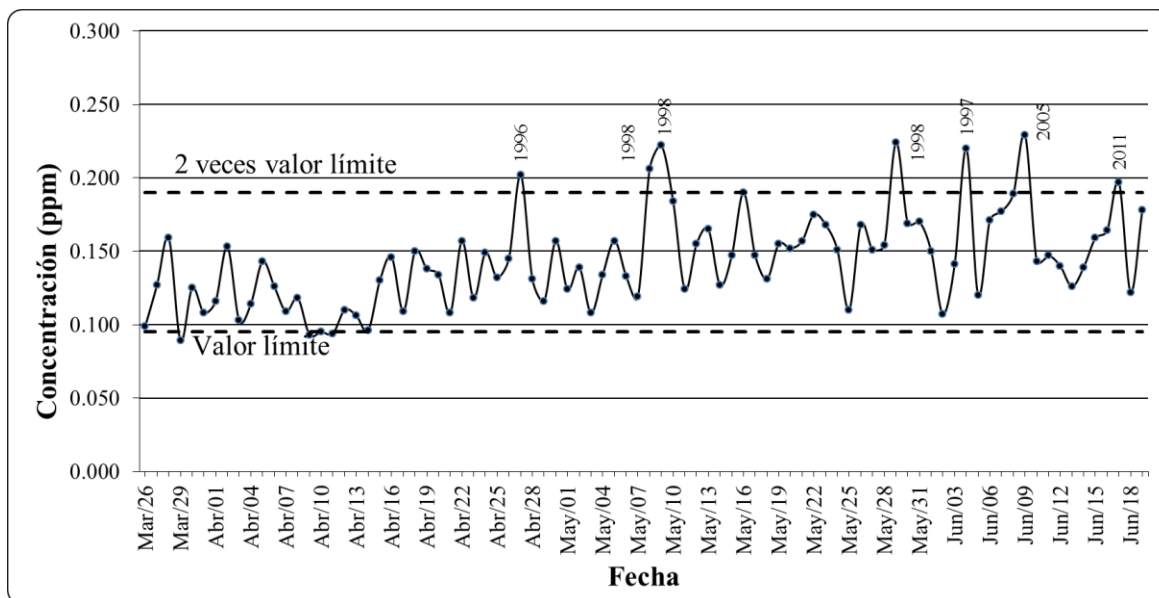


Figura 4.53. Valores límites de las concentraciones máximas de Ozono para la estación *Las Águilas*.

Fuente: Elaboración propia con información del SIMAJ

4.13.3 Valor límite histórico para la estación Atemajac

La estación Atemajac presentó 1282 datos horarios fuera de norma, cuyas frecuencias se observan en la tabla 4.24.

Aunque las frecuencias mínimas y máximas ocurrieron en algún día del mes de abril, al igual que en la estación de *Las Águilas*, mayo (Figura 4.54) se destaca como el mes con las mayores frecuencias (43%); le sigue abril (29%) y junio (23%).



Tabla 4.21 Frecuencias horarias (>0.095 ppm) para la estación Atemajac. Fuente: Elaboración propia con información del SIMAJ.

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Mar/26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Mar/27	0	0	7	0	0	0	1	0	0	0	2	0	4	0	2	0	0	0	0	0	0
Mar/28	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0
Mar/29	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Mar/30	0	1	3	3	0	4	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0
Mar/31	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/01	0	0	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/02	0	0	4	0	0	0	2	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/03	0	0	2	0	0	4	3	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/04	1	0	3	2	0	3	2	0	0	0	0	0	0	1	0	3	2	0	0	0	0
Abr/05	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	8	0	0	2	0	0	0	0	0
Abr/06	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Abr/07	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
Abr/08	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Abr/09	0	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/10	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/11	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/12	0	0	0	0	1	0	3	1	0	0	0	0	0	0	3	6	0	0	0	0	0
Abr/13	2	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0
Abr/14	0	2	1	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0
Abr/15	0	1	1	1	5	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Abr/16	0	2	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Abr/17	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Abr/18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Abr/19	1	0	3	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
Abr/20	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/21	3	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	2	0	0	0
Abr/22	3	4	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0
Abr/23	0	3	0	3	2	0	2	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	3	0	1	0
Abr/24	3	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0
Abr/25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0
Abr/26	7	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
Abr/27	5	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	0	2	0
Abr/28	6	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	6	0	7	0	0	2	0
Abr/29	0	3	1	2	0	4	0	1	0	0	0	3	7	3	7	0	6	0	0	0	0
Abr/30	4	4	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
May/01	2	0	4	0	0	0	0	1	0	0	3	0	1	3	0	0	3	0	0	0	0
May/02	5	4	4	0	2	0	0	0	0	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0	2	0
May/03	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	1	0	
May/04	4	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	2	0	0
May/05	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
May/06	7	4	1	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0
May/07	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0
May/08	5	0	1	0	0	0	0	0	2	2	0	6	0	6	0	0	2	0	0	0	0
May/09	2	1	1	0	3	5	4	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
May/10	2	0	1	0	0	0	4	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
May/11	4	0	1	1	0	0	0	0	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0
May/12	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
May/13	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
May/14	0	2	1	0	0	0	2	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
May/15	1	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
May/16	4	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
May/17	6	1	0	5	2	3	0	0	1	1	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0
May/18	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
May/19	1	4	0	5	2	0	0	0	4	0	0	2	0	0	0	1	0	2	3	0	0
May/20	4	0	3	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	2	0	2	2	0	0	0
May/21	8	0	2	5	0	3	2	0	1	0	0	0	1	0	3	1	0	0	2	0	0
May/22	6	0	5	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0
May/23	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0
May/24	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	2	0	0	0	6	0	0	0	0
May/25	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	0	0	0	0
May/26	1	0	0	0	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	2	0
May/27	1	1	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	0	0	0	0
May/28	3	0	6	0	0	1	3	0	0	0	0	0	4	0	4	7	0	1	1	0	0
May/29	5	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
May/30	4	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	0	8	0	0	0
May/31	4	2	6	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	4	0	0	0
Jun/01	6	0	3	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jun/02	2	0	5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jun/03	0	0	1	4	0	2	0	2	0	0	1	0	0	0	1	3	0	5	0	0	0
Jun/04	2	5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	4	0	0	0
Jun/05	6	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0
Jun/06	7	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4	0	0	5	0	0	0
Jun/07	1	4	0	2	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0
Jun/08	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2	0	0	0	0	0
Jun/09	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	3	5	0	1	0
Jun/10	6	7	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	1	0	1	0
Jun/11	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	5	4	0	3	0	1	0
Jun/12	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	6	0	4	1	0	0
Jun/13	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	4	0	0	1
Jun/14	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0
Jun/15	6	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0
Jun/16	0	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Jun/17	3	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	3	0	7	0	2	0	0	4	0
Jun/18	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	3	0	3	0	0	0
Jun/19	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0

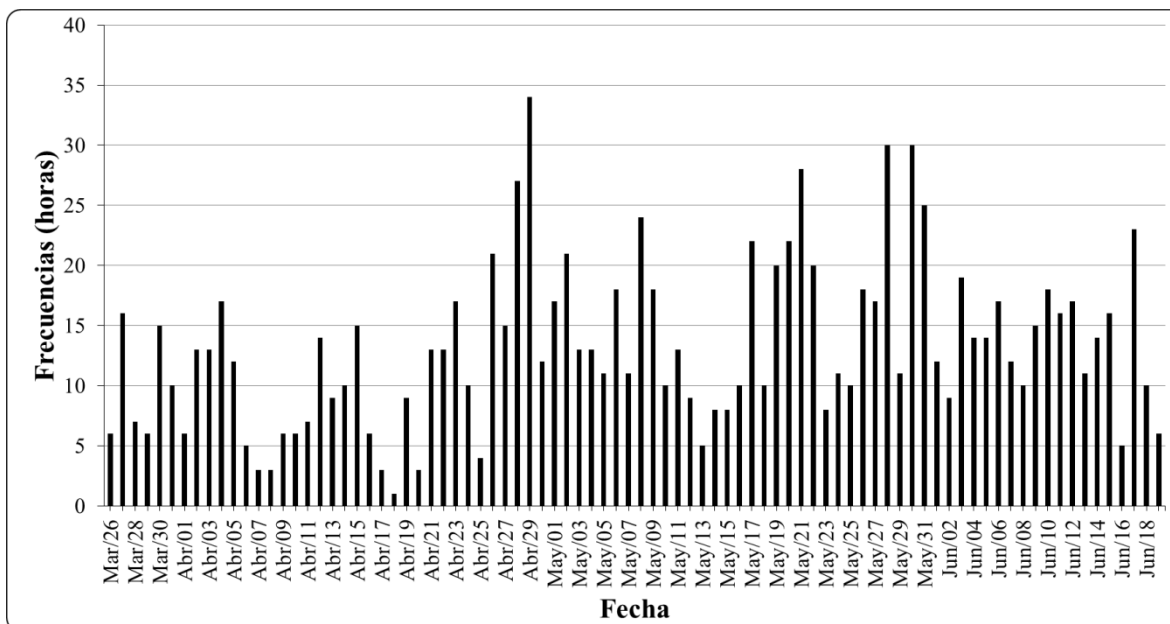


Figura 4.54. Frecuencias horarias diarias de concentración de Ozono (época cálida) en estación Atemajac.

Fuente: Elaboración propia en base a información del SIMAJ

En este orden, en la tabla 4.25 se señalan tres aspectos específicos en que se ha superado el valor límite:

- 1) Con recuadro simple, el valor máximo presentado para un día y año.
- 2) Con recuadro en naranja se observa el valor máximo para un día del periodo.
- 3) Con recuadro en rojo se aprecia el valor máximo para un día del periodo en que el valor límite se ha superado más de dos veces.



Riesgo a la salud por Isla y Ola de Calor en el municipio de Zapopan, México

Tabla 4.22 Valores máximos históricos de Ozono (>0.095 ppm) para la estación Atemajac. Recuadro simple: fuera de norma; recuadro naranja: valor máximo; recuadro rojo: dos veces fuera de norma. Fuente:

Elaboración propia con información del SIMAJ.

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Mar/26	0.060	0.062	0.095	0.034	0.037	0.056	0.060	0.078	0.097		0.125	0.058	0.122	0.055	0.080	0.070	0.065	0.058	0.023	0.033	
Mar/27	0.055	0.076	0.238	0.052	0.054	0.046	0.096	0.062	0.074		0.112	0.068	0.099	0.051	0.120	0.072	0.083	0.071	0.029	0.037	
Mar/28	0.059	0.099	0.138	0.065	0.061	0.066	0.048	0.035	0.086		0.082	0.051	0.123	0.028	0.106	0.074	0.082	0.031	0.047	0.038	
Mar/29	0.038	0.075	0.123	0.076	0.056	0.062	0.042	0.042	0.078		0.073	0.097	0.111	0.058	0.075	0.093	0.058	0.049	0.042	0.061	
Mar/30	0.094	0.114	0.218	0.129	0.046	0.142	0.049	0.047	0.053		0.073	0.100	0.116	0.053	0.071	0.095	0.059	0.072	0.034	0.051	
Mar/31	0.104	0.069	0.174	0.065	0.064	0.087	0.092	0.074	0.058		0.056	0.070	0.083	0.031	0.061	0.067	0.050	0.042	0.028	0.072	
Abr/01	0.084	0.095	0.218	0.075	0.060	0.073	0.094	0.059	0.088		0.085	0.066	0.142	0.073	0.072	0.086	0.053	0.037	0.026	0.061	
Abr/02	0.076	0.059	0.258	0.048	0.111	0.076	0.110	0.049	0.075		0.069	0.073	0.098	0.082	0.085	0.077	0.056	0.057	0.024	0.075	
Abr/03	0.063	0.050	0.122	0.053	0.051	0.110	0.134	0.057	0.033		0.041	0.053	0.053	0.042	0.062	0.085	0.070	0.089	0.050	0.073	
Abr/04	0.103	0.058	0.148	0.158	0.067	0.158	0.108	0.082	0.041	0.068	0.061	0.055	0.133	0.101	0.095	0.111	0.108	0.089	0.030	0.082	
Abr/05	0.098	0.060	0.076	0.081	0.069	0.057	0.084	0.073	0.035	0.109	0.048	0.088	0.082	0.071	0.068	0.107	0.056	0.042	0.029	0.084	
Abr/06	0.049	0.106	0.059	0.109	0.089	0.060	0.050	0.040	0.036	0.076	0.027	0.071	0.060	0.038	0.096	0.074	0.060	0.056	0.031	0.077	
Abr/07	0.034	0.117	0.091	0.083	0.056	0.058	0.038	0.066	0.039	0.047	0.052	0.062	0.091	0.081	0.109	0.083	0.059	0.067	0.039	0.086	
Abr/08	0.049	0.077	0.139	0.092	0.050	0.063	0.042	0.078	0.042	0.050	0.044	0.085	0.084	0.075	0.072	0.095	0.066	0.040	0.049	0.097	
Abr/09	0.070	0.069	0.056	0.155	0.053	0.055	0.049	0.079	0.041	0.046	0.024	0.056	0.063	0.037	0.068	0.082	0.086	0.043	0.050	0.042	
Abr/10	0.070	0.109	0.067	0.073	0.099	0.068	0.069	0.052	0.058	0.048	0.060	0.133	0.060	0.084	0.094	0.084	0.072	0.059	0.035	0.048	
Abr/11	0.070	0.085	0.068	0.095	0.140	0.079	0.099	0.094	0.039	0.096	0.051	0.175	0.093	0.080	0.049	0.075	0.075	0.077	0.040	0.049	
Abr/12	0.093	0.034	0.083	0.081	0.088	0.089	0.100	0.097	0.063	0.082	0.028	0.072	0.041	0.040	0.118	0.148	0.062	0.065	0.030	0.025	
Abr/13	0.133	0.047	0.090	0.051	0.110		0.093	0.072	0.078	0.093	0.047	0.065	0.051	0.104	0.105	0.072	0.069	0.091	0.027	0.037	
Abr/14	0.068	0.114	0.101	0.082	0.123	0.053	0.054	0.066	0.057	0.052	0.087	0.065	0.080	0.105	0.105	0.076	0.057	0.101	0.059	0.046	
Abr/15	0.077	0.102	0.108	0.115	0.154	0.143	0.128	0.049	0.056	0.073	0.027	0.032	0.054	0.036	0.095	0.087	0.061	0.120	0.049	0.056	
Abr/16	0.071	0.146	0.081	0.073	0.118	0.150	0.066	0.078	0.091	0.070	0.096	0.094	0.059	0.063	0.092	0.099	0.082	0.080	0.040	0.062	
Abr/17	0.090	0.103	0.096	0.055	0.084	0.069	0.095	0.082	0.069	0.048	0.068	0.092	0.082	0.060	0.054	0.116	0.081	0.069	0.065	0.069	
Abr/18	0.069	0.056	0.082	0.064	0.067	0.093	0.084	0.077	0.068	0.049	0.042	0.057	0.071	0.031	0.079	0.086	0.082	0.101	0.089	0.036	
Abr/19	0.098	0.055	0.123	0.092	0.087	0.051	0.068	0.054	0.061	0.049	0.059	0.089	0.069	0.088	0.092	0.073	0.048	0.138	0.061	0.036	
Abr/20	0.095	0.102	0.086	0.073	0.059	0.053	0.066	0.072	0.104	0.048	0.066	0.118	0.095	0.079	0.056	0.076	0.057	0.085	0.053	0.037	
Abr/21	0.112	0.102	0.087	0.053	0.054	0.049	0.094	0.080	0.038	0.041	0.040	0.090	0.112	0.035	0.044	0.142	0.080	0.102	0.083	0.093	
Abr/22	0.152	0.142	0.117	0.060	0.115	0.048	0.068	0.051	0.046	0.057	0.095	0.043	0.085	0.084	0.044	0.117	0.061	0.087	0.053	0.074	
Abr/23	0.095	0.153	0.071	0.146	0.116	0.080	0.108	0.060	0.062	0.051	0.083	0.072	0.039	0.134	0.066	0.081	0.067	0.109	0.034	0.101	
Abr/24	0.098	0.107	0.064	0.056	0.138	0.101	0.056	0.050	0.058	0.035	0.045	0.038	0.021	0.050	0.075	0.070	0.077	0.144	0.048	0.077	
Abr/25	0.087	0.065	0.066	0.034	0.091	0.069	0.089	0.074	0.067	0.057	0.037	0.047	0.034	0.066	0.075	0.076	0.123	0.097	0.070	0.057	
Abr/26	0.127	0.083	0.079	0.083	0.091	0.051	0.065	0.058	0.078	0.059	0.111	0.066	0.066	0.081	0.074	0.112	0.094	0.045	0.063	0.053	
Abr/27	0.228	0.161	0.136	0.053	0.082	0.067	0.084	0.048	0.136	0.066	0.051	0.045	0.014	0.030	0.094	0.080	0.084	0.104	0.060	0.050	
Abr/28	0.144	0.141	0.097	0.093	0.069	0.082	0.066	0.055	0.062	0.082		0.065		0.177	0.081	0.139	0.062	0.117	0.096	0.054	
Abr/29	0.076	0.181	0.118	0.111	0.054	0.162	0.092	0.099	0.059	0.049	0.081	0.120		0.153	0.118	0.188	0.068	0.109	0.032	0.063	
Abr/30	0.135	0.135	0.186	0.132	0.088	0.083	0.061	0.045	0.042	0.060	0.039	0.057	0.014	0.080	0.074	0.106	0.066	0.086	0.032	0.047	
May/01	0.098	0.077	0.132	0.055	0.060	0.062	0.055	0.103	0.055	0.041	0.117	0.064		0.098	0.105		0.077	0.104		0.085	
May/02	0.184	0.113	0.133	0.068	0.089	0.065	0.061	0.051	0.044	0.052	0.146	0.093		0.078	0.134		0.066	0.092	0.052	0.109	
May/03	0.232	0.077	0.118	0.048	0.109	0.064	0.065	0.059	0.073	0.073	0.062	0.054	0.004	0.042	0.118		0.059	0.077		0.102	
May/04	0.157	0.088	0.135	0.060	0.080	0.113	0.094	0.049	0.053	0.059	0.082	0.069		0.091	0.101		0.070	0.064	0.046	0.102	
May/05	0.147	0.098	0.054	0.062	0.054	0.059	0.067	0.046	0.081	0.049	0.087	0.116		0.090	0.082		0.064	0.067	0.093	0.116	
May/06	0.173	0.149	0.096	0.140	0.060	0.074	0.126	0.061	0.062	0.056	0.052	0.073	0.034	0.038	0.117		0.079	0.034	0.032	0.066	
May/07	0.213	0.186	0.069	0.074	0.074	0.057	0.064	0.055	0.076	0.052	0.062	0.086		0.059	0.167		0.073	0.047	0.070	0.056	
May/08	0.170	0.089	0.096	0.049	0.061	0.054	0.060	0.050	0.071	0.132	0.061	0.139	0.050	0.069	0.157		0.083	0.074	0.060	0.069	
May/09	0.109	0.097	0.108	0.046	0.063	0.116	0.131	0.056	0.098	0.079	0.037	0.081	0.107	0.036	0.125		0.088	0.046	0.124	0.054	
May/10	0.097	0.090	0.102	0.059	0.119	0.078	0.127	0.060	0.047	0.099	0.093	0.094		0.050	0.099		0.056	0.045	0.067	0.078	
May/11	0.113	0.081	0.105	0.133	0.058	0.095	0.063	0.064	0.060	0.107	0.084	0.129	0.070	0.046	0.076		0.054	0.064	0.075	0.078	
May/12	0.090	0.085	0.222	0.127	0.049	0.081	0.067	0.094	0.043	0.064	0.057	0.085	0.096	0.027	0.134		0.083	0.051	0.074	0.029	
May/13	0.084	0.102	0.143	0.064	0.047	0.088	0.071	0.062	0.088	0.083	0.064	0.072		0.077	0.112		0.081	0.062	0.061	0.034	
May/14	0.084	0.118	0.099	0.060	0.062	0.068	0.116	0.065	0.057	0.055	0.068	0.133	0.078	0.075	0.093		0.028	0.087	0.060	0.035	
May/15	0.100	0.075	0.092	0.060	0.053	0.115	0.069	0.078	0.055	0.077	0.036	0.084	0.060	0.039	0.096		0.050	0.046	0.061	0.017	
May/16	0.111	0.092	0.069	0.077	0.058	0.126	0.072	0.098	0.069	0.073	0.069	0.090		0.055	0.084		0.059	0.051	0.084	0.025	
May/17	0.208	0.105	0.067	0.111	0.056	0.138	0.078	0.083	0.097	0.097	0.061	0.146	0.064	0.064	0.108	0.053	0.064	0.074	0.104	0.025	
May/18	0.201	0.094	0.083	0.095	0.099	0.077	0.052	0.069	0.097	0.071	0.034	0.095	0.115	0.035	0.073	0.069	0.092	0.070	0.091	0.051	
May/19	0.096	0.161	0.075	0.145	0.051	0.069	0.061	0.091	0.086	0.139	0.060	0.061		0.042	0.090	0.084	0.099	0.062	0.112	0.118	
May/20	0.101	0.078	0.106	0.134	0.101	0.055	0.096	0.055	0.081	0.067	0.088	0.092	0.108	0.047	0.175	0.151	0.071	0.114	0.103	0.089	
May/21	0.176	0.090	0.142	0.106	0.090	0.121	0.106	0.069	0.095	0.065	0.044	0.069	0.094	0.048	0.130	0.097	0.080	0.095	0.111	0.036	
May/22	0.124	0.091	0																		

Para esta estación se presentaron 19 episodios para diferentes años con datos horarios que reportaron el doble del valor límite (0.190 ppm) y 67 eventos que superaron sus valores máximos al menos una vez en el periodo (Figura 4.55).

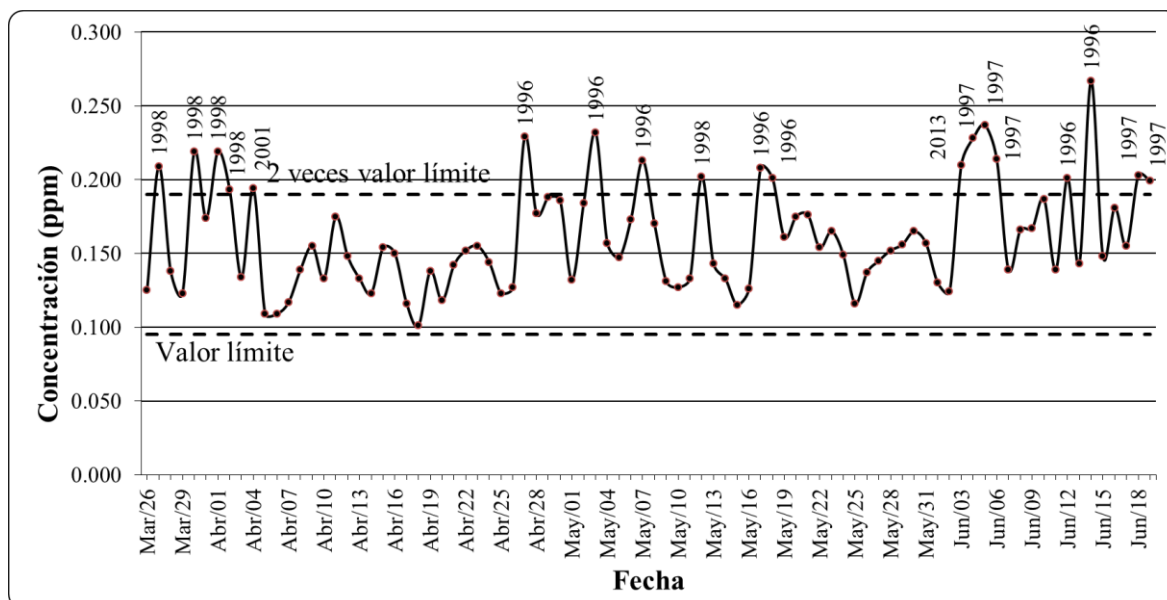


Figura 4.55. Valores límites de las concentraciones máximas de Ozono para la estación Atemajac.
Fuente: Elaboración propia con información del SIMAJ

4.13.4 Valor límite histórico para la estación Vallarta

En el periodo analizado para la estación Vallarta, se presentaron 1248 horas fuera de norma, destacándose el año 1998 con el mayor número de horas (333). En este orden, le siguieron 2010 (200) y 1996 (152). La distribución de las frecuencias de la tabla 4.26 evidenció rasgos similares a las estaciones Las Águilas y Atemajac (comportamiento heterogéneo); es decir, una tendencia positiva al final de la época cálida.

En la figura 4.56 se presentan las frecuencias horarias por día y permite observar que el mes de mayo mantiene la mayor ocurrencia de horas fuera de norma (629), seguido de junio (356) y abril (229).



Tabla 4.23 Frecuencias horarias (>0.095 ppm) para la estación Vallarta. Fuente: Elaboración propia con información del SIMAJ.

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Mar/26	0	1	7	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Mar/27	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Mar/28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mar/29	0	0	4	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mar/30	0	0	3	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mar/31	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/01	0	0	3	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/02	0	0	1	0	0	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/03	0	0	2	0	0	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Abr/05	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
Abr/06	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Abr/07	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
Abr/08	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Abr/11	0	0	4	0	0	0	3	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/12	0	0	2	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0
Abr/13	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
Abr/14	0	3	2	0	0	4	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Abr/15	0	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/16	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/17	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/18	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/19	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/20	0	3	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0
Abr/21	0	0	6	0	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0
Abr/22	2	0	0	2	0	2	4	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/24	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr/25	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
Abr/26	1	4	3	0	0	0	1	0	3	0	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
Abr/27	4	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
Abr/28	2	3	1	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	2	6	0	0	0	0	2
Abr/29	0	2	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0
Abr/30	0	1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0
May/01	0	4	9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	0	0	2	0
May/02	2	0	8	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	6	0	0	0	0	2	0
May/03	0	1	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	2	0
May/04	2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
May/05	1	5	2	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0
May/06	2	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	3	0	0	0	2	0
May/07	1	3	9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	6	0	0	0	0	2	0
May/08	5	2	9	0	0	4	3	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
May/09	0	2	7	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
May/10	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
May/11	0	0	9	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
May/12	0	0	6	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
May/13	0	4	8	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0
May/14	0	2	8	0	0	5	0	0	0	0	0	3	0	0	1	3	0	0	0	0	0
May/15	0	4	6	0	0	3	0	4	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0
May/16	0	1	7	1	0	4	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
May/17	3	0	8	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
May/18	4	5	5	3	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
May/19	0	0	9	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	5	0	1	0	0	0	0
May/20	6	1	11	0	0	0	5	0	2	0	0	0	0	0	3	1	0	0	2	0	0
May/21	8	4	9	0	0	4	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
May/22	5	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
May/23	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
May/24	0	0	2	0	0	1	1	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
May/25	6	0	3	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
May/26	4	5	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1	0	0	0	3	0
May/27	0	0	9	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	11	4	0	0	0	0	0
May/28	3	0	9	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	9	5	0	0	1	0	0
May/29	4	2	9	0	0	0	0	3	0	0	2	0	0	0	8	0	0	6	0	0	0
May/30	6	3	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	4	0	0	0	2	0
May/31	5	1	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	1
Jun/01	8	5	6	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Jun/02	3	7	6	0	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	9	0	0	3	0	0	0
Jun/03	0	5	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	7	1	0	0	3	0	0
Jun/04	4	5	4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	10	6	0	0	0	0	0
Jun/05	6	5	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	1	0	0
Jun/06	7	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0
Jun/07	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	3	0	0	0	0	0
Jun/08	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0
Jun/09	4	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	3	0	0	0	3
Jun/10	6	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	7	0	3	0	2	0	0
Jun/11	0	5	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	7	2	0	0	0	0	2
Jun/12	4	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	4	6	0	0	1	0	0
Jun/13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	3
Jun/14	5	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Jun/15	7	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Jun/16	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jun/17	5	4	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0
Jun/18	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0
Jun/19	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0

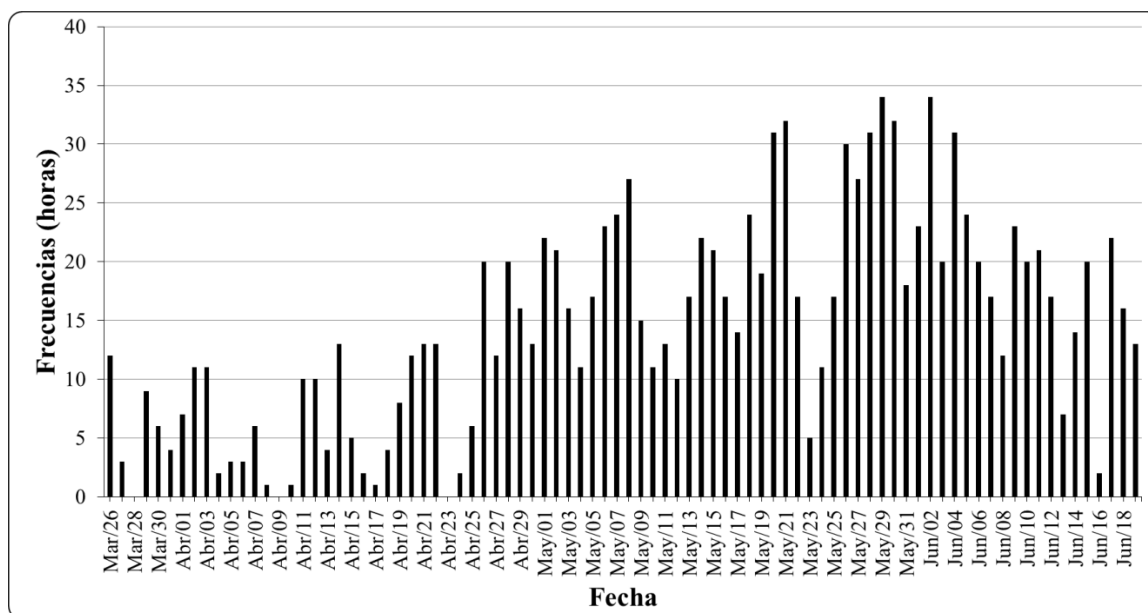


Figura 4.56. Frecuencias horarias diarias de concentración de Ozono para la época en estación Vallarta.

Fuente: Elaboración propia en base a información del SIMAJ

En este contexto, en la tabla 4.27 se numeran los tres aspectos específicos en que se ha superado el valor límite:

- 1) Con recuadro simple, el valor máximo presentado para un día y año.
- 2) Con recuadro en naranja se observa el valor máximo para un día del periodo.
- 3) Con recuadro en rojo se aprecia el valor máximo para un día del periodo en que el valor límite se ha superado más de dos veces.



Riesgo a la salud por Isla y Ola de Calor en el municipio de Zapopan, México

Tabla 4.24 Valores máximos históricos de Ozono (>0.095 ppm) para la estación Vallarta. Recuadro simple: fuera de norma; recuadro naranja: valor máximo; recuadro rojo: dos veces fuera de norma. Fuente:

Elaboración propia con información del SIMAJ.

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Mar/26	0.036	0.100	0.218	0.039	0.026	0.045	0.099	0.049	0.070	0.041	0.048	0.019	0.029	0.050	0.110	0.067	0.065	0.064	0.055	0.044	0.044
Mar/27	0.035	0.063	0.113	0.058	0.028	0.073	0.050	0.029	0.093	0.023	0.040	0.027	0.037	0.069	0.100	0.065	0.083	0.026	0.065	0.048	0.047
Mar/28	0.030	0.046	0.091	0.054	0.040	0.057	0.049	0.041	0.063	0.027	0.020	0.021	0.033		0.064	0.064	0.082		0.072	0.049	0.055
Mar/29	0.025	0.083	0.233	0.064	0.047	0.153	0.058	0.045	0.057	0.031	0.044	0.045	0.028	0.056	0.075	0.069	0.058		0.065	0.040	0.046
Mar/30	0.052	0.056	0.195	0.039	0.098	0.094	0.100	0.079	0.056	0.058	0.046	0.026	0.040	0.044	0.059	0.067	0.059		0.047	0.043	0.053
Mar/31	0.046	0.091	0.231	0.041	0.029	0.066	0.098	0.051	0.086	0.036	0.027	0.033	0.052		0.069	0.062	0.050		0.044	0.048	0.051
Abr/01	0.061	0.050	0.158	0.026	0.045	0.062	0.133	0.046	0.080	0.033	0.043	0.027	0.037	0.081	0.077	0.073	0.053	0.054	0.049	0.046	0.044
Abr/02	0.044	0.038	0.104	0.028	0.044	0.151	0.158	0.053	0.029	0.024	0.042	0.023	0.059	0.072	0.069	0.068	0.056	0.079	0.087	0.046	0.055
Abr/03	0.049	0.032	0.183	0.076	0.066	0.182	0.140	0.077	0.034	0.033	0.030	0.025	0.045		0.085	0.074	0.070	0.074	0.052	0.052	0.088
Abr/04	0.044	0.044	0.054	0.076	0.039	0.066	0.075	0.053	0.029	0.083	0.042	0.050	0.047	0.068	0.063	0.089	0.108	0.047	0.046	0.052	0.082
Abr/05	0.058	0.119	0.058	0.094	0.044	0.065	0.044	0.043	0.031	0.057	0.037	0.029	0.054	0.083	0.070	0.079	0.056	0.055	0.053	0.058	0.105
Abr/06	0.034	0.122	0.089	0.051	0.039	0.066	0.037	0.067	0.035	0.048	0.026	0.040	0.069		0.103	0.072	0.060	0.041	0.067	0.061	0.116
Abr/07	0.024	0.065	0.139	0.090	0.086	0.075	0.046	0.073	0.039	0.037	0.031	0.076	0.042	0.078	0.064	0.072	0.059	0.038	0.082	0.024	0.074
Abr/08	0.033	0.033	0.081	0.097	0.085	0.066	0.050	0.063	0.040	0.030	0.035	0.072	0.064	0.043	0.060	0.070	0.066	0.041	0.092	0.026	0.068
Abr/09	0.053	0.071	0.086	0.051	0.050	0.075	0.071	0.053	0.046	0.031	0.023	0.039	0.064		0.077	0.080	0.086	0.058	0.060	0.029	0.078
Abr/10	0.035	0.041	0.077	0.086	0.057	0.086	0.072	0.087	0.030	0.056	0.031	0.085	0.046	0.097	0.037	0.075	0.072	0.062	0.064	0.056	0.068
Abr/11	0.030	0.020	0.124	0.043	0.082	0.090	0.112	0.104	0.052	0.062	0.037	0.097	0.085	0.035	0.093	0.082	0.075	0.059	0.055	0.070	0.048
Abr/12	0.035	0.025	0.122	0.036	0.125	0.073	0.115	0.075	0.066	0.045	0.023	0.070	0.044		0.093	0.102	0.062	0.071	0.056	0.052	0.058
Abr/13	0.081	0.074	0.138	0.048	0.083	0.081	0.058	0.055	0.061	0.032	0.034	0.060	0.041	0.098	0.089	0.071	0.069	0.089	0.083	0.100	0.060
Abr/14	0.066	0.110	0.157	0.051	0.066	0.172	0.126	0.048	0.045	0.043	0.038	0.070	0.045	0.047	0.098	0.072	0.057	0.091	0.055	0.075	0.043
Abr/15	0.066	0.098	0.069	0.042	0.050	0.137	0.082	0.080		0.046	0.025	0.060	0.042		0.083	0.078	0.061	0.061	0.039	0.090	0.037
Abr/16	0.062	0.074	0.078	0.052	0.053	0.073	0.106	0.067		0.028	0.052	0.081	0.042	0.069	0.048	0.089	0.082	0.042	0.020	0.092	0.042
Abr/17	0.045	0.034	0.079	0.067	0.044	0.099	0.089	0.075		0.027	0.043			0.046	0.087	0.072	0.087	0.081		0.050	0.073
Abr/18	0.086	0.046	0.127	0.070	0.034	0.060	0.076	0.066		0.025	0.035	0.074	0.032		0.087	0.077	0.082	0.071	0.065	0.093	0.075
Abr/19	0.068	0.130	0.134	0.040	0.083	0.062	0.084	0.085	0.073	0.029	0.070	0.114	0.029	0.057	0.046	0.063	0.048	0.046	0.069	0.053	0.064
Abr/20	0.080	0.115	0.113	0.041	0.048	0.061	0.083	0.082	0.042	0.026	0.051		0.035	0.055	0.039	0.067	0.057	0.050	0.106	0.096	0.052
Abr/21	0.080	0.090	0.213	0.043	0.081	0.057	0.100	0.047	0.040	0.041	0.041	0.112		0.036	0.041	0.129	0.080	0.053	0.069	0.073	0.065
Abr/22	0.155	0.095	0.094	0.112	0.064	0.100	0.115	0.058	0.109	0.008	0.097	0.073	0.033	0.034	0.056	0.080	0.061	0.061	0.032	0.041	0.077
Abr/23	0.081	0.077	0.083	0.045	0.064	0.079	0.082	0.044	0.051	0.041	0.080		0.039	0.021	0.075	0.078	0.067	0.066	0.050	0.049	0.050
Abr/24	0.100	0.050	0.087	0.025	0.076	0.074	0.083	0.082	0.068	0.041	0.055	0.055	0.029		0.075	0.070	0.077	0.055	0.056	0.050	0.058
Abr/25	0.063	0.067	0.122	0.078	0.039	0.062	0.072	0.049	0.077	0.042	0.087	0.026	0.044	0.039	0.073	0.069	0.123	0.056	0.043	0.034	0.055
Abr/26	0.096	0.137	0.170	0.045	0.042	0.070	0.098	0.040	0.113	0.069	0.132		0.054	0.043	0.086	0.068	0.112	0.062	0.058	0.034	0.053
Abr/27	0.168	0.123	0.096	0.047	0.076	0.079	0.082	0.045	0.057	0.051	0.054	0.031	0.027		0.082	0.077	0.084	0.061	0.088	0.038	0.117
Abr/28	0.104	0.115	0.111	0.061	0.061	0.116	0.082	0.154	0.033	0.034	0.086	0.007	0.040	0.019	0.107	0.131	0.062	0.059	0.066	0.045	0.110
Abr/29	0.060	0.161	0.215	0.091	0.067	0.076	0.073	0.046	0.037	0.060	0.073	0.024	0.029	0.011	0.074	0.135	0.068	0.068	0.054	0.053	0.068
Abr/30	0.095	0.107	0.192	0.042	0.079	0.051	0.063	0.056	0.050	0.024	0.038	0.028	0.024		0.115	0.103	0.066	0.084	0.042	0.053	0.090
May/01	0.080	0.128	0.135	0.035	0.072	0.066	0.081	0.055	0.039	0.029	0.100	0.020	0.031	0.020	0.148	0.081	0.077	0.072	0.075	0.046	0.097
May/02	0.121	0.073	0.167	0.037	0.043	0.047	0.081	0.058	0.071	0.034	0.112	0.031	0.028	0.014	0.114	0.067	0.066	0.065	0.094	0.038	0.121
May/03	0.091	0.097	0.197	0.045	0.047	0.082	0.109	0.054	0.032	0.040	0.038	0.037	0.022		0.102	0.081	0.059	0.081	0.041	0.043	0.102
May/04	0.106	0.132	0.079	0.047	0.055	0.072	0.073	0.060	0.032	0.051	0.092	0.028	0.062	0.089	0.112	0.070	0.072	0.054	0.063	0.075	
May/05	0.106	0.132	0.110	0.085	0.047	0.050	0.171	0.064	0.037	0.056	0.070	0.023	0.054	0.106	0.109	0.064	0.037	0.018	0.041	0.062	
May/06	0.142	0.235	0.119	0.053	0.050	0.060	0.068	0.065	0.026	0.032	0.093	0.043		0.148	0.100	0.079	0.053	0.036	0.057	0.101	
May/07	0.109	0.176	0.128	0.042	0.099	0.067	0.065	0.059	0.070	0.047	0.024	0.076	0.109	0.068	0.156	0.078	0.073	0.076	0.040	0.036	0.104
May/08	0.150	0.123	0.185	0.039	0.051	0.123	0.155	0.085	0.106	0.029	0.053	0.091	0.088	0.018	0.113	0.051	0.083	0.044	0.060	0.037	0.073
May/09	0.078	0.100	0.144	0.035	0.042	0.077	0.137	0.073	0.047	0.035	0.021	0.093	0.040		0.099	0.093	0.088	0.042	0.039	0.040	0.051
May/10	0.075	0.066	0.188	0.087	0.034	0.090	0.068	0.092	0.042	0.043	0.013	0.051	0.075	0.112	0.081	0.080	0.056	0.065	0.044	0.037	0.073
May/11	0.090	0.082	0.313	0.060	0.045	0.085	0.070	0.125	0.039	0.053	0.027	0.054	0.056	0.025	0.101	0.081	0.054	0.051	0.022	0.036	0.103
May/12	0.055	0.057	0.156	0.042	0.041	0.100	0.074	0.072	0.080	0.041	0.014	0.053	0.058		0.129	0.083	0.083	0.059	0.015	0.040	0.075
May/13	0.074	0.140	0.162	0.041	0.043	0.078	0.126	0.079	0.057	0.036	0.018	0.037	0.070	0.053	0.106	0.098	0.081	0.086		0.038	0.087
May/14	0.067	0.144	0.150	0.041	0.043	0.123	0.089	0.090	0.056	0.060	0.032	0.123	0.074	0.010	0.096	0.148	0.028	0.046		0.038	0.094
May/15	0.082	0.144	0.118	0.049	0.067	0.124	0.083	0.108	0.080	0.043	0.016	0.072	0.019		0.103	0.099	0.050	0.054		0.040	0.060
May/16	0.077	0.096	0.124	0.110	0.048	0.119	0.088	0.113	0.088	0.057	0.030	0.041	0.032	0.032	0.114	0.081	0.059	0.084		0.034	0.052
May/17	0.122	0.070	0.150	0.069	0.082	0.080	0.066	0.080	0.108	0.045	0.042	0.062	0.028	0.013	0.084	0.064	0.064	0.063		0.034	0.055
May/18	0.143	0.166	0.144	0.116	0.050	0.069	0.092	0.099	0.098	0.067	0.024	0.042	0.026		0.100	0.066	0.092	0.063		0.040	0.057
May/19	0.094	0.061	0.172	0.097	0.054	0.053	0.090	0.064	0.091	0.064	0.139	0.072	0.044								

En esta estación ocurrieron 21 eventos para años que se centran mayormente alrededor de 1998, que registraron más del doble del valor límite (0.190 ppm) y 65 eventos que superaron sus valores máximos por lo menos una vez a lo largo del periodo (Figura 4.57).

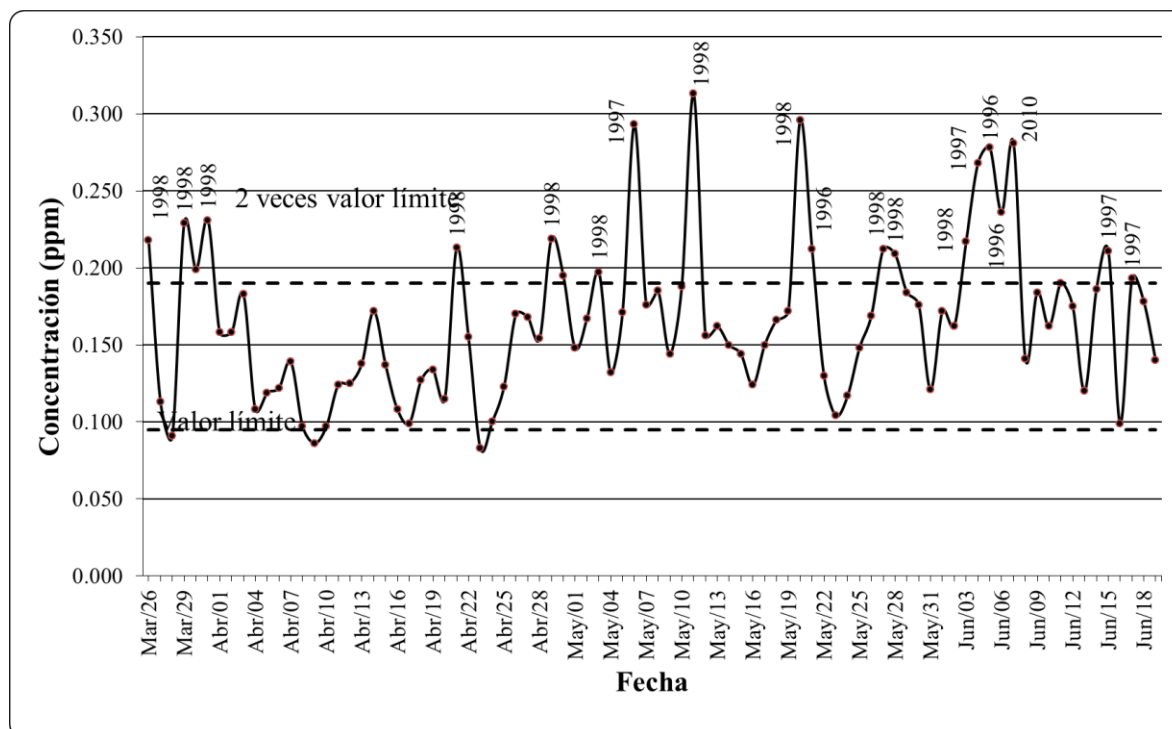


Figura 4.57. Valores límites de las concentraciones máximas de Ozono para la estación *Atemajac*.

Fuente: Elaboración propia con información del SIMAJ

4.13.5 Valor límite de 0.070 ppm para el promedio móvil de 8 horas

La legislación establece que una estación de monitoreo cumple con el límite del promedio móvil de 8 horas cuando el valor máximo anual sea ≤ 0.070 ppm. En base a ello, se establece que si el valor límite es superado en la época cálida, esto será suficiente para incumplir la norma. La cantidad total por año correspondió a 2032 horas, destacando los años 1996 (1066), 1998 (1438) y 2010 (968) con las mayores frecuencias (Figura 4.58). En contraste, los años con menor frecuencia fueron 2008 (75), 2014 (87) y 2015 (28).

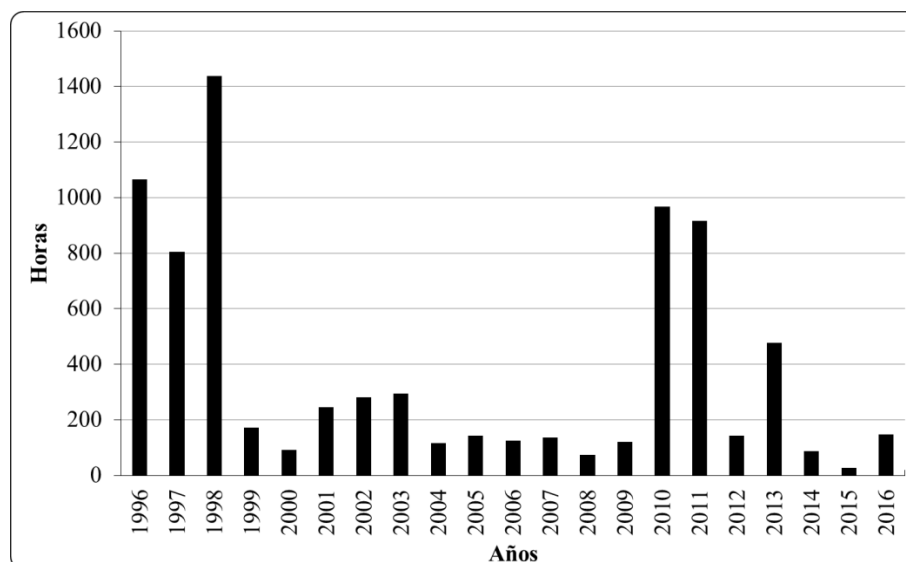


Figura 4.58. Comportamiento medio interanual de la concentración de Ozono.

Fuente: Elaboración propia con información del SIMAJ

Nuevamente, se enfatiza que los valores límites han sido más frecuentes en la época cálida. Al realizar una estimación de los promedios móviles por estación por cada 8 horas, en la figura 4.59 se aprecia la concentración máxima para cada año y se puede determinar un marcado incumplimiento de la normatividad, dado que se rebasa el valor de 0.070 ppm, por lo menos una vez en un año (línea punteada).

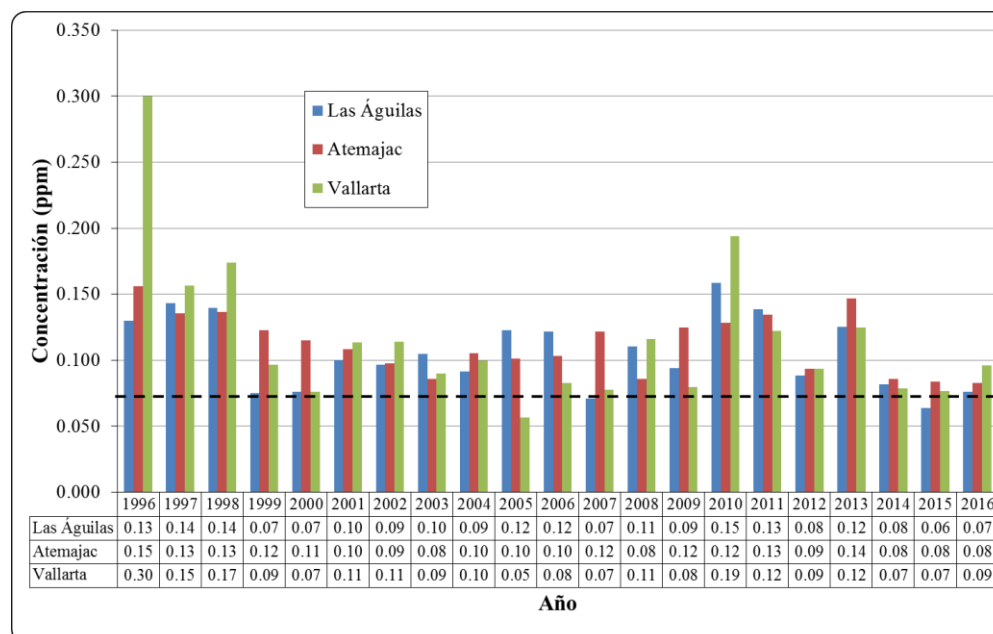


Figura 4.59. Concentración máxima interanual de Ozono por estación. La línea punteada indica el valor límite de 0.070 ppm.

Fuente: Elaboración propia con información del SIMAJ.

En el caso de la cantidad de horas relacionadas con las concentraciones de Ozono más significativas (por estación), en la figura 4.60 se observa que Atemajac fue la estación con el mayor acumulado total (2907 horas), seguido de Vallarta (2596 horas) y Las Águilas (2377). Por año, 1998 significó la mayor concentración de horas para las tres estaciones, mientras que en el 2015 se observaron las mínimas.

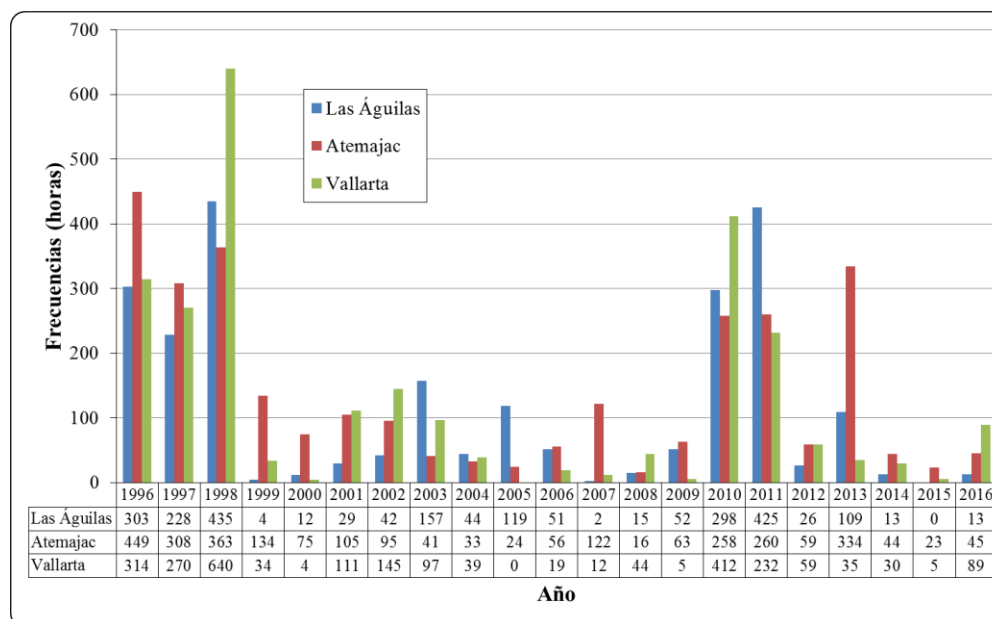


Figura 4.60. Frecuencias horarias interanuales de la época cálida por estación.

Fuente: Elaboración propia con información del SIMAJ.

4.14 Distribución temporal del peligro por concentración horaria de Ozono

Para precisar el lapso diario de concentraciones de Ozono por arriba del valor límite y que se relaciona con el intervalo de mayor peligro para la salud de la población, se realizó un ordenamiento estadístico por estación que consistió en la extracción de las frecuencias horarias para el periodo de 21 años (Figura 4.61). Las frecuencias interhorarias con concentraciones de Ozono elevadas se presentan desde las 11 hasta las 20 hora local, observándose los máximos alrededor de las 15 horas en las tres estaciones (Tabla 4.28).

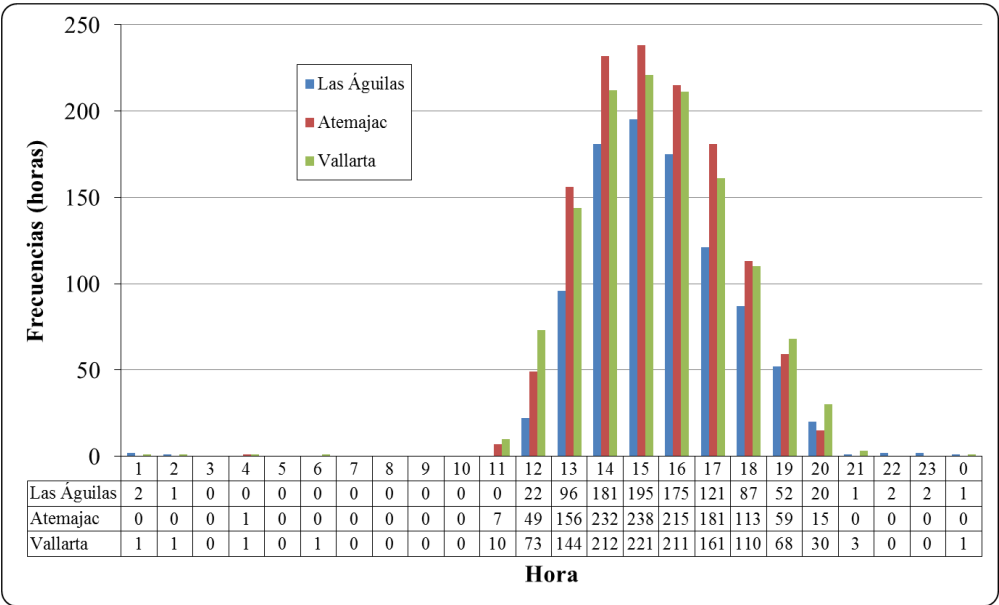


Figura 61. Frecuencias interhorarias de Ozono durante época cálida en el periodo de estudio.
Fuente: Elaboración propia con información del SIMAJ.

Tabla 4.25 Identificación horaria de la intensidad de concentración de Ozono por estación. El rojo intenso: muy fuerte; el rojo: fuerte; el amarillo: moderado. Fuente: Elaboración propia con información del SIMAJ.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0
Las Águilas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.40	0.76	0.82	0.74	0.51	0.37	0.22	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
Atemajac	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.21	0.66	0.97	1.00	0.90	0.76	0.47	0.25	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
Vallarta	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.31	0.61	0.89	0.93	0.89	0.68	0.46	0.29	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00

Una vez identificado el intervalo horario de mayor peligro/vulnerabilidad por concentración de Ozono, se puede establecer una clasificación estadística por semanas; esto a partir de los 86 días que comprenden la época cálida y con el fin complementar toda la información útil como una herramienta de prevención y mitigación de la población ante escenarios críticos en el corto y mediano plazo.

En la tabla 4.29 se realiza una distribución de los días de la época cálida por semanas lo cual posibilita la identificación de tendencias más claras. Se parte de la semana 13 hasta la 25, tomando como referencia un año bisiesto (366 días).

Tabla 4.26 Distribución de los días de la época cálida en semanas. Fuente: Elaboración propia con información del SIMAJ

Semana	Periodo
<13	Marzo/26-Marzo/31
14	Abril/01-Abril/07
15	Abril/08-Abril/14
16	Abril/15-Abril/21
17	Abril/22-Abril/28
18	Abril/29-Mayo/05
19	Mayo/06-Mayo/12
20	Mayo/13-Mayo/19
21	Mayo/20-Mayo/26
22	Mayo/27-Junio/02
23	Junio/03-Junio/09
24	Junio/10-Junio/16
25>	Junio/17-Junio/19

Se identificaron los picos horarios de frecuencias máximas (fuera de norma) en el periodo de 21 años para cada estación (Figura 4.62). El rasgo más notorio de la figura fue que las semanas 20, 21 y 22 (13 de mayo- 02 de junio) corresponden a las de mayor concentración y en consecuencia, las de mayor riesgo para la población.

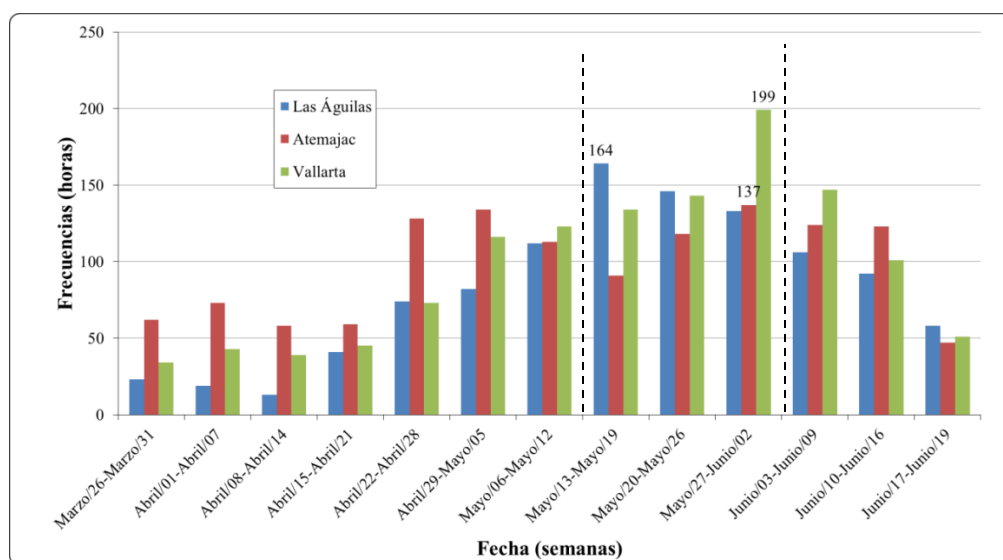


Figura 72. Frecuencias semanales de Ozono durante época cálida el periodo de estudio. El espacio entre líneas punteadas representa las semanas de mayor concentración.

Fuente: Elaboración propia en base a información del SIMAJ.



4.15 Consideraciones previas en la construcción del Índice del Riesgo a la Salud por Ozono

Para estimar la distribución espacial del Índice del Riesgo a la Salud (IRSO), fue necesario el ordenamiento de las variables censales y la aplicación de herramientas de geoproceto pertenecientes a los Sistemas de Información Geográfica. Para lograr esto, se realizó la construcción de capas de información con distintas ponderaciones. Para la obtención del IRSO se llevó a cabo un proceso similar al realizado para la obtención del IRS por ICUS. Así, los grupos fueron:

1. El de *exposición*, compuesto por la variable censal de *población total*;
2. El de *vulnerabilidad*, representado por la *población ≤ 15 años y ≥ 65 años*.
3. El de *peligro*, explicado por la intensidad de concentración de Ozono superior al valor límite de 0.095 ppm.

El alcance por estación de monitoreo tiene un diámetro aproximado de 2000 metros según la ficha técnica del SIMAJ (2017). No obstante, en la presente investigación se trabajó con un *buffer* de 2900 metros para cada una de las tres estaciones y así intersectar con las capas vectoriales de colonias y variables estadísticas del censo antes mencionadas, para finalmente obtener el peligro. Las zonas monitoreadas corresponden a 19.17 km² para *Las Águilas*, 14.03 km² para *Atemajac* y 11.97 km² para *Vallarta* (figura 4.63).

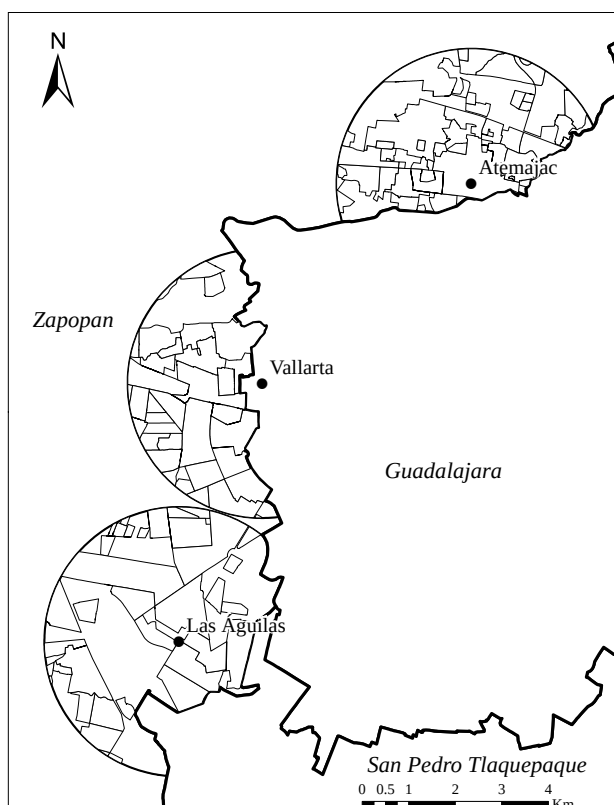


Figura 4.63. Áreas de coberturas para cada estación con sus colonias correspondientes.
Fuente: Elaboración propia con cartografía de colonias del IIEG y variables del censo 2010.

4.16 Capa de exposición

La capa de exposición se compone por la variable censal de *población total*. En ella se muestran las colonias de acuerdo al área de influencia que corresponden. El peso específico de la variable en cuestión radica en que todas las personas sin importar la edad están expuestas a los efectos de las concentraciones elevadas de Ozono. Sin embargo, el impacto más significativo lo viven aquellas que se encuentran realizando actividades al aire libre en horas de la tarde (Actividades recreativas en escuelas), personas que trabajan en la calle, choferes, vendedores ambulantes, deportistas, entre otras.



4.16.1 Grupo de población total

En relación al área de influencia integrada en el presente estudio, la variable censal de *Población total* quedó constituida por 35 colonias en *Las Águilas*, 42 en *Atemajac* y 29 en *Vallarta* (tabla 4.30).

Tabla 4.27 *Población total* por colonia (exposición). Área de influencia por estación. Fuente: Elaboración propia con información censal 2010 del Instituto de Información Estadística y Geográfica (IIEG).

Las Águilas			Atemajac			Vallarta		
No.	Colonia	Pob total	No.	Colonia	Pob total	No.	Colonia	Pob total
117	EL ZAPOTE	1828	26	VICTOR HUGO	3367	116	PRADOS TEPEYAC	24
119	PLAZA DEL SOL	13	28	HOGARES DEL BATAN	2038	120	RINCONADA DEL SOL	28
125	PINAR DE LA CALMA	6287	33	LOMAS DE ATEMAJAC	4065	623	LOMA REAL	60
127	LOMA BONITA SUR	1500	37	CONJUNTO HAB PATRIA	1362	625	LOS PINOS	77
128	LOMA BONITA	1081	38	ATEMAJAC DEL VALLE	10853	628	SAN WENCESLAO	101
129	LOMA BONITA EJIDAL	10505	40	LOMAS DEL BATAN	5250	638	CAMINO REAL	114
131	COLINAS DE LAS AGUILAS	2665	47	LA PALMITA	3287	640	JARDINES UNIVERSIDAD	126
134	LA GIRALDA	1795	54	VENUSTIANO CARRANZA	3052	674	EUCALIPTO VALLARTA	129
137	LOS PERIODISTAS	380	57	LA HUERTA	601	675	JARDINES DE LA PATRIA	131
139	NUOVA PRIMAVERA	2382	58	SANTA PAULA	1847	679	LOMAS DEL VALLE	144
148	VILLA PUERTA DEL SOL	554	62	ZOQUIPAN PRIMERA SECCION	2674	729	JARDINES DE SAN IGNACIO	151
162	AGRICOLA	3256	63	SEATTLE	1617	742	PRADOS VALLARTA	154
163	PASEOS DEL BRISEÑO	2925	67	EL CAPULLO	915	743	VALLARTA LA PATRIA	156
165	MIGUEL DE LA MADRID	2238	71	ECOLOGICA SEATTLE	857	755	JARDINES DE GUADALUPE	184
166	FRANCISCO SARABIA	3114	72	CONSTITUYENTES DE 1917	2149	780	TEPEYAC CASINO	190
196	VILLAS PERISUR	1017	73	JARDINES DE LA SEATTLE	454	783	PRADOS GUADALUPE	192
223	JARDINES DEL IXTEPETE	1345	74	G.V.S.A.	616	784	LOMAS DEL SEMINARIO	198
648	MIRADOR DEL SOL	3383	79	LA AURORA	1123	680	JUAN MANUEL VALLARTA	261
650	SANTA CATALINA	1036	111	TEPEYAC	2960	110	DON BOSCO VALLARTA	267
660	VILLAS DEL TEPEYAC	1113	112	LOS MAESTROS	1689	751	REAL VALLARTA	272
664	ARBOLEDAS	2896	4993	DIVISION DEL NORTE	1579	750	CIUDAD DE LOS NIÑOS	282
688	VILLAS DEL IXTEPETE	1455	4997	BOSQUE ESCONDIDO	1229	641	LA PATRIA UNIVERSIDAD	364
778	LA CALMA	8606	56	VEINTISIETE DE SEPTIEMBRE	1730	626	SANTA ISABEL	364
779	LAS AGUILAS	10153	770	JACARANDAS	630	639	LOMAS DE GUADALUPE	377
161	AGUA BLANCA HAB	1872	27	EL BATAN	4591	726	VALLARTA UNIVERSIDAD	396
747	CIUDAD DEL SOL	3888	5054	JARDINES DEL AUDITORIO	4603	684	LOMAS ALTAS	475
666	PASEOS DEL SOL 1A SEC	15869	4990	VILLAS DEL MARQUES	3169	721	JARDINES VALLARTA	501
118	JARDINES DEL SOL	4046	4981	JARDINES DE LOS BELENES	4419	748	CHAPALITA SUR	603
142	LAS ALAMEDAS	1789	5043	LA EXPERIENCIA	1424	756	LA ESTANCIA	684
3264	PRIMAVERA NORTE	801	5044	INDIGENA DE MEZQUITAN 1A SEC	6767			
155	LA FLORIDA	2229	5045	BENITO JUAREZ	7498			
164	EL BRISEÑO	8817	4994	ARROYO HONDO PONIENTE	7301			
177	MARIANO OTERO SUR	8789	4984	ARROYO HONDO 2A SECCION	2448			
229	MIRAMAR	28035	4995	BALCONES DE LA CANTERA	8751			
668	COLLI URBANO	11934	4996	COLINAS DE TABACHINES	1256			
			5047	NUOVA ESPAÑA	2372			
			5000	JARDINES DE LA ESPERANZA	1397			
			5006	TABACHINES	14959			
			30	VILLAS ALCALDE	517			
			51	LAGOS DEL COUNTRY	3576			
			80	CONSTITUCION	27515			
			48	COLINAS DE ATEMAJAC	3407			

De igual manera, en las figuras 4.64, 4.66 y 4.68 se observa gráficamente su población por colonia, mientras que en las figuras 4.65, 4.67 y 4.69 se muestra de forma espacial la intensidad de la exposición en tres categorías; esto de acuerdo a la clasificación de *quiebres naturales*, los cuales corresponden a los intervalos de *moderada* (0-6287), *alta* (6288-15869) y *muy alta* (15870-28035). Para la estación *Las Águilas* sobresalen colonias como Miramar, Paseos del Sol 1ª sección, Colli Urbano, Loma Bonita Ejidal y Las Águilas, con la mayor cantidad de población expuesta.

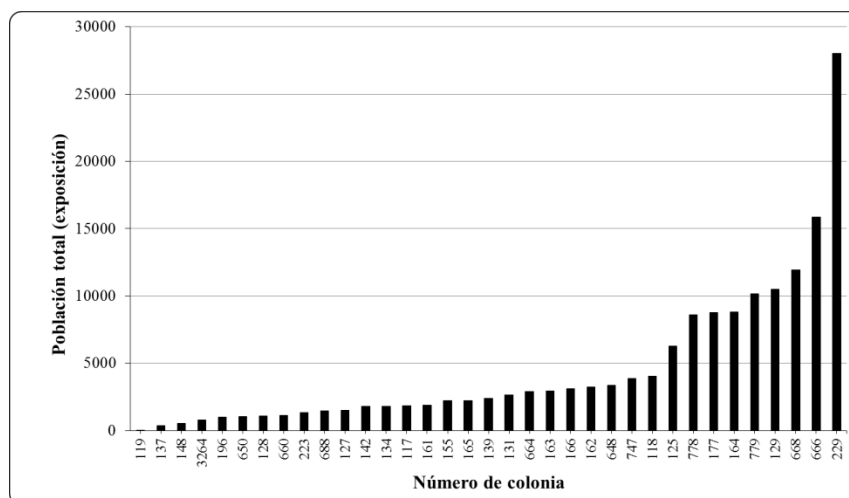


Figura 4.64. Población total (exposición) para las colonias pertenecientes a la estación Las Águilas.

Fuente: Elaboración propia con variables del censo 2010 del IIEG

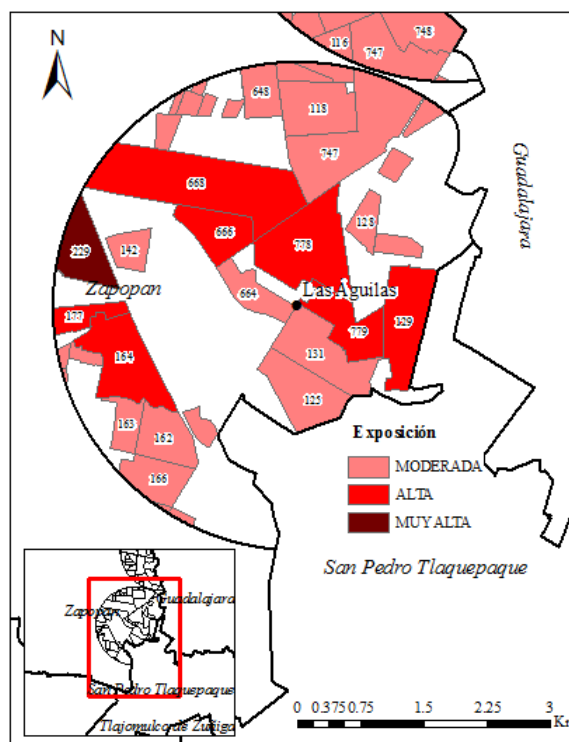


Figura 4.65. Distribución de la exposición para la estación Las Águilas.

Fuente: Elaboración propia con cartografía de colonias del IIEG y variables del censo 2010.

Por su parte, en la distribución por colonia de la estación *Atemajac*, destacan Constitución, Tabachines, Atemajac del Valle, Balcones de la Cantera y Benito Juárez. En

contraste, las colonias Jardines de la Seattle, Villas Alcalde, La Huerta, G.V.S.A. y Jacarandas, se relacionan con la menor cantidad de población expuesta.

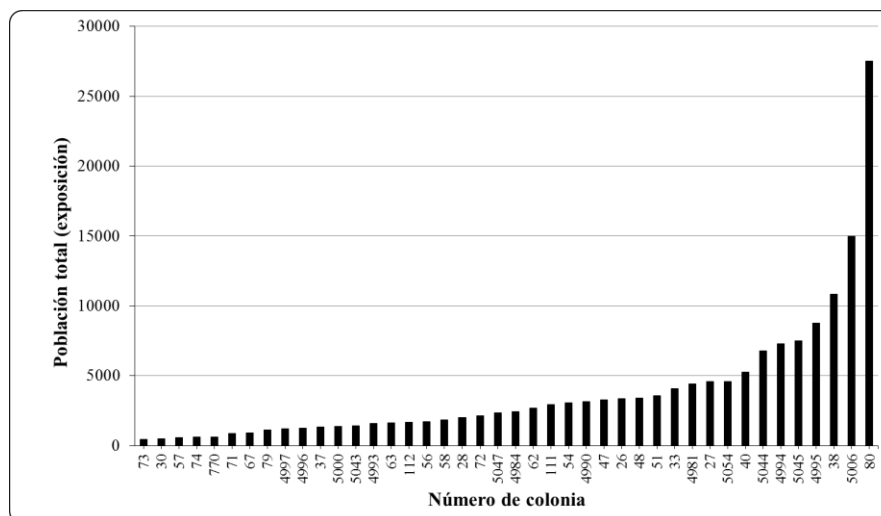


Figura 4.66. Población total (exposición) para las colonias pertenecientes a la estación Atemajac.

Fuente: Elaboración propia con variables del censo 2010 del IIEG

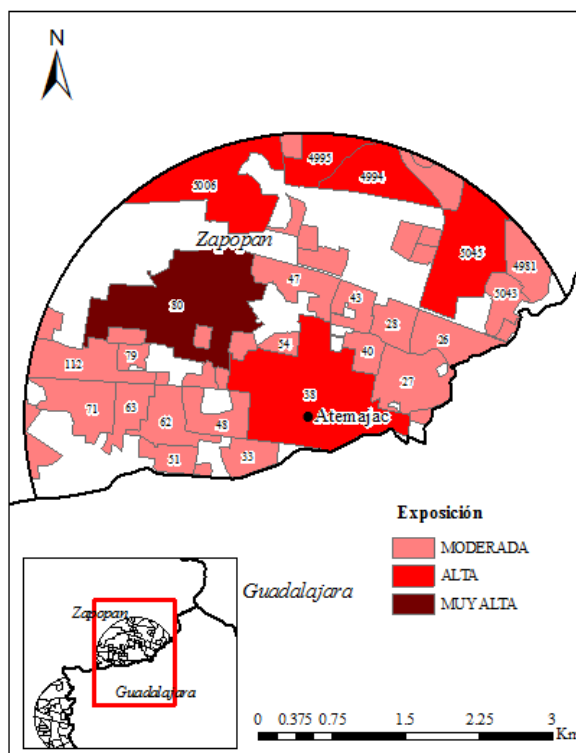


Figura 4.67. Distribución de la exposición para la estación Atemajac.

Fuente: Elaboración propia con cartografía de colonias del IIEG y variables del censo 2010.



En este orden, para la estación *Vallarta* destacan en cuanto a población expuesta, las colonias La Estancia, Jardines de Guadalupe, Camino Real, Lomas Altas y Jardines Universidad. En contraste, con la menor exposición se localizan las colonias Rinconada del Sol, Don Bosco Vallarta, Puerta del Bosque, Lomas de Guadalupe y Santa Isabel. Cabe señalar la estación *Vallarta* el rango de datos de población es menor que en *Las Águilas* y *Atemajac*; además, corresponde a menor cantidad de colonias con menor población expuesta y un efecto en el comportamiento de la intensidad del IRSO.

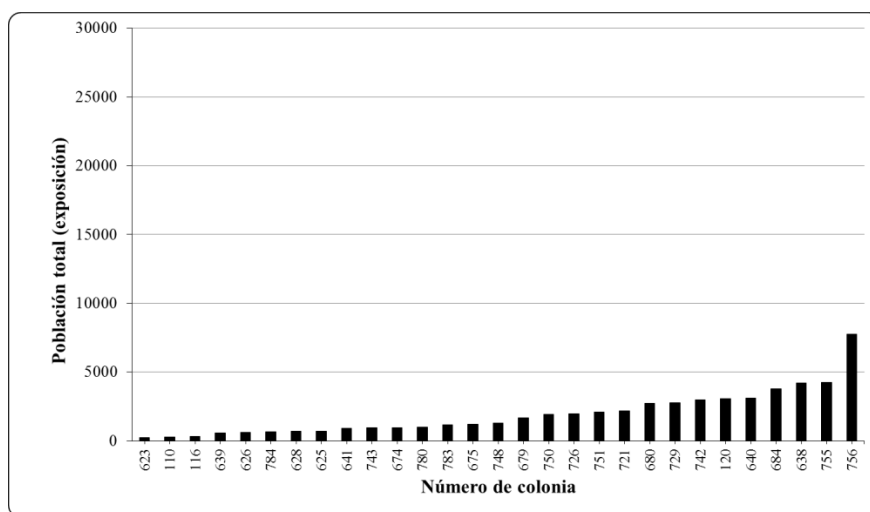


Figura 4.68. Población total (exposición) para las colonias pertenecientes a la estación *Vallarta*.

Fuente: Elaboración propia con variables del censo de 2010 del IIEG.

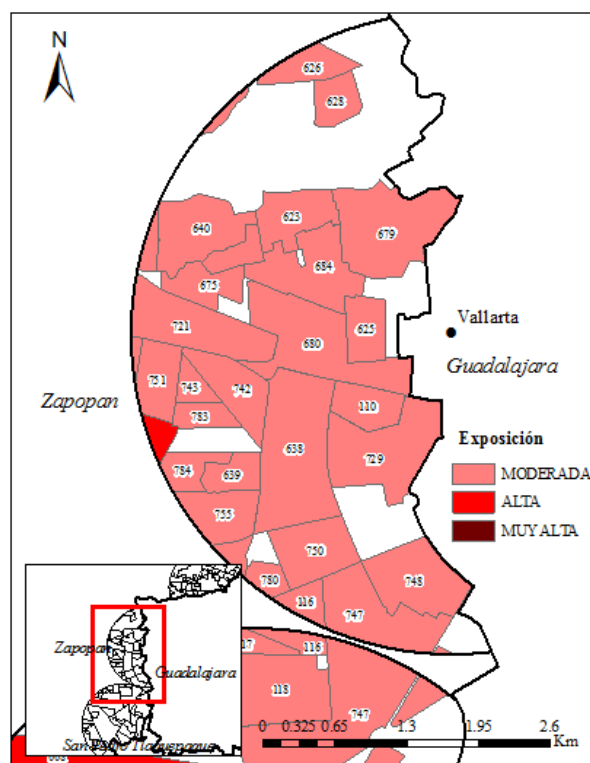


Figura 4.69. Distribución de la exposición para la estación Vallarta.
Fuente: Elaboración propia con cartografía de colonias del IIEG y variables del censo 2010.

4.17 Capa de vulnerabilidad

Se considera en ésta investigación como personas vulnerables al contaminante Ozono, a todas aquellas que pueden ser afectadas en su salud y sufrir alteraciones o daños a su organismo por concentraciones mayores al valor límite. Está documentado que los niños y las personas de la tercera edad son los grupos que presentan mayor vulnerabilidad por Ozono (DOF, 2014).

4.17.1 Grupo de población menor a 14 años

Para la estación *Las Águilas*, en el análisis de esta variable, las colonias de Miramar, Colli Urbano, Paseos del Sol 1ª sección, Loma Bonita Ejidal y El Briseño, registraron la mayor cantidad de infantes. A su vez, en la estación *Atemajac* sobresalen las colonias Constitución, Tabachines, Balcones de la Cantera, Atemajac del Valle e Indígena de Mezquitán 1ª sección. Por su parte, para la estación *Vallarta* se localizaron en las colonias



La Estancia, Jardines de Guadalupe, Camino Real, Lomas Altas y Jardines Universidad (tabla 4.31).

Tabla 4.28 Población menor a 14 años a nivel de colonia (vulnerabilidad). Área de influencia por estación.
Fuente: Elaboración propia con variables del censo 2010 del IIEG.

Las Águilas			Atemajac			Vallarta		
No.	Colonia	Pob < 14 años	No.	Colonia	Pob < 14 años	No.	Colonia	Pob < 14 años
117	EL ZAPOTE	380	26	VICTOR HUGO	872	109	PUERTA DEL BOSQUE	68
118	JARDINES DEL SOL	533	28	HOGARES DEL BATAN	552	116	PRADOS TEPEYAC	426
119	PLAZA DEL SOL	3	33	LOMAS DE ATEMAJAC	708	120	RINCONADA DEL SOL	31
125	PINAR DE LA CALMA	957	37	CONJUNTO HABITACIONAL PATRI/	205	625	LOS PINOS	148
127	LOMA BONITA SUR	253	38	ATEMAJAC DEL VALLE	2602	628	SAN WENCESLAO	127
128	LOMA BONITA	169	40	LOMAS DEL BATAN	1391	638	CAMINO REAL	547
129	LOMA BONITA EJIDAL	2530	47	LA PALMITA	938	640	JARDINES UNIVERSIDAD	383
131	COLINAS DE LAS AGUILAS	481	54	VENUSTIANO CARRANZA	775	674	EUCALIPTO VALLARTA	150
134	LA GIRALDA	625	57	LA HUERTA	108	675	JARDINES DE LA PATRIA	205
137	LOS PERIODISTAS	108	58	SANTA PAULA	469	679	LOMAS DEL VALLE	294
139	NUEVA PRIMAVERA	485	62	ZOQUIPAN PRIMERA SECCION	649	729	JARDINES DE SAN IGNACIO	303
142	LAS ALAMEDAS	409	63	SEATTLE	355	742	PRADOS VALLARTA	384
148	VILLA PUERTA DEL SOL	90	67	EL CAPULLO	189	743	VALLARTA LA PATRIA	133
155	LA FLORIDA	761	71	ECOLOGICA SEATTLE	148	755	JARDINES DE GUADALUPE	600
161	AGUA BLANCA HABITACIOI	494	72	CONSTITUYENTES DE 1917	519	780	TEPEYAC CASINO	173
162	AGRICOLA	901	73	JARDINES DE LA SEATTLE	101	783	PRADOS GUADALUPE	143
163	PASEOS DEL BRISEÑO	845	74	G.V.S.A.	135	784	LOMAS DEL SEMINARIO	131
164	EL BRISEÑO	2501	79	LA AURORA	233	680	JUAN MANUEL VALLARTA	500
165	MIGUEL DE LA MADRID	622	111	TEPEYAC	650	110	DON BOSCO VALLARTA	32
166	FRANCISCO SARABIA	908	112	LOS MAESTROS	335	751	REAL VALLARTA	239
177	MARIANO OTERO SUR	2471	4993	DIVISION DEL NORTE	408	750	CIUDAD DE LOS NIÑOS	278
196	VILLAS PERISUR	303	4997	BOSQUE ESCONDIDO	382	641	LA PATRIA UNIVERSIDAD	137
223	JARDINES DEL IXTEPETE	384	56	VEINTISIETE DE SEPTIEMBRE	469	626	SANTA ISABEL	77
229	MIRAMAR	8320	770	JACARANDAS	93	639	LOMAS DE GUADALUPE	97
648	MIRADOR DEL SOL	495	27	EL BATAN	1171	726	VALLARTA UNIVERSIDAD	245
650	SANTA CATALINA	231	5054	JARDINES DEL AUDITORIO	1132	684	LOMAS ALTAS	693
660	VILLAS DEL TEPEYAC	191	4990	VILLAS DEL MARQUES	740	721	JARDINES VALLARTA	284
664	ARBOLEDAS	653	4981	JARDINES DE LOS BELENES	1266	748	CHAPALITA SUR	219
666	PASEOS DEL SOL PRIMERA :	2604	5043	LA EXPERIENCIA	282	756	LA ESTANCIA	1034
668	COLLI URBANO	2793	5044	INDIGENA DE MEZQUITAN PRIMER	2201			
688	VILLAS DEL IXTEPETE	457	5045	BENITO JUAREZ	2039			
747	CIUDAD DEL SOL	414	4994	ARROYO HONDO PONIENTE	2147			
778	LA CALMA	1125	4984	ARROYO HONDO SEGUNDA SECCIC	757			
779	LAS AGUILAS	1601	4995	BALCONES DE LA CANTERA	2702			
3264	PRIMAVERA NORTE	159	4996	COLINAS DE TABACHINES	369			
			5047	NUEVA ESPAÑA	784			
			5000	JARDINES DE LA ESPERANZA	376			
			5006	TABACHINES	3294			
			30	VILLAS ALCALDE	115			
			51	LAGOS DEL COUNTRY	519			
			80	CONSTITUCION	7224			
			48	COLINAS DE ATEMAJAC	644			

Similarmente, en las figuras 4.70, 4.72 y 4.74 se observa gráficamente la población de infantes (<14 años) por colonia, mientras que en las figuras 4.71, 4.73 y 4.75 se muestra de forma espacial de la vulnerabilidad en sus tres categorías de *moderada* (0 - 0.33), *alta* (0.33 - 0.66) y *muy alta* (0.66 - 1).

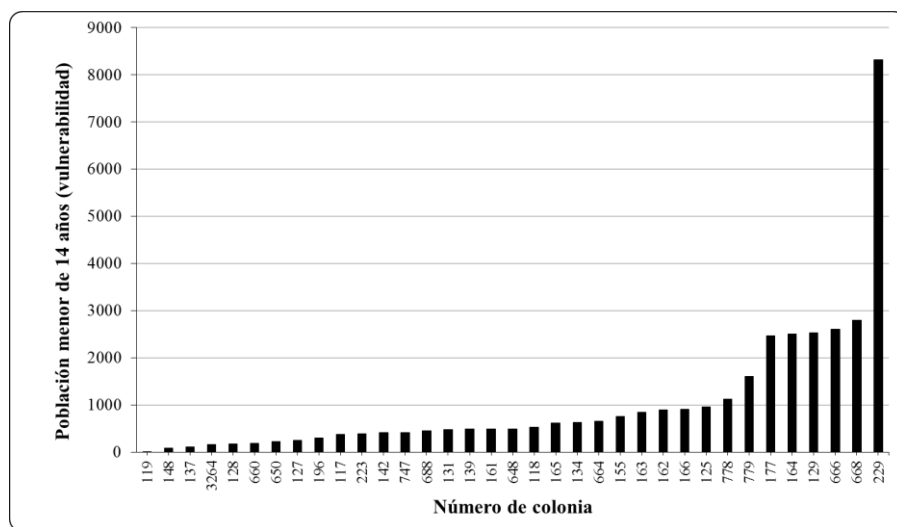


Figura 4.70. Población menor de 14 años para las colonias pertenecientes a la estación Las Águilas.
Fuente: Elaboración propia en base al censo 2010 del IIEG.

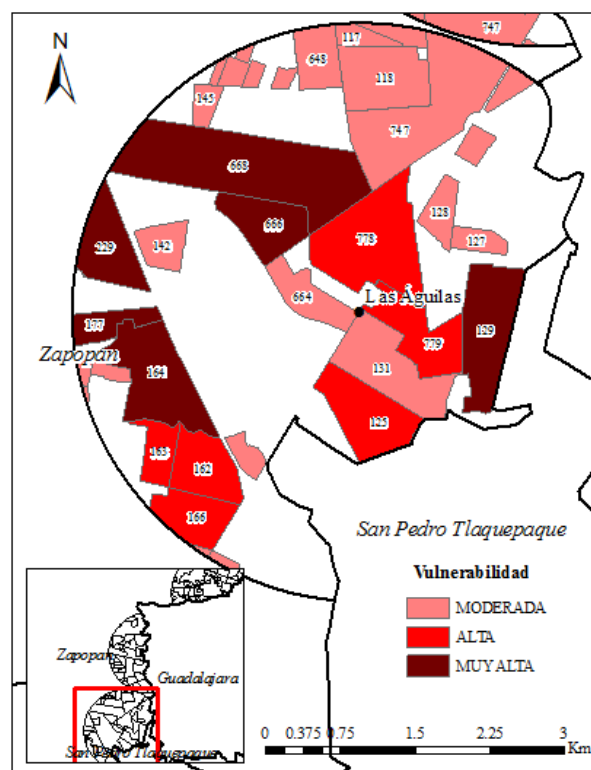


Figura 4.71. Distribución de la vulnerabilidad (población <14 años) para la estación Las Águilas.
Fuente: Elaboración propia con cartografía de colonias del IIEG y a variables del censo 2010.

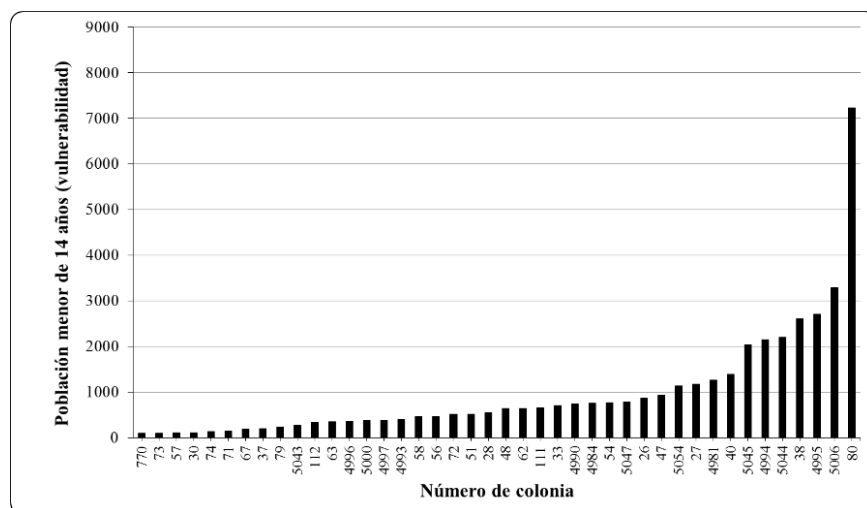


Figura 4.72. Población menor de 14 años para las colonias pertenecientes a la estación Atemajac.

Fuente: Elaboración propia en base al censo de 2010 del IIEG.

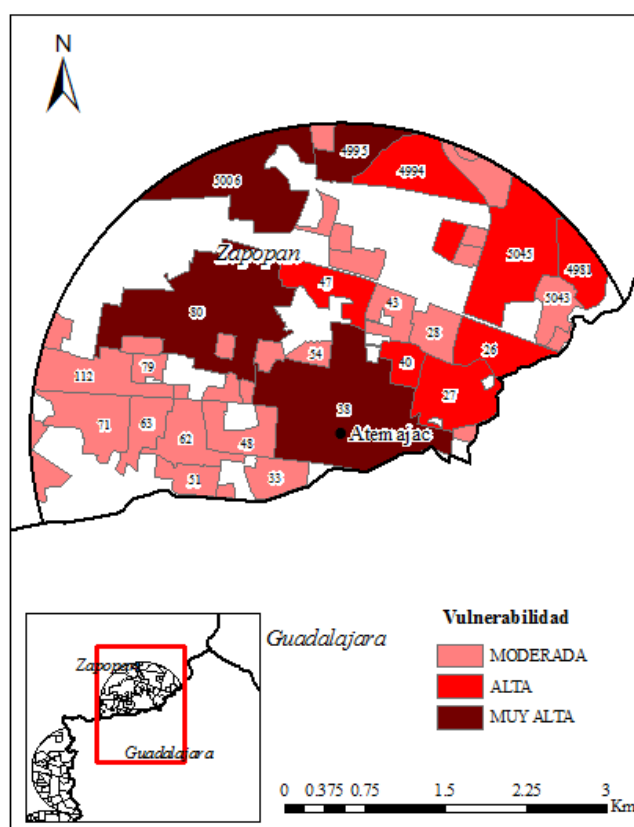


Figura 4.73. Distribución de la vulnerabilidad (población <14 años) para la estación Atemajac.

Fuente: Elaboración propia con cartografía de colonias del IIEG y variables del censo 2010.

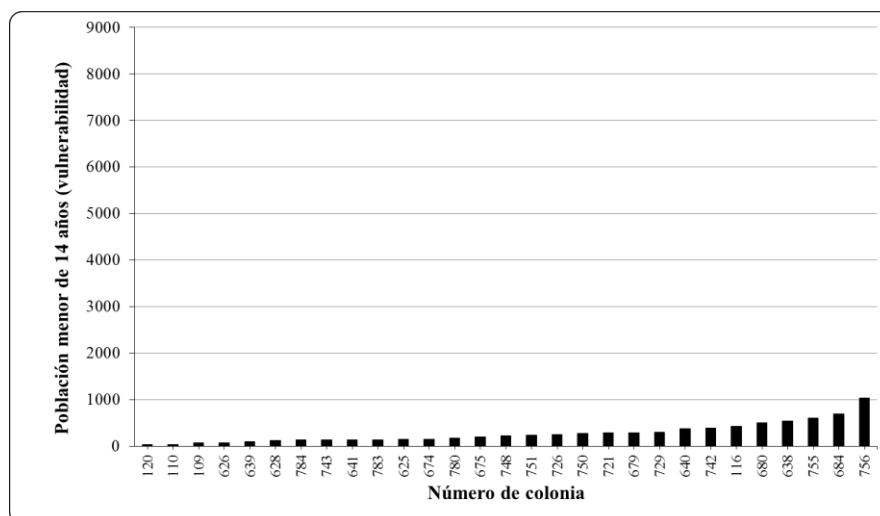


Figura 4.74. Población menor de 14 años para las colonias pertenecientes a la estación Vallarta.
Fuente: Elaboración propia en base al censo de 2010 del IIEG.

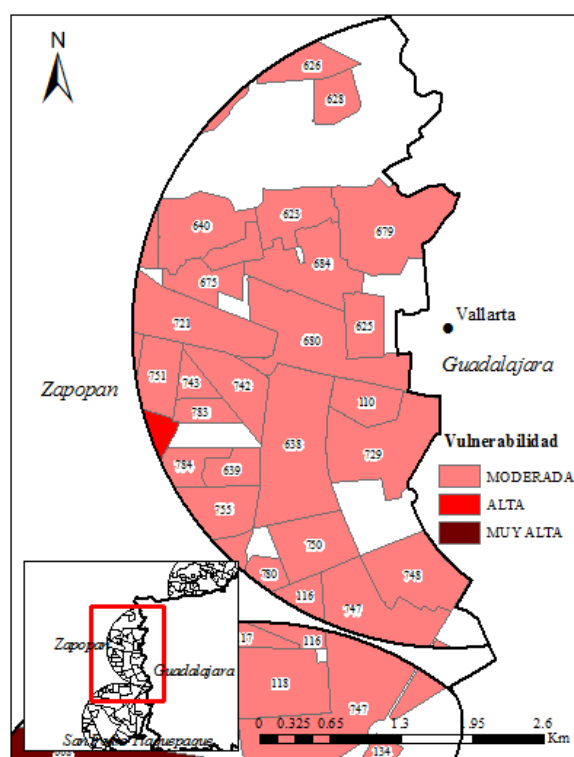


Figura 4.75. Distribución de la vulnerabilidad (población <14 años) para la estación Vallarta.
Fuente: Elaboración propia con cartografía de colonias del IIEG y variables del censo 2010.

4.17.2 Grupo de población de 65 años y más

El análisis para la estación Las Águilas arrojó que las colonias Francisco Sarabia, Las Águilas, Agrícola, Paseos del Sol 1ª sección y Mirador del Sol, son las que tienen la mayor



población asociada a la tercera edad (tabla 4.32, figura 4.76). Sobresale la existencia de una relación alrededor de 3.5 veces en que los niños superan a los adultos mayores. En este orden, en la estación *Atemajac* se reportó que las colonias Santa Paula, Lomas de Atemajac, Colinas de Tabachines, Atemajac del Valle e Índigena de Mezquitán 1ª sección, presentaron la población más significativa en este estrato (figura 4.78), donde los niños superan 4.5 veces al grupo de la tercera edad. A su vez, en la estación *Vallarta* sobresalen las colonias Prados Vallarta, Puerta del Bosque, Camino Real, Eucalipto Vallarta y La Patria Universidad (figura 4.80), con una relación de 11 veces más de niños sobre los adultos mayores.

En lo que se refiere a su distribución espacial, las figuras 4.77, 4.79 y 4.81 muestran la vulnerabilidad de este grupo en sus tres categorías de *moderada* (0 - 0.33), *alta* (0.33 - 0.66) y *muy alta* (0.66 - 1).

Tabla 4.29 Población de 65 años y más a nivel de colonia (vulnerabilidad). Área de influencia por estación.

Fuente: Elaboración propia con variables del censo 2010 del IIEG.

Las Águilas			Atemajac			Vallarta		
No.	Colonia	Pob 65 años y más	No.	Colonia	Pob 65 años y más	No.	Colonia	Pob 65 años y más
117	EL ZAPOTE	160	26	VICTOR HUGO	200	109	PUERTA DEL BOSQUE	3
119	PLAZA DEL SOL	0	28	HOGARES DEL BATAN	71	116	PRADOS TEPEYAC	234
125	PINAR DE LA CALMA	531	33	LOMAS DE ATEMAJAC	266	120	RINCONADA DEL SOL	41
127	LOMA BONITA SUR	96	37	CONJUNTO HABITACIONAL PATRI	169	625	LOS PINOS	46
128	LOMA BONITA	55	38	ATEMAJAC DEL VALLE	913	628	SAN WENCESLAO	38
129	LOMA BONITA EJIDAL	710	40	LOMAS DEL BATAN	385	638	CAMINO REAL	446
131	COLINAS DE LAS AGUILAS	268	47	LA PALMITA	163	640	JARDINES UNIVERSIDAD	244
134	LA GIRALDA	82	54	VENUSTIANO CARRANZA	158	674	EUCALIPTO VALLARTA	78
137	LOS PERIODISTAS	21	57	LA HUERTA	44	675	JARDINES DE LA PATRIA	73
139	NUEVA PRIMAVERA	94	58	SANTA PAULA	156	679	LOMAS DEL VALLE	147
148	VILLA PUERTA DEL SOL	31	62	ZOQUIPAN PRIMERA SECCION	175	729	JARDINES DE SAN IGNACIO	436
162	AGRICOLA	136	63	SEATTLE	222	742	PRADOS VALLARTA	431
163	PASEOS DEL BRISEÑO	111	67	EL CAPULLO	80	743	VALLARTA LA PATRIA	79
165	MIGUEL DE LA MADRID	104	71	ECOLOGICA SEATTLE	89	755	JARDINES DE GUADALUPE	440
166	FRANCISCO SARABIA	179	72	CONSTITUYENTES DE 1917	189	780	TEPEYAC CASINO	56
196	VILLAS PERISUR	7	73	JARDINES DE LA SEATTLE	37	783	PRADOS GUADALUPE	98
223	JARDINES DEL IXTEPETE	42	74	G.V.S.A.	43	784	LOMAS DEL SEMINARIO	31
648	MIRADOR DEL SOL	241	79	LA AURORA	67	680	JUAN MANUEL VALLARTA	210
650	SANTA CATALINA	28	111	TEPEYAC	313	110	DON BOSCO VALLARTA	32
660	VILLAS DEL TEPEYAC	18	112	LOS MAESTROS	144	751	REAL VALLARTA	144
664	ARBOLEDAS	394	4993	DIVISION DEL NORTE	99	750	CIUDAD DE LOS NIÑOS	177
688	VILLAS DEL IXTEPETE	20	4997	BOSQUE ESCONDIDO	31	641	LA PATRIA UNIVERSIDAD	50
778	LA CALMA	896	56	VEINTISIETE DE SEPTIEMBRE	139	626	SANTA ISABEL	44
779	LAS AGUILAS	1096	770	JACARANDAS	72	639	LOMAS DE GUADALUPE	28
161	AGUA BLANCA HABITACIOI	90	27	EL BATAN	344	726	VALLARTA UNIVERSIDAD	168
747	CIUDAD DEL SOL	569	5054	JARDINES DEL AUDITORIO	109	684	LOMAS ALTAS	301
666	PASEOS DEL SOL PRIMERA !	862	4990	VILLAS DEL MARQUES	150	721	JARDINES VALLARTA	169
118	JARDINES DEL SOL	486	4981	JARDINES DE LOS BELENES	225	748	CHAPALITA SUR	66
142	LAS ALAMEDAS	44	5043	LA EXPERIENCIA	167	756	LA ESTANCIA	601
3264	PRIMAVERA NORTE	17	5044	INDIGENA DE MEZQUITAN PRIMER	279			
155	LA FLORIDA	51	5045	BENITO JUAREZ	450			
164	EL BRISEÑO	422	4994	ARROYO HONDO PONIENTE	297			
177	MARIANO OTERO SUR	265	4984	ARROYO HONDO SEGUNDA SECCIC	111			
229	MIRAMAR	911	4995	BALCONES DE LA CANTERA	337			
668	COLLI URBANO	541	4996	COLINAS DE TABACHINES	57			
			5047	NUEVA ESPAÑA	61			
			5000	JARDINES DE LA ESPERANZA	15			
			5006	TABACHINES	792			
			30	VILLAS ALCALDE	15			
			51	LAGOS DEL COUNTRY	301			
			80	CONSTITUCION	2179			
			48	COLINAS DE ATEMAJAC	229			

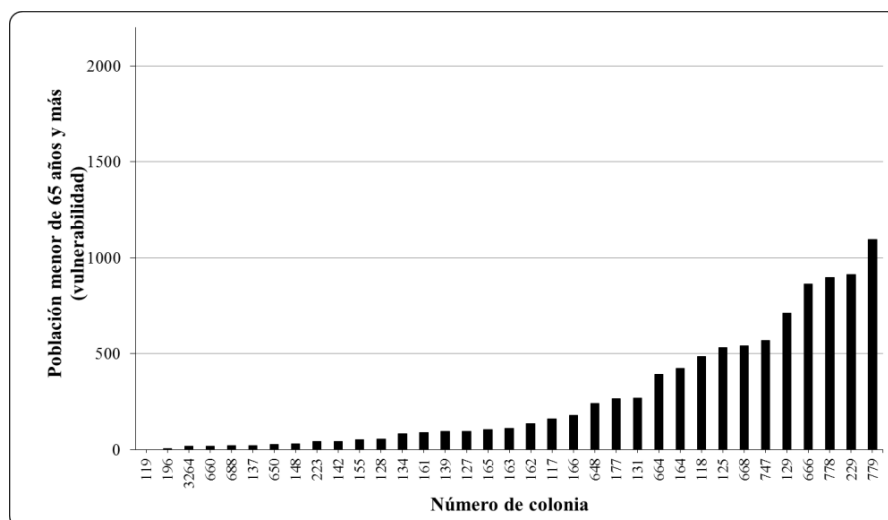


Figura 4.76. Población de 65 años y más para las colonias pertenecientes a la estación *Las Águilas*.
Fuente: Elaboración propia en base al censo de 2010 del IIEG.

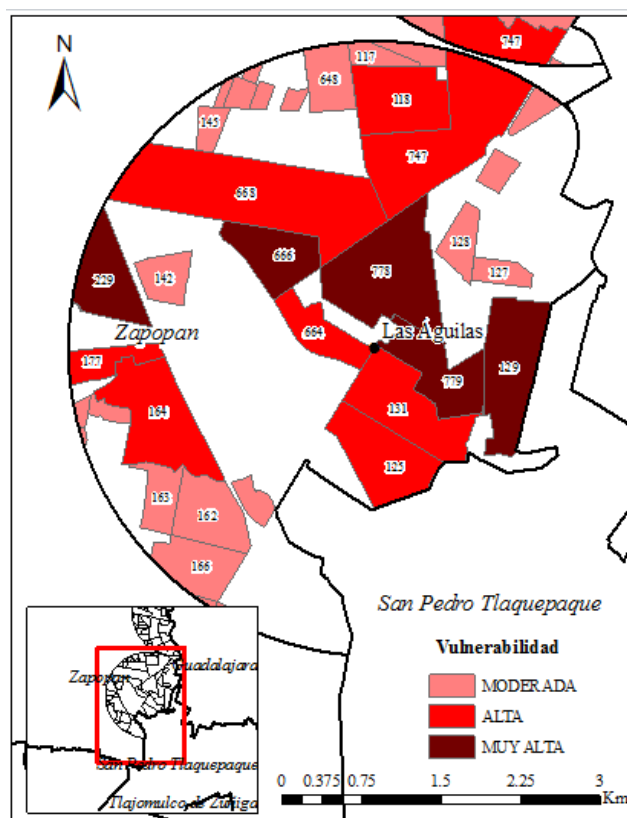


Figura 8. Distribución de la vulnerabilidad (población >65 años) para la estación *Las Águilas*.
Fuente: Elaboración propia con cartografía de colonias del IIEG y variables del censo 2010.

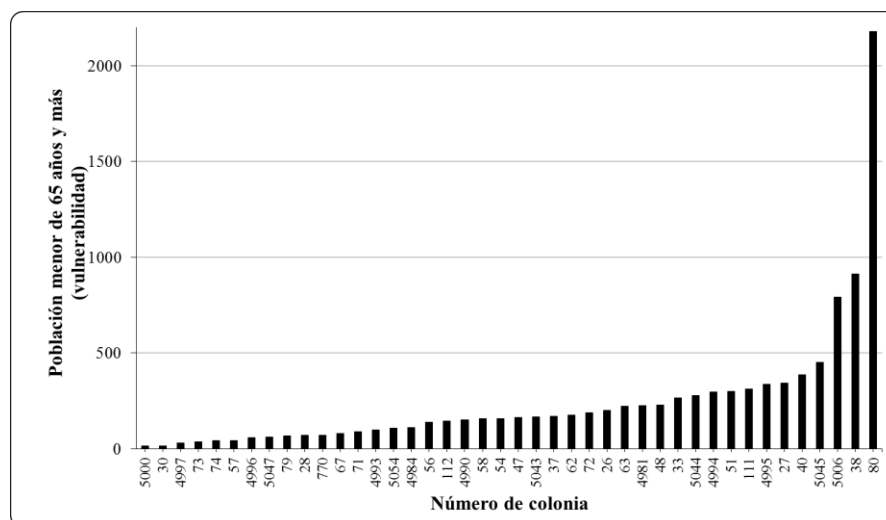


Figura 4.78. Población de 65 años y más para las colonias pertenecientes a la estación Atemajac.
Fuente: Elaboración propia en base al censo de 2010 del IIEG.

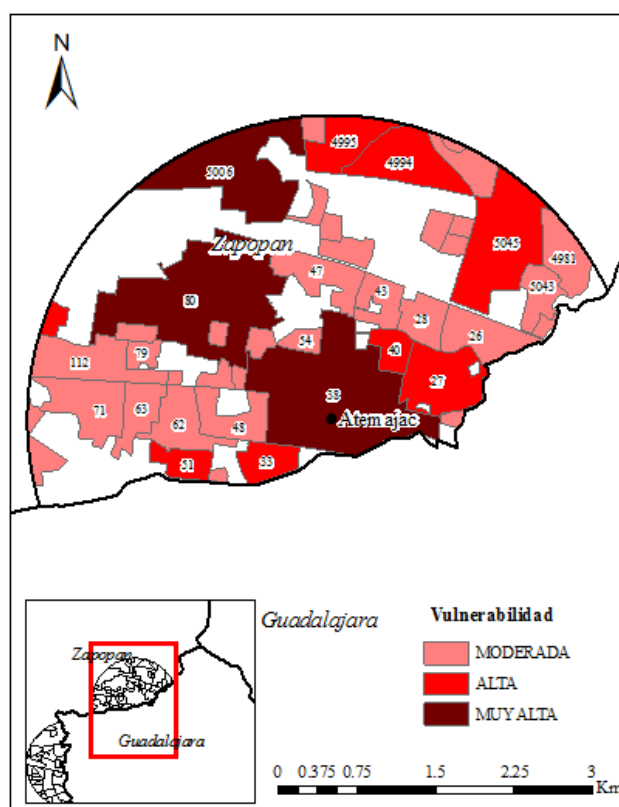


Figura 4.79. Distribución de la vulnerabilidad (población >65 años) para la estación Atemajac.
Fuente: Elaboración propia con cartografía de colonias del IIEG y variables del censo 2010.

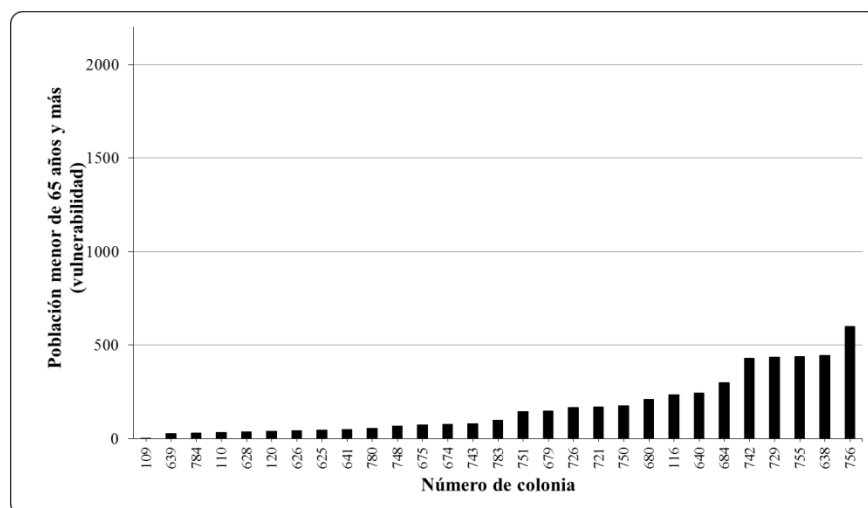


Figura 4.80. Población de 65 años y más para las colonias pertenecientes a la estación Vallarta.

Fuente: Elaboración propia en base al censo de 2010 del IIEG.

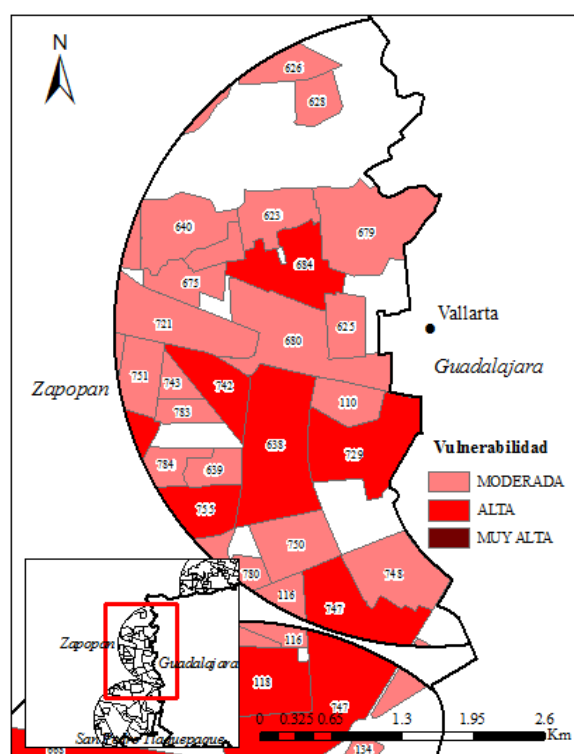


Figura 9. Distribución de la vulnerabilidad (población >65 años) para la estación Vallarta.

Fuente: Elaboración propia con cartografía de colonias del IIEG y variables del censo 2010.



4.18 Construcción del Índice de Riesgo a la Salud por Ozono

Para la obtención del Índice de Riesgo a la Salud por Ozono (IRSO) se utilizó una ecuación que incorpora una descripción de operaciones, componentes y ponderaciones indicadas para las variables censales que constituyen los grupos. Esto es,

$$IRSO = Exposición (25\%) + Vulnerabilidad (25\%) + Peligro (50\%) \quad (5)$$

Dónde:

IRSO = Índice de Riesgo a la Salud por Ozono

Exposición = población total (25%)

Vulnerabilidad = población <14 años (12.5%) + población ≥ 65 años (12.5%)

Peligro = intensidad de la concentración horaria de Ozono (50%)

Si se mantienen fijos los grupos tanto de *exposición* como *vulnerabilidad* y variando la componente del *peligro* por hora, se obtienen “ocho momentos horarios sobresalientes”. En la figura 4.82 se distingue el lapso de las 15 horas en el cual el IRSO es máximo, siendo las colonias Constitución y Miramar (al norte y al sur del municipio respectivamente) las únicas que presentan la intensidad de *muy fuerte* y con ello el mayor riesgo. En este orden, la colonia Tabachines evidenció un índice de intensidad *bajo*. El resto de las colonias reportaron intensidad de *muy bajo*.

Asimismo, se realizaron ocho mapas horarios, los cuales muestran el IRSO desde las 11 hasta las 18 horas (figura 4.83), debido a que dentro de este periodo las concentraciones de Ozono alcanzan sus niveles máximos, siendo más significativos alrededor de las 15 horas (figura 4.61). Cabe recordar que esto ocurrió en el intervalo del 13 de mayo al 2 de junio, correspondiendo a las semanas 20, 21 y 22 (figura 4.62). En base a esto, es más específica la distribución temporal dentro de la época cálida. A las 11 horas todas las colonias presentaron intensidad *muy bajo*; mientras que, entre las 14 y 16 horas, la colonia Constitución alcanzó la intensidad de *muy alto* y Miramar a las 15 horas. Por su parte, Tabachines llegó a un índice *bajo*. Para las 20 horas todas las colonias se ubicaron con un índice *muy bajo*.

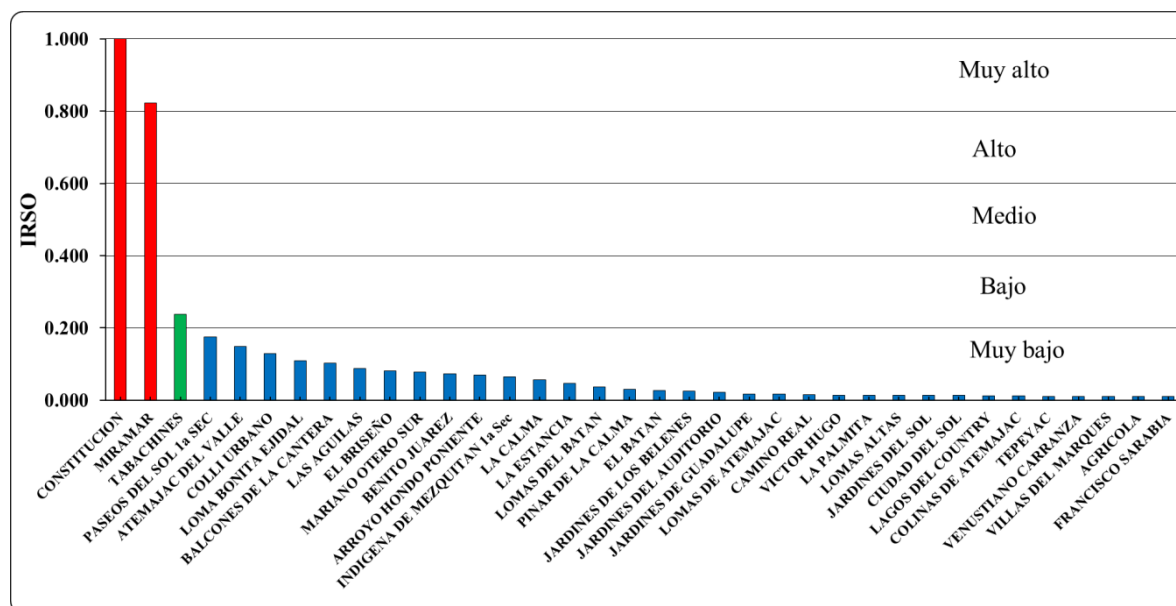
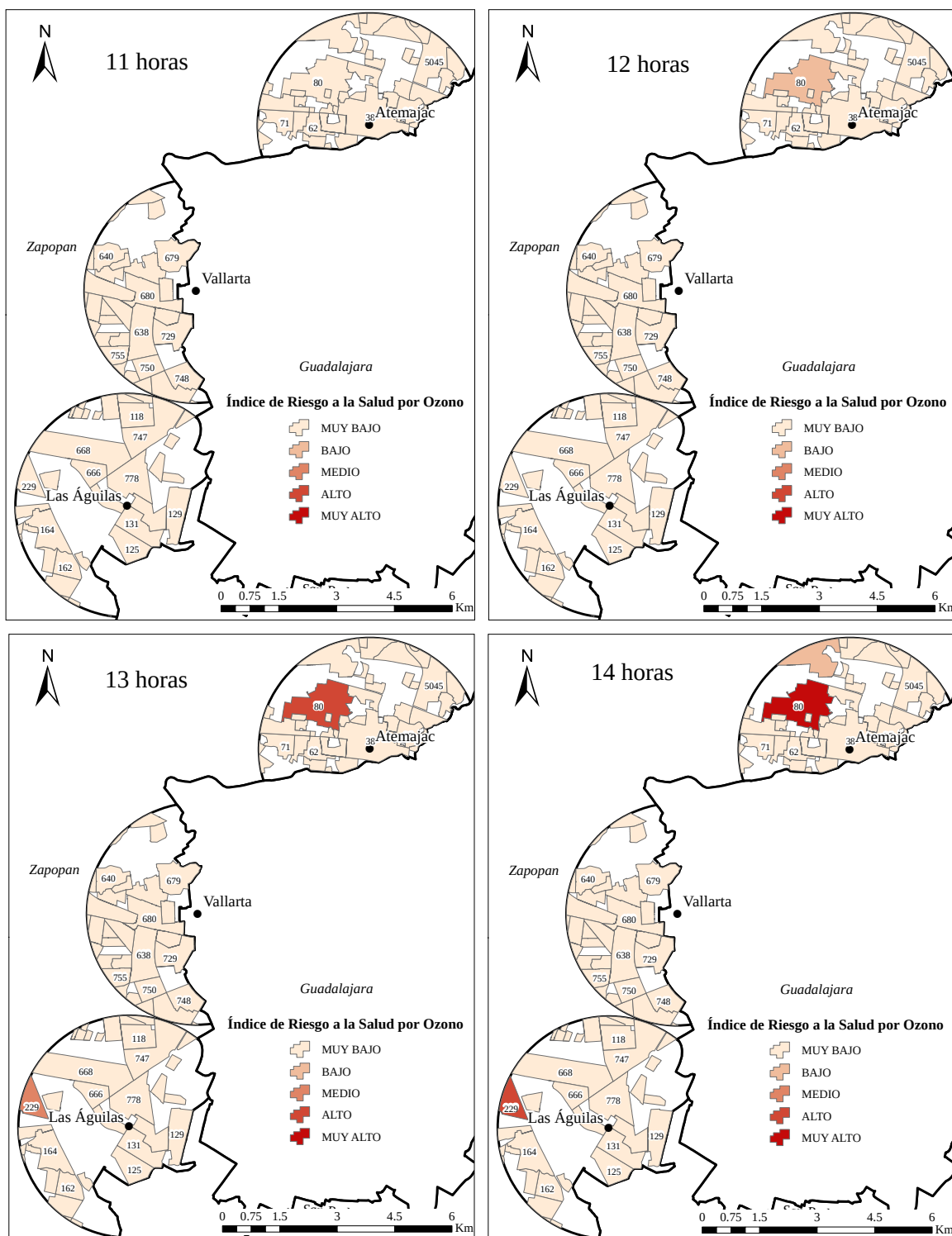


Figura 4.82. Índice de Riesgo a la Salud por Ozono para colonias de Zapopan.

Fuente: Elaboración propia con información del SIMAJ.

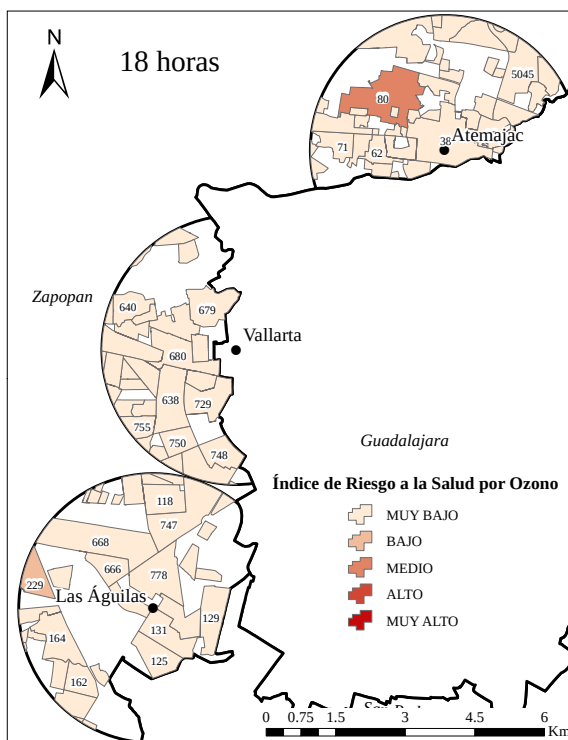
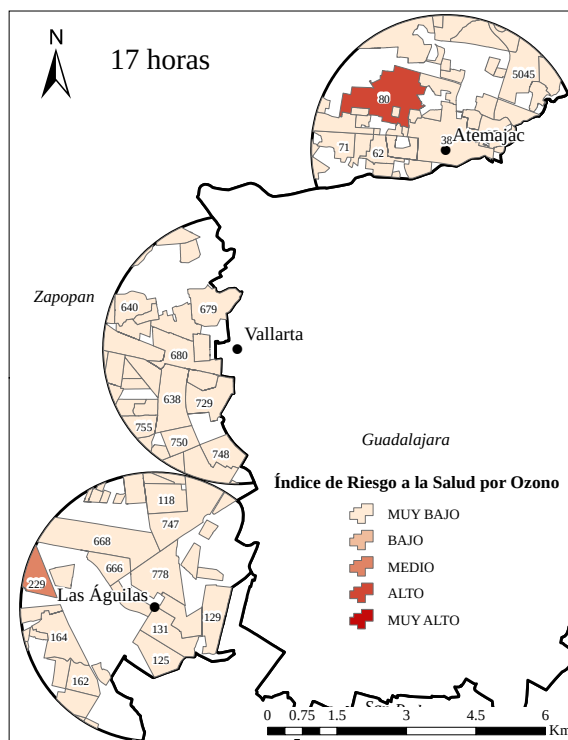
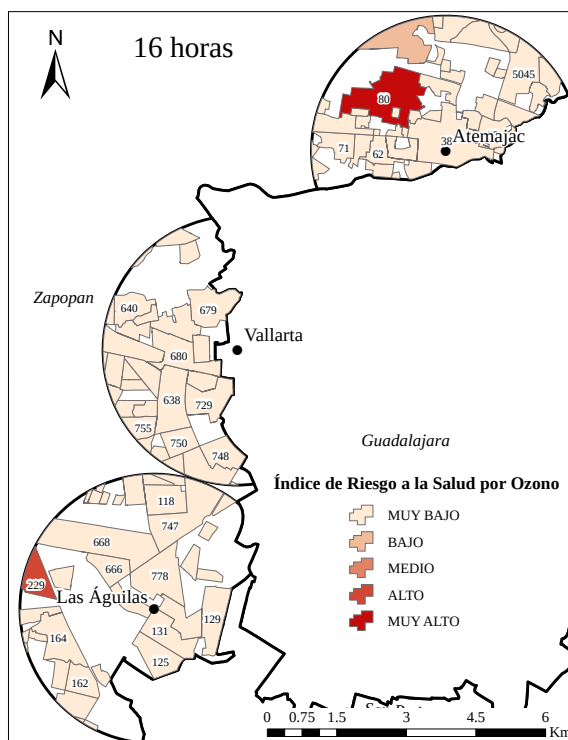
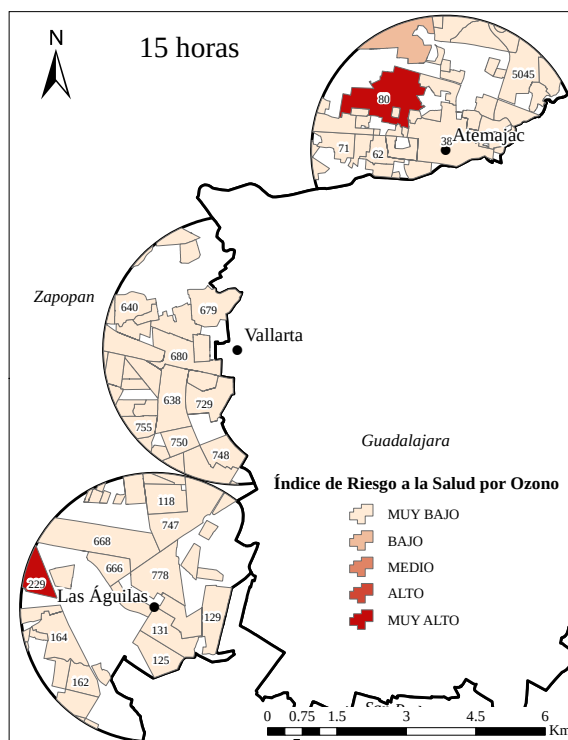


Riesgo a la salud por Isla y Ola de Calor en el municipio de Zapopan, México





Riesgo a la salud por Isla y Ola de Calor en el municipio de Zapopan, México



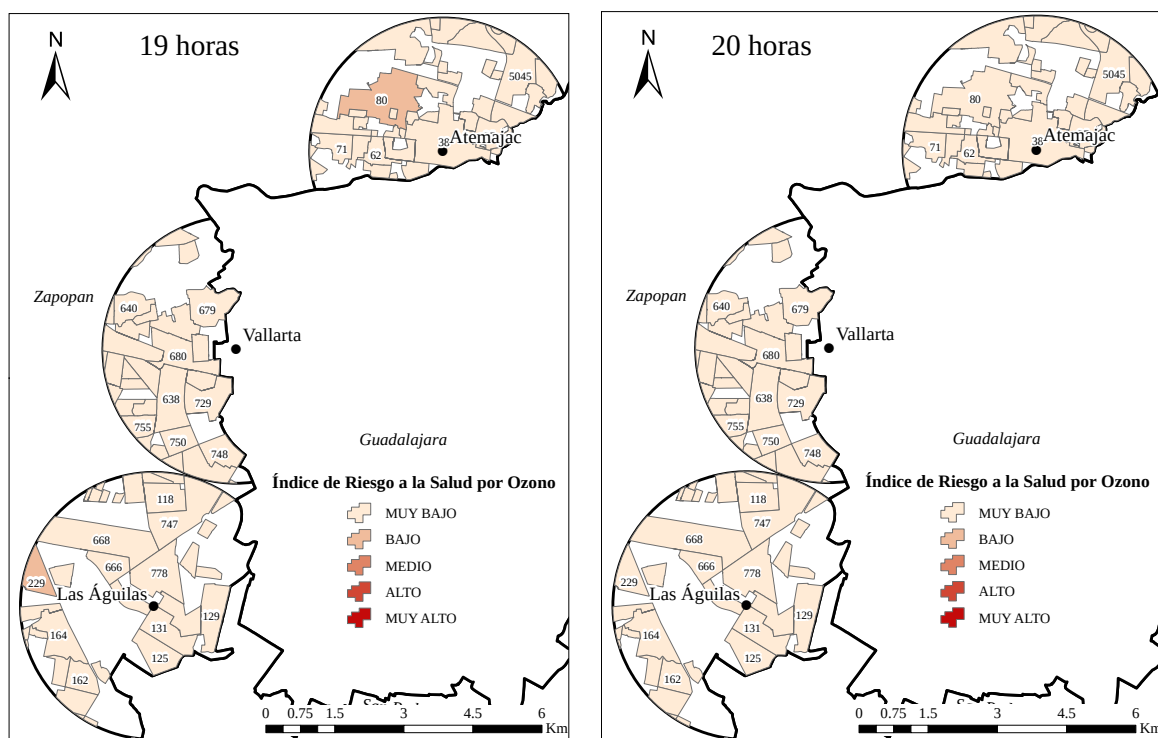


Figura 4.83. Distribución espacial del Índice de Riesgo a la Salud por Ozono para las colonias de Zapopan. Fuente: Elaboración propia con información del SIMAJ y al censo por colonia del IIEG.

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

En relación con el planteamiento de la investigación y los objetivos, se llevaron a cabo las actividades relacionadas con la recolección de la información necesaria y suficiente para evaluar el riesgo a la salud por Isla y Ola de Calor en el municipio de Zapopan, Jalisco, México. En este contexto, se realizó una relación entre las variables involucradas y se obtuvieron comportamientos temporales, además de modelaciones espaciales mediante sistemas de información geográfica y la incorporación de datos satelitales.

De esta manera, queda establecida la ocurrencia de Olas de Calor en la zona de estudio bajo el criterio del *percentil 95* de la serie de *temperaturas máximas* (umbral de 32.7 °C). Se calcularon los eventos de Olas de Calor y la época cálida (86 días), quedando acotada desde el 26 de marzo hasta el 19 de junio y obteniendo el intervalo de las 17 hora local con la característica del “más cálido del día”. Se contabilizaron 33 Olas de Calor, siendo la del 12 de abril al 21 mayo de 2000 las más peligrosas del periodo.



Para un análisis riguroso del comportamiento de la temperatura, fue necesaria la incorporación de las Técnicas de Información Geográfica (TIG) e información de la plataforma satelital de LANDSAT 8 y su sensor TIRS, obteniendo mapas térmicos para determinar la Isla de Calor Urbano Superficial (ICUS). Se resalta que de las 769 colonias del municipio, 578 presentaron ICUS; éstas se localizaron particularmente al norte y sur de Zapopan.

El mes de mayo resultó con la mayor cantidad de eventos de Olas de Calor y con la mayor intensidad, promediando 33.6°C.

Se obtuvo el Índice de Peligrosidad de Ola de Calor (IPOC) que permitió estimar el peligro o grado de amenaza para determinado evento (haya ocurrido o esté ocurriendo). La obtención de éste índice mediante la metodología propuesta es significativo ya que permite replicarse en otras ciudades (municipios urbanos) tengan o no características similares.

Un rasgo propio y de gran relevancia que resultó de la presente investigación y que difiere de lo reportado por la comunidad científica en relación a que “las islas térmicas provocan un incremento de la temperatura en el centro de las ciudades o en aquellas zonas densamente construidas”, en el área urbanizada del municipio de Zapopan, la Isla de Calor Urbano Superficial (ICUS) se presenta en las áreas rurales dedicadas a la agricultura de temporal. Este proceso ocurre durante la época cálida seca que se caracteriza por suelos desnudos y con alta capacidad térmica.

Mediante la asociación de las capas de exposición, vulnerabilidad y peligro, se construyó un algoritmo para obtener el Índice de Riesgo a la Salud (IRS) por Isla y Ola de Calor Urbano Superficial. Con ello, se detectaron siete colonias dentro de la clasificación de *muy fuerte* (Miramar, Santa Margarita Poniente, Arenales Tapatíos, San Juan de Ocotán, Arcos de Zapopan, Villa de Guadalupe y Santa Ana Tepetitlán); le siguen 17 con clasificación de *fuerte*.

Partiendo de los componentes *exposición, vulnerabilidad y peligro*, se estableció el índice de Riesgo a la Salud por Ozono (IRSO), el cual aporta una solución concreta para el desarrollo estratégico y sustentable de la zona de estudio, al valorar de manera cualitativa el riesgo que se presenta por este contaminante secundario que tanta influencia tiene en las ciudades ubicadas en valles semicerrados sometidos a intervalos amplios de radiación solar



y en metrópolis con un desarrollo urbano desordenado y elevada actividad económico comercial.

Las concentraciones máximas de Ozono correspondieron a la época cálida, siendo máximas en mayo, coincidente con los eventos de las Olas de Calor, resaltando que el intervalo de mayor peligro se presentan entre las 11 y las 20 horas locales (siendo máxima alrededor de las 15 horas) y entre el 13 de mayo y el 2 de junio. Se localizó que las colonias Constitución y Miramar son las de mayor riesgo.

Algunos rasgos sociodemográficos de colonias con ICUS lograron ser factores dominantes en la determinación de la exposición y de la vulnerabilidad en el modelo de riesgo, como lo fue la cantidad de niños menores de cuatro años y la persona mayor de 15 años con primaria incompleta, además de las viviendas que particulares que tienen piso de tierra. Un rasgo en común fue observado en estas colonias, y fue que domina en gran proporción el régimen de autoconstrucción sobre el de interés social con déficit de vegetación y con predominancia de materiales que atrapan gran cantidad de calor, siendo una cualidad que impacta de forma negativa el bienestar térmico y la preservación de la salud tanto en el interior de las viviendas como en exterior, especialmente en época cálida.

Por último, se logró establecer relación de dependencia entre la *temperatura superficial* y la *temperatura del aire*, siendo la cantidad y vigor de la vegetación un elemento que incide directamente sobre la primera variable, y ésta en gran medida, sobre la segunda. La ecuación de regresión permitió estimar las áreas necesarias a forestar, que disminuirían la *temperatura superficial* teniendo con ello espacios sin ICUS y libre de riesgo a la salud por carga térmica elevada.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda que las autoridades gubernamentales (municipal y estatal), eduquen, concienticen y atiendan a la población de las colonias que presentan el mayor riesgo, particularmente en la época cálida, con el objetivo de mitigar los efectos dañinos a la salud.

Una de las acciones puede ser la implementación de programas que impulsen y motiven la preservación y creación de espacios verdes con especies arbóreas perennifolias que impacten en la disminución de la *temperatura superficial*, especialmente en las colonias encontradas con riesgo *muy alto*.



Otras acciones complementarias a realizar para reducir la transmisión de la carga térmica hacia el interior del hogar, es aumentar el albedo en azoteas a través de la impermeabilización con colores claros (blanco o metálico), generar sombras con tejados y vegetación ornamental (azoteas verdes). En hogares de dos o más niveles cuyos muros laterales reciben radiación solar directa, se propone recubrir regularmente con pintura blanca o plantar especies vegetales “trepadoras”. Las fachadas que están orientados hacia el sur o reciben radiación directa durante tiempo prolongado, se recomienda instalar dispositivos retractiles (lonas o malla sombra) sobre ventanas de fachadas.

El crecimiento acelerado en lo que a urbanización se refiere, hace necesario la inserción de más puntos de monitoreo de contaminantes y variables meteorológicas debido a que las estaciones para el monitoreo del municipio de Zapopan y en general las que componen el SIMAJ resultaran insuficientes.

Referencias y bibliografía

- Adame J. A. (2009). *Caracterización y comportamiento del ozono superficial en la provincia de Huelva* (Tesis doctoral). Universidad de Huelva. Huelva, España.
- AEM (Agencia Estatal de Meteorología) (2016). *Olas de calor en España desde 1975 Área de Climatología y Aplicaciones Operativas*. Recuperado de: https://www.aemet.es/documentos/es/noticias/2016/Olas_Calor_ActualizacionJun2016-B.pdf
- Alberdi J. C. y Díaz J. (1997). Modelización de la mortalidad diaria en la comunidad de Madrid 1986-1991. *Gaceta Sanitaria*, 11, 9-15.
- Alberdi J. C., Díaz, J., Montero J. C. & Mirón I. J.(1998). Daily Mortality in Madrid community1986-1992. Relationship with meteorological variables. *European Journal of Epidemiology*, 14, 571-578.
- Amorin M. C., Dubreuil V. y Cardoso R. (2015). Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP), Brasil. *Revista Brasileira da Climatologia*, 16, 29-45.
- Artis, D. & Carnahan, W. (1982). Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sensing of Enviroment*, 12, 313-329.
- Ballester, F., Michelozzi, P. & Iñiguez, C. (2003). Weather, climate and public health. *Journal Epidemiology Community Health*, 57, 759-760.
- Bello F. V. (1994). La isla de calor nocturna y los usos del suelo en Alcalá de Henares. *Anales de Geografía de la U. Complutense*, 4, 83-97.
- Bottyán Z., Kircsi A., Szegedi S. & Unger J., (2004) The relationship between built-up areas and the spatial development of the mean maximum urban heat island in Debrecen, Hungary. *International Journal of Climatology*, 25 (3), 405-418. doi: 10.1002/joc.1138



- Buscail C., Upegui E. & Viel J. (2012). Mapping heatwave health risk at the community level for public health action. *International Journal of Health Geographics*. 11(38), 1-9.
- Cardoso, R.S. & Amorim, M.C.C.T. (2018). Urban heat island analysis using the 'local climate zone' scheme in Presidente Prudente, Brazil. *Investigaciones Geográficas*, (69), 107-118
- Chander G., Markham B. & Helder D. (2009). Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors. (In Press, *Remote Sensing of Environment*, Manuscript Number: RSE-D-08-00684)
- Chuvieco, E. (2010). Teledetección Ambiental. Alcalá de Henares, España: Ariel.
- Crichton D. (1999). *The risk triangle. Natural Disaster Management*. London: Ingleton.
- Da Silva J. F., Dos Santos F. y Dos Santos M. (2015). Considerações sobre os estudos em clima urbano. *Revista GEAMA*, 1(2), 162-115.
- De Castro P., De Castro M. T. y Gómez M. (2011). Identificación de olas de calor en Galicia en el periodo 1987-2006: Efectos sobre la mortalidad. *Avances en Ciencias de la Tierra*, 2, 52-64.
- Díaz J., Jordán A., García R., López C., Alberdi J. C., Hernández E. & Otero A. (2002a). Heat waves in Madrid 1986-1997: effects on the health of the elderly. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 75, 163-170.
- Díaz J., García R., Velázquez de Castro F., Hernández E., López C. & Otero A. (2002b). Effects of extremely hot days on people older than 65 years in Seville (Spain) from 1986 to 1997. *International Journal of Biometeorology*, 46, 145-149.
- Díaz J., García R., Trigo R. M., Linares C., Valente M. A., De Miguel J. M. & Hernández E. (2006). The impact of the summer 2003 heat wave in Iberia: how should we measure it? *International Journal of Biometeorology*, 50(3), 159-166.
- Díaz R. E., Castro L. & Aranda G. (2014). Mortality by Excessive Natural Heat in Northwest México: Social Conditions Associated with this Cause of Death. *Frontera Norte*, 26(52), 155-177.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2014). Normas Oficiales Mexicanas. Fecha de consulta 20/julio/2018.
- Fernández, F. (2009). Ciudad y cambio climático: aspectos generales y aplicación al área metropolitana de Madrid. *Investigaciones geográficas*, (49), 173-195.
- Fernández, F. y Martilli, A. (2012). El clima urbano: aspectos generales y su aplicación en el área de Madrid. *Índice*, 21-24.
- Fernández, J. y García N. (2013). Caracterización de las islas frescas urbanas -IFU- en la ciudad de Cali, Colombia. *Entorno Geográfico*, (9), 122-144.
- Ferrelli, F., Bustos M. L. y Piccolo M. C. (2016). La expansión urbana y sus impactos sobre el clima y la sociedad de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *Estudios geográficos*, 77 (281), 469-489. doi: 10.3989/estgeogr.201615.
- García-Herrera R., Díaz J., Trigo R. M., Hernández E. & Dessai S. (2004). Extreme summer temperatures in Iberia: health impacts and associated synoptic conditions. *Annales Geophysicae*, 23 (2), 239-251.
- García M., Ulloa H., Ramírez H., Fuentes M., Arias S. y Espinosa M. (2014). Comportamiento de los vientos dominantes y su influencia en la contaminación atmosférica en la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1 (2), 97-116. ISSN 2334-2501.



- García M., Ulloa H., Ramírez H., García O., Meulenert Á. y García C. (2015). Evaluación Integral de la Contaminación del Aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. *Ecología y Medio Ambiente. La labor investigadora e innovadora en México*. Guadalajara, México: Science Associated Editors. ISBN-13: 978-1-944162-01-6.
- Garssen J., Harmsen C. y de Beer J. (2005). The effect of the summer 2003 heat wave on mortality in the Netherlands. *European Surveillance*. 10, 165-168.
- Gosling S., Lowe J., Mc Gregor G., Pelling M. & Malamud B. (2009). Associations between elevated atmospheric temperature and human mortality: a climatic review of the literature. *Climatic Change*. 92, 299-341.
- Hernández E. M. y Bañón L. M. (2012). Distribución espacial de las temperaturas extremas previstas en la ciudad de Murcia (España). *Revista de la Asociación Meteorológica Española*, (32), 214-216.
- Herrera J. (2012). *Análisis de las olas de calor en la República mexicana* (tesis de doctorado). UNAM, México
- Huang G., Zhou W. & Cadenasso M. L. (2011). Is everyone hot in the city? Spatial pattern of land surface temperatures, land cover and neighborhood socioeconomic characteristics in Baltimore, MD. *Journal of Environmental Management*, 92, 1753-1759.
- IEEG (Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco) (2017). Información sociodemográfica por colonia por colonia, Área Metropolitana de Guadalajara, Jalisco. Recuperado de: <https://datos.jalisco.gob.mx/dataset/informacion-sociodemografica-por-colonia-area-metropolitana-de-guadalajara-jalisco>.
- INEGI (2010). *Censos y Conteos de Población y Vivienda*. Recuperado de: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/iter/default.aspx?ev=5>
- INEGI (2016). *Imágenes del territorio*. Recuperado de: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/landsat.aspx>.
- Jaúregui E., (1997). Climate changes in México during the historical and instrumented periods. *Quaternary International*, 43(44), 7-17.
- Jaúregui E. (2009). The heat spells of Mexico City. *Investigaciones geográficas*, 70, 71-76.
- Jiménez-Muñoz J. C. y Sobrino J. A. (2003). Un método monocanal generalizado para obtener la temperatura de la superficie terrestre a partir de datos de teledetección. En Pérez R. y Martínez P. (Coordinadores). *Teledetección y Desarrollo Regional*. Conferencia llevado a cabo en el X Congreso de Teledetección, Cáceres; España.
- Johnson H., Kovats R., McGregor G., Stedman J., Giggs M. & Walton M. (2005). The impact of the 2003 heat wave on daily mortality in England and Wales and the use of rapid weekly mortality estimates. *European Surveillance*. 10, 168-171.
- Johnson D. P., Wilson J. S. & Lubert G. C. (2009). Socioeconomic indicators of health-related risk supplemented with remotely sensed data. *International Journal of Health Geographics*, 8 (57), 1-13.
- Kalkstein L. S. (1991). A new approach to evaluate the impact of climate on human health. *Environmental Health Perspectives*, 96 145-150.



- Kestens Y., Brand A., Fournier M., Godreau S., Kosatky T., Maloley M. & Smargiassi A. (2011). Modeling the variation of land surface temperature as determinant of risk of heat-related health events, *International Journal of Health Geographics*, 10 (7), 1-9.
- Klinenberg E. (2002). Heat Wave: A social Autopsy of disaster in Chicago. Chicago: University Chicago Press.
- Kovats, R., Hajat S. & Wilkinson P. (2004). Contrasting patterns of mortality and hospital admissions during hot weather and heat waves in Greater London, UK. *Occupational and Environmental Medicine*, 61(11), 893-898.
- Landsberg, H. (1981). *The Urban Climate*. Maryland: University Maryland.
- Landsat 7 Science Data User's Handbook (2007). Manual de usuario de imágenes Landsat. Recuperado de: http://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2016/08/Landsat7_Handbook.pdf
- Larrosa, J. (2002). Geografía humana, fundamentos, métodos y conceptos. En J. Segrelles, Geografía humana, fundamentos, métodos y conceptos (pp. 259). Alicante: Club Universitario.
- Le Tertre A., Lefranc A., Eilstein D., Declercq C., Medina S., Blandcharch M., Chardon B., Fabre P., Filleul L., Jusot J., Pascal L., Prouvost H., Cassadow S. & Ladrans M. (2006). Impact of the 2003 heatwave on all-cause mortality in 9 French cities. *Epidemiology*. 17, 75-79.
- López J. y Caselles V. (1986). Aplicación de la teledetección al estudio de la temperatura superficial del mar balear y golfo de Valencia. *Cuadros geográficos*, 38, 75-96.
- López A. (1993). *El clima urbano. Teledetección de isla de calor en Madrid*. Madrid, España: Ministerio de Obras Públicas y Transporte.
- García J. C., Liaño D., Hernáez F., Garmendia C. y Rasilla D. (Noviembre de 2004). Análisis de tendencias en olas de calor a partir de series largas de temperatura. En López J. A. (Presidencia). *El clima entre el mar y la montaña*. Simposio llevado a cabo en el IV Congreso de la Asociación Española de Climatología. Santander: Asociación Española de Climatología, Santander, España.
- Moreira E. B. y Galvêncio J. D. (2007). Espacialização das temperaturas à superfície na cidade do Recife, utilizando imagens TM – LANDSAT 7. *Revista de Geografia*, 24 (3), 101-115.
- Moreno, M. (2016). Bibliografía sobre Climatología urbana: la "isla de calor". Recuperado de: <http://www.raco.cat/index.php/RevistaGeografia/article/download/46055/56860>.
- Nájera M., Márquez B., Sánchez R., Corona J. (2005) Los sistemas de información geográfica como herramienta para observar el comportamiento del Ozono en la Zona Metropolitana de Guadalajara. *GEOS*, 25 (2). 368-376. ISSN: 0186-1891.
- Nakai S., Itho T. & Morimoto T. (1999). Deaths from heat stroke in Japan 1968-1994. *International Journal of meteorology*, 43, 124-127.
- NASA (National Aeronautics and Space Administration) (2007). *Landsat 7 Science Data Users Handbook*. Recuperado de: https://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2016/08/Landsat7_Handbook.pdf
- Nascentes A. L. y De Souza W. (2013). Temperatura de superfície celsius do sensor TIRS/LANDSAT-8: Metodologia e aplicações. *Revista Geográfica Acadêmica*, 7(1), 31-45.



- Nogueira P., Falcao J., Contreiras M., Paixao E., Brandao J. & Batista I. (2005). Mortality in Portugal associated with the heatwave of august 2003: early estimation of effect, using a rapid method. *European Surveillance*, 10, 150-153.
- Noji K. (2000). *Impacto de los desastres sobre la salud pública*. Bogotá, Colombia: Organización Panamericana de la Salud.
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24.
- Oke T. R. (1988). *Boundary Layer Climates*. Routledge.
- Oltra-Carrio, R., Sobrino, J. A., Gutiérrez-Angonese J., Gioia, A., Aolini, L. y Malizia, A. (2010). Estudio del crecimiento urbano, de la estructura de la vegetación y de la temperatura de la superficie del Gran San Miguel de Tucumán, Argentina, *Revista de Teledetección*, 34, 69-76.
- ONDH (Oficina Nacional de Desarrollo Humano) (2008). Recuperado de: <http://www.undp.org.mx/DesarrolloHumano/competividad/images/IDH municipal 2000-2005 base de datos.xls>
- Pauleit S., Ennos R. & Golding Y. (2005). Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change-a study in Merseyside, UK. *Landscape and urban planning*, 71, 295-310.
- Pérez, C. y Muñoz, Á. L. (2006). *Teledetección Nociones y Aplicaciones*. Recuperado de: <https://mundocartogeo.files.wordpress.com/2015/03/teledeteccion-nocionesaplicaciones-2006publico.pdf>
- Pérez M. E y García M. P. (2002) Cartografía térmica del área metropolitana de Madrid a partir del sensor ETM del Landsat 7. *Anales de Geografía de la U. Complutense, extraordinario*, 337-386.
- Pinacho J. L. (2014). Golpe de calor en los niños. *Revista Mexicana de Pediatría*, 81 (3), 115-119.
- Preciado M. y Aldana A. (2011) Análisis de presencia de islas de calor en Santiago de Cali empleando técnicas de teledetección. *Ventana informática*, 24, 95-114.
- Reid C., O'Neil M., Gronlund C., Brines S., Brown D, Diez-Roux A. y Schwartz J. (2009). Mapping community determinants of heat vulnerability, *Environmental Health Perspectives*, 117(11), 1730-1736.
- Rivera A. (2011) *Impacto de las Variables Meteorológicas en la Formación de Ozono en la Cuenca de Santiago*. (Tesis de maestría). Universidad de Chile. Santiago, Chile. Disponible en <http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/102641>.
- Romero, H. y Molina, M. (2007). Relación especial entre tipos de usos y coberturas del suelo e islas térmicas superficiales en Santiago de Chile. *Anales Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*, 1, 223-230.
- Rooney C., McMichael A., Kovats R. & Coleman M. (1998). Excess mortality in England and Wales, and in Greater London, during the 1995 heat wave. *Journal Epidemiological Community Health*. 52, 482-486.
- Ruddell D. M., Harlan S. L., Grossman-Clarke S. & Buyantuyev A. (2010). Risk and exposure to extreme heat in microclimates of Phoenix, AZ, *Geospatial Techniques in Urban Hazard and Disaster Analysis*, 179-202.
- Tirado M. C. (2010). Cambio climático y salud. Informe SESPAS. *Gac Sanit*, 24(1), 78-84.



- Tomlinson C., Chapman L., Thornes J. & Baker C. (2011) Including the urban heat island in spatial heat health risk assessment strategies: a case of study for Birmingham, UK. *International Journal Health Geography*, 10 (42), 1-14.
- Trigo R. M., Ramos, A. M., Nogueira P. J., Santos F. D., García-Herrera, R. C. Gouveia R. & Santo F. (2009). Evaluating the impact of extreme temperature based indices in the 2003 heatwave excessive mortality in Portugal. *Environmental Science & Policy*, 12(7), 844-854.
- US EPA (2008a). *Reducing urban heat islands: Trees and vegetation*. Recuperado de <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>.
- US EPA (2008b). *Reducing urban heat islands: Green roofs*. Recuperado de <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>.
- US EPA (2008c). *Reducing urban heat islands: Cool roofs*. Recuperado de <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>.
- US EPA (2011). Urban Heat Island. Washington D.C.
- US EPA (2012). *Reducing urban heat islands: Cool pavements*. Recuperado de <https://www.epa.gov/het-islands/heat-island-compendium>.
- US EPA (2016). *Smart Growth and Urban Heat Islands*. Recuperado de: <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-outreach-materials>.
- Villanueva-Solís, J., Ranfía A. y Quintanilla-Montoya A. (2013). Isla de Calor Urbana: Modelación Dinámica y Evaluación de medidas de Mitigación en Ciudades de Clima árido Extremo. *Información Tecnológica*, 24 (1), 15-24. doi: 10.4067/S0718-07642013000100003
- Voogt, J. & Oke T. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, (86), 370-384.
- Velázquez-Angulo G, Aldouri R., Collins T., Grineski S., Romo M. de L., Aboargob F., Eldeb A. & McDonald Y. (2012). Characterizing climate change risk and informing adaptation strategies in the US-Mexico Paso del Norte metropolitan region based on spatial analysis of extreme heat-vegetation abundance-population vulnerability relationships. *Dinámicas locales del cambio global: aplicaciones de PR y análisis espacial en la evaluación del uso del territorio* (pp. 156-176). Ciudad Juárez, México.
- Sande, N., Martínez J. L., Alemparte E. y Rodríguez J. C. (2004). Golpe de calor. *Emergencias*, 16, 116-125.
- Santana L., Escobar L., y Capote P. (2010). Estimación de un índice de calidad ambiental urbano, a partir de imágenes de satélite. *Revista de Geografía Norte Grande*, 45, 77-95.
- Sarricolea P. y Romero H. (2006) Análisis de la sustentabilidad ambiental del crecimiento dela ciudad de Santiago: relaciones espaciales entre temperaturas superficiales y niveles socioeconómicos de la población. *Anales Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*, 1, 238-244.
- Sashua-Bar L. & Hoffman M. (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street. An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and buildings*, 31, 221-235.
- Semenza J., Rubin C., Falter K., Selanikio J., Flanders W., Howe H. & Whilhem J. (1996). Heat-related deaths during the july 1995 Heat Wave in Chicago. *New England Journal of Medicine*. 335, 84-90.



- Shahabi H., Bin B., Hossein M., & Ali M. (2012). Detection of urban irregular development and Green space destruction using normalized difference vegetation index (NDVI), principal component analysis (PCA) and post classification methods: A case of study of Saqqez city. *International Journal of the Physical Sciences*, 7, 2587-2595.
- Simón F., López-Abente G., Ballester E. & Martínez F. (2005). Mortality in Spain during the heat waves of summer 2003. *European Surveillance*, 10, 156-161.
- Solecki W., Rozenzweig C., Parshall L., Pope G., Clarck M., Cox J. & Wienke M. (2005). Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey, *Environmental hazards*, 6, 39-49.
- Souza L. C. (2004). Ilhas de calor. *Jornal Unesp*, 18(186), 11-22.
- Soto A. y Pérez E. (Octubre 2015) Uso de percepción remota y sistemas de información geográfica para la determinación de islas de calos urbano en Ciudad Juárez, Chihuahua. En Luis Carlos Alatorre Cejudo (Presidente), *Percepción Remota Sistemas de Información Geográfica*. Congreso llevado a cabo en la XXI Reunión Nacional del Capítulo SELPER-México-UACJ 2015, Ciudad Juárez, México.
- Swaid H. (1992). Intelligent urban forms (IUF) a new climate-concerned, urban planning strategy. *Theoretical and Applied Climatology*, 46, 179-191.
- Weng, Q., Lu, D. & Schubring, J. (2003). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89, 467-483.
- Yuan F. & Bauer M. E. (2006). Comparison of impervious Surface area and normalized difference vegetation index as indicators of Surface urban heat island in Landsat imagery. *Remote sensing of Environment*, 106, 375-386.
- .