



Universidad Autónoma del Estado de México

Facultad de Geografía

**CLIMA URBANO Y JUSTICIA CLIMÁTICA: UNA
PROPUESTA METODOLÓGICA DE ESTUDIO DESDE EL
ANÁLISIS ESPACIAL**

T e s i s

Que para obtener el grado de

Doctora en Geografía y Desarrollo Geotecnológico

Presenta:

Erika Rivera Martínez

Dirigida por:

Xanat Antonio Némiga

Juan Campos Alanís

Brisa Violeta Carrasco Gallegos

Toluca de Lerdo, México

Diciembre, 2020

Contenido

Pág.

Índice de tablas

Índice de figuras

Índice de mapas

Resumen

Abstract

Introducción

Planteamiento del problema

Preguntas de investigación

Hipótesis

Objetivos

Estructura de la tesis

1 Marco teórico-referencial: La justicia climática desde la perspectiva del clima urbano

Fundamentación epistemológica

La evolución del concepto de justicia a la justicia climática

Panorama general del marco jurídico de la justicia ambiental en México

Introducción a la justicia climática: concepto y desarrollo desde la base de la justicia ambiental

De lo global a lo local: dualidad de enfoques de la justicia climática desde la perspectiva geográfica

La ciudad como constructora de un clima local

Elementos condicionantes para la existencia de un clima urbano

Impactos generados por el clima urbano y sectores de población vulnerables

Fases de análisis del estudio del clima urbano

Contexto de la investigación del clima urbano en México

Patrones de intensidad de las islas de calor

Tendencia de análisis del clima urbano en México

La ciudad ambientalmente sostenible. Objetivos y metas

2. Diseño metodológico: La justicia climática abordada desde el análisis espacial

Enfoque metodológico

Periodo de estudio

Escala de análisis

La Zona Metropolitana de Toluca como área de estudio

Unidad de análisis de estudio

Etapas metodológicas

Etapa metodológica I: Dimensión climática

Variable temperatura

Variables: humedad relativa y vientos

Índice de clima urbano

Etapa metodológica II: Dimensión territorial

Vegetación

Vivienda

Unidades económicas

Verdor, humedad y brillo

Cuerpos de agua

Índice territorial

Etapa metodológica II: Dimensión socioeconómica

Grupos vulnerables

Condiciones socioeconómicas

Acceso a servicios de salud

Índice socioeconómico

Etapa metodológica III: Indicador de zonas socioclimáticas adversas

Etapa metodológica IV: Análisis de justicia climática

3. Resultados y discusión: El comportamiento espacial de las dimensiones climático-socio-territoriales

Dimensión climática: Indicador de condiciones climáticas adversas

Comportamiento y distribución de islas de calor en la ZMT

Comportamiento de la humedad relativa (islas de sequedad)

Comportamiento de la velocidad y dirección del viento (Canales de viento)

Indicador climático

Dimensión territorial: Indicador de condiciones territoriales adversas

Densidad de vegetación

Densidad de vivienda

Densidad de unidades económicas

Distancia a cuerpos de agua

Suelo (Brillo, verdor y humedad)

Indicador territorial

Dimensión socioeconómica: Indicador de condiciones socioeconómicas adversas

Grupos vulnerables

Condiciones socioeconómicas

Población con seguridad social

Indicador socioeconómico

4. Inequidad horizontal y vertical (ZCTA y ZSCA)

Zonas climático-territoriales adversas: inequidad horizontal

Zonas socioclimáticas adversas: inequidad vertical

5. Justicia Climática en la Zona Metropolitana de Toluca

Indicador sintético: Justicia Climática

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1	Características de la línea de pensamiento del neopositivismo
Tabla 2	Clasificación de perjuicios por conflictos ambientales de acuerdo con la fase de producción
Tabla 3	Principios de la justicia ambiental
Tabla 4	Principios de la Justicia Climática
Tabla 5	Perspectivas de la producción científica de la justicia climática
Tabla 6	Factores para el desarrollo de un clima urbano
Tabla 7	Sectores de población vulnerables al clima urbano
Tabla 8	Producción científica respecto a clima urbano en México
Tabla 9	Variables analizadas en los trabajos de clima urbano en México
Tabla 10	Objetivos para el Desarrollo Sostenible en materia ambiental
Tabla 11	Las metas de los ODS y su relación con el clima urbano
Tabla 12	Enfoque metodológico
Tabla 13	Escalas de análisis para el clima
Tabla 14	Municipios de la ZMT
Tabla 15	Operacionalización de variables para la dimensión climática
Tabla 16	Datos básicos de las escenas Landsat 8 OLI utilizadas
Tabla 17	Valor base de temperatura para cálculo de intensidad de isla de calor
Tabla 18	Operacionalización de variables de la dimensión territorial
Tabla 19	Bandas utilizadas para el cálculo del NDVI
Tabla 20	Clasificación de unidades económicas por sector

Tabla 21	Variables incluidas en el índice socioeconómico
Tabla 22	Operacionalización de variables de la dimensión socioeconómica
Tabla 23	Características de la herramienta de superposición “intersect”
Tabla 24	Superficie en km ² por intensidad de isla de calor
Tabla 25	Estadísticas básicas de la intensidad de islas de calor en la ZMT
Tabla 26	Estadísticas en el ACP de las islas de calor
Tabla 27	Valores y estadísticas básicas de la humedad relativa en la ZMT
Tabla 28	Información básica de las estaciones meteorológicas
Tabla 29	Estadísticas en el ACP de las islas de sequedad
Tabla 30	Valores y estadísticas básicas de la velocidad del viento en la ZMT
Tabla 31	Estadísticas en el ACP de la velocidad del viento
Tabla 32	Estadísticas en el ACP de la dirección del viento
Tabla 33	Descripción del comportamiento de variables climáticas respecto a sus valores de intensidad
Tabla 34	ACP de las variables climáticas
Tabla 35	Descripción del comportamiento de variables territoriales respecto a sus valores
Tabla 36	Estadísticas en el ACP para el indicador territorial
Tabla 37	Descripción del comportamiento de variables territoriales respecto a sus valores
Tabla 38	Estadísticas en el ACP para el indicador socioeconómico
Tabla 39	Municipios con zonas climático-territoriales adversas por intersección
Tabla 40	Municipios con zonas climático-territoriales adversas por promedio
Tabla 41	Municipios con zonas socioclimáticas adversas por intersección
Tabla 42	Municipios con zonas socioclimáticas adversas por promedio
Tabla 43	Determinación de pesos para los índices
Tabla 44	Ponderación de pesos para el Análisis de Jerarquías Analíticas
Tabla 45	Municipios con condiciones óptimas de justicia climática, por localidad y superficie
Tabla 46	Municipios con condiciones adversas de justicia climática, por localidad y superficie

Índice de figuras

	Pág.
Fig. 1	Instituciones sociales con influencia en la justicia social
Fig. 2	Justicia ambiental como cohesión de la justicia social y espacial
Fig. 3	Ámbitos de la justicia ambiental.
Fig. 4	La necesidad y el mérito dentro de la justicia ambiental
Fig. 5	Perspectivas de análisis de la justicia ambiental distributiva desde el ámbito geográfico
Fig. 6	Perspectivas de estudio de la justicia climática
Fig. 7	Equidad vertical y horizontal en la justicia climática
Fig. 8	Características de la justicia climática global y local
Fig. 9	Temática predominante en la investigación de la justicia climática
Fig. 10	Enfoque de justicia climática predominante en la investigación científica
Fig. 11	Indicadores de clima urbano
Fig. 12	Tipos de estudios en el clima urbano
Fig. 13	Cantidad de trabajos de islas de calor por ciudad
Fig. 14	Patrones de comportamiento de la temperatura
Fig. 15	Porcentaje de trabajos por variable de análisis del clima urbano
Fig. 16	Metas para consolidar ciudades climáticamente sostenibles
Fig. 17	Diseño de etapas metodológicas
Fig. 18	Diagrama metodológico general
Fig. 19	Diagrama metodológico de la etapa Clima urbano
Fig. 20	Representación del cálculo de estadísticas zonales
Fig. 21	Diagrama metodológico de la dimensión territorial
Fig. 22	Diagrama metodológico de la dimensión socioeconómica
Fig. 23	Diagrama metodológico para la identificación de zonas con condiciones adversas
Fig. 24	Método de superposición de entidades
Fig. 25	Porcentaje de territorio ocupado por islas de calor de acuerdo con el año e intensidad
Fig. 26	Comportamiento de los eigenvalores en el ACP de las islas de calor
Fig. 27	Valores de humedad relativa por estación meteorológica por año
Fig. 28	Comportamiento de los eigenvalores en el ACP de las islas de sequedad
Fig. 29	Histograma del componente 1 de la humedad relativa
Fig. 30	Comportamiento de la velocidad del viento
Fig. 31	Histograma del archivo layerstacking de la velocidad del viento
Fig. 32	Comportamiento de los eigenvalores en el ACP de la velocidad del viento

- Fig. 33 Comportamiento de los eigenvalores en el ACP de la dirección del viento
- Fig. 34 Municipios con zonas climático-territoriales adversas por intersección
- Fig. 35 Municipios con zonas climático-territoriales adversas por promedio
- Fig. 36 Significancia LISA de la justicia climática horizontal
- Fig. 37 Índice de Moran Local Univariado para la justicia climática horizontal
- Fig. 38 Clusters LISA para la justicia climática horizontal
- Fig. 39 Superficie por municipios con zonas climático-territoriales adversas por promedio
- Fig. 40 Significancia LISA de la justicia climática vertical en la ZMT
- Fig. 41 Índice Local de Moran Univariado de la justicia climática vertical
- Fig. 42 Autocorrelación espacial de la justicia climática vertical en la ZMT
- Fig. 43 Modelo de regresión de los índices clima- sociedad
- Fig. 44 Modelo de regresión de los índices clima-territorio
- Fig. 45 Municipios con condiciones óptimas de justicia climática, por localidad y superficie
- Fig. 46 Porcentaje de agebs por municipio, con condiciones óptimas de justicia climática
- Fig. 47 Distribución de la superficie por localidad con justicia climática alta
- Fig. 48 Municipios con condiciones adversas de justicia climática, por localidad y superficie
- Fig. 49 Porcentaje de agebs por municipio, con condiciones de injusticia climática
- Fig. 50 Distribución por localidad de la superficie con justicia climática baja y muy baja
- Fig. 51 Significancia LISA de la Justicia Climática
- Fig. 52 Índice de Moran Local Univariado para la justicia climática
- Fig. 53 Clusters LISA para la justicia climática

Índice de mapas

	Pág.
Mapa 1	Ubicación geográfica de la Zona Metropolitana de Toluca
Mapa 2	Altitud de la Zona Metropolitana de Toluca
Mapa 3	AGEBS en la Zona Metropolitana de Toluca
Mapa 4	Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas en la ZMT
Mapa 5	Isla de calor superficial, verano de 2013
Mapa 6	Isla de calor superficial, verano de 2014
Mapa 7	Isla de calor superficial, verano de 2015

Mapa 8	Isla de calor superficial, verano de 2016
Mapa 9	Isla de calor superficial, verano de 2018
Mapa 10	Isla de calor superficial, verano de 2019
Mapa 11	Comportamiento temporal de las islas de calor, años 2013-2019
Mapa 12	Persistencia de islas de calor con intensidad superior a los 4°C
Mapa 13	Distribución de humedad relativa durante el año 2013 en la ZMT
Mapa 14	Distribución de humedad relativa durante el año 2014 en la ZMT
Mapa 15	Distribución de humedad relativa durante el año 2015 en la ZMT
Mapa 16	Distribución de humedad relativa durante el año 2016 en la ZMT
Mapa 17	Distribución de humedad relativa durante el año 2018 en la ZMT
Mapa 18	Comportamiento temporal de humedad relativa durante el periodo 2013-2018
Mapa 19	Distribución de la velocidad y dirección del viento durante el año 2013 en la ZMT
Mapa 20	Distribución de la velocidad y dirección del viento durante el año 2014 en la ZMT
Mapa 21	Distribución de la velocidad y dirección del viento durante el año 2015 en la ZMT
Mapa 22	Distribución de la velocidad y dirección del viento durante el año 2016 en la ZMT
Mapa 23	Distribución de la velocidad y dirección del viento durante el año 2018 en la ZMT
Mapa 24	Comportamiento temporal de la velocidad y dirección del viento durante el periodo 2013-2018
Mapa 25	Zonas Climáticas Adversas en la ZMT
Mapa 26	Vegetación en el territorio urbano y rural
Mapa 27	Densidad de vegetación en la ZMT
Mapa 28	Densidad de vivienda en la ZMT
Mapa 29	Densidad de unidades económicas en la ZMT
Mapa 30	Unidades económicas del sector industrial en la ZMT
Mapa 31	Unidades económicas del sector comercio en la ZMT
Mapa 32	Unidades económicas del sector servicios en la ZMT
Mapa 33	Distancia a cuerpos de agua en la ZMT
Mapa 34	Componente brillo en la Transformación Tasseled Cap para la ZMT
Mapa 35	Componente verdor en la Transformación Tasseled Cap para la ZMT
Mapa 36	Componente humedad en la Transformación Tasseled Cap para la ZMT
Mapa 37	Zonas Territoriales Adversas en la ZMT
Mapa 38	Índice de grupos vulnerables por ageb en la ZMT
Mapa 39	Índice de dependencia económica por ageb en la ZMT
Mapa 40	Índice de población con educación post-básica por ageb en la ZMT
Mapa 41	Índice de nivel de escolaridad por ageb en la ZMT

- Mapa 42 Índice de viviendas con agua por ageb en la ZMT
- Mapa 43 Índice de viviendas con drenaje por ageb en la ZMT
- Mapa 44 Índice de viviendas con energía eléctrica por ageb en la ZMT
- Mapa 45 Índice de viviendas con refrigerador por ageb en la ZMT
- Mapa 46 Índice de viviendas con lavadora por ageb en la ZMT
- Mapa 47 Índice de viviendas con internet por ageb en la ZMT
- Mapa 48 Índice de viviendas con automóvil por ageb en la ZMT
- Mapa 49 Índice de población con acceso servicios de salud por ageb en la ZMT
- Mapa 50 Zonas socioeconómicas adversas en la ZMT
- Mapa 51 Zonas Climático-Territoriales Adversas por intersección, en la ZMT
- Mapa 52 Zonas Climático-Territoriales Adversas por promedio, en la ZMT
- Mapa 53 Zonas Socio Climáticas Adversas por intersección, en la ZMT
- Mapa 54 Zonas Socio Climáticas Adversas por promedio, en la ZMT
- Mapa 55 Justicia climática en la Zona Metropolitana de Toluca

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue realizar una propuesta metodológica para determinar la existencia de justicia climática en la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT), mediante un indicador que tomó variables del clima urbano, del territorio y de la población. La regulación climática es uno de los servicios ecosistémicos que ha sido afectado debido al proceso de urbanización y la disminución de coberturas vegetales, con ello se generan cambios en los patrones del clima que modifican al clima regional, produciendo un clima urbano. Éste, produce efectos adversos en la población y el ambiente, tales como discomfort térmico, enfermedades respiratorias y cardiovasculares, aumento en los costos de vida, mala calidad del aire, entre otros. Dichos efectos no se distribuyen de manera uniforme en el territorio e impactan en sectores de población considerados vulnerables. Las condiciones del clima no son óptimas para todos, así que hay zonas con justicia climática y sin ella. Para identificar dichas zonas se realizó un análisis espacial tomando en cuenta tres fases rectoras: 1) Obtención de indicadores de islas de calor, islas de sequedad y vientos, y su persistencia en el territorio, con la finalidad de generar un indicador de clima urbano 2) Caracterización de aspectos socioeconómicos y territoriales para identificación de sectores de población y zonas vulnerables a los impactos del clima urbano con base en indicadores territoriales y socioeconómicos. 3) Construcción del indicador de zonas socio climáticas y climático-territoriales adversas, para 4) Determinar la existencia de justicia climática en el área de estudio, con base en la equidad horizontal y vertical. El acercamiento teórico tuvo como base a la geografía ambiental incluida en el enfoque de la geografía cuantitativa, misma que pertenece a la corriente de pensamiento del neopositivismo, debido a que se buscó la cuantificación de la justicia climática en el área de estudio. Los resultados permitieron identificar zonas con injusticia climática, que son prioritarias de atención en la Zona Metropolitana de Toluca. Dichas zonas posibilitan proponer acciones de mitigación y adaptación y coadyuvan en la disminución de los impactos negativos del clima urbano en la población. A diferencia de lo que se ha escrito en la literatura de justicia climática a

escala local, la justicia en la zona de estudio no tiene relación con características de pobreza o de condiciones socioeconómicas adversas. La dimensión que impacta en la existencia de injusticia es la territorial; condiciones adversas en materia de vegetación, cuerpos de agua, densidad de vivienda, densidad de unidades económicas y propiedades de brillo, verdor y humedad del suelo, son los indicadores que inciden directamente para que la población esté con mayor exposición a los embates que genera la existencia del clima urbano y por ende de las consecuencias en la salud, economía y biodiversidad que genera.

Palabras claves: Justicia climática, clima urbano, zonas socio-climáticas adversas, Zona Metropolitana de Toluca.

Abstract

The objective of this research was to carry out a methodological proposal to determine the existence of climate justice in the Metropolitan Area of Toluca (ZMT), through an indicator that took variables from the urban climate, the territory and the population. Climate regulation is one of the ecosystem services that has been affected due to the urbanization process and the decrease in vegetation cover, thereby generating changes in climate patterns that modify the regional climate, producing an urban climate. This produces adverse effects on the population and the environment, such as thermal discomfort, respiratory and cardiovascular diseases, increased living costs, poor air quality, among others. These effects are not distributed evenly in the territory and impact on sectors of the population considered vulnerable. Climate conditions are not optimal for everyone, so there are areas with and without climate justice. To identify these areas, a spatial analysis was carried out taking into account three guiding phases: 1) Obtaining indicators of heat islands, dryness islands and winds, and their persistence in the territory, in order to generate an urban climate indicator 2) Characterization of socioeconomic and territorial aspects to identify population sectors and areas vulnerable to the impacts of the urban climate based on territorial and socioeconomic indicators. 3)

Construction of the indicator of adverse socio-climatic and climatic-territorial zones, to 4) Determine the existence of climate justice in the study area, based on horizontal and vertical equity. The theoretical approach was based on environmental geography included in the quantitative geography approach, which belongs to the current of thought of neopositivism, because the quantification of climate justice in the study area was sought. The results made it possible to identify areas with climatic injustice, which are a priority for attention in the Toluca Metropolitan Area. These zones make it possible to propose mitigation and adaptation actions and contribute to reducing the negative impacts of the urban climate on the population. Unlike what has been written in the literature on climate justice at the local level, justice in the study area is not related to characteristics of poverty or adverse socioeconomic conditions. The dimension that impacts the existence of injustice is territorial; adverse conditions in terms of vegetation, bodies of water, density of housing, density of economic units and properties of brightness, greenery and soil moisture, are the indicators that have a direct impact on the population being more exposed to the shocks generated by the existence of the urban climate and therefore of the consequences on health, economy and biodiversity that it generates.

Keywords: Climate justice, urban climate, adverse socio-climatic zones, Metropolitan Area of Toluca.

Introducción

El 80% de la población que reside en América Latina y El Caribe, se localiza en una ciudad (ONU-Hábitat, 2012). El porcentaje de población urbana a nivel mundial mantiene un crecimiento constante, la proyección para el 2050, fortalece dicha condición, pues indica que 2.5 billones de personas conformarán a la población que resida en una ciudad. México no es la excepción, de acuerdo con datos del Banco Mundial (2015), la población urbana en el país, representa un 79% de la población total.

El crecimiento de las ciudades se traduce en aumento de problemáticas ambientales, sin embargo, su distribución no es uniforme en el espacio, por lo que es común que dentro del área urbana se presenten zonas con condiciones ambientales adecuadas y con condiciones adversas que ponen en riesgo la calidad de vida de la población que habita dichas zonas.

Uno de los mayores impactos que se produce en el ambiente, se relaciona con el cambio en el comportamiento del clima a escala local, generando un clima urbano, propiciado por condiciones intrínsecas de la ciudad, tales como materiales con albedo bajo, áreas verdes reducidas y aumento en las fuentes de calor antrópicas. Al producirse este cambio, se altera el balance energético terrestre y con él el clima. Así, los patrones en los regímenes de temperatura, humedad relativa, vientos, radiación solar y precipitación se comportan de manera distinta en la ciudad.

Al cambiar el patrón climático local, se genera un aumento de la temperatura intraurbana, propiciando la aparición de islas de calor, disminuyendo a su vez la humedad relativa en la atmósfera y cambiando la velocidad del viento debido al aumento de rugosidad, producto de la morfología de la ciudad. Lo anterior genera afectaciones al interior de la urbe, impactando en cuatro entornos principales: las condiciones climáticas del ambiente, la biodiversidad, la salud humana y la economía. Por lo que es preponderante conocer el comportamiento espacial y

temporal del clima urbano para entender la intensidad con la que se produce y la población y territorio afectado.

La justicia climática tiene el precepto de que los sectores de la población más vulnerables sean los más protegidos respecto a las condiciones climáticas adversas, por lo que juega un papel importante en el óptimo desarrollo de la sociedad, puesto que en muchas ocasiones las características socioeconómicas de la población y del territorio que se habita, tienden a propiciar la existencia o no de dicho precepto. Por ello es necesario relacionar el clima urbano con variables socioeconómicas y territoriales que existen en la zona de estudio, para identificar la existencia o ausencia de la justicia climática en la zona de estudio.

Planteamiento del problema

La ciudad provee una serie de problemáticas complejas debido a las transformaciones directas que se llevan a cabo en el territorio a partir de su crecimiento e influyen en los habitantes que están inmersos en ella. Sin embargo, estas problemáticas no son equitativamente distribuidas a lo largo de la mancha urbana, existe un patrón de impacto sobre sectores de la población considerados vulnerables y sobre tipos de espacios urbanos que presentan características morfo urbanas similares. El clima no es la excepción; sus impactos sobre la ciudad y su población van en aumento y sus efectos se traducen en malas condiciones de vida para la población expuesta.

La ONU (2014) ha mencionado que el 54 por ciento de la población mundial actual reside en áreas urbanas y se pronostica un aumento del 66 por ciento para 2050. México se encuentra en una de las zonas más urbanizadas del planeta, según datos del Banco Mundial (2015), el 79% de los habitantes en el país reside en una ciudad.

Existen 74 zonas metropolitanas en la República Mexicana, de las cuales doce sobrepasan el millón de habitantes, y la Zona Metropolitana de Toluca es una de

ellas, con una población de 1 936 126 habitantes registrada en el último Censo de Población y Vivienda, ocupando el quinto lugar nacional en población (SEDESOL *et al.*, 2018).

La función industrial de Toluca y su metrópoli, es parte clave de su crecimiento, el cual ha rebasado los instrumentos de planificación urbana existentes. Su cercanía a la Ciudad de México ha influido en la inmigración de personas, la cual ha colaborado para que la mancha urbana se incremente con dirección Oeste.

Los cambios en la superficie producen modificaciones en el clima regional, propiciando un clima local, particular de cada ciudad. El clima urbano genera condiciones adversas en el territorio, al permitir la consolidación de fenómenos como las islas de calor. Estos, impactan negativamente en el ambiente y en la población, generando plumas de contaminación, sequías o inundaciones, estrés térmico, lo que produce un aumento en enfermedades respiratorias, cardíacas y cancerígenas e impacto en las condiciones socioeconómicas.

Toluca es considerada la segunda ciudad más contaminadas del país, aún por encima de la Ciudad de México (OMS, 2016). El clima urbano influye en la consolidación de las partículas suspendidas en el aire y en su distribución. Por lo tanto, es prioritario evaluar el comportamiento de cada uno de los elementos que lo integran. Respecto al análisis del clima urbano en la metrópoli se ha detectado la presencia de islas de calor con estacionalidad verano-otoño (Morales *et al.*, 2007; Romero *et al.*, 2011; Rivera *et al.*, 2017); pues es en esta temporada donde se alcanzan las máximas intensidades. Sin embargo, las islas de calor son solo un indicador del clima urbano, por lo que es necesario identificar el comportamiento y distribución de los demás elementos que lo integran tales como humedad relativa, para detectar islas de sequedad y comportamiento de los vientos para ubicar focos de mitigación.

Los patrones de distribución de los procesos climáticos desfavorables no han sido analizados respecto a las características socioeconómicas de la población, ni a las características económicas y físicas existentes en el territorio, por lo que se requería conocer si las condiciones adversas persistentes del clima urbano, impactan en sectores vulnerables de la población de la Zona Metropolitana de Toluca.

Preguntas de investigación

Por ello y con base en las características de la Zona Metropolitana de Toluca se planteó la pregunta base de la investigación:

- ¿Qué estado guarda la ZMT en términos de justicia climática, valorada desde el análisis espacial?

Para generar la información que permitió responder a la pregunta base, se formularon los siguientes cuestionamientos:

- ¿Cómo se comportan los elementos del clima urbano en la Zona Metropolitana de Toluca y cuál es su distribución espacio-temporal a lo largo de seis años?
- ¿Cuál es la condición que guardan los agebs urbanos respecto a condiciones del territorio que posibilitan la resiliencia a los impactos del clima urbano?
- ¿Cómo está distribuida categóricamente la población respecto a variables económicas, sociales y territoriales en la ZMT?
- ¿Existen zonas que compartan condiciones adversas tanto en los indicadores del clima urbano como en las características socioeconómicas o territoriales a la vez?

- ¿Cómo se puede medir a la justicia climática desde una visión de análisis espacial?

Dichos planteamientos fueron guía para el desarrollo de la investigación y se retomaron a lo largo del trabajo. Con base en ellos se planteó la hipótesis.

Hipótesis

En la Zona Metropolitana de Toluca existe un clima urbano con presencia de islas de calor y de sequedad, cuyo comportamiento y distribución es desigual en el territorio e incide de manera directa en la población que presenta condiciones socioeconómicas adversas para ser resilientes a los impactos negativos generados. En ese sentido, se visualiza la posibilidad de que existan áreas en donde persisten condiciones socioclimáticas adversas y que no son representativas de la justicia climática en el área de estudio.

Objetivos

General

Realizar una propuesta metodológica para la generación de un indicador de zonas socio-climático-territoriales adversas que permita determinar la existencia de justicia climática en la Zona Metropolitana de Toluca, tomando como variables indicadores del clima urbano, del territorio y la población.

Específicos

- Analizar el comportamiento y distribución espacial de los elementos temperatura, humedad relativa y viento del clima urbano a lo largo de 6 años,

con la finalidad de generar el mapa de clima urbano y con ello identificar las zonas climáticas adversas.

- Categorizar las condiciones territoriales y socioeconómicas que existen en la Zona Metropolitana de Toluca, con la finalidad de identificar las zonas territoriales y socioeconómicas adversas.
- Analizar el grado de correlación estadística y espacial entre los indicadores climáticos, territoriales y socioeconómicos incluidos para generar un indicador que permita identificar y categorizar zonas socioclimáticas y socioterritoriales adversas, las cuales permitan medir la equidad horizontal y vertical.
- Analizar el comportamiento y distribución de la equidad horizontal y la equidad vertical presentes en la zona de estudio para determinar la existencia de justicia climática.

Estructura de la tesis

En el presente trabajo de investigación, se propone estudiar a la justicia climática desde el clima urbano, con la perspectiva del análisis espacial basado en las ciencias geográficas. El documento se divide en cuatro capítulos, mismos que abordan las fases del proceso de investigación empleado, desde el aporte teórico, hasta la generación del indicador de ZSCA (zonas socio climáticas adversas) y ZCTA (zonas climático-territoriales adversas) y con ello la identificación del estado que guarda la justicia climática en el área de estudio.

El primer capítulo incluye una revisión teórica respecto a la transición de la justicia social hacia la justicia climática y la visión global y local con la que se aborda el concepto desde las ciencias del espacio. Posteriormente se transita hacia el análisis del clima urbano cómo un clima local generado por la ciudad, se incluyen las causas

que posibilitan su aparición y las consecuencias que generan en el territorio y la sociedad. Finalmente se hace una revisión de algunas investigaciones que anteceden el estudio de la justicia climática desde la perspectiva de la Geografía.

En el segundo capítulo se desarrolla la metodología propuesta para el análisis de la justicia climática desde la perspectiva del análisis cuantitativo. Se describen las fases en las que se desagrega el estudio. En primer lugar se muestran las variables elegidas para el indicador climático, su tratamiento estadístico y cartográfico. Enseguida se desarrollan los apartados de los indicadores territoriales y socioeconómicos, incluida la operacionalización de variables correspondiente a cada etapa. Finalmente se describen los métodos de reducción de dimensiones utilizados para generar los índices de equidad vertical y horizontal, que permiten identificar las zonas socioclimáticas adversas y con ello, la justicia climática en conjunto.

Los resultados cartográficos y estadísticos se ubican en el capítulo tres. Se muestra la cartografía generada para los componentes climático, territorial y socioeconómico y se integran correlaciones estadísticas y espaciales entre componentes. En el capítulo cuatro se desarrollan los resultados obtenidos, se analiza el estado que guarda equidad vertical y horizontal y por ende la justicia climática en la zona de estudio y los sectores que deben ser foco de atención prioritaria.

Finalmente se redactan las conclusiones del trabajo derivadas de la discusión teórica, así como de los resultados obtenidos para cada objetivo planteado en la investigación. Se emiten recomendaciones pertinentes para futuras investigaciones. En la parte de anexos se presenta la producción científica realizada: el primer artículo “As metrópoles mexicanas rumo à sustentabilidade climática: uma revisão sob a perspectiva do clima urbano” publicado por la revista *Confins* y el segundo artículo “El clima urbano en México: un reto para la consolidación de ciudades sostenibles” publicado en el libro *América Latina en las últimas décadas: procesos y retos*.

1. Marco teórico-referencial:

La justicia climática desde la perspectiva del clima urbano

“Ya sea por un diseño consciente o por negligencia institucional, las comunidades de color en los guetos urbanos, en los 'bolsillos de pobreza' rurales o en las reservaciones de nativos americanos económicamente empobrecidas enfrentan algunas de las peores devastaciones ambientales de la nación”.

Dr. Robert Bullard

Fundamentación epistemológica

La fundamentación epistemológica de la investigación radica en el pensamiento neopositivista. La relación entre la población y el clima urbano ha tenido una connotación eminentemente cuantitativa, sin embargo el tema de justicia lleva inmerso un enfoque emanado de la geografía crítica.

La construcción teórica muestra la importancia de fundamentar a partir de valores, la forma en la que el clima urbano se distribuye con diferentes intensidades sobre la urbe y genera los impactos en el territorio y la población. Es prioritario generar una metodología que permita medir la existencia o inexistencia de justicia climática en un territorio por lo que el aporte de la geografía cuantitativa será fundamental.

El neopositivismo y su base lógico-cuantitativa darán soporte para el análisis a partir de la escuela de la geografía cuantitativa. De acuerdo con Santarelli (2002) se construye la tabla 1, misma que detalla el enfoque utilizado y sus principales características.

Tabla 1. Características de la línea de pensamiento del neopositivismo

Enfoque teórico	Método	Escalas	Objetivos
Ambientalista-materialista	Inductivo - cuantitativo	Microescala	Buscar leyes que expliquen la relación hombre-naturaleza

Fuente: Elaboración propia con base en Santarelli, 2002.

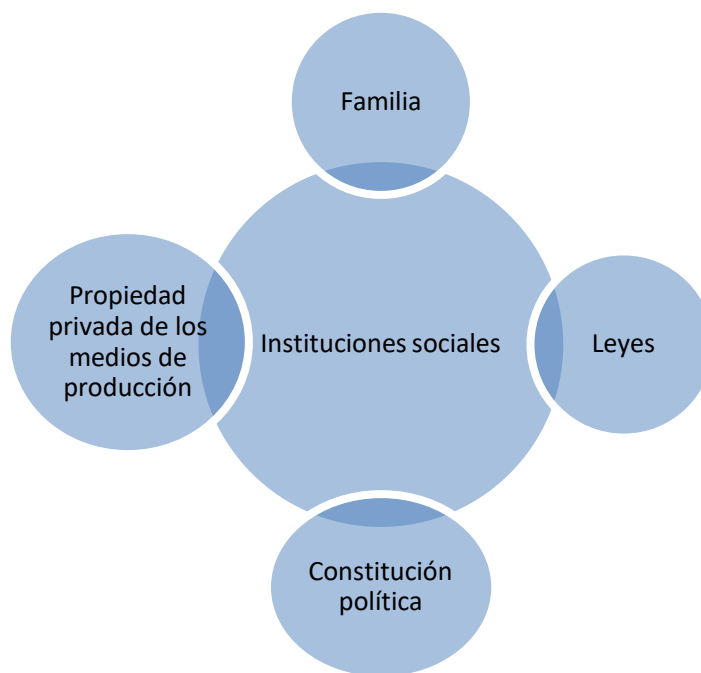
La evolución del concepto de justicia a la justicia climática

Hablar de justicia ambiental exige mirar hacia atrás para entender cómo el concepto de justicia se ha integrado a aspectos socio-espaciales. En el estricto significado de la palabra, la RAE define a la justicia como “el principio moral que lleva a dar a cada uno lo que le corresponde o pertenece”. La justicia ha transitado de ser abordada desde la institucionalidad hacia la territorialidad.

La justicia social se produce específicamente a partir de las instituciones (fig. 1), las cuales son las encargadas de distribuir los deberes de manera equitativa al interior de una sociedad (Rawls, 1971). De acuerdo con la teoría de la justicia social propuesta en la década de 1970, la estructura básica de la sociedad constituye el punto neurálgico de la justicia (Rawls 1971, en Vidal, 2009).

Sin embargo, la construcción del concepto de justicia tiene la característica de ser universal y abstracta, no toma en cuenta las particularidades de un grupo, es decir las estructuras sociales y los contextos en el que se desarrolla (Vidal, 2009), o en el caso de interés de un espacio geográfico en particular. Es este sentido, la teoría de justicia tendría que evolucionar para incluir dichas particularidades.

Figura. 1. Instituciones sociales con influencia en la justicia social



Fuente: Elaboración propia con base en Rawls, 1971.

Una de las características intrínsecas de la justicia es que siempre genera consecuencias de tipo espacial (Soja, 2014), es por ello que empieza a ser objeto de estudio de la geografía durante de la década de los setenta, desde la geografía crítica (Santana, 2012), al centrar el análisis en la forma en la que las políticas neoliberales incidían en la organización espacial al interior de una ciudad. Harvey (1977) como uno de los principales exponentes de la geografía crítica, indica que “la justicia territorial es la búsqueda de una distribución justa de los recursos sociales y alcanzada con justicia”

Los primeros acercamientos de la justicia espacial con la geografía se remontan a 1996, cuando se planteó una demanda de cambio de dinámica urbana en California, debido a que un colectivo de la población, solicitaba una distribución igualitaria de rutas y calidad del transporte público (Soja, 2014).

Harvey construye desde la geografía, una teoría de justicia espacial basada en los principios de la justicia social, aunque hace mención de las dificultades que tiene

trasladar al espacio, el carácter universal que pretendía la justicia social (Santana, 2012). De acuerdo con Soja (2014) para analizar la justicia espacial es necesario considerar los elementos Tiempo-Espacio-Sociedad y conjuntar aspectos del derecho, la política, la sociología y la geografía.

Se han propuesto dos enfoques de estudio de la justicia espacial, el primero enfocado en la individualidad, se interesa en las implicaciones de la distribución; el principal interés es la justicia hacia las personas para que tengan equidad en oportunidades y distribución justa de los recursos.

El segundo enfoque es comunitario, se centra en los procesos de decisión de actividades de alto impacto en el territorio; la justicia se centra en los derechos de las comunidades. La inclusión de la opinión de la comunidad respecto a la instalación de obras de alto impacto es preponderante para la existencia de justicia.

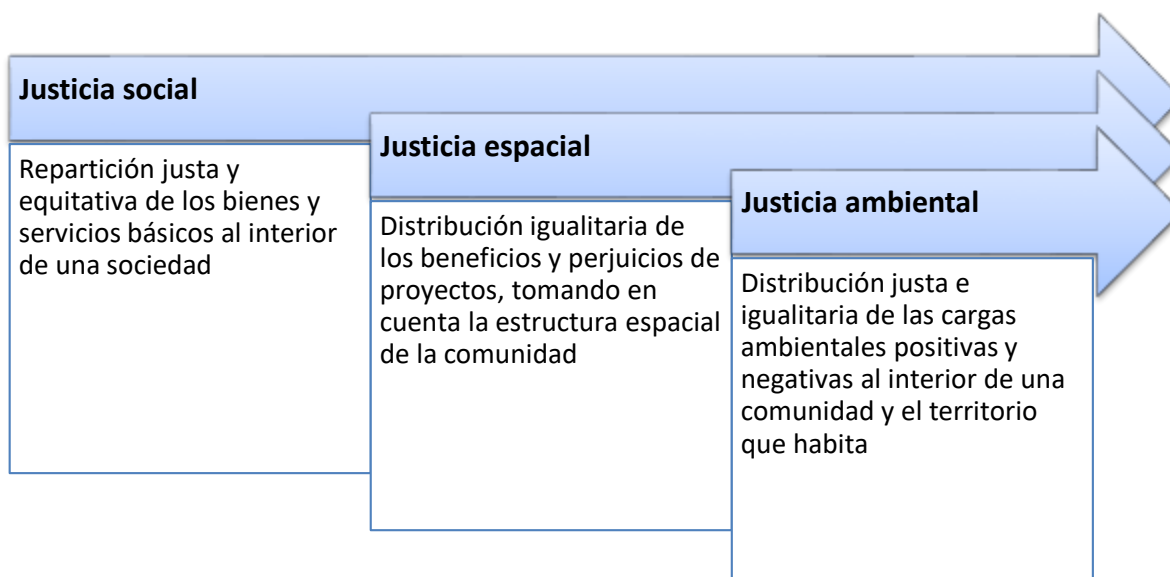
La justicia espacial aboga por que exista una distribución igualitaria de proyectos tanto benéficos como perjudiciales de carácter económico, social y cultural en una comunidad determinada, tomando en cuenta la estructura de la población al interior de la ciudad, evitando la discriminación por condiciones sociales, culturales, económicas y políticas.

Los procesos de deterioro que se llevan a cabo alrededor del territorio son cada vez más frecuentes e intensos y no impactan de la misma forma en la relación humano-medio, existen condiciones que propician que algunos grupos sociales sean más vulnerables a los impactos negativos que producen. Las problemáticas ambientales generadas por el propio proceso de desarrollo de las comunidades, han puesto en la mesa de discusión, la importancia de enfocar los principios de la justicia social y espacial a una justicia encaminada a atender los conflictos que se producen en el ambiente y cuyas afectaciones pueden causar impactos distintos de acuerdo a las características de la población y el territorio afectado (fig 2).

En esta sintonía, nace el concepto de justicia ambiental, el cual se desarrolla en Estados Unidos de América y surge con la intención de “evitar el impacto desigual o desproporcionado de las amenazas ambientales sobre los grupos de población más desaventajados y por lo tanto más vulnerables” (Bosque, et al., 2001).

En palabras de Moreno (2010), la justicia ambiental pretende “valorar la distribución de los beneficios y perjuicios generados por agentes humanos entre lugares y grupos de población”. Por su parte Riechmann (2003) afirma que “la justicia ambiental tiene que ver con la distribución de bienes y males ambientales, entre los seres vivos, tanto sincrónica como diacrónicamente” debido a que los beneficios o perjuicios generados pueden impactar a la actual comunidad o a las futuras generaciones.

Figura. 2. Justicia ambiental como cohesión de la justicia social y espacial



Fuente: Elaboración propia con base en Rawls (1971), Soja (2014) y Moreno (2010)

El movimiento que dio pauta a la justicia ambiental surge en los sesenta cuando grupos raciales minoritarios luchaban en EUA para que en sus territorios no se construyeran confinamientos de residuos peligrosos y/o industrias, puesto que dichas instalaciones generalmente se concentraban cercanas a poblaciones étnicas

o que tenían poca capacidad de presión social o económica (Bosque *et al.*, 2001; Moreno, 2010).

Se plantea la necesidad de tomar en cuenta la distribución igualitaria en el territorio de las consecuencias que generan ciertas acciones sociales de alto impacto ambiental (Bosque *et al.*, 2002). De acuerdo con Sarokin y Schulkin (1994), existe injusticia ambiental cuando una comunidad o un sector de esta, presentan una de las siguientes condiciones:

1. Están expuestos a mayor riesgo que otros por causas de contaminación ambiental
2. Presentan mayores perjuicios ambientales sin estar necesariamente expuestos a mayor riesgo
3. Tienen acceso desigual en la toma de decisiones de proyectos que les afectan ambientalmente.

Los perjuicios por conflictos ambientales pueden ser clasificados de acuerdo con la fase dentro de las cadenas de producción donde se originan; es decir, pueden generarse en los lugares donde se empieza la extracción de materiales y energía, en la fase de transformación (manufactura) y transporte o en la última fase del proceso: la disposición de los pasivos ambientales (Martínez-Alier, 2004). Cada una de estas fases, presentan tipos de perjuicios, los cuales se muestran en la tabla 2, es importante mencionar que los conflictos descritos son los que se han identificado con mayor frecuencia, por lo que la lista se realizó con base en la observación que diversos autores y ONG's de corte ecologista, han realizado de conflictos ambientales en diferentes lugares del planeta.

Tabla 2. Clasificación de perjuicios por conflictos ambientales de acuerdo con la fase de producción

TIPO DE CONFLICTO	DESCRIPCIÓN DEL PERJUICIO AMBIENTAL
-------------------	-------------------------------------

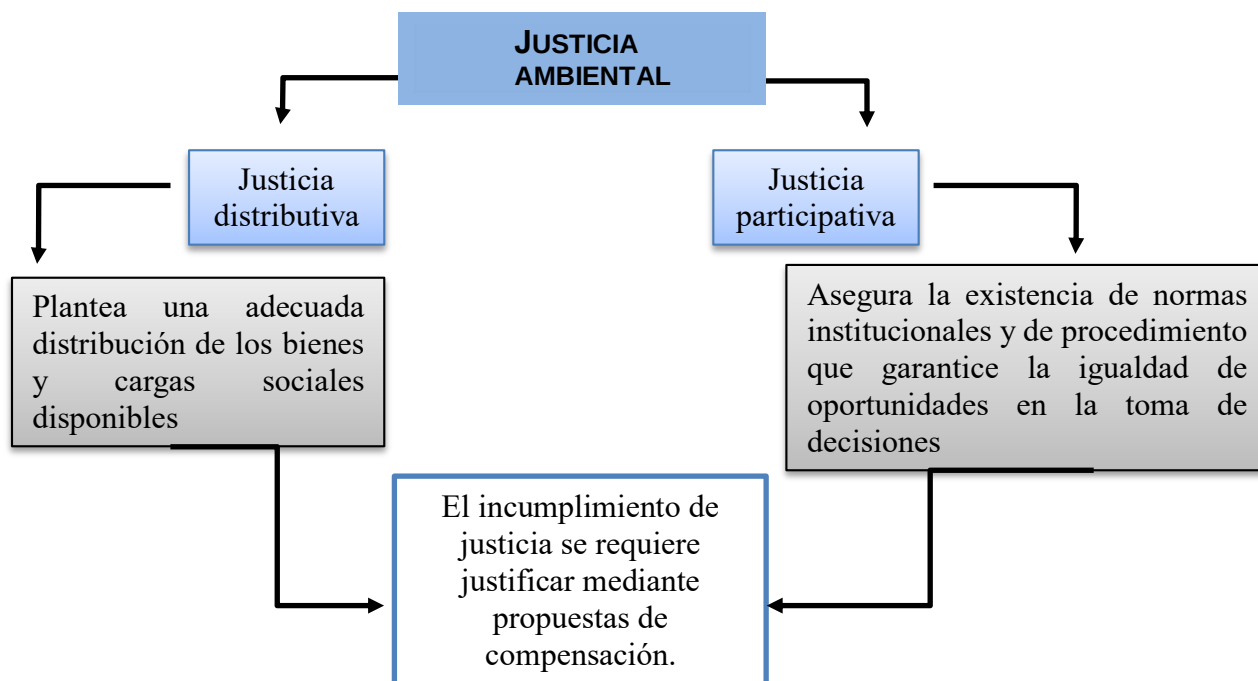
EXTRACCIÓN DE MATERIALES Y ENERGÍA	Minero	Daños en agua (alteraciones en la dinámica fluvial, pérdida de masas de agua, alteraciones en el régimen hidrológico, contaminación por metales pesados), suelo (desertización, impacto en el paisaje, cambio en procesos de ladera, peligros geotécnicos, pérdida de propiedades físicas como variaciones texturales y estructurales, pérdida de propiedades químicas como alteración de materiales pesados, acidificación) y aire (emisiones sólidas, gases tóxicos y de combustión, aerosoles tóxicos, ruido) debido a los procesos de extracción y a los residuos de la propia actividad (Lillo, 2011)
	Extracción de petróleo	Contaminación del aire (liberación de gas natural por acción de venteado y/o combustión), suelo (alteración del sustrato por desechos, desertización por alisado del terreno para operación de equipos) y agua (contaminación por vertido de petróleo y desechos, aumento de salinidad por contaminación de las napas con el agua de producción) (Instituto Argentino del Petróleo, 1991)
	Plantaciones forestales mono específicas	Impacto en suelo, flora y fauna, debido a plantación específica de especies como eucaliptos, pinos, acacias o melinas que se utilizan para la producción de papel.
	Biopiratería	Apropiación de los recursos biológicos con fines medicinales y/o agrícolas, sin reconocer el conocimiento local campesino e indígena y sin generar un pago alguno por la propiedad de dichos recursos
	Defensa de los manglares	Impacto en los manglares y en las comunidades por la producción camaronera a nivel industrial debido a la obstrucción del flujo de agua, construcción de canales y piscinas,

		desaparición de flora y fauna, salinización de aguas subterráneas y superficiales, erosión de esteros.
	Conflictos sobre el agua	Trasvase de ríos, contaminación de acuíferos, represas para hidroeléctricas cuyas afectaciones se traducen en la disminución de la biodiversidad.
	Derechos de pesca	Impactos en la pesca debido a sobrepesca por actividad industrial afectando la pesca artesanal
TRANSPORTE Y MANUFACTURA		Peligros por el trasiego de materiales y energía como oleoductos o gasoductos, hidrovías , ampliación de puertos y aeropuertos
	Instalación de zonas industriales	Impacto en suelos (por cambio de uso de suelo, contaminación, despojo de tierras), agua (uso de cuerpos de agua para procesos de manufactura) y daño en el paisaje.
	Luchas tóxicas	Riesgo por residuos de metales pesados, dioxinas, producto de procesos de producción.
	Seguridad de consumidores y ciudadanos	Peligro por la incidencia y distribución social de los riesgos desconocidos de nueva tecnología (DDT, energía nuclear, producción de transgénicos, asbestos, agro-tóxicos en general)
RESIDUOS Y CONTAMINACIÓN	Exportación de residuos tóxicos.	Desagüe de barcos extranjeros con residuos tóxicos.
	Contaminación transfronteriza	Riesgo por emisión de dióxido de azufre que provoca lluvia ácida, contaminación radioactiva, emisiones de CFC, drenaje ácido, deuda de carbono de los países del norte hacia los del sur por excesivas emisiones de gases de efecto invernadero
	Instalación de vertederos e incineradores de residuos.	Riesgo por contaminación de suelo, agua y aire, despojo de tierras, desertización, problemas de salud, afectación al paisaje.

Fuente: Elaboración propia con base en Martínez-Alier (2004)

Como ya se ha mencionado anteriormente, la justicia puede plantearse desde dos perspectivas distintas y la justicia ambiental no es la excepción (figura 3). Se trabaja desde la visión espacial a través de la justicia distributiva y desde la visión normativa a partir de la justicia participativa.

Figura 3. Ámbitos de la justicia ambiental.

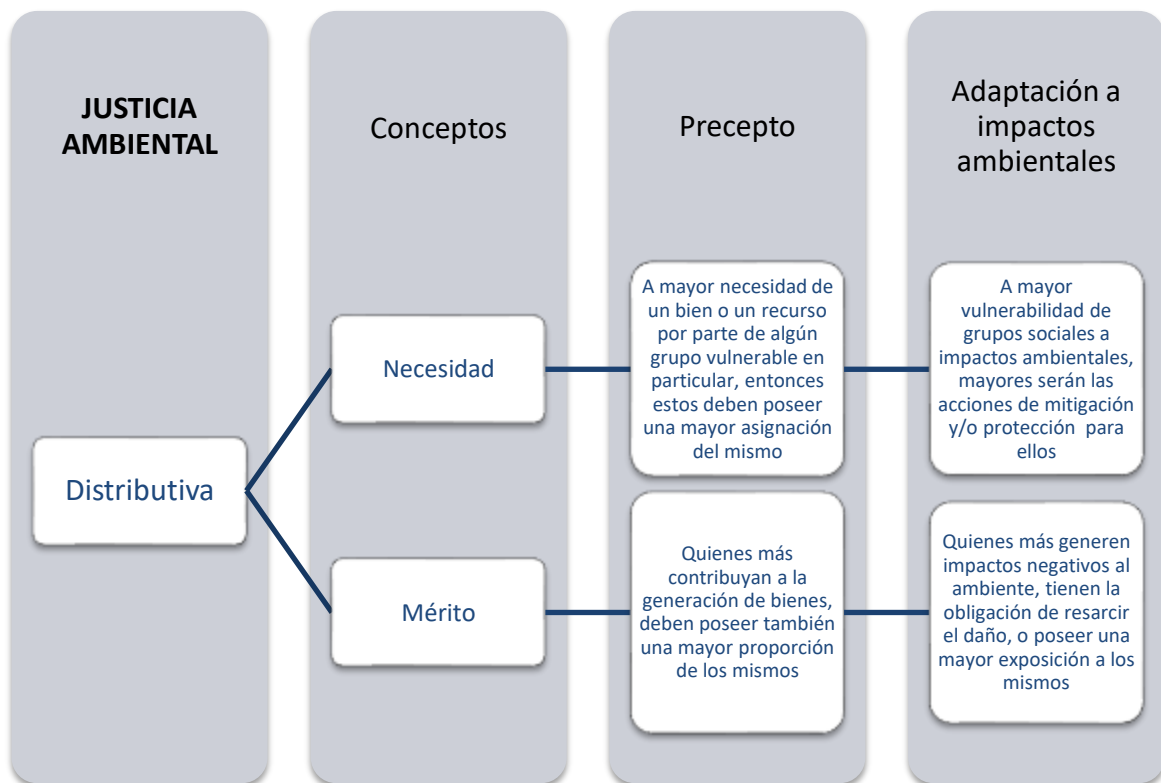


Fuente: Elaboración propia con base en Centro de Derechos Humanos, 2008.

- Justicia distributiva. Aboga por que las cargas y beneficios ambientales sean repartidos de manera equitativa en el territorio y entre los individuos de la comunidad. Se pretende eliminar cuestiones discriminatorias, cuyos fundamentos estén basados en características de género, raza, condición socioeconómica, entre otros (Ministerio Público Federal, 2018).

De acuerdo con Rawls (1986), dentro de la justicia distributiva, se han manejado dos conceptos a la par, el primero refiere a la distribución de la justicia con base en la necesidad, es decir, argumenta que a mayor necesidad de un bien o un recurso por parte de algún grupo vulnerable en particular, entonces estos deben poseer una mayor asignación del mismo. El segundo concepto hace referencia al mérito, e indica que quienes más contribuyan a la generación de bienes, deben poseer también una mayor proporción de los mismos. En el sentido ambiental, los conceptos de necesidad y mérito deben entenderse de acuerdo a la descripción de la figura 4.

Fig 4. La necesidad y el mérito dentro de la justicia ambiental



Fuente: Elaboración propia con base en Rawls (1986)

- Justicia participativa. Es de carácter normativo, puesto que busca la participación significativa de los ciudadanos que estarán potencialmente afectados por la ejecución de algún proyecto con impactos ambientales

negativos. Para su cumplimiento, se necesita la apertura de espacios de participación ciudadana, que permitan el intercambio de conocimiento local en la evaluación nativa de los impactos y la posibilidad de toma de decisiones de la comunidad afectada por dicho proyecto (Ministerio Público Fiscal (2018).

De acuerdo con la Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos (EPA, n/d), la justicia ambiental precisa que la sociedad participe significativamente en procesos de desarrollo, implementación y cumplimiento de políticas de carácter ambiental, las cuales permitan a la sociedad acceder a: a) un grado igualitario de protección contra amenazas y peligros para el ambiente y para la salud y b) a la igualdad en el acceso a un entorno saludable, a partir de la participación en la toma de decisiones.

La tendencia que se ha mantenido respecto a la degradación ambiental, muestra que se afecta de forma desigual al territorio y a los grupos socio-espaciales que se encuentran en él, específicamente a personas de escasos recursos o minorías étnicas que no poseen poder económico, político o social para hacer evitar dicha afectación (Centro de Derechos Humanos, 2008; Moreno, 2009). Martínez Alier (2009), afirma respecto a los pasivos ambientales que “los perjudicados por el crecimiento de los residuos y por la extracción de recursos naturales a menudo son gente pobre. A veces los afectados son generaciones futuras que no pueden protestar porque aún no han nacido”.

En este sentido, la justicia ambiental demanda que las cargas y beneficios ambientales sean distribuidos de igual manera entre la población de un territorio, sin privilegiar sectores que cuenten con mejores condiciones de vida respecto a aspectos económicos, sociales y/o territoriales, a la vez que aboga por la participación activa de la comunidad en foros de consulta para la toma de decisiones respecto a la implementación de proyectos que generen impacto ambiental en el lugar de origen.

La aplicación de la justicia ambiental en sus inicios, se centraba solo en conocer el lugar donde se presentaban los conflictos ambientales, es decir, la localización espacial. Al paso del tiempo se incluye el análisis respecto a la necesidad de participación ciudadana en la toma de decisiones y equilibrio en las acciones de políticas públicas para la sociedad en general; se va fortaleciendo el concepto tomando en cuenta, incluso, la responsabilidad intergeneracional (Bosque *et al.*, 2001; Moreno, 2009).

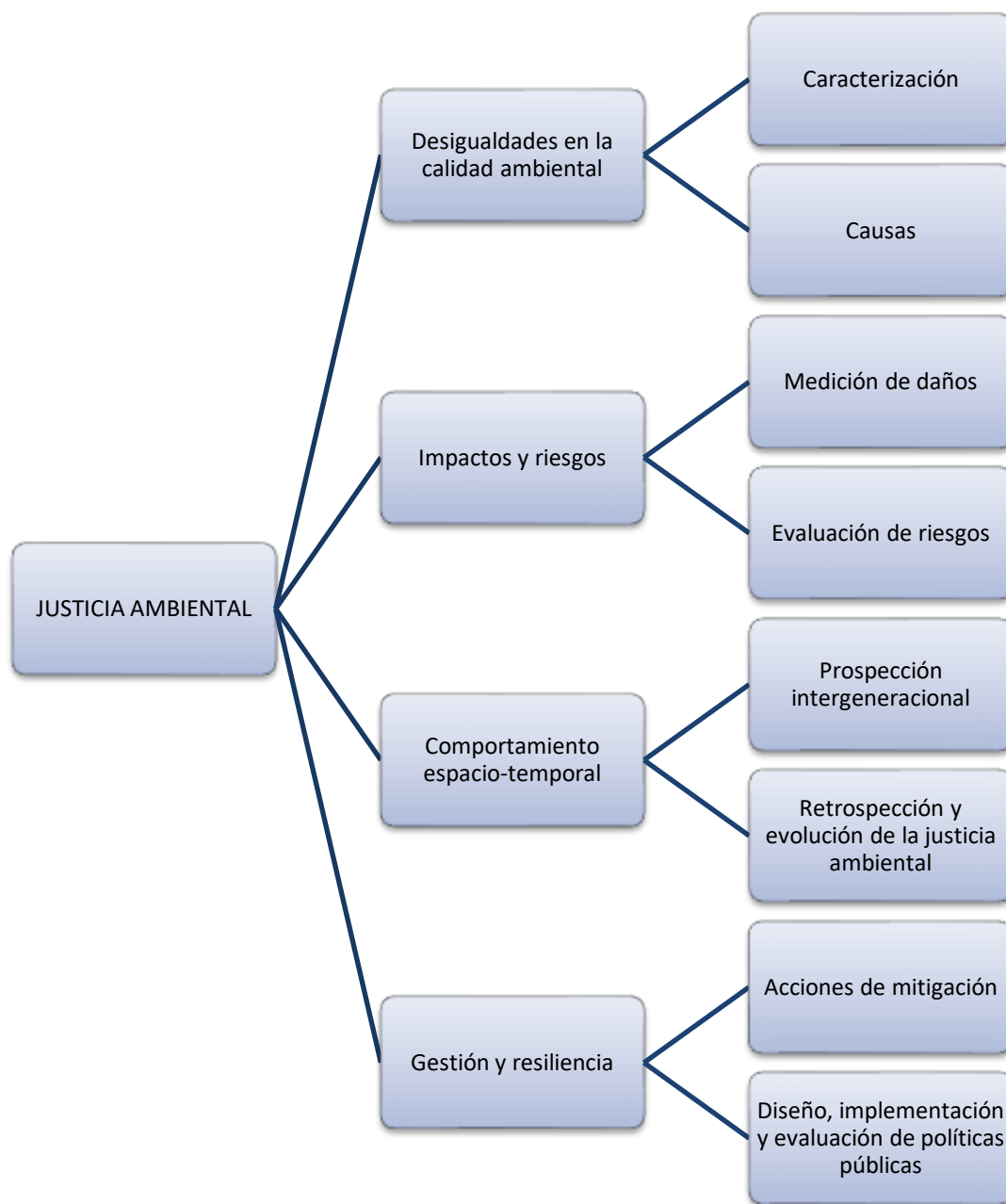
Desde la visión geográfica, la forma de analizar a la justicia ambiental, específicamente desde el ámbito de la justicia distributiva, se puede dar desde cuatro perspectivas distintas (fig. 5). En primer lugar, para identificar las desigualdades que en la relación territorio-sociedad se presentan respecto a la calidad que posee el ambiente o un elemento de él en particular. Esta fase permite dos aspectos: la caracterización del entorno que se analiza para generar un diagnóstico del que se pueda partir a fases más complejas y/o el análisis de los factores que causan la mala calidad o el impacto en el ambiente así como su comportamiento entre el territorio y la población (Moreno, 2009).

La segunda perspectiva se centra en el análisis de los impactos que se han generado ya en un territorio y en el estudio de los riesgos que pueden ser potenciales en un futuro debido a las condiciones que prevalecen. Se desarrolla a través de la medición de daños causados en un evento en particular o bien a través de la evaluación de los riesgos a los que está expuesta la población, con la finalidad de prever impactos potenciales.

La justicia ambiental también se analiza en su comportamiento espacio-temporal, es decir, en la forma en que evoluciona a lo largo de un determinado periodo y se distribuye en el territorio. Esto posibilita hacer una prospección de las condiciones del ambiente para modelar la forma en la que las futuras generaciones obtendrán los impactos positivos o negativos. Es básica la inclusión en el análisis, de las

acciones en políticas públicas llevadas a cabo o planeadas para poder hacer dicha prospección.

Fig. 5 Perspectivas de análisis de la justicia ambiental distributiva desde el ámbito geográfico



Fuente: Elaboración propia con base en Moreno, 2009.

Por otro lado, se puede realizar una retrospectiva y evaluar las condiciones que han prevalecido durante un periodo de tiempo en un lugar y población determinados. Para esta fase es necesario contar con los diagnósticos previos.

La cuarta perspectiva aborda la gestión de los impactos ambientales en la sociedad y el territorio de tal manera que estos se dirijan hacia la resiliencia, entendida como la capacidad a largo plazo que tienen los sistemas ambientales, para adaptarse a los cambios y continuar desarrollándose (SRC, n/d). Las fases que se deben de contemplar refieren a acciones de mitigación para reducir los daños colaterales causados por los procesos ambientales negativos y el esfuerzo conjunto de sociedad-gobierno-sector privado para regular mediante acciones legislativas, las normas y procedimientos que permitan la existencia de políticas públicas acordes a la anhelada resiliencia.

Las temáticas incluidas en la justicia ambiental abordan aspectos de contaminación en sus diversas manifestaciones, entre los más comunes se encuentran la instalación de vertederos o rellenos sanitarios, de plantas de tratamiento, de minería extractiva, en general, de pasivos ambientales producto de residuos de producción (Martínez-Alier, 2008,2009).

Los trabajos desde el ámbito geográfico referentes a la justicia ambiental se enfocan en analizar la distribución inequitativa de diversas instalaciones no deseables tales como industrias, rellenos sanitarios, plantas tratadoras, minería extractiva y en general de pasivos ambientales producto de residuos de producción (Martínez-Alier, 2008,2009; Centro de Derechos Humanos, 2008; Vázquez y Salgado, 2009; Alfie Cohen, 2015); y en la distribución inequitativa de consecuencias ambientales tales como la contaminación en sus diferentes formas, por ejemplo la polución atmosférica (Moreno y Cañada, 2007; Romero y Opazo, 2011) y la contaminación sonora (Moreno, 2007).

Sin embargo, el tema del clima ha cobrado importancia en las últimas décadas, a partir de los problemas relacionados con el cambio climático, debido a que las mayores afectaciones se esperan en poblaciones con mayor vulnerabilidad a los impactos. Es así que surge el término de justicia climática el cual será abordado en el apartado: Introducción a la justicia climática: concepto y desarrollo desde la base de la justicia ambiental

Panorama general del marco jurídico de la justicia ambiental en México

El desarrollo de normatividad que promueva un espacio ambientalmente justo tiene sus bases en la incorporación del término justicia ambiental en el discurso político en Estados Unidos de América. La EPA es uno de los primeros organismos gubernamentales que genera políticas públicas y normatividad dirigida a abatir la disparidad entre comunidades de injusticias ambientales (Ramírez *et, al.*, 2015).

A nivel internacional existen documentos que promueven el desarrollo del derecho ambiental y que buscan que los países, adopten los principios que marcan la pauta en la búsqueda de la justicia ambiental. En la tabla 3, se muestran dos de los documentos internacionales más importantes y algunos de los principios que aluden a la búsqueda de la justicia ambiental a través del cumplimiento de dichos principios, es importante mencionar que no son los únicos que refieren a temas ambientales, sin embargo son los que se acercan más al objetivo de justicia.

Tabla 3. Principios de la justicia ambiental

<i>Documento</i>	<i>Principios relacionados al derecho ambiental</i>
<i>Declaración de Estocolmo</i>	Principio 1. El hombre tiene derecho fundamental a...un medio ambiente de calidad tal que le permita llevar una vida digna y gozar de bienestar, y tiene la solemne obligación de proteger y mejorar el medio ambiente para las generaciones presentes y futuras

*Declaración de
Río*

Principio 22. Los Estados deben cooperar para continuar desarrollando el derecho internacional en lo que se refiere a la responsabilidad y a la indemnización a las víctimas de la contaminación y otros daños ambientales que las actividades realizadas dentro de la jurisdicción o bajo el control de tales Estados causen a zonas situadas fuera de su jurisdicción

Principio 2. "... los Estados tienen el derecho soberano de aprovechar sus propios recursos según sus propias políticas ambientales y de desarrollo, y la responsabilidad de velar por que las actividades realizadas dentro de su jurisdicción o bajo su control no causen daños al medio ambiente de otros Estados o de zonas que estén fuera de los límites de la jurisdicción nacional"

Principio 10. El mejor modo de tratar las cuestiones ambientales es con la participación de todos los ciudadanos interesados, en el nivel que corresponda.

Principio 16. Las autoridades nacionales deberían procurar fomentar la internalización de los costos ambientales y el uso de instrumentos económicos, teniendo en cuenta el criterio de que el que contamina debe, en principio, cargar con los costos de la contaminación, teniendo debidamente en cuenta el interés público y sin distorsionar el comercio ni las inversiones internacionales.

Fuente: Declaración de Estocolmo (1972) y Declaración de Río (1992)

En México, el derecho ambiental se ha ido integrando poco a poco en documentos normativos, la inclusión de un medio ambiente sano y de la búsqueda de objetivos para lograr un desarrollo sustentable, tienen sus antecedentes en las reformas realizadas a la Carta Federal en 1999 (Baquedano, 2012), por lo que el interés en temas ambientales es reciente en nuestro país.

Las bases están plasmadas en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que en su artículo 4, 25 y 27 hacen mención a la inclusión de temáticas ambientales en el ámbito de la justicia y a la letra dicen:

Artículo 4. Toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar.

Artículo 25. Bajo criterios de equidad social, productividad y sustentabilidad se apoyará e impulsará a las empresas de los sectores social y privado de la economía, sujetándolos a las modalidades que dicte el interés público y al uso, en beneficio general, de los recursos productivos, cuidando su conservación y el medio ambiente.

Artículo 27. La nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana. En consecuencia, se dictarán las medidas necesarias para ordenar los asentamientos humanos y establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques, a efecto de ejecutar obras públicas y de planear y regular la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población; para preservar y restaurar el equilibrio ecológico

Con base en el artículo 4 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos se desprende la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente la cual “reglamenta las disposiciones en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico así como a la protección al ambiente, en el

territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción”

En el documento se establecen las bases para:

- I. Definir los principios de la política ecológica general y regular los instrumentos para su aplicación;
- II. El ordenamiento ecológico;
- III. La preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente;
- IV. La protección de las áreas naturales y la flora y fauna silvestres y acuáticas;
- V. El aprovechamiento racional de los elementos naturales de manera que sea compatible la obtención de beneficios económicos con el equilibrio de los ecosistemas;
- VI. La prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo;
- VII. La concurrencia del gobierno federal, de las entidades federativas y de los municipios, en la materia; y
- VIII. La coordinación entre las diversas dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, así como la participación corresponsable de la sociedad, en las materias de este ordenamiento.

Dicha ley es el eje rector de la política ambiental en México y como consecuencia de la normatividad para alcanzar la justicia ambiental en el país, la cual es ejercida y regulada conjuntamente con los organismos e instituciones públicas de corte nacional y estatal.

Introducción a la justicia climática: concepto y desarrollo desde la base de la justicia ambiental

La justicia climática se desprende de la corriente de la justicia ambiental y se fortalece a partir de los efectos que tiene el calentamiento global en el planeta. El cambio climático ha puesto en la mesa de discusión la necesidad de analizar la problemática no solo desde el aspecto físico-climático sino desde la perspectiva de los responsables, de la vulnerabilidad de los afectados por el territorio que ocupan

y por las condiciones socioeconómicas que prevalecen y de las políticas públicas que del tema emanan. Lo anterior con miras a generar un equilibrio en los impactos y atender el compromiso con las generaciones futuras, que no son partícipes de las causas pero sí probablemente de los impactos.

El término Justicia Climática se utilizó por vez primera en el año de 1999 por el grupo Corporate Watch en un informe que tenía como título “Greenhouse Gangsters vs. Climate Justice”, dentro del cual se exponían temas relacionados a la industria petrolera y la influencia excesiva que ejercía en el ámbito político, además, puso en la mesa de discusión temas relacionados al calentamiento global y a la necesidad de apoyar comunidades afectadas por el aumento de la incidencia de los desastres relacionados con el clima (Borras, 2016). Sin embargo fue hasta el movimiento denominado “Climate Justice Now” surgido en 2007 en Bali durante las negociaciones de la COP-14, que se popularizó el término.

El objetivo del movimiento “Climate Justice Now”, es concientizar acerca de la creciente desigualdad socioeconómica que existe en el mundo y afirma que los países del Norte global deben de asumir la responsabilidad de ayudar económica y tecnológicamente a los países del sur para adaptarse a los impactos del cambio climático, debido a que los primeros poseen la capacidad tecnológica, financiera e institucional para enfrentarlo, además de que son los responsables principales del cambio climático global, lo anterior con base en las emisiones de carbono generadas a lo largo de las últimas décadas.

Considerando los aportes teóricos de la justicia ambiental, los trabajos relacionados con la justicia climática han respondido al principio de distribución que aboga por conocer dónde se concentran las condiciones climáticas adversas o los perjuicios relacionados a esas condiciones y al principio de participación, cuyo objetivo es generar condiciones para que la población se adentre a conocer y decidir sobre los temas que le competen a su territorio en materia ambiental de corte climático. Lo anterior con el fin de lograr la justicia distributiva y participativa respectivamente.

La red internacional de Justicia Climática (2002) propuso una serie de principios que hacen énfasis en la problemática del cambio climático, y cuyo objetivo es evidenciar las desigualdades económicas, tecnológicas y de adaptación de los países del sur, respecto a los del norte. En la tabla 4, se muestran los principios que se relacionan directamente con la búsqueda de la justicia en materia climática.

Tabla 4. Principios de la Justicia Climática

<i>Principio</i>	<i>Descripción</i>
1	... La Justicia Climática insiste que las comunidades tienen el derecho de ser libres del cambio climático, sus impactos relacionados y otras formas de destrucción ecológica.
5	La Justicia Climática demanda que las comunidades, particularmente las afectadas, desempeñen un papel de liderazgo en procesos nacionales e internacionales para abordar el cambio climático.
9	La Justicia Climática protege los derechos de víctimas del cambio climático y de las injusticias asociadas para que reciban compensación, restauración, y reparación completa por la pérdida de tierra, modo de vida y otros daños.
12	La Justicia Climática afirma el derecho de toda la gente, incluyendo a pobres, mujeres, gente rural e indígena, para que tengan acceso a energía sustentable y costeable.
19	La Justicia Climática demanda que la política pública esté basada en respeto mutuo y justicia para todas las gentes, libres de cualquier forma de discriminación o prejuicio

21	La Justicia Climática afirma el derecho de los pueblos indígenas y comunidades locales de participar efectivamente en todo nivel de la toma de decisiones, incluyendo asesoramiento, planificación, implementación, sanción y evaluación, la sanción estricta de principios de consentimiento informado anterior, y el derecho de decir “No”.
27	La Justicia Climática afirma los derechos de generaciones sin nacer a los recursos naturales, a un clima estable y un planeta saludable

Fuente: Red internacional de Justicia Climática (2002)

Dichos principios tienen una perspectiva de análisis desde el derecho ambiental y se enfocan en consolidar la justicia climática participativa. Sin embargo, es necesario adentrarse al tema desde otras perspectivas de estudio, como lo es la geografía, debido a que, como se mencionó anteriormente “la justicia siempre tiene consecuencias geográficas y espaciales” (Soja, 2014).

Visiones de estudio desde el derecho, la economía, la política, la sociología y la geografía, permitirán tener un panorama integral de lo que ocurre con la (in)justicia en materia climática alrededor del planeta y a escala local (figura 6). Es sabido que no son las únicas formas de adentrarse al análisis de la justicia, sin embargo, estas ciencias son las que más han aportado al desarrollo de esta temática.

Fig. 6 Perspectivas de estudio de la justicia climática



Fuente: Elaboración propia

La teoría respecto a la búsqueda de una justicia climática con base en la justicia ambiental está plasmada, sin embargo existen problemas ocultos en la realidad de la población que está expuesta a condiciones climáticas adversas. El primer supuesto aborda la dificultad de identificar a la población que está potencialmente expuesta a dichas condiciones, no se puede decir que existe una injusticia distributiva o participativa si la población no tiene conocimiento de qué está siendo afectada. El segundo supuesto, refiere al establecimiento de procedimientos y normas eficaces para la defensa jurídica de la población en cuestión.

El panorama ideal asume que se deben de prever las injusticias en torno a conflictos ambientales, incluidos los climáticos. La realidad que viven las sociedades actuales, muestran que no existen acciones de prevención por lo que, es de suma importancia, en primer lugar, conocer dónde se encuentran las condiciones climáticas no óptimas y en segundo lugar, identificar quienes están siendo afectados

por dichas condiciones, si son grupos vulnerables o no. Luego entonces, se deben buscar los medios normativos para mitigar las condiciones o para hacerlos resilientes a las mismas.

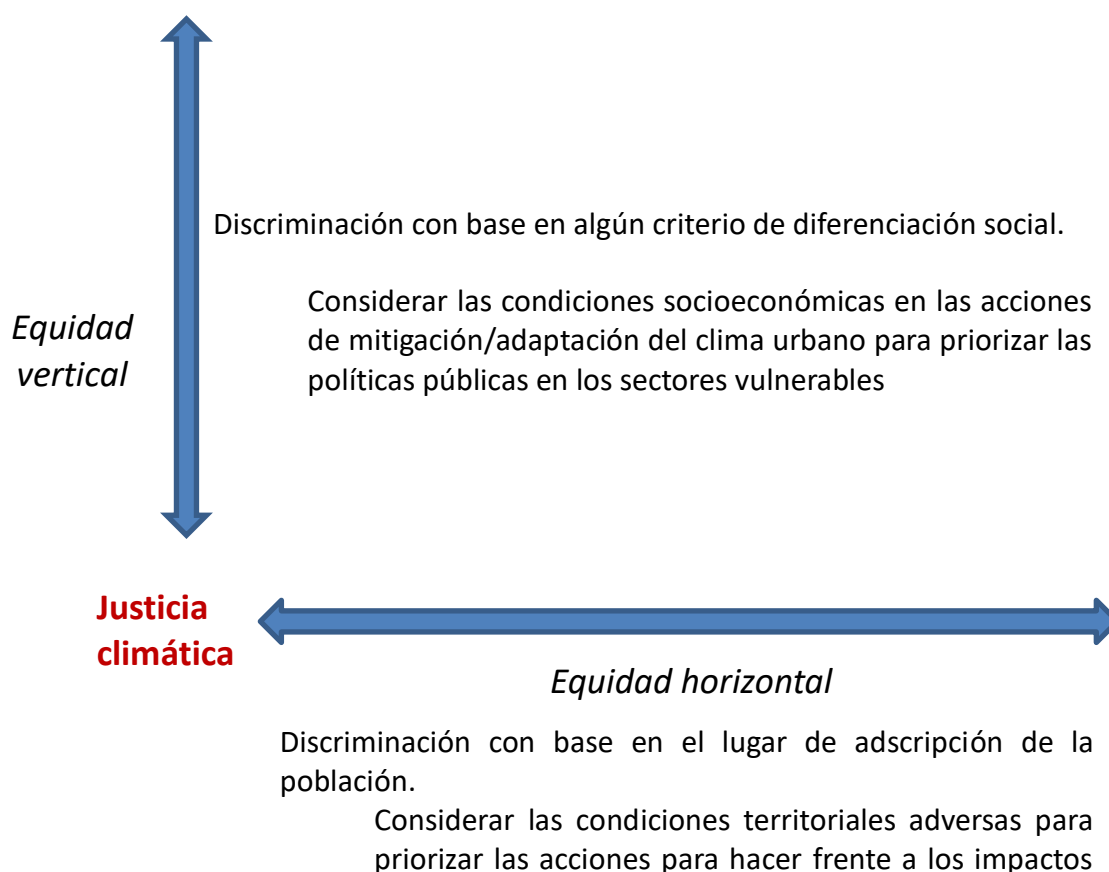
La Geografía desde el enfoque cuantitativo, se centra en la dimensión distributiva de la justicia climática, misma que a la vez, enfoca su atención en identificar las condiciones de la población en ámbitos sociales, económicos y territoriales que permiten la existencia de desigualdades y por ende de injusticia. El objetivo de la ciencia geográfica al abordar a la justicia climática es espacializar dichas desigualdades en el territorio y la sociedad, con la finalidad de priorizar las acciones de adaptación y mitigación que permitan generar un ambiente climáticamente justo.

Por lo anterior, en el enfoque distributivo de la justicia, deben de coexistir dos aproximaciones, mismas que tienen sus bases en la justicia ambiental: la equidad vertical y la equidad horizontal (figura 7), las cuales analizan las desigualdades a partir de las siguientes características:

La equidad vertical. Alude al tratamiento de los individuos en circunstancias territoriales similares. Tiene como objetivo examinar las desigualdades tomando en consideración ciertos criterios de diferenciación socioeconómica (Moreno 2009). El análisis de las condiciones que caracterizan a un sector de población le permiten o le dificultan hacer frente a los impactos negativos que genera el entorno climático adverso.

Solo por nombrar un ejemplo, se sabe que el cambio climático lo producen los países más industrializados, con mayor riqueza y con poder político mundial, sin embargo, los riesgos generados por los impactos en el clima los están sufriendo países con condiciones de pobreza y vulnerabilidad social, lo cual genera evidentemente una situación desventajosa frente al problema común del cambio climático (Borrás, 2016) y con ello una injusticia climática con inequidad vertical.

Figura 7. Equidad vertical y horizontal en la justicia climática



Fuente: Elaboración propia con base en Moreno (2009)

La equidad horizontal. Alude al tratamiento de los individuos en circunstancias socioeconómicas similares. Su objetivo es examinar la discriminación tomando en cuenta solamente el espacio que ocupa el sector de población afectado, es decir su adscripción espacial, y considerando a todos los ciudadanos como iguales (Moreno, 2009). El análisis de las condiciones territoriales en donde habita la población, permite identificar los elementos que promueven o mitigan condiciones climáticas adversas. Como ejemplo se tiene que, sectores de la ciudad que poseen mayor extensión de áreas verdes urbanas, poseen mejores condiciones de confort climático, a diferencia de sectores donde predominan condiciones de asfalto.

De lo global a lo local: dualidad de enfoques de la justicia climática desde la perspectiva geográfica

Existen perjuicios climáticos de carácter sinóptico tales como el cambio climático global y perjuicios climáticos de escala local como la generación de islas de calor producto del clima urbano. Ambos, aunque son distintos por los niveles de escala, pueden establecer relaciones entre sí. La red internacional de Justicia Climática (2002) hace mención que la problemática del cambio climático global y los impactos que vienen son una manifestación global de una serie de impactos de carácter local.

La figura 8, integra las principales características de la justicia en sus diferentes escalas, la global y la local. Si bien, la justicia climática global es la que empezó con este movimiento, la justicia local ha recobrado importancia en los últimos años, debido a que permite adentrarse a las condiciones particulares de cada sociedad. Es así que la escala regional y la local muestran panoramas distintos del desarrollo de la justicia climática y permiten tener objetivos y metas, si bien distintas, también a la vez interconectadas.

Las diferentes escalas permiten percibir las desigualdades al interior de la sociedad de manera distinta. La escala urbana pone de manifiesto con especial claridad, las formas en que dichas desigualdades son creadas y sostenidas por los mismos procesos sociales, políticos y económicos que determinan lo que se entiende por el concepto de equidad (Bulkeley *et al.*, 2014).

Por lo que, si bien, la justicia climática tiene como origen las desigualdades generadas por los impactos del cambio climático global, el impacto del clima a nivel local, producto de la ciudad insostenible deja de manifiesto, mayor inequidad al interior de la sociedad.

Fig. 8. Características de la justicia climática global y local

Justicia climática	
Global	Local
• Escala sinóptica/ regional	• Escala urbana
• Centrada en los perjuicios producto del cambio climático	• Centrada en los perjuicios producto del clima urbano
• Busca la justa distribución de derechos y responsabilidades	• Busca la justa distribución de condiciones socioeconómicas y territoriales que permitan ser resilientes al clima local.
• Se le atribuye el principio de que quienes tienen (mayor) responsabilidad por el cambio climático deben actuar primero (	• Se le atribuye el principio de que los sectores de población más vulnerables, sean los primeros en recibir acciones de mitigación
• Se centra en regiones	• Se centra en grupos de población
• Incluye acciones de mitigación y adaptación al cambio climático	• Incluye acciones de mitigación y adaptación al clima urbano
• Meta: reducción de emisiones de gases de efecto invernadero	• Meta: reducción de intensidad de islas de calor y sequedad

Fuente: Elaboración propia

La justicia climática tiene un papel predominante en el ejercicio de las desigualdades distributivas, debido a que busca un reparto igualitario de los perjuicios en las modificaciones negativas del clima que son producto de la actividad antrópica y la inclusión de la población en la toma de decisiones en conflictos de carácter climático o en proyectos que, como consecuencia, generen modificación climática en el entorno. Así que la lucha local por mejorar las condiciones climáticas de vida, representan un refuerzo a la lucha global.

Son muchos los trabajos que se han centrado en identificar los conflictos ambientales producto de condiciones climáticas adversas. La tabla 5, detalla algunas investigaciones generadas en los últimos años a escala global y local. La

atención se debe centrar en el tipo de justicia climática que prevalece en los trabajos alrededor del mundo y en la perspectiva del enfoque desde el que se aborda la temática.

Tabla 5. Perspectivas de la producción científica de la justicia climática

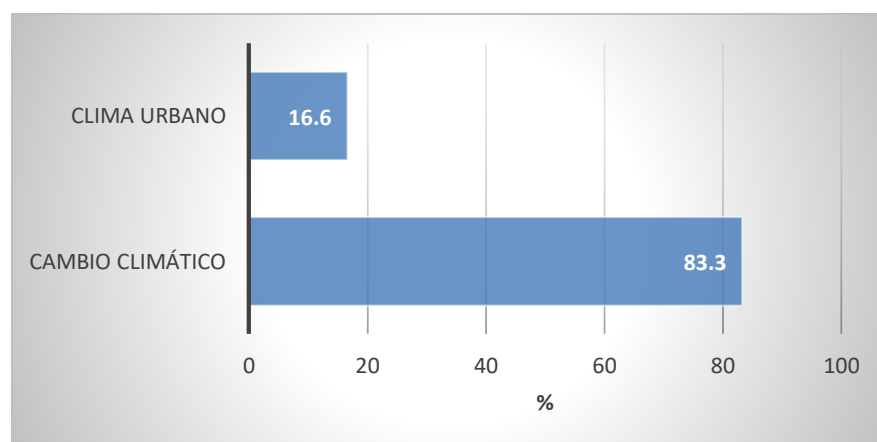
Título	Autor/año	Tema	Enfoque	Escala
El confort climático en los entornos residenciales de las capas altas, medias y bajas de la Comunidad de Madrid: otra forma de desigualdad socioespacial.	Moreno y Fernández, 2003	Clima urbano	Distributiva	Local
Cambios climáticos y climas urbanos. Relaciones entre zonas termales y condiciones socioeconómicas de la población de Santiago de Chile	Romero et al., 2010	Clima urbano	Distributiva	Local
Justicia Climática	Innerarity D., 2012	Cambio climático	Participativa	Global
Towards climate justice: How do the most vulnerable weigh environment–economy trade-offs?	Running, 2015	Cambio climático	Participativa	Global
Local level climate justice? Adaptation finance and vulnerability reduction	Barrett, 2013	Cambio climático	Participativa	Local
Climate justice and global cities: Mapping the emerging discourses	Bulkeley et al., 2013	Cambio climático	Participativa	Global
The emerging geographies of climate justice	Fisher, 2015	Cambio climático	Participativa	Global

The necessity of a multiscale analysis of climate justice	Barrett, 2013	Cambio climático	Participativa	Multiescala
From urban resilience to abolitionist climate justice in Washington DC.	Ranganathan, M., & Bratman, E. (2019).	Cambio climático	Participativa	Local
Subnational climate justice? Adaptation finance distribution and climate vulnerability	Barrett, S. (2014).	Cambio climático	Participativa	Local
Mapping climate justice	Puaschunder, J. (2020).	Cambio climático	Participativa y distributiva	Global
Recognition in urban climate justice: Marginality and exclusion of migrants in Indian cities.	Chu, E., & Michael, K. (2019).	Cambio climático	Participativa	Local

Fuente: Elaboración propia con base en artículos científicos consultados

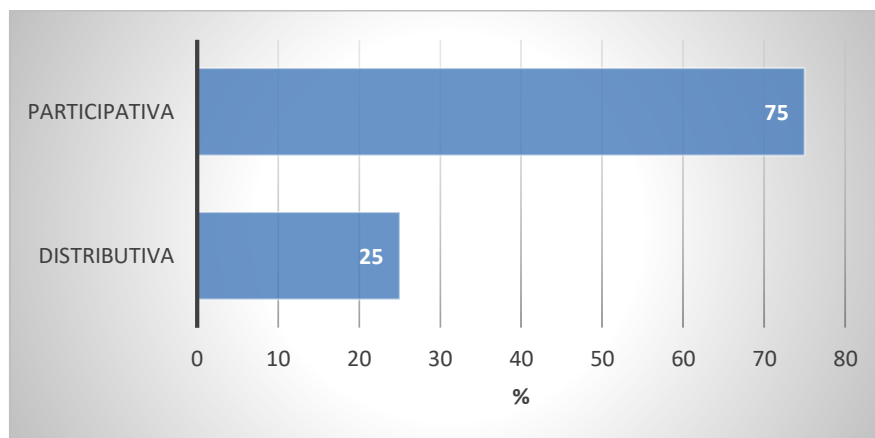
Si bien el cambio climático es el tema predominante en la investigación científica de los últimos años (figura 9), no se debe dejar de lado que tiene un efecto significativo en los patrones locales de clima, y estos cambios pueden tener impactos serios en la biodiversidad y en los seres humanos, tal como se detallará en el apartado del clima urbano. Por lo que “comprender la justicia climática exige un enfoque en las intervenciones de cambio climático urbano” (Bulkeley *et al.*, 2014).

Figura 9. Temática predominante en la investigación de la justicia climática



El cuadro muestra una tendencia equilibrada entre los trabajos a escala global y local, sin embargo las diferencias importantes se centran en el enfoque con el que se aborda la justicia climática (figura 10). La investigación se inclina hacia la justicia participativa, la cual pretende promover la equidad a través de los medios jurídicos y normativos, quedando de lado la justicia distributiva.

Figura 10. Enfoque de justicia climática predominante en la investigación científica



Desde el enfoque geográfico, la investigación respecto a la justicia distributiva es fundamental, debido a que es en el espacio donde se visualizan los conflictos. Por lo que ahondar en ese enfoque es una responsabilidad adquirida de manera automática. Analizando los artículos respecto a la justicia climática de escala local con enfoque distributivo, se detecta una carencia de metodologías existentes, es decir, los trabajos se centran en identificar coincidencia espacial entre variables climáticas y algunas condiciones socioeconómicas.

La ciudad como constructora de un clima local

La naturaleza provee servicios ecosistémicos, definidos como una serie de beneficios que la sociedad obtiene para su subsistencia, y que a su vez permiten un equilibrio en las condiciones de los hábitats. La FAO (2020) menciona la existencia de cuatro tipo de servicios: de abastecimiento, de apoyo, culturales y de regulación. Para propósitos de este documento, los servicios de regulación, son los de interés,

debido a que se enfocan en crear condiciones óptimas para el desarrollo de la población en el espacio que habita.

Existen modificaciones en el clima ocasionados por procesos a escala global, mismas que impactan en los elementos climáticos a escala regional (temperatura o precipitación), sin embargo las mayores modificaciones se llevan a cabo a escala local y pueden atribuirse a la existencia de la ciudad no sostenible. Diversas características de la ciudad generan influencia directa en el territorio e impactan en las condiciones regionales de la atmósfera y del clima (Oke, 1987).

Por ejemplo, la ciudad modificó el uso y cobertura del suelo y cambió el albedo de la superficie al disminuir la cobertura de áreas verdes, con ello la evapotranspiración, el régimen de vientos y la escorrentía superficial se modificó, además se incrementaron fuentes de calor antrópico (Oke, 1987; López et al., 1993; Fernández y Martilli, 2012). La principal evidencia de las modificaciones es la aparición de un clima local urbano. De acuerdo con Oke (2000) los climas locales se producen en extensiones que van de los 100m a los 50km, incluyendo el clima de una ciudad, el cual se denomina clima urbano.

El clima urbano se define como “un clima que resulta de transformaciones inadvertidas e intencionales introducidas sobre los climas regionales y locales, que se relacionan directamente con la construcción social de espacios y lugares” (Romero, et al., 2010) y su principal indicador son las islas de calor (Oke 1987; López *et al.* 1993; Alonso *et.al*, 2003), siendo la temperatura el elemento que condiciona la existencia de estas y la vegetación y suelo los factores que más influyen, puesto que los demás factores y elementos participan de manera uniforme, ya que difícilmente se pueden modificar.

En palabras de Voogt y Oke (2003) las islas de calor se definen como una zona urbana con condiciones térmicas más templadas que las áreas aledañas no urbanizables. Sin embargo existen otros indicadores que muestran la existencia del clima local producto de un ambiente urbano (figura 11).

Figura 11. Indicadores de clima urbano



Fuente: Elaboración propia

En 1965, Chandler integra la morfología urbana en el estudio del clima urbano e identifica una relación entre islas de calor con diferencias de humedad; propone el concepto de isla de sequedad, que se definen como zonas dentro de la ciudad donde la atmósfera presenta condiciones de menor humedad relativa que las zonas aledañas o rurales (Moreno, 2010).

La modificación en el régimen de vientos es otro indicador del clima urbano. Se ha determinado que al modificar la rugosidad en el terreno, los vientos tienden a disminuir dentro del área urbana. La velocidad y la dirección del viento determinarán la existencia, intensidad y distribución de los ICUs en el territorio, porque las condiciones de viento pueden reducir o disiparlas y la dirección del viento desplazarlas a la dirección predominante del viento (Gedzelman et al., 2003).

Algunos estudios analizan otros elementos del clima y su relación con las islas de calor, por ejemplo, Tejedor y otros (2016), incluye el análisis de islas de sequedad e islas de calor y determinan una relación directamente proporcional entre la distribución de ambas. Robaa (2003) analiza las diferencias de la humedad relativa entre entornos urbanos y rurales e identifica que la atmósfera urbana tiende a ser

más seca que sus alrededores. Mishra et al (2015) analizan los cambios en elementos del clima de 217 zonas urbanas alrededor del mundo y detectan una tendencia de incremento en temperaturas extremas tanto en el día como en la noche y una disminución en la disminución de los vientos, sin embargo para los regímenes de lluvias no identifican diferencias significativas entre ambos entornos.

Elementos condicionantes para la existencia de un clima urbano

La ciudad incide en tres factores específicos que posibilitan la modificación del clima regional: el albedo, la rugosidad del terreno y la humedad que retiene la superficie (Landa *et al.*, 2008). Oke (1987), López *et al.*, (1993) Fernández y Martilli (2012) y Voogt (2008) explican la manera en la que la ciudad produce modificaciones en los elementos del clima (tabla 6)

Tabla 6. Factores para el desarrollo de un clima urbano

TIPO	FACTOR	DESCRIPCIÓN
FÍSICO- GEOGRÁFICO	Localización	La topografía de la zona, la latitud y la longitud impactan en las condiciones de la atmósfera debido a que se relacionan directamente con elementos del clima.
	Clima	El viento y las nubes, influyen en la formación de islas de calor. A menor viento y nubosidad mayor intensidad de isla de calor. A medida que los vientos y la nubosidad aumentan, mezclan el aire y reducen la intensidad. Condiciones anticiclónicas permiten la consolidación de un clima urbano.
	Hora del día y estación astronómica	La estación influye en el ángulo de inclinación con que lleguen los rayos solares y la hora del día en la cantidad de radiación recibida por la superficie, lo que impacta directamente en la intensidad de las islas de calor existentes.
	Características de las zonas rurales	Donde las ciudades están rodeadas por superficies rurales húmedas se reducen las magnitudes de la isla debido a que el enfriamiento

ANTRÓPICO		se da más lento en estas superficies, especialmente en climas cálidos y húmedos
	Geometría urbana	La forma de la ciudad puede facilitar la captura de radiación y su múltiple reflexión en los edificios, debido a la existencia de cañones urbanos que poseen un factor de visión de cielo bajo, reduciendo la emisión de onda larga durante la noche.
	Rugosidad de la ciudad	Provoca modificaciones en la velocidad del viento permitiendo o mitigando la isla de calor. La rugosidad es inversamente proporcional a la velocidad y depende en gran parte de lo compacta o dispersa que sea la ciudad.
	Materiales de construcción	Generalmente se utilizan materiales con un albedo bajo y una mayor inercia térmica, es decir, que poseen la característica de almacenar por mayor tiempo la energía calorífica reflejarla lentamente al espacio. Además de ser superficies impermeables, permitiendo la existencia de una superficie más seca y con menor evaporación lo que se traduce en desecación de la atmósfera y calentamiento del aire.
	Función de la ciudad	Impacta en la emisión de contaminantes a la atmósfera urbana, el calor por uso de energía y el uso de agua en irrigación. Ciudades con función comercial o industrial impactan más en la intensidad de la isla.
	Fuentes de emisión de calor	El calor generado por las actividades humanas, principalmente la combustión de combustibles fósiles por uso de automotores y aparatos domésticos como aires acondicionados influye en el calentamiento.
	Disminución de áreas verdes	Al disminuir superficies naturales y aumentar superficies impermeables (red de alcantarillados) se disminuye la evapotranspiración y la infiltración

reduciendo a su vez el enfriamiento del suelo,
modificando directamente el balance hídrico.

Fuente: Rivera (2016)

Impactos generados por el clima urbano y sectores de población vulnerables

El clima urbano genera impactos negativos en la población y el ambiente. Las islas de calor influyen en el territorio donde se desarrollan, impactando en cuatro entornos principales: las condiciones climáticas del ambiente, la biodiversidad, la salud humana y la economía. Voogt (2008) y EPA (2008) identifica los impactos ambientales más comunes que genera una ciudad:

- Migración de la fauna de las áreas verdes urbanas, por discomfort térmico.
- Discomfort térmico en los seres humanos provocando en extremos golpe de calor
- Baja captura de precipitación pluvial debido al aumento de escorrentía superficial.
- Disminución de vientos por incremento de rugosidad de la superficie urbana y con aumento de la temperatura y de la intensidad en olas de calor.
- Aumento del uso de energía eléctrica por los aires acondicionados necesarios para el confort térmico, sobre todo en zonas muy cálidas.
- Aumento de gases efecto invernadero por mayor uso de aires acondicionados y con ello mayor contaminación.
- Mayor incidencia de problemas respiratorios y cardiovasculares por la contaminación y las altas temperaturas.
- Creación de condiciones para el desarrollo de enfermedades tipo vector.

Aunque la presencia del clima urbano afecta de manera general a la población expuesta, existen sectores de población que son considerados como altamente vulnerables a los impactos negativos que este genera, la EPA (2016) ha identificado a los sectores vulnerables mismos que se describen en la tabla 7.

Tabla 7. Sectores de población vulnerables al clima urbano

Sector	Descripción de vulnerabilidad
<i>Adultos mayores</i>	Se encuentran entre los más vulnerables, muchos factores fisiológicos, psicológicos y socioeconómicos contribuyen a este peligro. Los adultos mayores tienen más probabilidades de tener mala salud, tener menos movilidad y estar más aislados, ser más sensibles a las altas temperaturas y vivir con ingresos reducidos.
<i>Niños</i>	Son otro grupo con riesgo de enfermedad. Los niños tienden a ser más susceptibles al calor extremo debido a su pequeño tamaño y otras características. Las frecuencias respiratorias más rápidas de los niños en relación con el tamaño corporal, el tiempo que pasan al aire libre y el desarrollo de sus sistemas respiratorios aumentan las posibilidades de agravar el asma y otras enfermedades pulmonares causadas por la contaminación del aire por ozono y el smog, que generalmente aumenta durante las olas de calor
<i>Poblaciones de bajos ingresos</i>	Pueden estar en peligro de contraer enfermedades relacionadas con el calor debido a las malas condiciones de la vivienda, incluida la falta de aire acondicionado y espacios pequeños para vivir, y los recursos inadecuados para encontrar un refugio alternativo durante condiciones extremas producto del clima urbano

<i>Trabajadores al aire libre</i>	Son más propensas a sufrir condiciones como el agotamiento por calor y la insolación. Tienen una mayor exposición a la contaminación del aire por ozono y al estrés por calor, especialmente si las tareas laborales implican un esfuerzo intenso.
<i>Personas enfermas</i>	Incluidas las personas con enfermedades crónicas, discapacidades o limitaciones de movilidad, y las que toman determinados medicamentos, también son vulnerables a las temperaturas extremas. Las personas con diabetes, discapacidades físicas y deficiencias cognitivas corren un riesgo especial durante las olas de calor

Fuente: Elaboración propia con base en EPA (2016).

Fases de análisis del estudio del clima urbano

El acercamiento al estudio del clima urbano presenta 3 fases de análisis (figura 12); se entiende que las etapas continuas tienden a integrar aspectos de las que las anteceden. T.R. Oke (1979) delimita a los estudios en observacionales y de modelado o predictivos, en este trabajo se agregan los correlacionales.

La primera fase son los estudios observacionales, que refieren a análisis descriptivos, el objetivo es observar y registrar el comportamiento temporal, espacial o de intensidad de la variable. En el segundo nivel se encuentran los trabajos cuyo propósito es identificar las causas y consecuencias del fenómeno. Se identifica la correlación de la variable con factores condicionantes y/o los impactos ocurridos en ámbitos como el ambiente, la economía, la salud, el confort térmico, entre otros.

El tercer nivel de análisis aborda estudios predictivos a través de la elaboración de índices y/o modelos que permitan determinar escenarios de comportamiento de la

variable elegida, cambiando las características de factores condicionantes en un territorio específico. Las propuestas de mitigación, de acción y gestión en materia de políticas públicas también se engloban en esta fase.

Figura 12. Tipos de estudios en el clima urbano



Fuente: Elaboración propia con base en Oke (1979).

Contexto de la investigación del clima urbano en México

El principal indicador de la existencia de clima urbano es la isla de calor, por lo que se realizó una discusión acerca de los trabajos de investigación generados en ciudades de México. La búsqueda de producción científica arrojó que 10 de las 74 zonas metropolitanas de nuestro país cuentan con al menos un estudio. La tabla 8 detalla la información básica de cada uno de los trabajos existentes.

Tabla 8. Producción científica respecto a clima urbano en México

No	Título	Autores	Año	ZM o ciudad
1	Evidencia del efecto isla térmica en Jalapa, Veracruz, México	Barradas	1987	Jalapa, Ver
2	Evolución de la isla de calor DN en Toluca Mex.	Vidal y Jáuregui	1991	Toluca, Mex
3	Aspects of heat-island development in Guadalajara, Mexico	Jáuregui et al.	1992	Guadalajara, Jal
4	La isla de calor urbano de la Ciudad de México a finales del siglo XIX	Jáuregui	1992	Cd. México

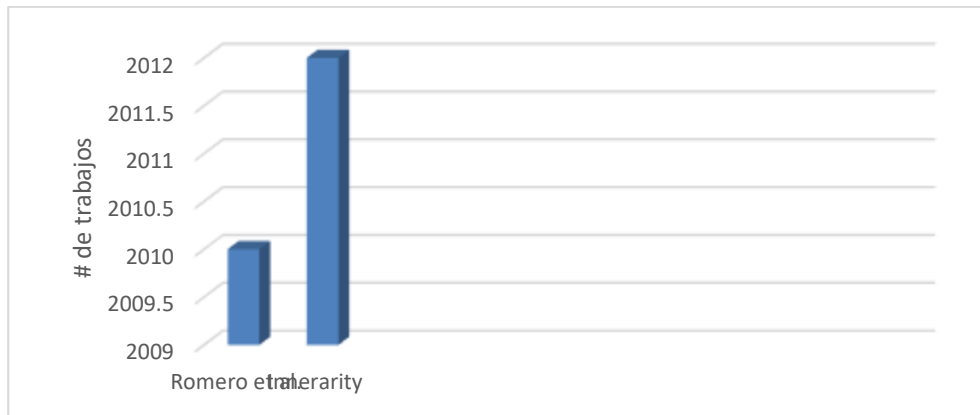
5	Algunas alteraciones de largo periodo del clima de la Ciudad de México debidas a la urbanización: Revisión y perspectivas.	Jáuregui	1995	Cd. México
6	Heat island development in Mexico city	Jáuregui	1997	Cd. México
7	Long-term association between pan evaporation and the urban heat island in Mexico city	Jáuregui y Luyando	1997	Cd. México
8	Aspectos del clima urbano de Villahermosa, Tabasco, México	Cervantes et al.	2000	Villahermosa, Tab
9	La isla de calor en ciudades con clima cálido-húmedo. El caso de Tampico, México	Evans y Schiller	2005	Tampico, Tamps.
10	Isla de calor en Toluca, México	Morales et al.	2007	Toluca. Mex.
11	Detection of the urban heat island in Mexicali, B. C., México and its relationship with land use	García-Cueto et al.	2007	Mexicali, BC
12	El clima/bioclima de un parque periurbano de la Ciudad de México	Jáuregui y Heres	2008	Cd. México
13	Determinación de la isla de calor urbano en Ciudad Juárez mediante programa de cómputo	Contreras et al.	2008	Ciudad Juárez, Chih.
14	Identificación y estudios de las islas urbanas de calor de las ciudades de Guadalajara y Colima, propuestas de estrategias de mitigación	Galindo y Barrón	2010	Guadalajara, Jal., y Colima, Col.
15	Identificación de las islas de calor de verano e invierno en la ciudad de Toluca, México	Romero et al.	2011	Toluca, Mex.
16	Mitigación de la isla de calor urbana: Estudio de caso de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México	Ballinas	2011	Cd. México
17	Evolución de la Isla Urbana de Calor en Mexicali, BC., mediante una herramienta inteligente	Casillas et al.	2011	Mexicali, BC
18	Seasonal Variations of the Urban Heat Island at the Surface and the Near-Surface and reductions due to Urban Vegetation in México City	Cui y De Foy	2012	Cd. México
19	Detección de la Isla Urbana de Calor mediante Modelado Dinámico en Mexicali, B.C., México	Casillas et al.	2014	Mexicali, BC
20	Islas de calor urbano en Tampico, México. Impacto del microclima a la calidad del hábitat	Fuentes	2014	Tampico, Tamps
21	The role of urban vegetation in temperature and heat island effects in Querétaro city, Mexico	Colunga et al.	2015	Querétaro, Qro.
22	The Urban Tree as a Tool to Mitigate the Urban Heat Island in Mexico City: A Simple Phenomenological Model	Ballinas y Barrada	2016	Cd. México
23	Spatiotemporal analysis of the atmospheric and surface urban heat islands of the Metropolitan Area of Toluca, Mexico	Rivera et al.	2017	Toluca, Mex

Fuente: Elaboración propia con base en artículos científicos consultados

Las islas de calor en México, se han estudiado desde el siglo pasado, el primer trabajo data de 1987, el último de 2017, por lo que en 30 años la producción realizada es de solo 23 trabajos. La revisión del estado del arte demuestra que los trabajos existentes están en territorios muy puntuales, sin cubrir la mayor parte de las zonas metropolitanas del país. De las zonas metropolitanas incluidas (figura 13),

la Ciudad de México es la que posee la mayor cantidad de trabajos de islas de calor con 8, seguida de Toluca (4) y Mexicali (3), es decir, la producción científica se intensifica en la zona centro del país. Es importante mencionar que de las trece metrópolis que encabezan la lista por número de población, solo cuatro (Valle de México, Toluca, Guadalajara y Querétaro), presentan estudios relacionados al clima urbano. Monterrey siendo la tercera metrópoli en importancia a nivel nacional por la cantidad de población, no tiene trabajos que analicen si las condiciones de la ciudad han propiciado la existencia del clima urbano.

Figura 13. Cantidad de trabajos de islas de calor por ciudad



Fuente: Elaboración propia con base en artículos científicos consultados

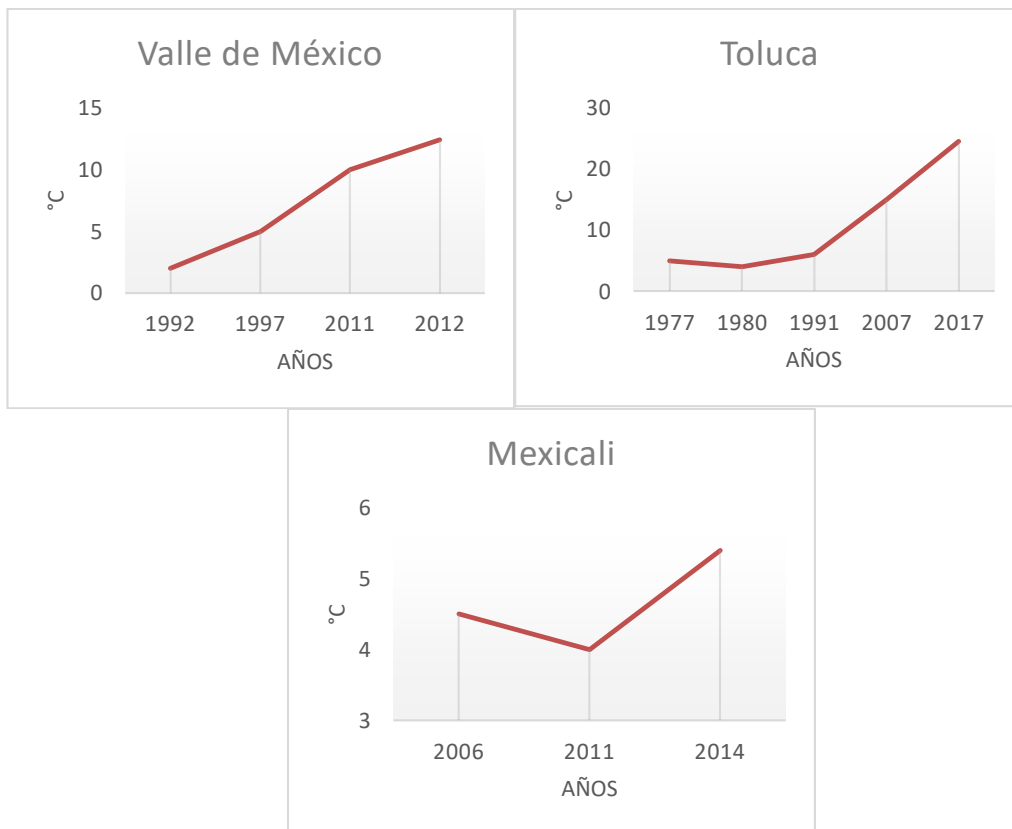
Patrones de intensidad de las islas de calor

La intensidad se define como la magnitud de la isla de calor y se va a determinar de acuerdo a la diferencia que exista entre la temperatura de la ciudad respecto a las zonas rurales periféricas (Oke, 1987). Intensidades bajas, indican un equilibrio en las características del territorio urbano-rural, y por ende un equilibrio térmico. La literatura reporta un promedio de 1 a 3°C en las islas atmosféricas, aunque se han registrado más de 10°C de diferencia en algunas ciudades. Intensidades por arriba de los 4°C, indican islas de calor de fuertes a muy fuertes (Fernández, 1995). Los valores alcanzados dependerán de factores condicionantes, tales como, superficie

de áreas verdes, tamaño y materiales de la ciudad, geometría urbana, fuentes de calor antrópicas, entre otros.

Para México, se analizó la tendencia de los patrones de temperatura en las 3 ciudades con mayor producción científica (figura 14). Las gráficas elaboradas para la Ciudad de México y Toluca integran datos de la temperatura intraurbana, mientras que para Mexicali, se incluyeron datos de la intensidad máxima de la isla de calor; es importante considerar que para el dato de 2011, la intensidad de la isla de calor en Mexicali es estimada.

Figura 14. Patrones de comportamiento de la temperatura



Fuente: Elaboración propia con base en producción científica consultada

Se muestra que para las tres metrópolis existe un patrón de comportamiento de aumento de temperatura, esto puede estar aunado al crecimiento de las urbes a lo largo de los años, lo que conlleva la disminución de áreas con vegetación, y/o a la función de cada una de ellas.

La intensidad de la isla de calor en las metrópolis observadas, oscila entre los 3°C y los 6°C, lo que indica que en el territorio se presenta islas de calor con intensidad de moderada a fuerte. Sin embargo, en 3 trabajos se identifican intensidades por arriba de los 6°C, lo que se traduce a islas de calor muy fuertes.

Tendencia de análisis del clima urbano en México

Tomando en consideración los elementos de análisis, se revisó la producción científica generada para México y se generó la tabla 9, la cual contempla la cantidad de trabajos respecto del total que integran cada uno de los elementos considerados. La revisión de las variables se llevó a cabo con base en los tipos de análisis para el clima urbano presentado en la figura 12.

Tabla 9. Variables analizadas en los trabajos de clima urbano en México

No	Ubicación	Representación espacial	Temporalidad/estacionalidad	Intensidad	Factores condicionantes	Impactos	Mitigación / gestión	Modelos / índices
Nº de trabajos	19	16	16	23	7	1	4	2
% respecto del total	82.6	69.5	69.5	100	30.4	4.3	17.3	8.6

Fuente: Elaboración propia con base en artículos científicos consultados

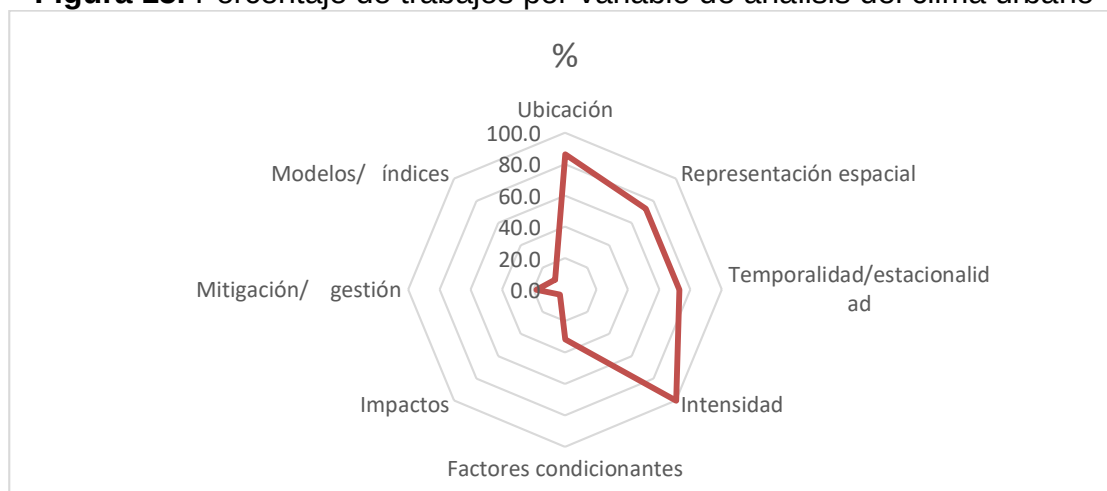
En la figura 15 se muestra la tendencia de análisis que presenta la investigación del clima urbano, específicamente de las islas de calor en México. La mayoría de los trabajos se quedan en el análisis observacional, el 82% indican en dónde se produce el fenómeno, sin embargo solo el 69% representan espacialmente a la isla de calor. El 31.8% de trabajos no analizan la temporalidad o estacionalidad por lo que la descripción realizada es básica. La única variable que está presente en el 100% de los trabajos es la intensidad de la isla de calor, debido a que es la variable

preponderante en el estudio del clima urbano para determinar el impacto generado por la ciudad.

La siguiente fase de análisis que es la correlacional solo se presenta en el 30.4% de los trabajos revisados. Estudios realizados en otros países se han enfocado en el siguiente nivel de análisis correspondiente a estudiar los impactos en ámbitos como el ambiental, la salud, el confort térmico y la fauna, entre otros. Para México, solo existe un trabajo que analiza los impactos que genera la isla de calor en alguna variable del entorno urbano.

Los procesos de mitigación y/o gestión son fundamentales para equilibrar los patrones de temperatura, solo el 17% de los trabajos consultados los contemplan, de manera que también existen deficiencias en propuestas que contrarresten el impacto que genera la isla de calor en un territorio.

El aporte más reciente a este campo del conocimiento es la creación de modelos que permiten proyectar la dinámica de las islas de calor a futuro y/o bajo escenarios deseables. La percepción remota ha permitido la generación de nuevos índices que se correlacionen con la identificación del clima urbano. En México solo el 8.6% de los trabajos han llegado a esa etapa de análisis. En general falta mucho por identificar, entender, proyectar y mitigar respecto a las islas de calor existentes en nuestro territorio.

Figura 15. Porcentaje de trabajos por variable de análisis del clima urbano

Fuente: Elaboración propia con base en artículos científicos consultados

La ciudad ambientalmente sostenible. Objetivos y metas

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, incluye 17 Objetivos y 169 metas, presenta una visión del desarrollo sostenible para los próximos 15 años e integra las 3 dimensiones para la sostenibilidad: económica, social y ambiental. El propósito es cambiar el estilo de desarrollo en las ciudades donde prevalezca el respeto al entorno ambiental y se genere un contexto de igualdad y dignidad de la población que reside en la región (ONU, 2017). Los países que suscriben esta agenda, se han comprometido a generar las condiciones necesarias para lograr cada uno de los preceptos planteados. En materia ambiental los objetivos de interés se enfocan en elementos tales como agua, energía y clima (tabla 10).

Tabla 10. Objetivos para el Desarrollo Sostenible en materia ambiental

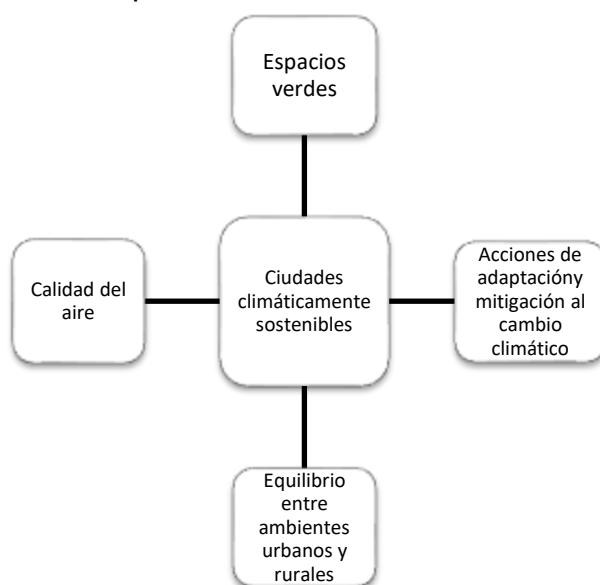
Objetivo	Descripción	Elemento
6	Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos	Agua
7	Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable y sostenible	Energías verdes
11	Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles	Calidad del aire Zonas verdes Clima

13	Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos	Clima
14	Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos	Agua Ecosistemas marinos
15	Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres	Ecosistemas terrestres

Fuente: Elaboración propia con base en ONU (2017).

Para propósitos del presente trabajo, se pone especial atención en los objetivos relacionados al clima en ambientes urbanos (objetivos 11 y 13). Las metas propuestas afines, buscan la consolidación de ciudades ambientalmente sostenibles, que aseguren el acceso universal a espacios públicos verdes, que reduzcan el impacto negativo respecto a la calidad del aire y al cambio climático, a través de políticas públicas destinadas a la mitigación y resiliencia, fortaleciendo las relaciones positivas entre los ambientes urbanos, periurbanos y rurales (ONU, 2017). Estas metas son adaptables para consolidar la ciudad climáticamente sostenible tan anhelada (fig. 16).

Figura 16. Metas para consolidar ciudades climáticamente sostenibles



Fuente: Elaboración propia con base en ONU 2017.

El objetivo referente a espacios verdes urbanos pretende que exista superficie suficiente para proveer servicios ecosistémicos. Poseer mayor superficie de áreas verdes dentro de la ciudad permite regular la temperatura a través del enfriamiento de la atmósfera por la evapotranspiración, a su vez que proporciona sombra, capta CO₂ del ambiente y permite una mayor filtración de agua al subsuelo. Contar con infraestructura verde urbana permite que las ciudades se adapten y sean resilientes al efecto de la isla de calor urbana.

La calidad del aire que puede tener una ciudad depende de factores como el uso de combustibles fósiles y la producción de gases de efecto invernadero que se generen al interior de la misma, así como de las medidas de mitigación hacia dichos contaminantes. La contaminación altera el balance energético debido a que permite el calentamiento de las capas bajas de la atmósfera, modificando a su vez el clima regional, por lo que la ciudad sostenible debería de generar acciones para disminuir los niveles de contaminación y con ello evitar el impacto al clima.

La ciudad modifica el clima regional produciendo un clima urbano el cual contribuye a la consolidación del cambio climático local. El objetivo de adaptación y mitigación radica en reducir el impacto negativo a través de políticas públicas destinadas a crear ciudades resilientes. De acuerdo con Estrada, Botzen y Tol (2017) los efectos del clima local, específicamente de las islas de calor urbanas, pueden contribuir al aumento de hasta 2°C de las estimaciones del calentamiento global, por lo que investigar y mitigar los efectos representarán un importante instrumento de reducción de riesgo. No atender la dinámica del clima urbano se traduce en acciones más costosas para combatir los impactos del cambio climático en las ciudades.

Por último, hacer hincapié al equilibrio entre ambientes urbanos, periurbanos y rurales, denota la importancia de atender la vinculación de espacios públicos verdes que permitan contribuir con la salud pública y la calidad de vida, mientras se protege

el ecosistema urbano y los servicios que proporciona y a la vez mitiga los riesgos del cambio climático.

Tomando en cuenta las metas propuestas en los ODS que se relacionan con la ciudad climáticamente sostenible, la tabla 11 fue construida, e integra el panorama ideal para cada una de las metas planteadas comparado con el panorama actual en que están inmersas muchas ciudades alrededor del planeta en relación al clima urbano.

Tabla 11. Las metas de los ODS y su relación con el clima urbano

Meta	Panorama ideal	Contexto en relación al clima urbano
<i>Espacios verdes</i>	Acceso universal a los espacios verdes en áreas urbanas.	Una ciudad que presenta islas de calor con intensidades por arriba de los 4°C denota la deficiencia de zonas verdes urbanas que logren un equilibrio térmico al interior de la ciudad.
<i>Calidad del aire</i>	Reducir el impacto ambiental negativo per capita de las ciudades, prestando especial atención a la calidad del aire	Una ciudad que posee isla de calor, disminuye la velocidad del viento y consolida plumas de contaminación, impactando directamente en la calidad del aire
<i>Cambio climático</i>	Adoptar medidas de mitigación para fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima	La isla de calor consolida el aumento en la temperatura promedio de la atmósfera en la ciudad, lo que coadyuva en el cambio de los patrones climáticos regionales, permitiendo a su vez la consolidación del cambio climático.

<i>Ambiente urbano- periurbano-rural</i>	Apoyar los vínculos económicos, sociales y ambientales positivos entre las zonas urbanas, periurbanas y rurales fortaleciendo la planificación del desarrollo nacional y regional	Las diferencias socioterritoriales entre ambientes urbanos- periurbanos y rurales permiten la distribución de la isla de calor al centro de la ciudad
--	---	---

Fuente: Elaboración propia con base en ONU 2017.

Las metas propuestas buscan la consolidación de ciudades ambientalmente sostenibles. México requiere atender la problemática de las islas de calor existentes en sus metrópolis para lograr la sostenibilidad climática, para lo cual debe considerar:

- Respecto a los espacios verdes, se busca que exista suficiente superficie para proveer servicios ecosistémicos. Poseer mayor superficie de áreas verdes dentro de la ciudad permite regular la temperatura a través del enfriamiento de la atmosfera. Contar con infraestructura verde urbana permite que las ciudades se adapten y sean resilientes al efecto de la isla de calor urbana. Todas las metrópolis en México que han estudiado la isla de calor, han identificado una intensidad por arriba de los 3°C por lo que se deduce una deficiencia de espacios verdes urbanos.
- La calidad del aire tiene una relación directa con la temperatura intraurbana. La isla de calor posee la capacidad de generar plumas de contaminación, las que a su vez permiten un ambiente más cálido, aumentando con ello la intensidad de la isla de calor. Las zonas más contaminadas de México incluyen a metrópolis que presentan islas de calor muy fuertes como Ciudad de México, Toluca y Mexicali. Monterrey es una de las ciudades más contaminada del país, sin embargo no cuenta con estudios que describan su clima urbano.

- Respecto al cambio climático, se deben realizar políticas públicas destinadas a la mitigación y resiliencia. Una ciudad que presente los efectos de la isla de calor aumentará los costos de mitigación hasta en un 100% (Estrada et.al, 2017). En este sentido, la tendencia muestra que las metrópolis en México que han detectado isla de calor y que no han tenido acciones para mitigarla se enfrentarán a los altos costos del combate al cambio climático.
 - Equilibrio entre ambientes urbanos y rurales. Tomando en cuenta la variable temperatura, esta condición no se cumple, debido a que al existir islas de calor se denota un desequilibrio entre el área urbana y su entorno periurbano y rural, teniendo las condiciones más adversas los habitantes de la primera.
- De acuerdo con SEDATU

“De 205 municipios mayores a 100,000 habitantes, 98% tiene un programa municipal de desarrollo urbano, pero de este porcentaje, 84% no está actualizado, presenta una estructura heterogénea, no cuenta con indicadores que permitan el adecuado análisis y evaluación de las estrategias planteadas, no incorpora temas como el vínculo urbano-rural en cuanto a integración del paisaje y servicios ecosistémicos, movilidad, calidad del aire, gestión integral del agua, resiliencia ante el cambio climático, riesgos y eficiencia energética, los cuales permitirían avanzar hacia ciudades sostenibles”

Para avanzar en el camino de la sostenibilidad, México debe incluir en su estrategia, la identificación, el análisis y la mitigación de las islas de calor presentes en sus principales metrópolis, con la finalidad de identificar sectores del territorio que son focos de atención para el equilibrio climático. La meta de contar con ciudades climáticamente sostenibles en México requiere de acciones urgentes contra el clima urbano, tales como espacios verdes urbanos suficientes y equilibrio entre ambientes urbano-rurales. Lo anterior permitirá que la lucha contra el cambio climático proyecte mejores escenarios para un futuro cercano.

En la presente investigación se considera al clima urbano y las características socioterritoriales como variables dependientes y la justicia climática como variable independiente. La Zona Metropolitana de Toluca presenta las condiciones, geográficas, económicas y sociales que permiten estudiar los procesos mencionados anteriormente. La forma de acercarnos al análisis de estos procesos es a través del análisis estadístico y espacial de registros de elementos climáticos provenientes de estaciones meteorológicas automáticas y de variables socioeconómicas de la población así como del estudio de las características territoriales específicas.

2. Diseño metodológico:

La justicia climática abordada desde el análisis espacial

"La lucha contra la emergencia climática es la lucha de nuestra vida y para nuestra vida"

Secretario general de la ONU, Antonio Guterres

Enfoque metodológico

En la tabla 12, se describe el enfoque metodológico utilizado en el presente trabajo. La investigación se enmarca dentro de las investigaciones de tipo mixtas. Es cuantitativa de acuerdo con la naturaleza de la información climática y territorial, debido a que las variables que se trabajan se insertan en mediciones determinadas por escalas de intervalos. Es cualitativa en cuanto al análisis de justicia climática, debido a que el indicador final se representará por categorías para hacer más comprensibles las condiciones que prevalecen en el territorio.

Por el alcance del propósito de la investigación se considera un trabajo diagnóstico, pues se identifican las condiciones de justicia climática que prevalecen en la zona de estudio. Debido a que se parte de una premisa universal para llegar a afirmaciones de procesos específicos y tomando en cuenta el sentido, velocidad y potencialidad se considera como una investigación de corte deductivo.

Tomando en cuenta el periodo de estudios, la investigación se clasifica como estudio transversal para las variables socioeconómicas y territoriales debido a que se analizan las características actuales dentro de la ZMT; por su parte, para las variables climáticas, el periodo de estudio es longitudinal, en razón de que se analiza el comportamiento del clima urbano a lo largo de un periodo de años disponibles de datos.

Tabla 12. Enfoque metodológico

Enfoque	Investigación
<i>Tipo de investigación</i>	Mixta
<i>Por su alcance</i>	Diagnóstica
<i>Por la forma de caracterización de las variables</i>	Cuantitativa
<i>Por el objeto de estudio</i>	Analítico
<i>Por el sentido, velocidad y potencialidad</i>	Deductiva
<i>Por el tiempo estudiado</i>	Transversal y longitudinal

Periodo de estudio

Para el análisis de la justicia climática distributiva en escala local, se requiere conocer el estado del clima urbano y las condiciones del territorio y la población. Tomando en cuenta estas variables, la que puede tener un comportamiento dinámico en el corto plazo, en el espacio y en el tiempo, es el clima, por lo cual, es quien define el periodo de estudio.

Metodológicamente, la consideración de solo un año para realizar un estudio de climatología sinóptica, regional o zonal, no es común, pues para realizarlo se requiere de por lo menos una serie de datos de treinta años. Sin embargo, para efectos de climatología local (urbana) se admite que un año posee significancia climática, debido a que la ciudad puede modificar los elementos climáticos en menor tiempo, es decir, el efecto urbano es un fenómeno de carácter estructural y no coyuntural (Moreno, 1993; Lee *et al.*, 2012).

El clima local es una de las unidades de análisis en donde la dinámica de procesos puede ser abordada en periodos de tiempo relativamente cortos. Se propone para este trabajo una temporalidad de 6 años (2014-2019), debido a que es el tiempo de registro de datos disponibles de las estaciones meteorológicas que brindarán parte de la información para la ZMT.

Escala de análisis

Existen distintas escalas de análisis para el clima, de acuerdo con la extensión que se aborde y los procesos que impacten en su comportamiento (tabla 13). Para el espacio urbano las escalas que están disponibles corresponden al clima sub-regional (mesoescala); el local, cuando se analiza la ciudad; el topoclima, cuando se consideran sectores específicos dentro de la misma ciudad, y el microclima, cuando el interés se traduce a edificios específicos (López *et al.*, 1993; Figueirido, 2003).

El clima local representa a una de las unidades mínimas de análisis dentro de los estudios climáticos. Es la representación de las modificaciones que puede tener el clima regional, con base en elementos como la topografía, la continentalidad, el tipo de cobertura vegetal y/o la intervención antrópica.

De acuerdo con Oke (2000) los climas locales se producen en extensiones que van de los 100m a los 50km, incluyendo el clima de una ciudad, el cual se denomina clima urbano.

Tabla 13. Escalas de análisis para el clima

Unidad de superficie	Espacio climático	Espacio urbano	Técnica de análisis
-----------------------------	--------------------------	-----------------------	----------------------------

Millones de km	Sinóptica		Caracterización general comparativa
Miles de km	Regional		Redes-transectos
Centenas de km	Sub-regional	Megalópolis	Mapeamiento sistemático
Decenas de km	Local	Área metropolitana	Análisis espacial
Decenas de m	Topoclima	Pequeña ciudad	Especial
Metros	Microclima	Grandes edificaciones	Especial

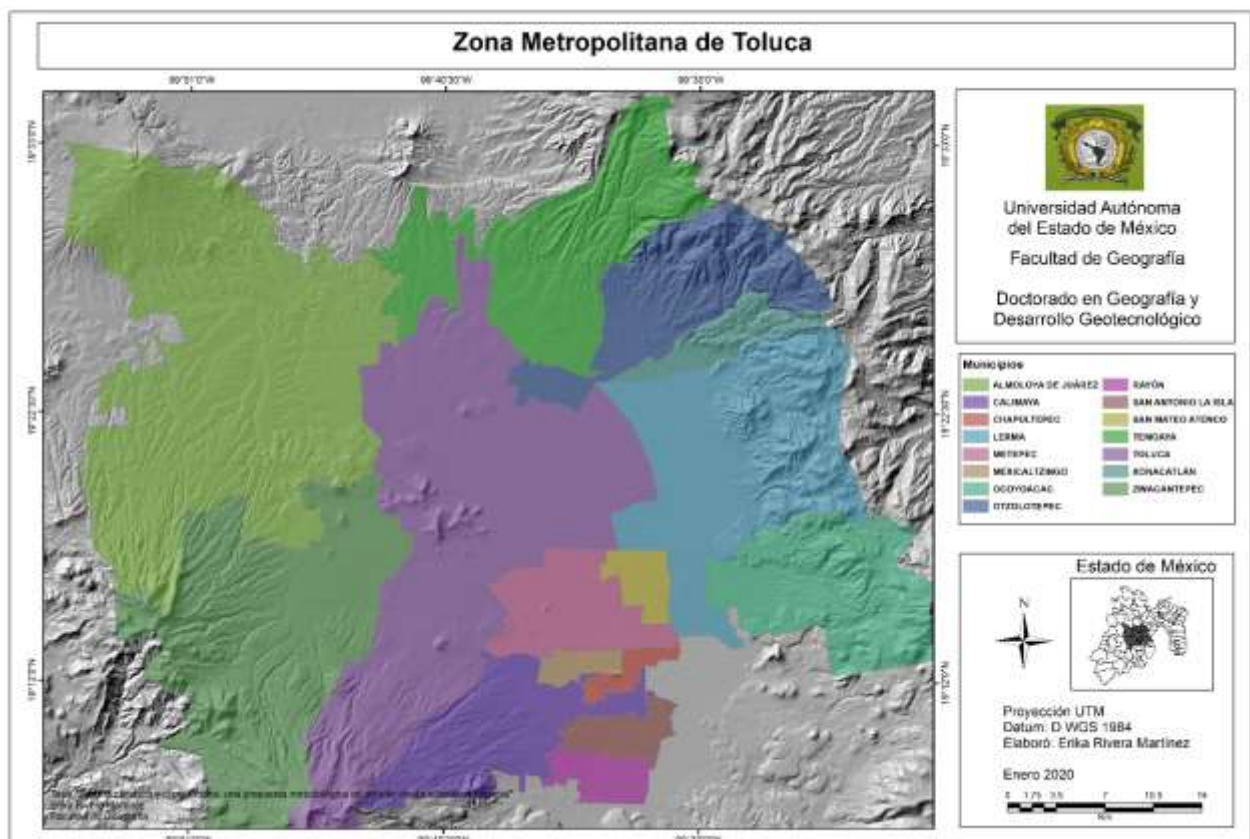
Fuente: Figueirido (2003)

La escala de análisis que se abordó en el presente trabajo está determinada por un área metropolitana, cuyo espacio climático es el clima local, dentro del cual se encuentra el clima urbano.

La Zona Metropolitana de Toluca como área de estudio

La Zona Metropolitana de Toluca (ZMT) se ubica en el Estado de México, el cual pertenece a la región centro del país. Está delimitada geográficamente por las coordenadas 19°34'58"N, 99°31'49"W y 19°04'29"N, 99°50'47"W (mapa 1). De acuerdo con la delimitación propuesta por SEDESOL *et al.*, (2018), la zona está integrada por 15 municipios, los cuales en conjunto poseen una extensión territorial de 2 411.7 km². La zona urbana ocupa una extensión de 402.7km² del total municipal.

Mapa 1. Ubicación geográfica de la Zona Metropolitana de Toluca



Fuente: Elaboración propia con base en SEDESOL et al. (2018) e INEGI (2010)

La ZMT es una de las 74 zonas metropolitanas existentes en el país al 2018 y ocupa el 5° lugar nacional respecto al número de habitantes. Se ubica contigua por el oeste y separada solo por la Sierra de las Cruces a la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), la cual ocupa el 1er lugar nacional con una población de más de

20 116 842 de habitantes. Su cercanía con la ZMVM genera influencia directa en el crecimiento poblacional y dinámica económica de la propia ciudad.

Las condiciones socioeconómicas, muestran que en el 2015 la zona tenía una población de 2 202 886 habitantes (tabla 14), una tasa de crecimiento media anual de 1.9% y una densidad de población de 64.4 hab/ha según datos de SEDESOL *et al.* (2018). La ciudad consolidó su crecimiento gracias al corredor industrial Toluca-Lerma, posteriormente se diversificó hacia el sector terciario logrando extenderse a los municipios periféricos (GEM y COESPO, 2012), por lo que por función, es una ciudad industrial y de servicios.

Tabla 14. Municipios de la ZMT

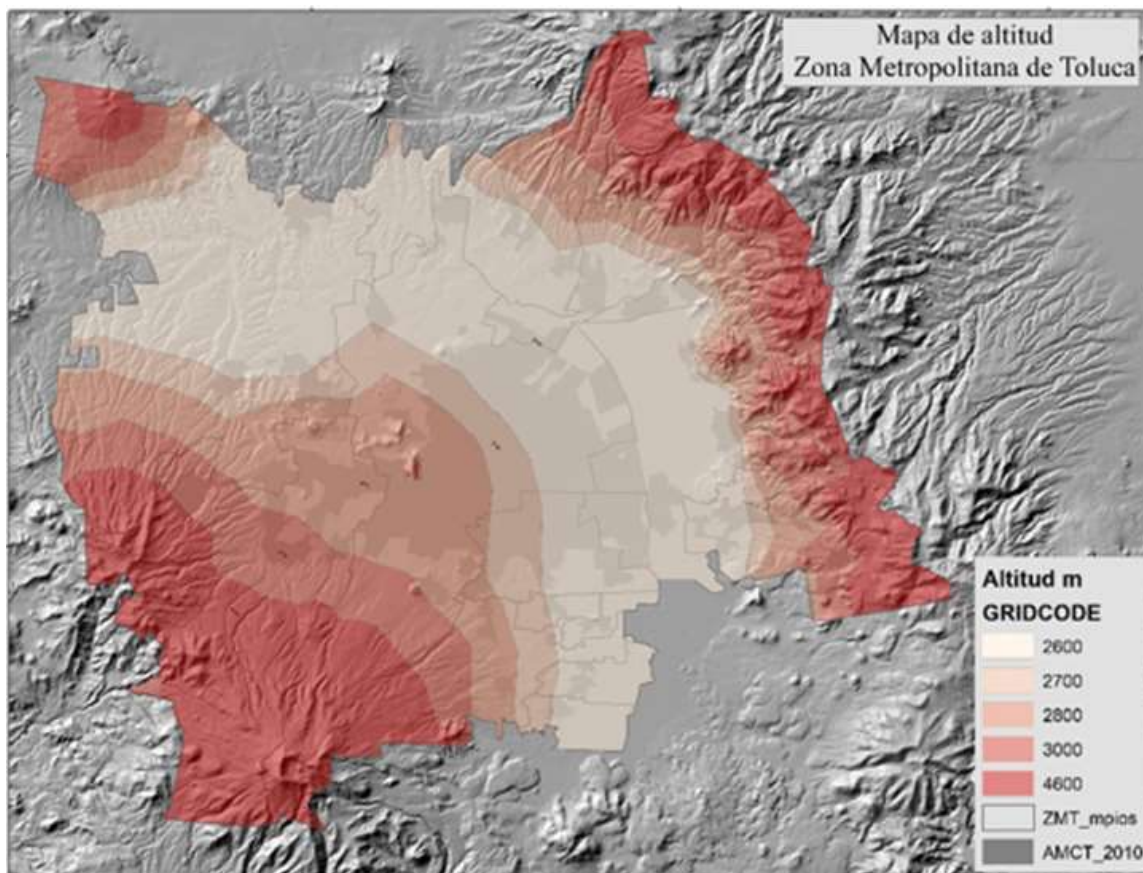
<i>Municipio</i>	<i>Superficie km²</i>	<i>Población al 2015</i>
<i>Almoleya de Juárez</i>	480.2	176 237
<i>Calimaya</i>	103.0	56 574
<i>Chapultepec</i>	12.0	11 764
<i>Lerma</i>	230.8	146 654
<i>Metepec</i>	67.4	227 827
<i>Mexicaltzingo</i>	11.3	12 796
<i>Ocoyoacac</i>	139.3	66 190
<i>Otzolotepec</i>	112.3	84 519
<i>Rayón</i>	23.0	13 261
<i>San Antonio la Isla</i>	25.3	27 230
<i>San Mateo Atenco</i>	18.9	75 511
<i>Temoaya</i>	188.1	103 834
<i>Tenango del Valle</i>	208.5	86 380
<i>Toluca</i>	428.1	873 536
<i>Xonacatlán</i>	53.5	51 646
<i>Zinacantepec</i>	310.0	188 927
<i>TOTAL</i>	2 411.7	2 202 886

Elaboración propia con base en SEDESOL, CONAPO e INEGI (2018)

Respecto al medio físico, la metrópoli de Toluca se encuentra a una altitud promedio de 2800 msnm, lo que influye en condiciones meteorológicas del lugar. Tiene un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, una temperatura media anual de 12.0°C y una precipitación media anual de 760mm presentándose entre los meses de mayo a octubre.

Los municipios que integran a la zona metropolitana forman parte de Sistema Volcánico Transversal. El relieve se caracteriza por la Sierra de las Cruces al noroeste de la ciudad y el volcán Nevado de Toluca al sur, teniendo altitudes por encima de los 3000 msnm; la metrópoli se ubica en un valle (Valle de Toluca) (Mapa 2). La vegetación que predomina en el valle son pastizales, además de zonas agrícolas de temporal y de riego, por su parte, las zonas de mayor altitud presentan bosques de coníferas.

Mapa 2. Altitud de la Zona Metropolitana de Toluca



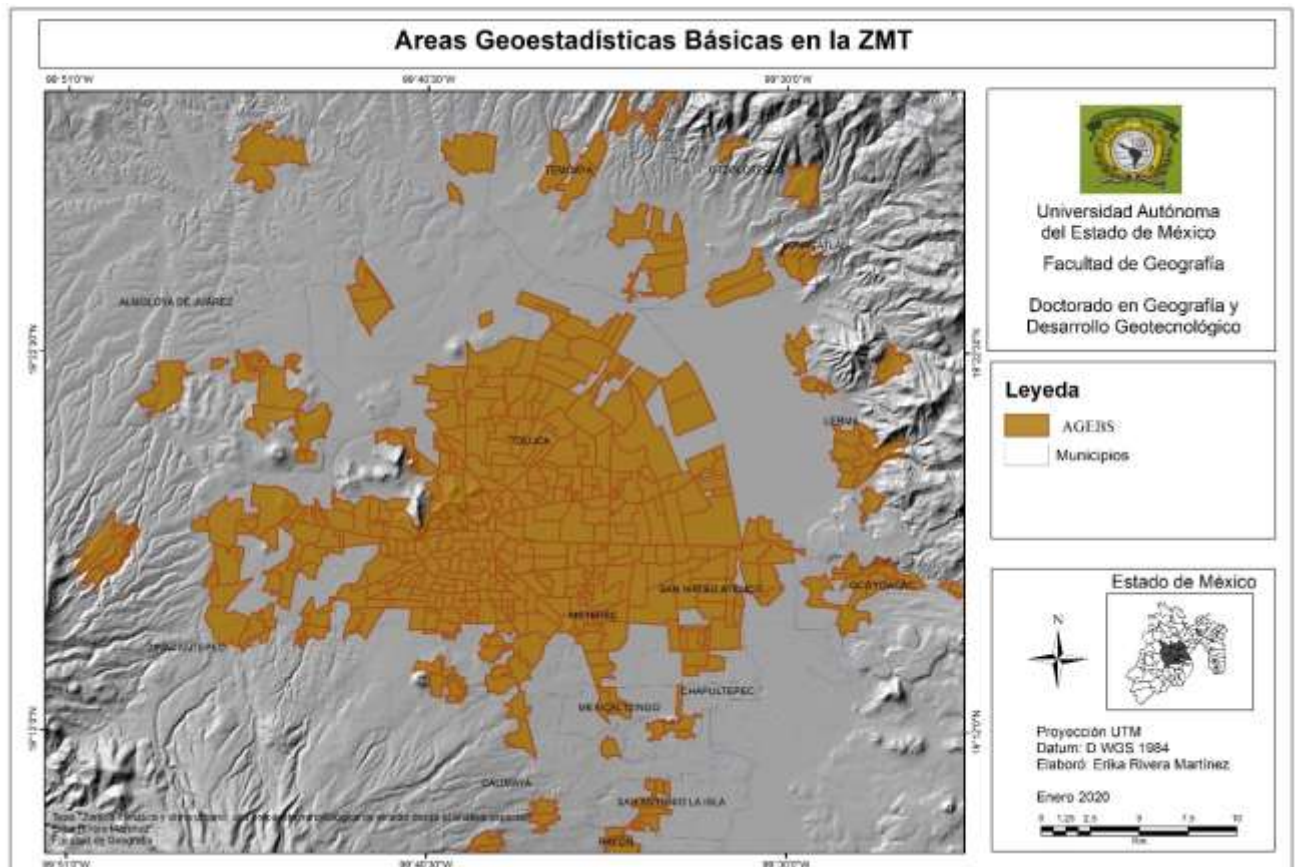
Tomando como base la tabla 6, la cual incluye los factores que pueden condicionar la modificación del clima regional, y de acuerdo con las características de tamaño, ubicación y función de la ciudad, además de la situación que guarda el aspecto socioeconómico, en la Zona Metropolitana de Toluca se genera un contexto propicio para el desarrollo y consolidación de un clima urbano. Es preponderante la identificación de la forma en la que se distribuye dicho clima a lo largo del territorio y la caracterización de la población expuesta.

Unidad de análisis de estudio

La unidad de análisis para el cálculo de los indicadores, es el área geoestadística básica urbana (AGEB), la cual es generada por el INEGI (2016). Una AGEB urbana es “un área geográfica ocupada por un conjunto de manzanas perfectamente delimitadas por calles, avenidas, andadores o cualquier otro rasgo de fácil identificación en el terreno y cuyo uso del suelo es principalmente habitacional,

industrial, de servicios, comercial, etcétera, y sólo son asignadas al interior de las zonas urbanas que son aquellas con población mayor o igual a 2,500 habitantes y en las cabeceras municipales” (INEGI, 2008). Para la Zona Metropolitana de Toluca se cuenta con 530 agebs (mapa 3). La categorización de áreas para la determinación de zonas socioclimáticas adversas estará dada por la unidad de análisis antes mencionada.

Mapa 3. AGEBS en la Zona Metropolitana de Toluca



Etapas metodológicas

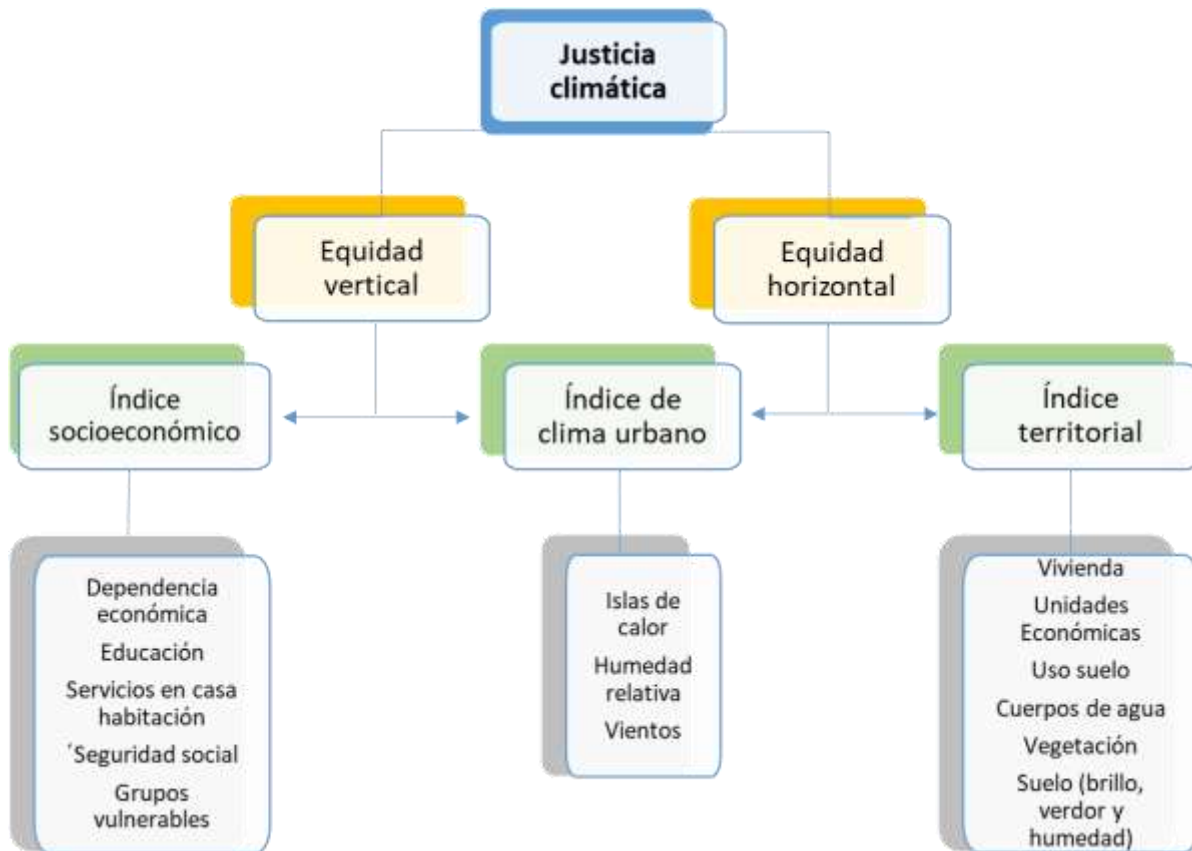
El diseño metodológico se elaboró a partir de los objetivos específicos planteados, se trazaron cuatro etapas metodológicas, las cuales abarcan los escenarios referentes al análisis del clima urbano, de aspectos territoriales, aspectos socioeconómicos y finalmente al estudio de la justicia climática en la ZMT (fig. 17).

Fig 17. Diseño de etapas metodológicas



Las etapas metodológicas se relacionan con base en el fundamento teórico que las sustentan, así como en los objetivos en las que se incluyen. Se describen de manera general en la figura 18 pero los materiales, métodos y productos obtenidos para cada una de ellas, se detallan a profundidad en los siguientes apartados.

Figura 18. Diagrama metodológico general



Fuente: Elaboración propia

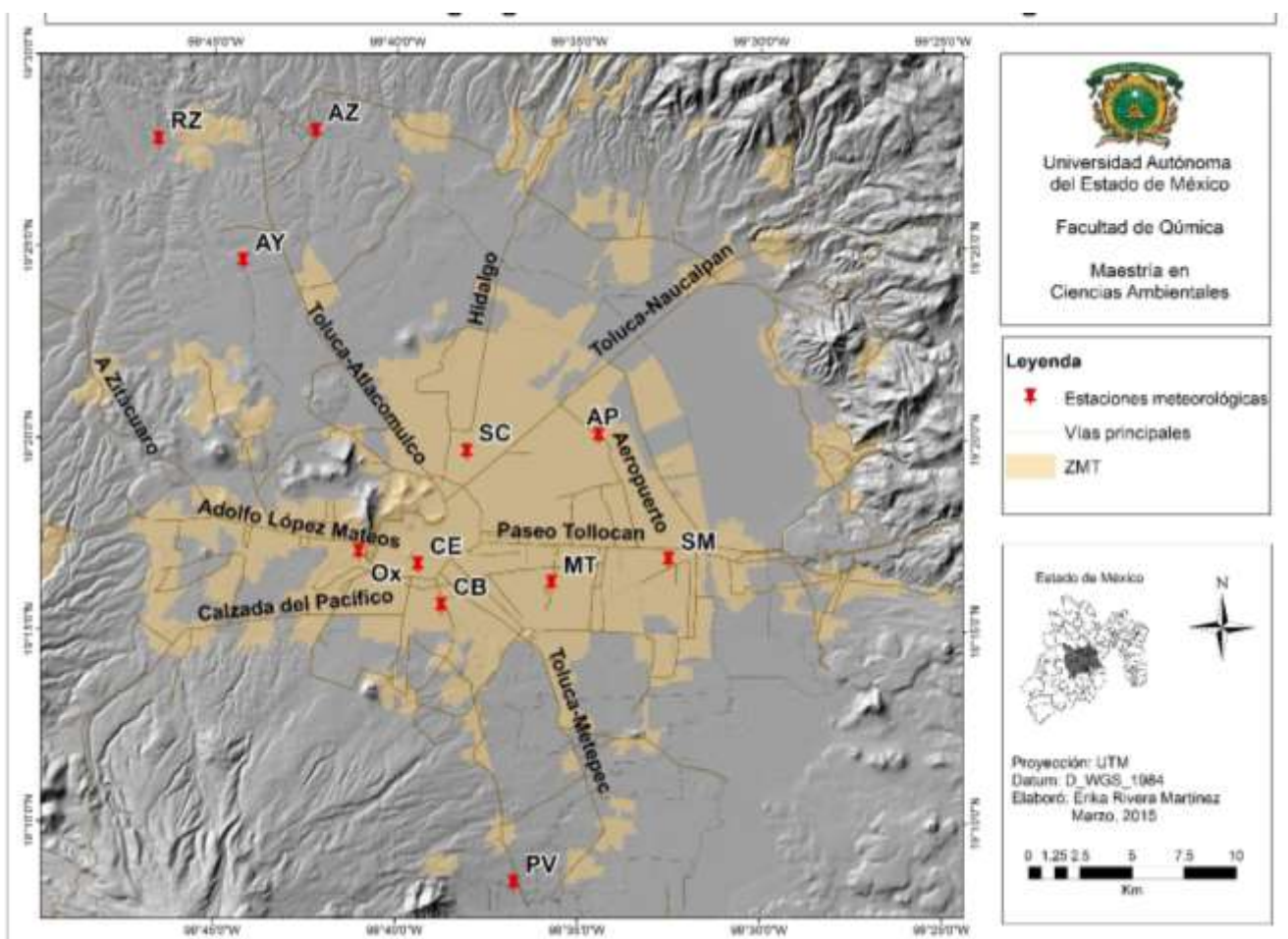
Etapla metodológica I: Dimensión climática

Para llevar a cabo un análisis del clima es necesario incluir sus principales elementos. La ciudad modifica específicamente algunos de ellos, la temperatura es de los elementos más evidentes. A partir del aumento de temperatura en la zona urbana se modifican de manera indirecta los elementos de humedad relativa y vientos. La radiación se focaliza en el mismo orden que la temperatura debido a que tienen una correlación directa. La precipitación también es un elemento que presenta modificaciones importantes, sin embargo no se considera en el análisis, debido a la mala disponibilidad de datos existentes en los registros meteorológicos.

La caracterización y análisis de la humedad relativa y vientos se llevó a cabo a partir de datos recolectados de estaciones meteorológicas fijas urbanas pertenecientes a

la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de Toluca (RAMA) (mapa 4) y la temperatura superficial se calculó a partir de imágenes satelitales Landsat 8 OLI. Los datos obtenidos representan el periodo comprendido entre 2014-2019 por lo que el estudio es de tipo longitudinal. Las variables a incluir, así como el tratamiento para cada una se describen en la tabla 15 y el diagrama metodológico para obtener el índice de clima urbano se detalla en la figura 19.

Mapa 4. Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas en la ZMT



Fuente: Rivera (2016)

Tabla 15. Operacionalización de variables para la dimensión climática

Etapla metodológica	Indicador	Variable	Unidad de medida	Técnica de investigación	Parámetros estadísticos	Instrumento de investigación	Fuente
Clima urbano	Islas de calor	Temperatura	°C	Análisis estadístico de datos	Max	Imágenes de satélite Landsat 8	USGS
	Islas de sequedad	Humedad relativa	%/m ³		Mín	OLI	RAMA Toluca
	Corrientes de viento	Vientos	m/s			Bases de datos de estaciones meteorológicas automáticas	

Fuente: elaboración propia

Figura 19. Diagrama metodológico de la etapa Clima urbano



Variable temperatura

Para la variable temperatura, se procesaron imágenes de satélite del sensor Landsat 8 OLI (path 26, row 47), con la finalidad de derivar la temperatura superficial. Las imágenes satelitales fueron obtenidas del servidor del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), pertenecen al nivel 1T, por lo que son imágenes digitales ortorectificadas, pues tienen correcciones geométricas y radiométricas (USGS, 2015).

Para la derivación de la temperatura se utilizaron las bandas del infrarrojo térmico entre 10 y 12 μm (banda 10 y 11) y se procesaron en el software ENVI 5.1. La metodología utilizada se basó en la descrita en Rivera, *et al.*, (2017). Se trabajaron seis escenas, cuyas características se encuentran descritas en la tabla 16; en ella se pueden identificar que las escenas corresponden a la estación de verano, con excepción de la escena del año 2013 que pertenece a la estación de primavera. De acuerdo con García-Cueto *et al.*, (2007), el mes que más representa a la estación de verano para el hemisferio norte, es Julio.

Tabla 16. Datos básicos de las escenas Landsat 8 OLI utilizadas

Identificador	Año	Mes/día	% de nubosidad
LC08_L1TP_026047_20130605_20170310_01_T1	2013	06/05	14.94
LC08_L1TP_026047_20140726_20170304_01_T1	2014	07/26	0.76
LC08_L1TP_026047_20150713_20170226_01_T1	2015	07/13	2.14
LC08_L1TP_026047_20160715_20170221_01_T1	2016	07/15	11.95
LC08_L1TP_026047_20180721_20180731_01_T1	2018	07/21	2.24
LC08_L1TP_026047_20190708_20190719_01_T1	2019	07/08	9.16

La nubosidad es un factor clave para la identificación de la temperatura superficial por lo que a menor porcentaje de cobertura de nubosidad, el cálculo es más cercano a la realidad. A pesar de que las escenas del 2013 y del 2016 presentan mayor porcentaje de nubosidad, esa nubosidad no interfiere en la Zona Metropolitana de Toluca, por lo que en general, las escenas presentan bajo porcentaje de cobertura de nubosidad, por tanto son apropiadas para derivar la temperatura superficial.

Para analizar la isla de calor se requiere medir su intensidad, la cual se define como la diferencia entre la temperatura máxima del entorno urbano y la rural, para condiciones estables de la atmósfera y para después de la puesta del sol. Con base en el archivo raster de temperatura superficial generado y tomando en cuenta la

fórmula propuesta por Oke (1987) y Montávez et al. (2000), misma que integra todas las condiciones meteorológicas en donde exista esa diferencia máxima, se utilizó la siguiente ecuación.

$$\Delta T = T_U - T_R \quad [1]$$

Donde:

ΔT , es la intensidad de la isla de calor,

T_U , es la temperatura urbana y

T_R es la temperatura rural o periférica

Tomando en cuenta datos de temperatura atmosférica proporcionada por las estaciones meteorológicas existentes en el territorio, se identificó el valor más bajo para cada año analizado y en la misma fecha de la escena (tabla 17), con base en ese punto, se obtuvo el valor de temperatura superficial y utilizando la calculadora raster, se realizó la resta para todos los valores de la imagen.

Tabla 17. Valor base de temperatura para cálculo de intensidad de isla de calor

Estación meteorológica	Año	Temperatura superficial °C
<i>San Cristóbal Huichochitlán</i>	2013	39.27
	2014	28.28
	2015	24.78
	2016	25.38
	2018	28.11
	2019	27.12

Los valores de intensidad de isla de calor se clasificaron de acuerdo con Fernández (1995) en:

Débil (0-2°C),

Moderada	(2.1- 4°C),
Fuerte	(4.1- 6°C) y
Muy fuerte	(> 6°C).

Los valores por debajo de cero se clasifican como islas de calor negativas.

Para identificar la persistencia de la isla de calor, se generó un layer stacking (el cual es un proceso que permite apilar varias escenas en un solo archivo), con todas las escenas trabajadas. Con base en el archivo resultante se hizo una reducción de dimensiones a partir del método de análisis de componentes principales (ACP) y se eligió el componente que tuviera la mayor varianza explicada para que representara el comportamiento temporal de la isla de calor en la zona de estudio.

El ACP es una técnica cuyo objetivo es resumir un grupo amplio de variables en un nuevo conjunto, más pequeño, sin perder una parte significativa de la información (Chuvieco, 1996). Es decir, reduce la dimensionalidad de los datos, reteniendo la máxima varianza. De acuerdo con Chuvieco (ídem) el cálculo del ACP de una imagen de satélite se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$CP_j = \sum_{i=1}^p a_{i,j} ND_i + R_j \quad [2]$$

Donde:

CP_j , es el ND que corresponde al componente principal j

$a_{i,j}$, es el coeficiente aplicado al ND de la banda i para generar el componente j

R_j , es una constante que se introduce en cada componente para evitar valores negativos

El proceso se sintetiza en los siguientes pasos:

- A partir de la matriz de varianza-covarianza de las bandas de la imagen original, se extraen los autovalores para cada uno de los componentes.
- Los autovalores expresan la longitud de los nuevos componentes.

- El autovalor va disminuyendo progresivamente del primero al último componente.
- La varianza total explicada por cada componente se calcula como la proporción de su autovalor frente a la suma de todos los autovalores.

Teniendo el componente con la mayor varianza explicada, se generó una clase en el procesador de imágenes Envi 5.1, a partir de los valores de intensidad de 4°C hasta el límite máximo de temperatura. Se convirtió en archivo vector y se exportó como archivo shape a Arc Map.

Variables: humedad relativa y vientos

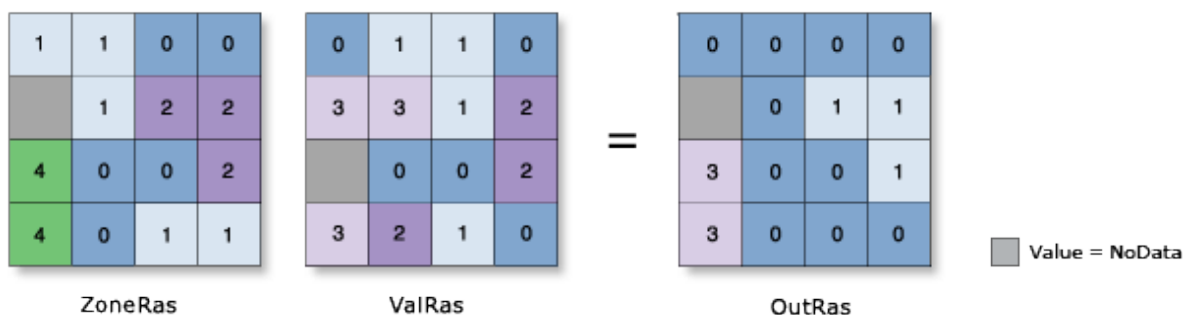
Para las variables de humedad relativa y vientos, se llevó a cabo el análisis estadístico para obtener datos estacionales (verano) por cada año de estudio. Se calculó el valor máximo y se realizó una interpolación de datos para cada variable en un sistema de información geográfica (SIG). El método utilizado fue el kriging ordinario ya que reporta un menor error al realizar el proceso (Anderson, 2002).

Los indicadores son islas de sequedad y velocidad de viento. Con los archivos raster obtenido para cada variable se realizó el procedimiento de layer stacking, con la finalidad de tener un solo archivo que contenga la información esencial de cada elemento del clima analizado para todos los años de estudio. Se realizó el mismo procedimiento de reducción de dimensiones que en la variable de temperatura, eligiendo el componente que tuviera la mayor varianza explicada para que representara el comportamiento temporal de cada variable en la zona de estudio.

Índice de clima urbano

Teniendo en cuenta que la unidad de análisis espacial es el ageb, en el SIG se calcularon las estadísticas zonales (figura 20) de isla de calor, isla de sequedad y corrientes de viento para cada uno de dichos agebs, tomando como dato la estadística del valor máximo calculado. Se exportaron las tablas generadas al programa estadístico SPSS para realizar la estandarización de los datos, la cual permite comparar información de dos distribuciones distintas o de distintas variables, calculando la puntuación estandarizada basada en puntuarlo en unidades de desviación estándar (ecuación 3)

Figura 20. Representación del cálculo de estadísticas zonales



Fuente: Esri, 2016

$$Z = \frac{n - \mu}{\sigma} \quad [3]$$

Donde:

Z , es la variable estandarizada

n , es la variable original

μ , es la media de la variable

σ , es la desviación estándar de la variable

Para generar el índice de clima urbano se utilizó el análisis de componentes principales (ACP) como método de reducción de dimensiones, tomando como base los valores estandarizados de cada variable que contiene la información del comportamiento temporal analizado.

El archivo final que muestra las zonas climáticas adversas se categorizó de acuerdo a la intensidad con la que se presenta en el territorio de la Zona Metropolitana de Toluca en: muy alta, alta, moderada, débil y negativa.

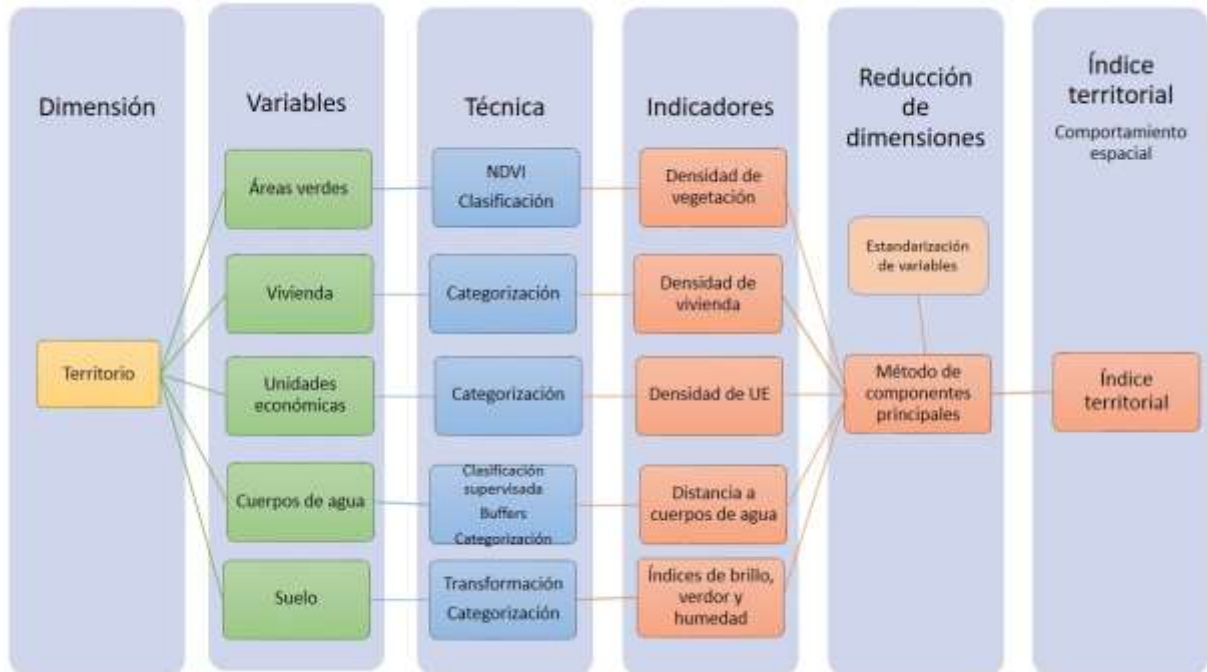
Etapa metodológica II: Dimensión territorial

Tomando en consideración la tabla 6 que contiene los factores para el desarrollo del clima urbano y con base en los de carácter territorial, la dimensión considera las variables que inciden directa o indirectamente en las condiciones que propician la aparición del clima local en mención. Las variables se eligieron a partir de la disponibilidad para obtener los datos para la zona de estudio, mismas que son: vegetación, vivienda, unidades económicas, cuerpos de agua, verdor, brillo y humedad del suelo tabla 18. El diseño metodológico para esta etapa, se describe en la figura 21.

Tabla 18. Operacionalización de variables de la dimensión territorial

ETAPA METODOLÓGICA	VARIABLES	UNIDAD DE MEDIDA	TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN	PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN	FUENTE
Territorio	Densidad de vegetación	m ² /km ²	Fotointerpretación Categorización de datos	Máxima	Imágenes satelitales	USGS
	Densidad de vivienda	# viviendas/km ²	Categorización	Máxima	ITER 2010	INEGI
	Densidad de unidades económicas	Unidades económicas/km ²	Categorización	Máxima	DENUE	INEGI
	Distancia a cuerpos de agua	km	Categorización	Máxima	Imagen de satélite	USGS
	Brillo		Transformación y categorización	Valor calculado	Imagen de satélite	USGS
	Verdor		Transformación y categorización	Valor calculado	Imagen de satélite	USGS
	Humedad		Transformación y categorización	Valor calculado	Imagen de satélite	USGS

Figura 21. Diagrama metodológico de la dimensión territorial



Fuente: elaboración propia

Vegetación

La variable vegetación se consideró debido a que es un elemento en el territorio que permite la prevención o mitigación del clima urbano. Se procesó una imagen Sentinel 2 del año 2019, con la finalidad de generar un índice de vegetación, el cual permitió identificar la vegetación intraurbana existente en la zona de estudio. De acuerdo con Chuvieco (1996), el uso de los índices (cocientes) para discriminar la existencia de masas vegetales, es oportuno debido al comportamiento radiométrico que presenta la vegetación respecto a otras superficies. El índice elegido fue el NDVI (Índice de vegetación normalizada), se utiliza para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base en la medición de la intensidad de la radiación de las bandas rojo e infrarrojo cercano del espectro electromagnético (tabla 19). Los valores del NDVI están en función de la energía absorbida o reflejada por las plantas en diversas partes del espectro electromagnético.

La respuesta espectral que tiene la vegetación sana, muestra un claro contraste entre el espectro del visible, especialmente la banda roja, y el infrarrojo Cercano (IRC). Mientras que en el visible los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la energía que reciben, en el IRC, las paredes de las células de las hojas, que se encuentran llenas de agua, reflejan la mayor cantidad de energía. El cálculo del NDVI se lleva a cabo a partir de la ecuación 4, a través del software Envi 5.1.

Tabla 19. Bandas utilizadas para el cálculo del NDVI

<i>Banda</i>	<i>Espectro</i>	<i>Longitud de onda</i>
<i>electromagnético</i>		
4	Roja	0.65 – 0.68 µm
8	Infrarrojo cercano (NIR)	0.78 - 0.90 µm

Fuente: ESA, 2015

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad [4]$$

Dónde:

NDVI, es el índice de vegetación

NIR, es la banda con el espectro de luz infrarrojo cercano

R, es la banda con el espectro de luz roja visible

Los valores de este índice fluctúan entre -1 y 1. Diversos estudios y publicaciones señalan que valores por arriba de 0.1 indican presencia de vegetación, y entre más alto sea el valor las condiciones de vigor son mejores

Con el índice calculado, a partir de los valores entre 0.4 y 0.6 µm, que son los que representan la signatura espectral de la variable (Chuvienco, 2002), se generó una región de interés (ROI), que se utiliza para segmentar una característica particular del territorio, en este caso, la vegetación. Se convirtió a una clase que posteriormente se exportó como archivo shape a un SIG.

Se calculó el área de vegetación que contiene cada ageb, sumando las áreas de todos los polígonos existentes dentro y posteriormente con la función summarize, se obtuvo la superficie de vegetación total por cada área geoestadística básica. Para determinar la densidad de vegetación se creó una nueva variable con base en la ecuación 5. La densidad de vegetación se expresa como la relación entre la superficie total de vegetación y el área total de cada ageb.

$$Dv = \frac{Veg}{Sup\ Ageb} \quad [5]$$

Dónde:

Dv, es la densidad de vegetación

Veg, es el área de vegetación existente por ageb expresada en m²

SupAgeb, es el área de cada ageb, expresada en m²

Vivienda

La densidad de vivienda contribuye directamente a los niveles de rugosidad que posea el territorio. La rugosidad modifica la velocidad del viento permitiendo o mitigando la isla de calor. El impacto en el clima urbano es inversamente proporcional a la velocidad y depende en gran parte de lo compacta o dispersa que sea la ciudad.

Para la vivienda, se utilizó la información generada por el INEGI (2010), a través del Censo Nacional de Población y Vivienda. Se usó la variable vivienda total por ageb y se calculó la densidad de vivienda, expresada como la relación entre las viviendas totales existentes por ageb y la superficie total de dicho ageb (ecuación 6)

$$Dviv = \frac{TotViv}{SupAgeb} \quad [6]$$

Donde:

Dviv, es la densidad de vivienda calculada

TotViv, es el número de viviendas existentes por ageb

SupAgeb, es el área de cada ageb, expresada en km²

Unidades económicas

Las unidades económicas representan la función que cumple una ciudad, para la Zona Metropolitana, que es una ciudad industrial y de servicios, las UE que persisten deben estar incluidas entre los sectores 31 y 61 (tabla 20). La densidad de unidades económicas que posea una ageb, va a tener una relación directamente proporcional con el aumento de las fuentes de emisión de calor de la ciudad.

Tabla 20. Clasificación de unidades económicas por sector

SECTOR	CLASIFICACIÓN
11	Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza
21	Minería
22	Generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, suministro de agua y de gas natural por ductos
23	Construcción
31-33	Industrias manufactureras
43	Comercio al por mayor
46	Comercio al por menor
48-49	Transportes, correos y almacenamiento
51	Información en medios masivos
52	Servicios financieros y de seguros
53	Servicios inmobiliarios y de alquiler de inmuebles e intangibles
54	Servicios profesionales, científicos y técnicos
55	Corporativos
56	Servicios de apoyo a los negocios y manejo de residuos y desechos, y servicios de remediación
61	Servicios educativos
62	Servicios de salud y de asistencia social
71	Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos

72	Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas
81	Otros servicios excepto actividades gubernamentales
93	Actividades legislativas, gubernamentales, de impartición de justicia y de organismos internacionales y extraterritoriales.

Fuente: SCIAN, 2013

La densidad de unidades económicas se expresa como la relación entre el número de unidades económicas y la superficie de los agebs por m², y se calculó a partir de la ecuación 7.

$$Due = \frac{UE}{Sup\ Ageb} \quad [7]$$

Dónde:

Due es la densidad de unidades económicas

UE, es el total de unidades económicas existentes por ageb

SupAgeb, es el área de cada ageb, expresada en km²

Verdor, humedad y brillo

Algunas características del suelo, inciden directamente en los elementos del clima, tales como la temperatura y la humedad relativa. Por ello, se utilizó la *Transformación Tasseled Cap (TTC)*, la cual permite, realzar y analizar aspectos físicos del territorio, a partir de evidenciar el comportamiento espectral de la vegetación y el suelo, obteniendo como resultado la síntesis de todas las bandas en tres componentes (Chuvienco, 2002):

- Brillo. Representa la suma ponderada de todos los canales a excepción del térmico. Permite visualizar el albedo
- Verdor. Representa el contraste entre las bandas visibles y el infrarrojo cercano. Permite visualizar la vegetación
- Humedad. Se relaciona con el contenido de agua que existe en la vegetación y el suelo y se expresa a partir del contraste entre el infrarrojo medio.

Se procesaron las imágenes Landsat 8 OLI descritas en la tabla 16, con la finalidad de aplicarles la TTC a sus bandas multiespectrales con base en la ecuación 8. Con los resultados obtenidos, se realizó un layerstacking para cada uno de los ejes diferenciados (brillo, verdor, humedad), posteriormente se realizó un análisis de componentes principales a cada uno de esos archivos, para obtener la mayor información temporal en un solo componente. Finalmente se generaron estadísticas zonales para obtener el valor promedio de brillo, verdor y humedad del suelo por ageb.

$$u_j = R'_i x_i + c \quad [8]$$

Donde:

u_j , es el vector correspondiente a la imagen transformada

R'_i , es el vector de coeficientes de transformación

x_i , es el vector de entrada y

c , es una constante para evitar valores negativos (32)

Cuerpos de agua

La existencia de cuerpos de agua en el territorio permite aumentar la evaporación, incidiendo directamente en la humedad relativa y siendo inversamente proporcional en la temperatura del lugar. El indicador a utilizar es la distancia a cuerpos de agua, entendiendo que a mayor cercanía de cuerpos de agua, mayor regulación de temperatura en el entorno inmediato.

Se trabajó el NDVI, utilizando una imagen Sentinel 2 del año 2019, el cual permite diferenciar los cuerpos de agua existentes en el territorio. Con base en el archivo generado, se realizó una consulta a partir de una región de interés. La signature espectral del agua es baja en el espectro visible (entre 0.06-0.6 μm) (Chuvienco,

2002) y desaparece en los infrarrojos, usando dichos valores se obtuvieron los cuerpos de agua. Se generó una clase, se convirtió a shape y se exportó a un SIG.

Finalmente con base en los polígonos calculados, se calculó la distancia euclidiana agebs-cuerpos de agua, obteniendo un valor de distancia para cada ageb. La distancia euclidiana proporciona una medición de la separación que existe entre dos puntos dentro de una imagen y se obtiene a partir de la siguiente ecuación (Elizondo y Maestre, 2002):

$$D_E(p, q) = \sqrt{(x - s)^2 + (y - t)^2} \quad [9]$$

Donde:

p, q , son los puntos en la imagen

(x, y) , son las coordenadas del punto p

(s, t) , son las coordenadas del punto q

Índice territorial

A partir de la tabla generada con los valores de cada una de las variables analizadas para cada ageb, se procedió a calcular el índice territorial. Para generarlo se utilizó el análisis de componentes principales (ACP) como método de reducción de dimensiones, tomando como base los valores estandarizados de cada variable que contiene la información del comportamiento temporal analizado.

El archivo final que muestra las zonas territoriales adversas se categorizó de acuerdo a la intensidad con la que se presenta en el territorio de la Zona Metropolitana de Toluca en: muy alta, alta, media, baja y muy baja.

Etapla metodológica II: Dimensión socioeconómica

Respecto a las condiciones socioeconómicas de la población, las variables consideradas se eligieron de acuerdo a la información de la tabla 7, que contiene a los sectores de población que pueden ser vulnerables al clima urbano. Con base en esos sectores, se eligieron las variables que brindaron información semejante y que permitieron crear el índice socioeconómico (tabla 21). Se describe la operacionalización de variables en la tabla 22 y la descripción simplificada del diseño metodológico en la figura 22.

Tabla 21. Variables incluidas en el índice socioeconómico

Variables propuestas por la teoría	Adaptación de variables
Adultos mayores	Grupos vulnerables
Niños	
Población con bajos ingresos /niveles socioeconómicos	Condiciones socioeconómicas: Dependencia económica Población con educación pos-básica Nivel de escolaridad Servicios en vivienda: agua, drenaje, energía eléctrica, refrigerador, lavadora, internet, auto
Trabajadores al aire libre	-
Personas enfermas	Población con seguridad social

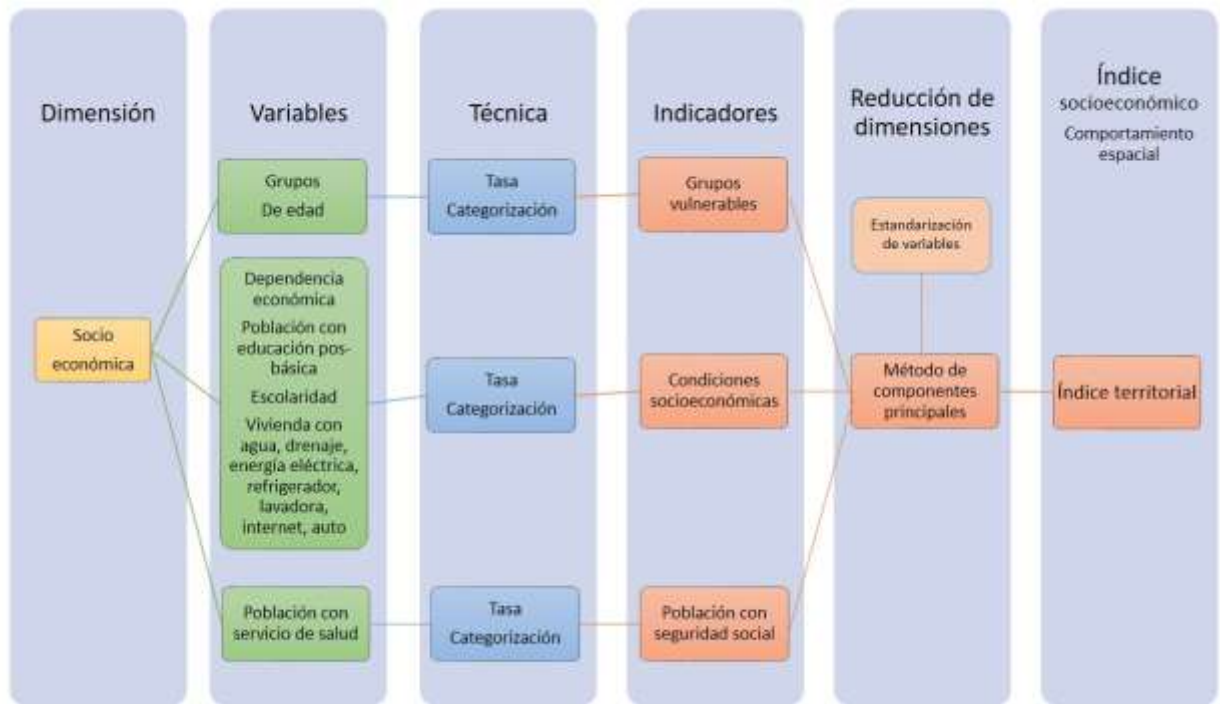
Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Operacionalización de variables de la dimensión socioeconómica

ETAPA METODOLÓGICA	VARIABLES	UNIDAD DE MEDIDA	TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN	INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN	FUENTE
Socioeconómica	Grupos vulnerables	Años	Categorización de datos	ITER	INEGI
	Población con servicio de salud	Porcentaje	Categorización de datos	ITER	INEGI
	Escolaridad	Años de estudio	Categorización de datos	ITER	INEGI
	Dependencia económica	Pob total/ PEA ocupada	Categorización de datos	ITER	INEGI
	Población con educación posbásica	Pob15y mas con educ PB	Categorización de datos	ITER	INEGI
	Viviendas con agua	Total de viviendas con agua por ageb	Categorización de datos	ITER	INEGI
	Viviendas con drenaje	Total de viviendas con drenaje por ageb	Categorización de datos	ITER	INEGI
	Viviendas con energía eléctrica	Total de viviendas con energía eléctrica por ageb	Categorización de datos	ITER	INEGI
	Viviendas con refrigerador	Total de viviendas con refrigerador por ageb	Categorización de datos	ITER	INEGI
	Viviendas con lavadora	Total de viviendas con lavadora por ageb	Categorización de datos	ITER	INEGI
	Viviendas con internet	Total de viviendas con internet por ageb	Categorización de datos	ITER	INEGI
	Viviendas con automóvil	Total de viviendas con automóvil por ageb	Categorización de datos	ITER	INEGI

Fuente: elaboración propia

Figura 22. Diagrama metodológico de la dimensión socioeconómica



Fuente: elaboración propia

Grupos vulnerables

Los grupos vulnerables representan un sector de la población de mayor riesgo a los impactos negativos del clima urbano, por lo que es importante identificar su distribución en el espacio. Para generar el valor cuantitativo por ageb, se trabajó con el ITER 2010, del Censo General de Población y Vivienda del mismo año.

Se consideran grupos vulnerables los infantes y los adultos mayores, por lo que se seleccionaron los grupos de edad de 0 a 2, 3 a 5, 6 a 11, que representan a los infantes y 60 y más, que integran a los adultos mayores. Con base en la suma de esos sectores de población, se calculó la tasa por ageb con base en la ecuación 10.

$$GpoV = \frac{(Pob\ 0-11)+(Pob\ 60y+)}{Pob} * 100 \quad [10]$$

Condiciones socioeconómicas

La literatura ha utilizado la variable de nivel socioeconómico, como variable preponderante en el estudio de la justicia climática a nivel local. Para la presente investigación, el dato de nivel socioeconómico no se tiene al alcance por lo que se generó un indicador que se aproximará a conocer la condición socioeconómica de la población. Las variables que se integraron, refieren a educación, bienes y servicios en el hogar y dependencia económica. Para cada variable se calculó la tasa por ageb con base en las siguientes ecuaciones:

$$Dep = \frac{PobT}{PobO} \quad [11]$$

Dónde:

Dep, es la tasa de dependencia económica por ageb

PobT, es la población total del ageb

PobO, es la población ocupada por ageb

$$Viv(x) = \frac{VPHab(x)}{VPH} * 100 \quad [12]$$

Dónde:

Viv(x), es la tasa de vivienda con el bien o servicio específico

VPHab(x), es el total de viviendas particulares habitadas con el bien o servicio en particular por ageb

VPH, es el total de viviendas totales habitadas por ageb

$$PEdPb = \frac{P18ymPb}{P18ym} * 100 \quad [13]$$

Dónde:

PEdPb, es la tasa de población con educación pos-básica por ageb

P18ymPb, es el total de población con 18 años y más que cuenta con educación pos-básica en el ageb

P18ym, es el total de población con 18 años y más por ageb

Acceso a servicios de salud

El contar con acceso a servicios de salud, asegura la atención prioritaria en caso de presentar condiciones negativas climáticas en el lugar donde se viva, que permita hacer frente a las enfermedades que de esa situación se generen. Para calcular la tasa de población con acceso a servicios de salud por ageb, se utilizó la ecuación 14.

$$PSs = \frac{PobTSs}{PobT} * 100 \quad [14]$$

Dónde:

PSs, es la tasa de población con derechohabiencia a servicios de salud por ageb

PobTSs, es la población total por ageb, que cuenta con derechohabiencia a servicio de salud

PobT, es la población total por ageb

Índice socioeconómico

Para realizar el índice socioeconómico, se procedió a estandarizar las variables en el software SPSS Statistics. Con base en los valores calculados, que contienen el comportamiento de cada una de las variables, se calculó el índice utilizando como método de reducción de dimensiones el análisis de componentes principales (ACP).

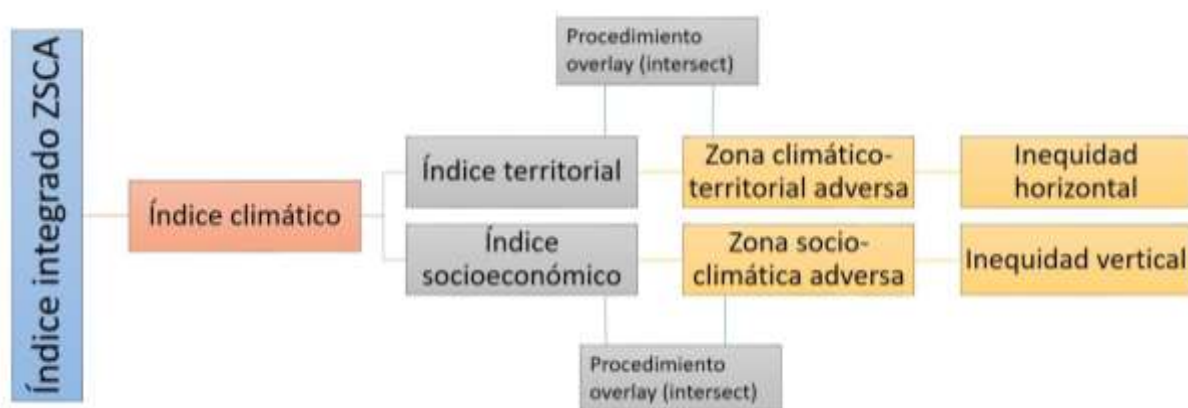
El archivo final que muestra las zonas socioeconómicas adversas se categorizó de acuerdo a la intensidad con la que se presenta en el territorio de la Zona Metropolitana de Toluca en: muy alta, alta, media, baja y muy baja.

Etapla metodológica III: Indicador de zonas socioclimáticas adversas

Para el análisis de justicia climática se diseñó un indicador que mostrara la persistencia de las condiciones negativas del clima urbano y de las características del territorio así como de las condiciones adversas respecto a la población. Para

determinar la existencia de justicia climática en la Zona Metropolitana de Toluca se generaron las zonas climático-territoriales adversas, las cuales representan la inequidad horizontal y las zonas socioclimáticas adversas, mismas que representan la inequidad vertical (fig. 23). Lo anterior se realizó con base en la figura 9, que contiene las características de la equidad vertical y horizontal, necesarias para entender la justicia climática.

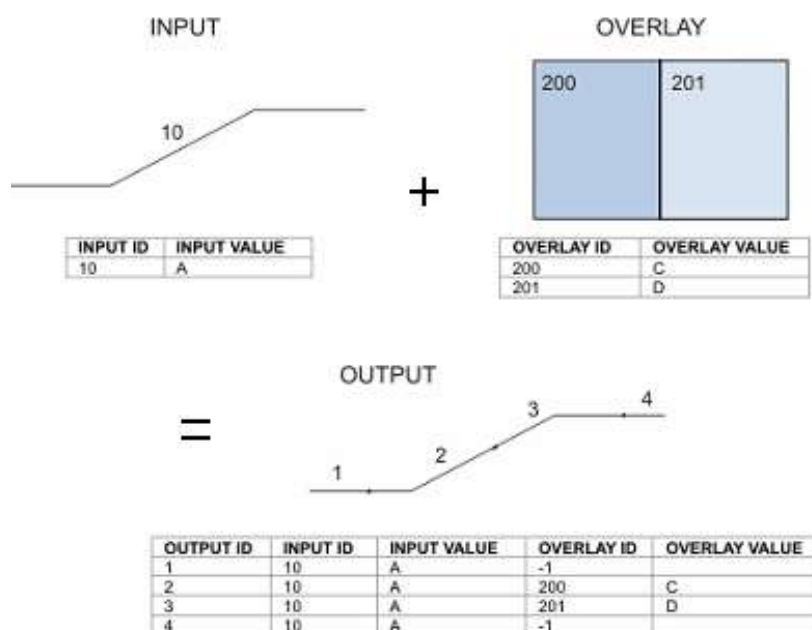
Figura 23. Diagrama metodológico para la identificación de zonas con condiciones adversas



Fuente: elaboración propia

Para identificar espacialmente las zonas adversas, se realizó un análisis espacial de superposición a través del procedimiento overlay en el SIG ArcMap. El método de superposición utilizado fue el de superposición de entidades (fig. 24) el cual trabaja a partir de la capa de entrada, la capa de superposición y la capa de salida.

La función superposición divide las entidades de la capa de entrada donde están superpuestas por las entidades de la capa de superposición. Se crean nuevas áreas donde intersecan los polígonos.

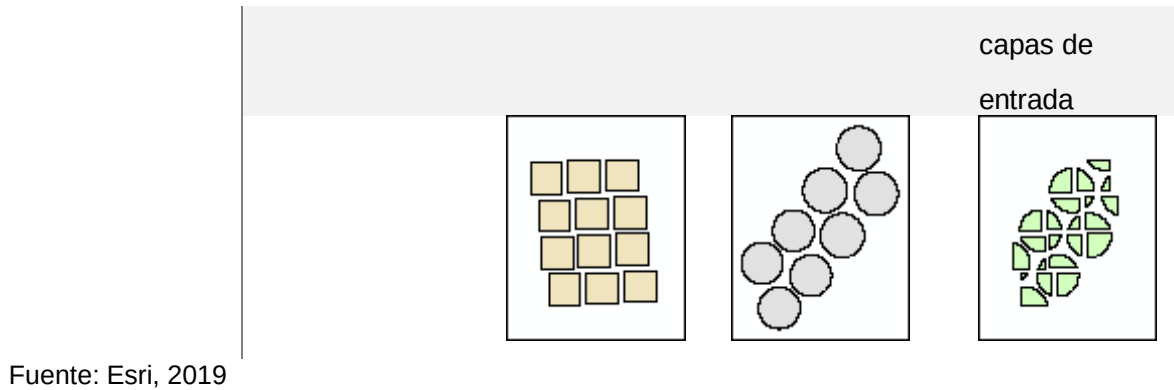
Figura 24. Método de superposición de entidades

Fuente: Esri, 2019

La herramienta utilizada dentro del método de superposición de entidades fue “interseccionar”, la cual genera una capa de salida que contiene solo las capas comunes a todas las capas de entrada. Las características de la herramienta se muestran en la tabla 23. Anterior a realizar el procedimiento, se hizo una consulta para extraer solo los valores más bajos de cada uno de los índices, debido a que lo que interesa es la identificación de las zonas adversas.

Tabla 23. Características de la herramienta de superposición “intersect”

<i>Herramienta</i>	<i>Superposición binaria o múltiple</i>	<i>Tipo de datos de entrada</i>	<i>Tipo de superposición</i>	<i>Salida</i>
<i>Interseccionar</i>	Múltiple	Alguno	N/D	Sólo las entidades comunes a todas las



Etapla metodológica IV: Análisis de justicia climática

Con base en los índices climático, territorial y socioeconómico realizados previamente, se generó el índice sintético que representa el comportamiento de la justicia climática en la zona de estudio. El índice sintético se llevó a cabo tomando como base teórica la suma ponderada a través del Método de Jerarquías Analíticas de Saaty.

El método AHP (por sus siglas en inglés) permite asignar pesos a las diferentes variables que se estén analizando, en este caso a los diferentes índices. Los pesos representan la importancia que se le atribuye a cada uno de los índices y se determinaron a partir del método de asignación directa (Ramírez, 2004). El índice sintético se calculó a partir de la ecuación 15

$$IJC = \sum_{i=1}^n x_i * w_i \quad [15]$$

Dónde:

IJC , es el índice de justicia climática

x_i , es cada uno de los subíndices

w_i , es el peso asignado al subíndice

Para determinar el comportamiento espacial de la justicia climática en el territorio de la ZMT, el análisis se reforzó con una correlación espacial estadísticamente significativa para lo cual se calculó el Índice de Morán univariado, con la finalidad de identificar los hot spots en el territorio con base en la inequidad horizontal y vertical. El índice permitió evaluar si el patrón detectado está agrupado, disperso o es aleatorio. Se usó el valor P para determinar la significancia de dicho índice.

3. Resultados y discusión:

El comportamiento espacial de las dimensiones climático-socio- territoriales

«La naturaleza no es justa ni injusta, como tampoco es injusto que las personas nazcan en una determinada posición social. Estos hechos solo son naturales. Lo que puede ser justo o injusto es el modo en que las instituciones actúan respecto de esos hechos»

John Rawls

Dimensión climática: Indicador de condiciones climáticas adversas

El clima urbano representa una problemática silenciosa para las ciudades. En razón de resiliencia, una ciudad está más expuesta al cambio climático, si es que presenta islas de calor con valores de fuerte a muy fuerte. Enfocados en impactos negativos, una ciudad representa un riesgo para la población, el ambiente y la economía si posee un clima urbano con condiciones adversas.

Comportamiento y distribución de islas de calor en la ZMT

En el territorio, las islas de calor se producen con diferentes tamaños e intensidades y cambian de acuerdo a la época del año y al tipo de temperatura analizada. Los resultados para la Zona Metropolitana de Toluca, respecto a valores e intensidades están descritos en las tablas 24 y 25. La variabilidad de los datos para la temperatura de superficie es baja, es decir, los datos se comportan con cierta homogeneidad; el coeficiente de variación presenta porcentajes por debajo del 8% para la mayoría de los años, con excepción del 2013, el cual tiene un coeficiente de variación de 23.72%, lo que indica que existe una mayor heterogeneidad de datos.

El mapa 5 muestra que para el verano de 2013, la ciudad presentaba mejores condiciones de temperatura intraurbana que las zonas rurales aledañas. Lo anterior puede estar influenciado por condiciones meteorológicas específicas del día de la toma de la escena. Las islas de calor con intensidades de fuertes a muy fuertes ocupaban una superficie superior a los 41 km², sin embargo, esas condiciones se presentan en las zonas periurbanas.

En algunas ocasiones, dentro del área rural se generan condiciones más cálidas que en la ciudad, produciendo las denominadas islas de calor no urbanas, debido a que existen condiciones de escasa humedad y/o vegetación en el suelo, lo que posibilita el calentamiento de una forma más acelerada (Peña y Romero, 2005).

Tabla 24. Superficie en km² por intensidad de isla de calor

<i>Año/Intensidad</i>	<i>Débil</i> <i>0.1-2°C</i>	<i>Moderada</i> <i>2.1-4°C</i>	<i>Fuerte</i> <i>4.1-6°C</i>	<i>Muy fuerte</i> <i>>6°C</i>	<i>Superficie</i> <i>total con</i> <i>ICUS</i>
2013	102.694	59.350	30.789	10.290	203.123
2014	49.889	25.708	6.312	1.904	83.813
2015	58.605	26.423	5.233	1.680	91.941
2016	61.211	39.831	19.958	5.270	126.27
2018	54.031	29.488	7.302	2.610	93.431
2019	100.233	57.724	22.831	3.960	184.748

Tabla 25. Estadísticas básicas de la intensidad de islas de calor en la ZMT

<i>Año</i>	<i>Mín °C</i>	<i>Máx °C</i>	<i>σ</i>	<i>Media</i>	<i>CV</i>
2013	-14.04	15.82	21.11	0.89	23.72
2014	-11.90	19.52	22.22	3.81	5.83
2015	-10.55	17.96	20.16	3.71	5.44
2016	-9.80	19.71	20.87	4.96	4.21
2018	-12.15	18.17	21.44	3.01	7.12
2019	-10.34	16.49	18.97	3.08	6.17

Máxima (Max), mínima (Min), desviación estandar (σ) y coeficiente de variación (C.V)

Tomando como base el mapa 4 que incluye las principales vías de comunicación de la Zona Metropolitana de Toluca, se puede apreciar que existen zonas focalizadas dentro de la ciudad con islas de calor superiores a los 4°C, estas se encuentran a

lo largo de la vía de Paseo Tollocan y sobre la vialidad Aeropuerto, alcanzando como intensidad máxima 15.82°C de diferencia, respecto a su entorno. La intensidad máxima del 2013, representa la intensidad mínima a lo largo de los años analizados.

Para los años restantes, el comportamiento es similar dentro de la zona urbana. Respecto al verano del año 2014 (mapa 6), las islas de calor se concentraron en la zona centro de la ciudad, la mayor superficie está asociada a islas de calor con intensidad moderada (2.1 a 4°C) con 25 km^2 de cobertura, ese patrón continua por las vialidades Toluca-Metepec, Adolfo López Mateos, Toluca-Naucalpan, Tollocan y la vialidad Aeropuerto. Las islas de calor con intensidades fuertes a muy fuertes, suman una superficie de más de 8 km^2 y se localizan con mayor porcentaje en las dos últimas vialidades mencionadas anteriormente. La temperatura máxima alcanzada para la isla de calor aumentó respecto al año 2013, y llegó a 19.52°C de diferencia respecto a la temperatura de su entorno periurbano o rural. El coeficiente de variación es de 5.83% , lo que representa que los valores presentan homogeneidad.

El comportamiento espacial de las islas de calor para el verano del 2015 (mapa 7) aumentó en superficie respecto al año anterior, quedando en 91.94% del total de la ZMT. Se incrementaron las islas de calor con intensidad de débil y moderada, y disminuyeron las intensidades superiores a los 4°C , logrando intensidades máximas de 17.96°C . Sin embargo la distribución espacial mantuvo su comportamiento, concentrándose en el centro de la ciudad, continuando con una distribución radial a través de las vialidades Toluca-Metepec, Tollocan, Aeropuerto y Toluca-Naucalpan.

El año 2016 (mapa 8), describe un comportamiento distinto, debido a que es el año que alcanza la intensidad máxima de todo el periodo de estudio, presentando 19.71°C de diferencia de temperatura respecto al entorno periurbano y rural. La distribución espacial de las islas de calor ocupan una superficie de 126.27 km^2 , respecto del total. La intensidad de las islas aumento en valor y superficie respecto

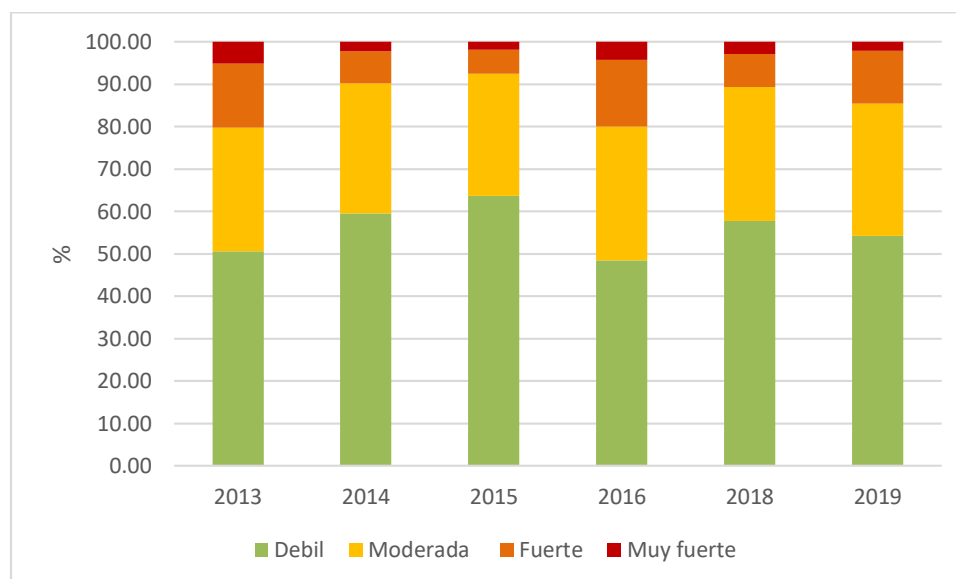
a los años anteriores. El incremento más importante se presenta en las islas de calor fuertes, que pasaron de 5 a 19 km², de un año a otro; las intensidades muy fuertes también incrementaron, pasando de 1.6 a 5.2 km², respecto al 2015. La distribución espacial se comporta de manera similar dentro de la ciudad, solo se incrementa la superficie en el centro-sur de la zona de estudio.

El verano del 2018 (mapa 9), presenta 93.43 km² de superficie cubiertas con islas de calor, de los cuales 83.5 km² corresponden a intensidades débiles o moderadas. Casi 10 km² son los que ocupan las islas de calor con intensidades fuertes y muy fuertes. La máxima intensidad alcanzada para este año oscila en 18.17°C de diferencia. Después del 2013, este año es el que presenta un coeficiente de variación mayor, respecto al resto de los años, con un 7.12% de variabilidad. Respecto a la distribución en el territorio, se marca con firmeza, el comportamiento radial de las mayores intensidades a lo largo de la vialidad Tollocan y Aeropuerto. Existen islas concéntricas en el sur de la ciudad, a lo largo de la Vialidad Toluca Tenango y en la zona centro de Toluca.

Finalmente el año 2019 (mapa 10), presenta un verano con islas de calor que ocupan una superficie total de 184.14 km². Existe un aumento de islas de calor débiles, siendo la segunda mayor superficie de todos los años analizados, sin embargo, a diferencia del año 2013, las islas de calor se presentan dentro de la zona urbana y no en las zonas periféricas o rurales. Lo mismo ocurre con las islas de calor moderadas, existe un aumento importante respecto a los demás años, siendo el segundo lugar en superficie abarcada con un poco más de 57km². El panorama en el cual se debe poner énfasis es el mostrado por las islas de calor con intensidad mayor a 4°C debido a que ocupa una superficie total de 22.83 km², aumentando más de 15 km², respecto al año anterior. La mayor intensidad alcanzada en este año llega a los 16.49°C de diferencia respecto a su entorno periurbano o rural, sin embargo el coeficiente de variación alcanza 6.17% de variabilidad, por lo que el comportamiento de los datos puede considerarse homogéneo.

Con base en la síntesis de los valores descritos, el año que presenta mejores condiciones respecto a superficie ocupada de islas de calor es el 2014. El año que posee las condiciones más adversas, tomando en cuenta intensidad y superficie abarcada es el 2016 (figura 25).

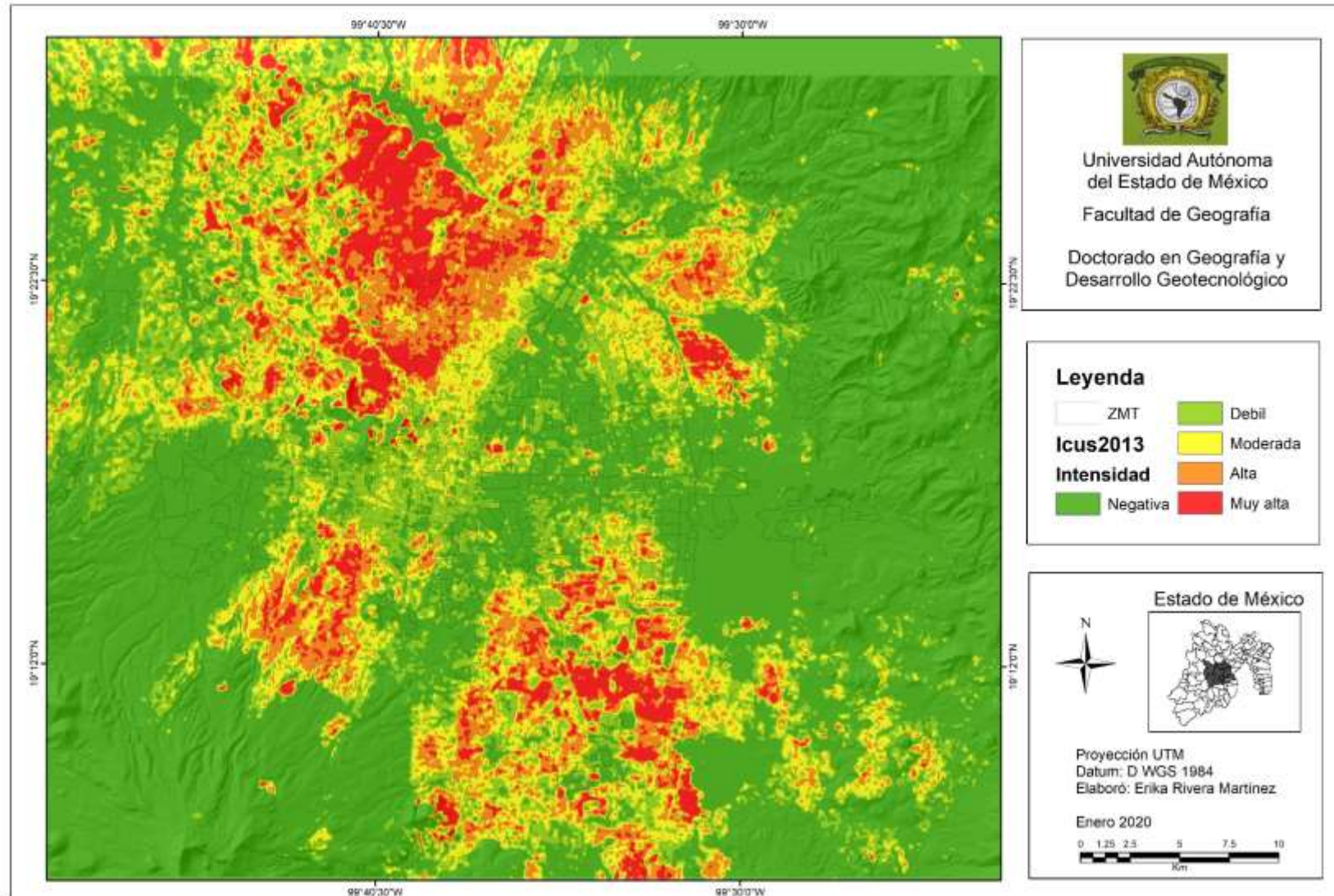
Figura 25. Porcentaje de territorio ocupado por islas de calor de acuerdo con el año e intensidad



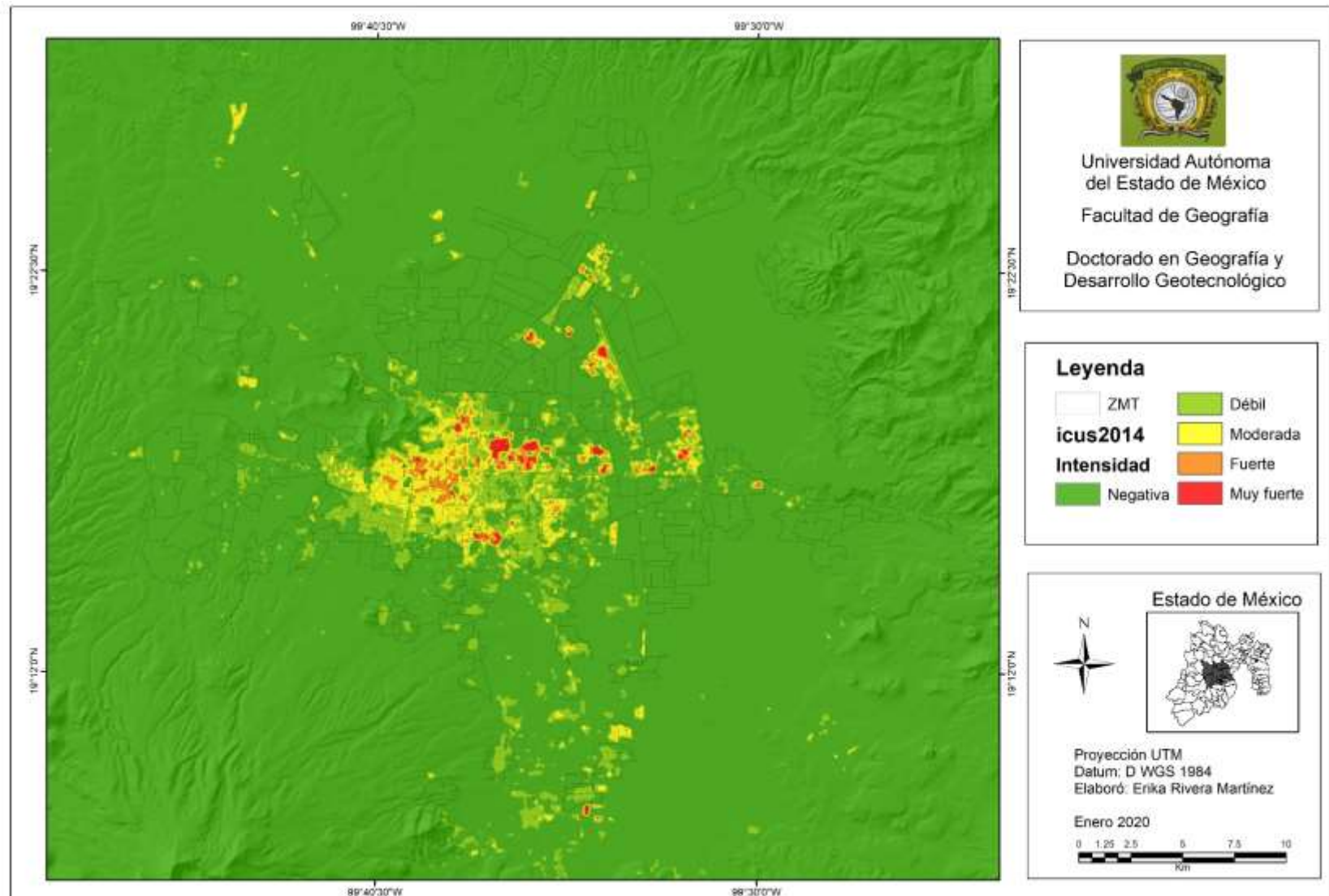
Fuente: Elaboración propia

Tomando en consideración la intensidad de las islas de calor urbanas superficiales, la literatura indica que se presentan tanto de día como de noche, aunque son más intensas durante el día, sobre todo en verano (de 10 a 15°C de día y 5 a 10°C por la noche) ya que la radiación solar se encuentra incidiendo de forma directa en las superficies, generando contrastes térmicos importantes entre superficies húmedas, secas, con vegetación o sin ella (Voogt, 2008; EPA, 2013). El comportamiento de la ZMT, supera en intensidad al promedio descrito en la literatura, pues las intensidades alcanzadas más bajas son de 15°C y las máximas superan los 19°C.

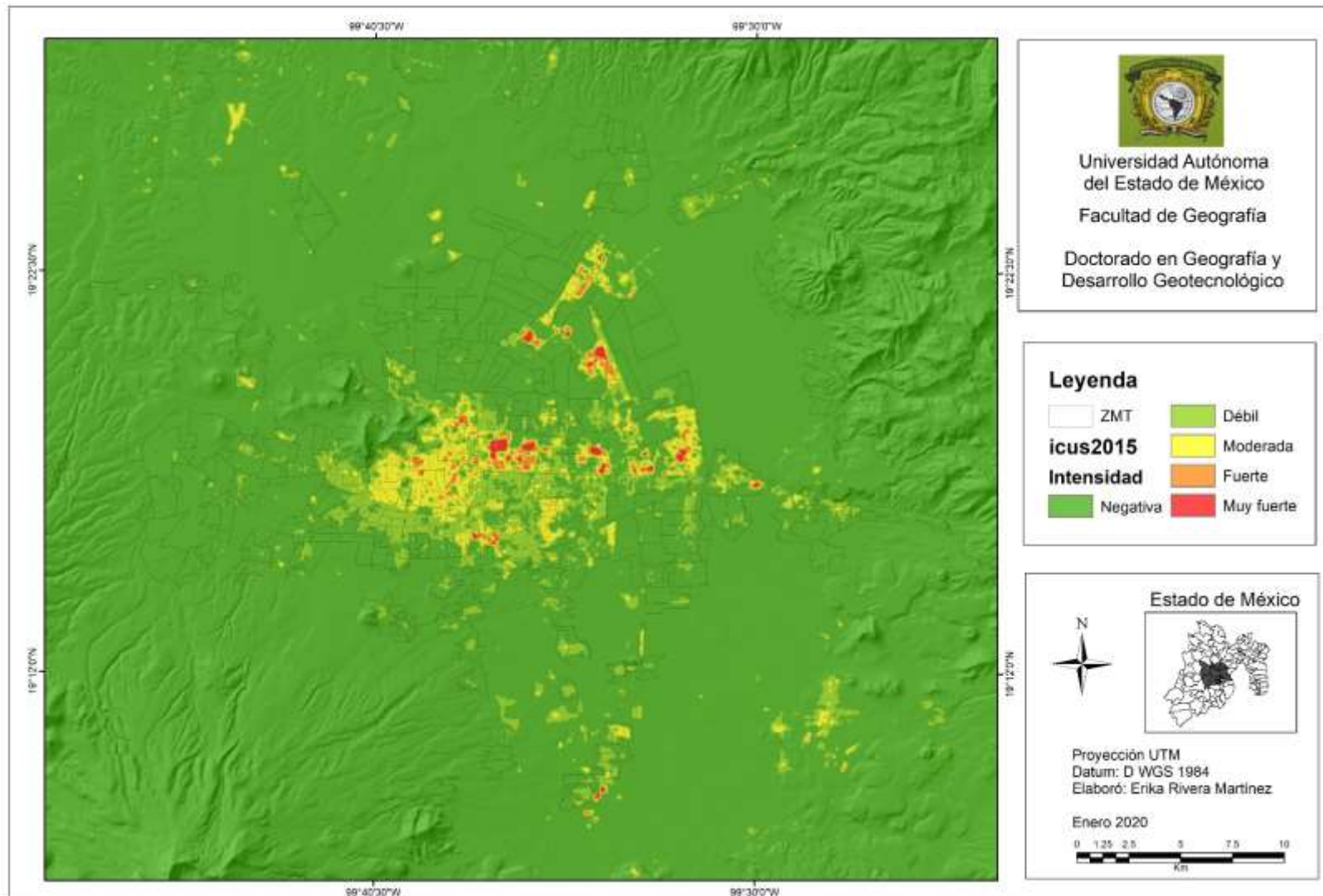
Mapa 5. Isla de calor superficial, verano de 2013



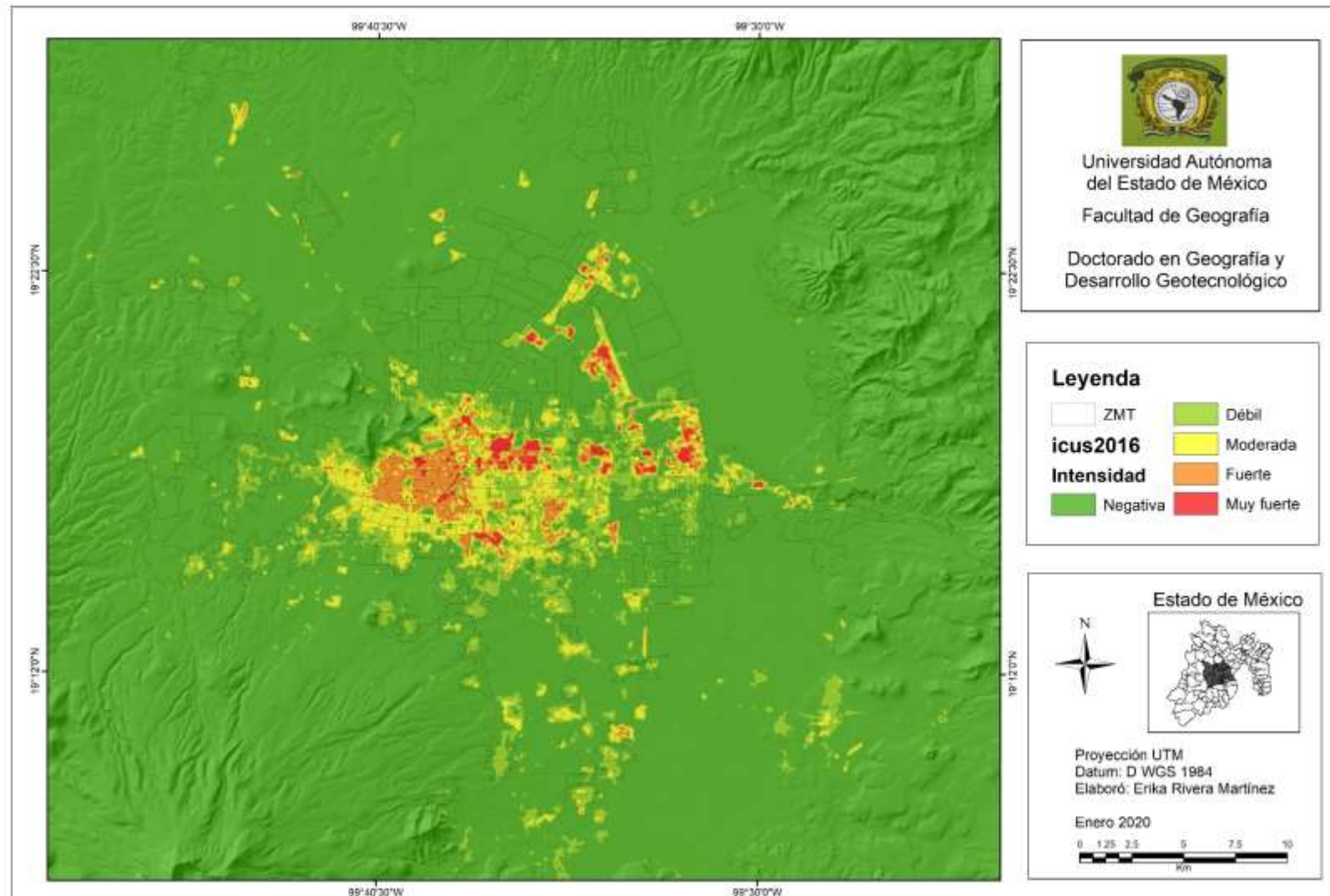
Mapa 6. Isla de calor superficial, verano de 2014



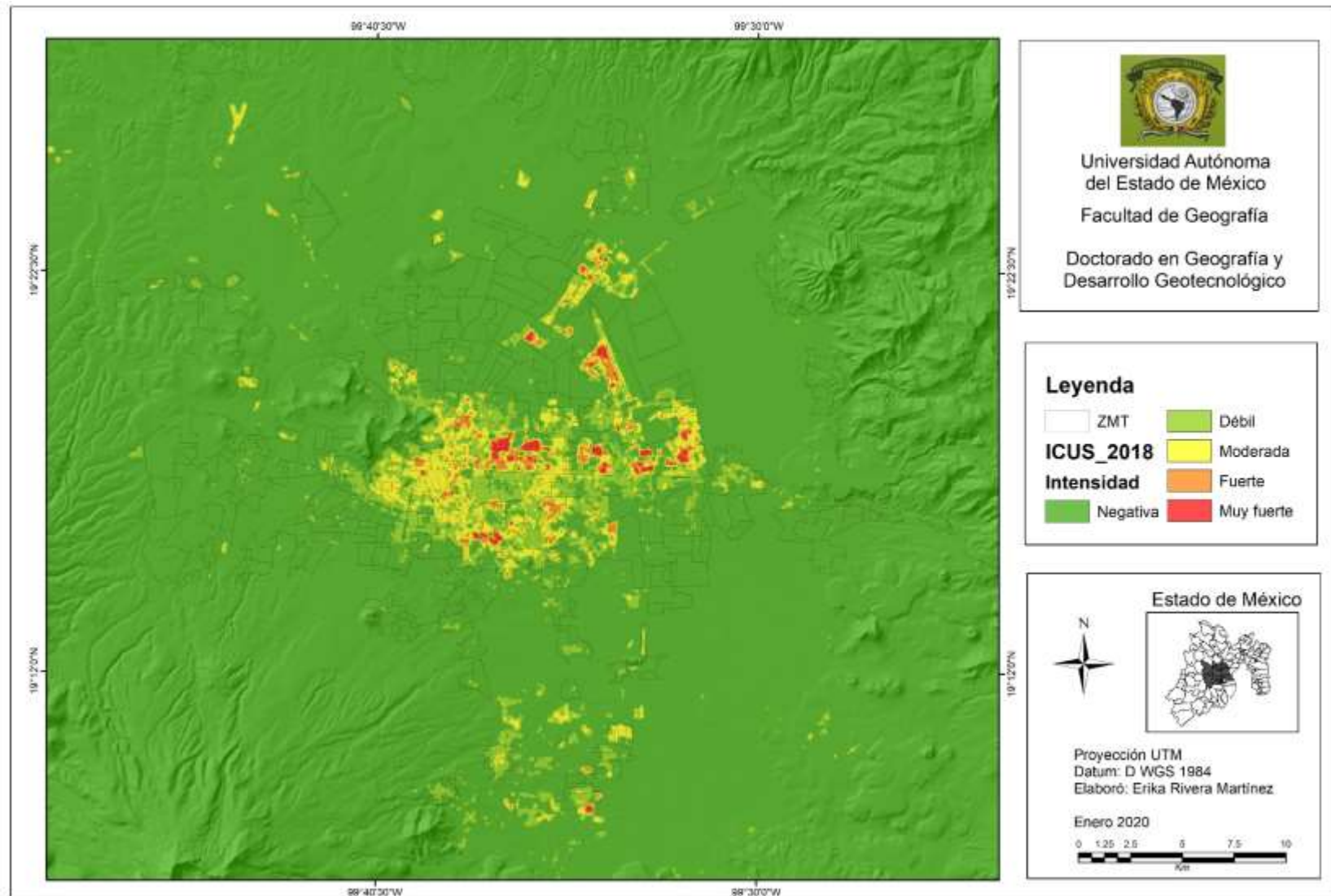
Mapa 7. Isla de calor superficial, verano de 2015



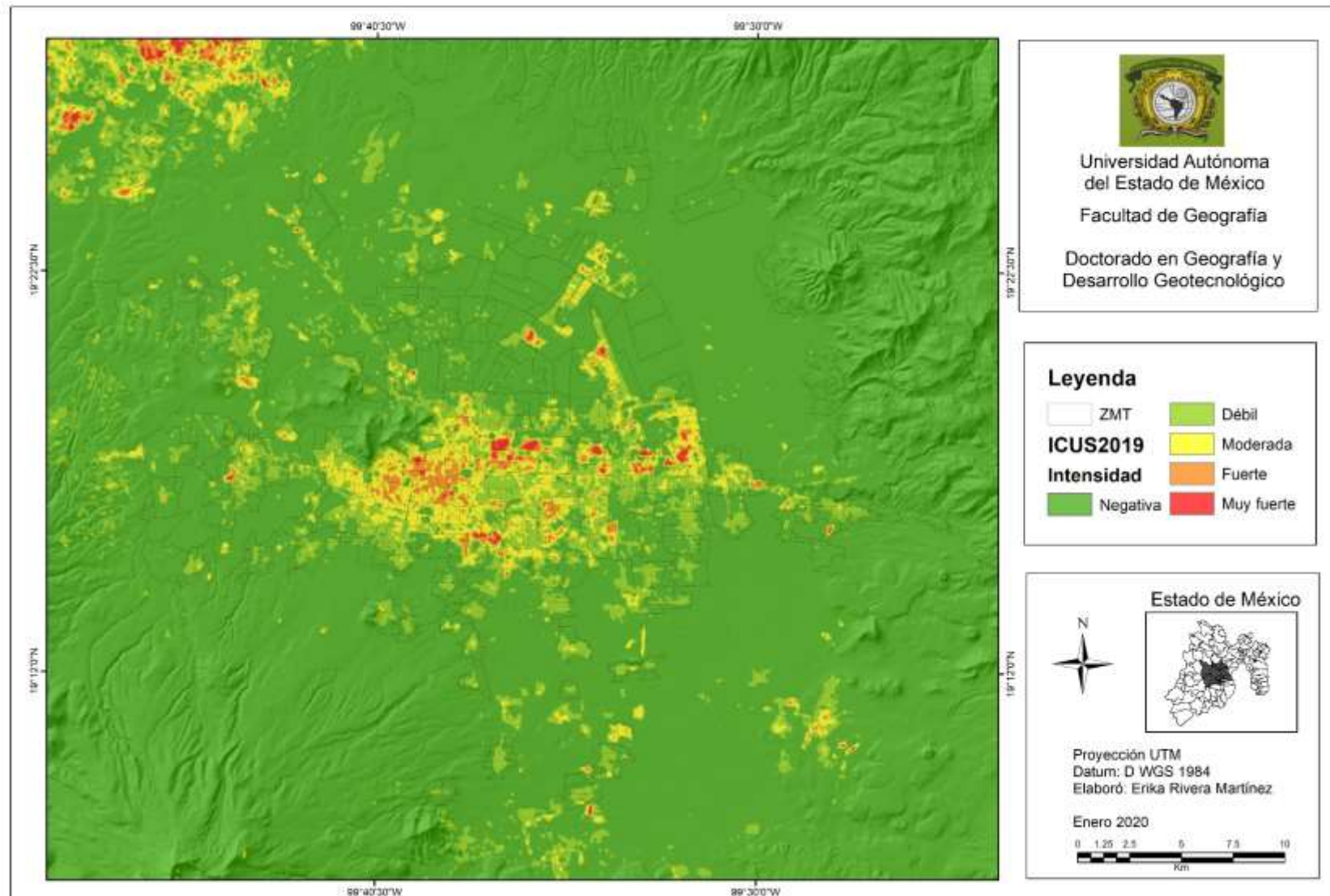
Mapa 8. Isla de calor superficial, verano de 2016



Mapa 9. Isla de calor superficial, verano de 2018



Mapa 10. Isla de calor superficial, verano de 2019



Para conocer la persistencia con base en el comportamiento temporal de las islas de calor en la Zona Metropolitana de Toluca, se realizó un layerstacking a los archivos rasters de las islas de calor del periodo 2013 al 2019. Con base en el resultado, se realizó el análisis de componentes principales con la finalidad de reducir dimensiones del total de datos existentes.

Se obtuvieron 5 componentes, de los cuales las estadísticas básicas se describen en la tabla 26. El componente 1 es el que alcanza la mayor varianza explicada, por lo que se eligió para representar el comportamiento temporal de las intensidades de las islas de calor, presentes en la zona de estudio a lo largo de los años analizados. Los eigenvalores mostrados en la figura 26, confirman que el componente 1 es el que representa mejor los valores de todos los años, debido a que es el que contiene la mayor información.

Figura 26. Comportamiento de los eigenvalores en el ACP de las islas de calor

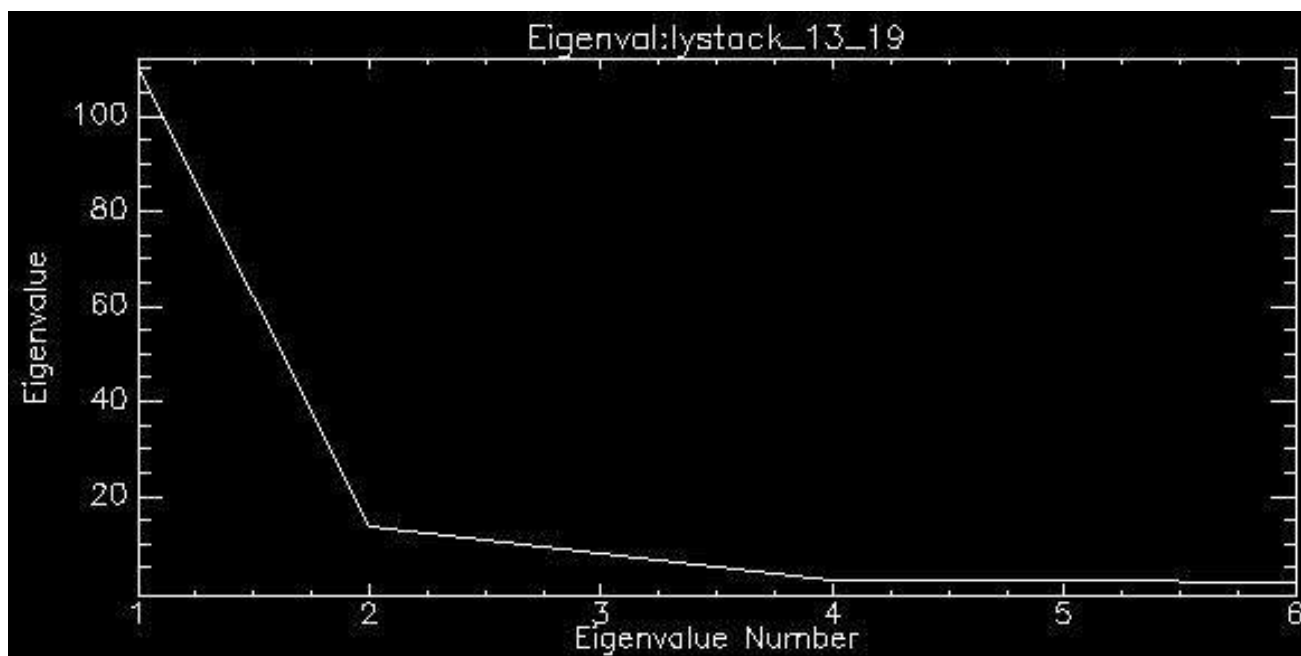


Tabla 26. Estadísticas en el ACP de las islas de calor

<i>Basic Stats</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Mean</i>	<i>Stdev</i>	<i>Num</i>	<i>Eigenvalue</i>
<i>Band 1</i>	-33.638484	15.824987	-3.035087	6.867704	1	109.536356
<i>Band 2</i>	-32.896454	19.520262	-6.615143	4.156864	2	13.458965
<i>Band 3</i>	-27.205538	17.969908	-5.550749	3.696240	3	7.821606
<i>Band 4</i>	-28.013545	19.716802	-4.808489	3.837072	4	2.326551
<i>Band 5</i>	-153.742904	18.179825	-5.875326	3.826216	5	2.116080
<i>Band 6</i>	-33.106606	16.496180	-4.082102	5.426400	6	1.656382
<i>Covariance</i>	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
<i>Band 1</i>	47.165364	20.242134	18.310332	18.378924	19.373044	25.474245
<i>Band 2</i>	20.242134	17.279517	13.214330	13.783331	13.629634	16.698374
<i>Band 3</i>	18.310332	13.214330	13.662192	12.504580	12.096838	14.827218
<i>Band 4</i>	18.378924	13.783331	12.504580	14.723119	12.615305	15.700457
<i>Band 5</i>	19.373044	13.629634	12.096838	12.615305	14.639931	16.067293
<i>Band 6</i>	25.474245	16.698374	14.827218	15.700457	16.067293	29.445816
<i>Correlation</i>	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
<i>Band 1</i>	1.000000	0.709053	0.721314	0.697443	0.737253	0.683562
<i>Band 2</i>	0.709053	1.000000	0.860041	0.864149	0.856937	0.740281
<i>Band 3</i>	0.721314	0.860041	1.000000	0.881676	0.855347	0.739244
<i>Band 4</i>	0.697443	0.864149	0.881676	1.000000	0.859267	0.754051
<i>Band 5</i>	0.737253	0.856937	0.855347	0.859267	1.000000	0.773858
<i>Band 6</i>	0.683562	0.740281	0.739244	0.754051	0.773858	1.000000
<i>Eigenvector</i>	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
<i>Band 1</i>	0.592701	0.355282	0.316740	0.327419	0.332480	0.452117
<i>Band 2</i>	0.801982	-0.248555	-0.194214	-0.259475	-0.190178	-0.392213
<i>Band 3</i>	-0.056327	0.366460	0.309592	0.299293	0.203391	-0.797335
<i>Band 4</i>	-0.004670	-0.807788	0.399506	0.414967	0.121707	-0.029002
<i>Band 5</i>	0.035988	0.158665	0.294099	0.292618	-0.892728	0.066689
<i>Band 6</i>	-0.032250	0.002490	0.721117	-0.691426	0.012085	0.026965

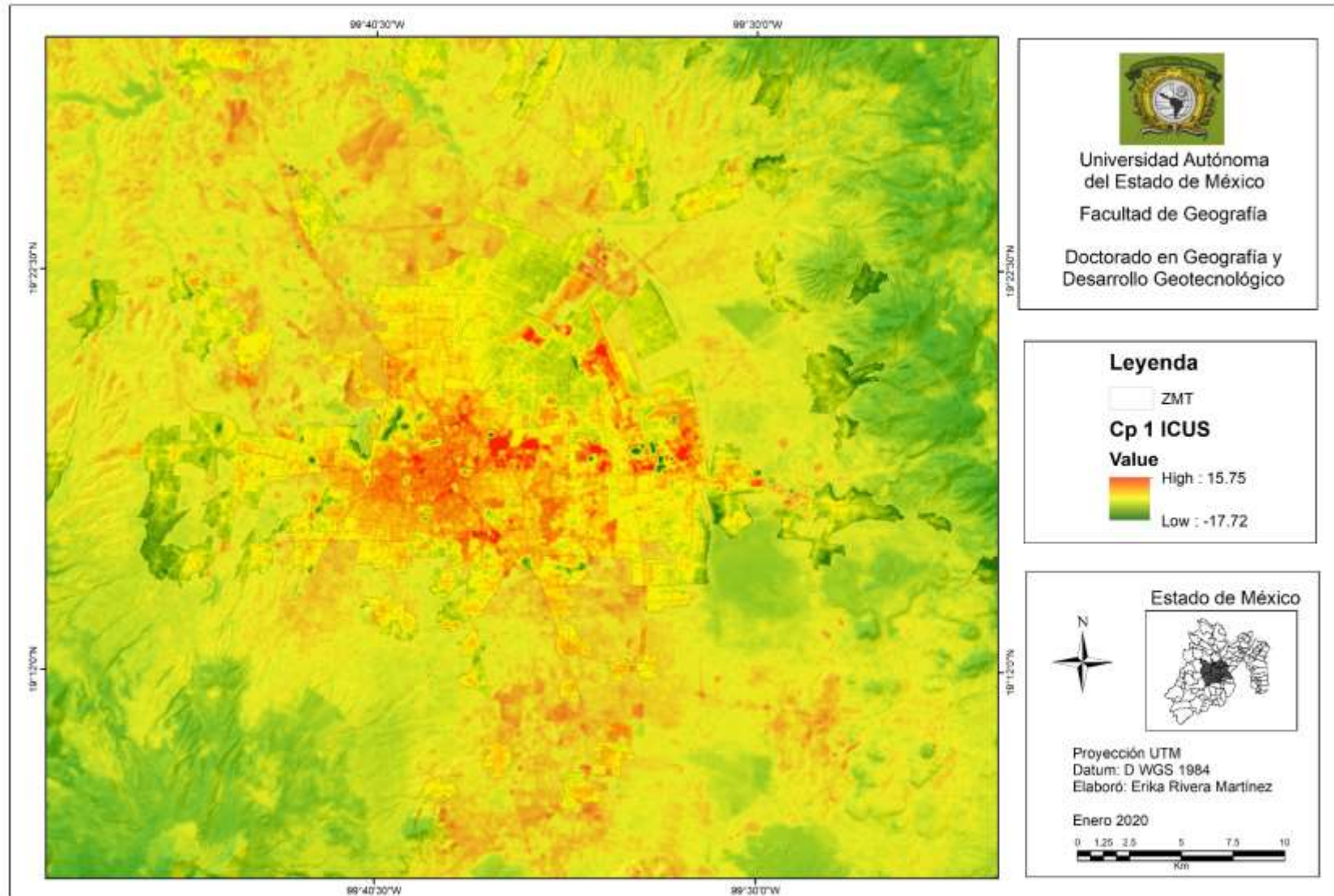
Para representar espacialmente el componente elegido, se analizó el histograma respecto a los valores máximos y mínimos alcanzados y se tomó en cuenta a partir del 10 % de los datos, con la finalidad de que fuera representativo por la cantidad de puntos existentes en cada valor. Por lo que los valores de intensidad cambiaron de -33.63 a -17.12°C como valor mínimo y de 15.82 a 15.75°C como valor máximo (mapa 11). Se realizaron estadísticas zonales para otorgar un valor promedio de intensidad para cada ageb.

Para identificar la persistencia de las islas de calor con intensidades superiores a los 4°C dentro de la Zona Metropolitana de Toluca, se realizó, con base en el componente 1, una región de interés para generar una clase que integrara los valores de intensidad de las islas de calor fuertes y muy fuertes. El resultado se muestra en el mapa 12. Las islas de calor que son persistentes a lo largo de los años analizados ocupan 112.9 km², lo que representa el 28.02% de la superficie total de la zona urbana. La distribución de las ICUS sigue un patrón similar al registrado por cada año mapeado, se observan los agebs que componen la zona centro-sur de la ciudad, los agebs aledaños a la vialidad Tolloca y los que se localizan junto a la vialidad Aeropuerto.

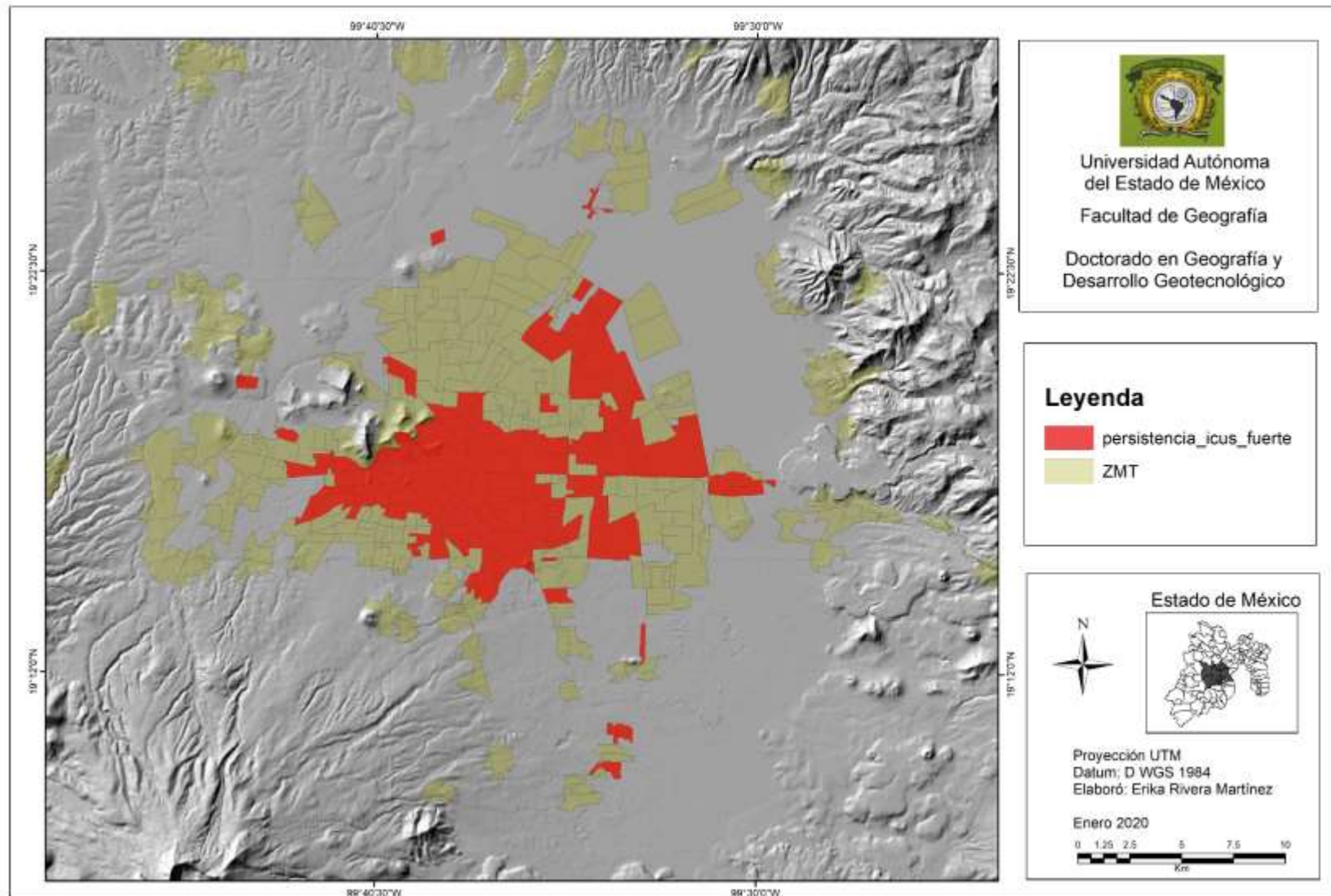
El verano representa la estación donde se producen islas de calor con mayor intensidad (Sarricolea y Martín-Vide, 2013; Sobrino *et al.*, 2013; Van Hove *et al.*, 2015), tal como ocurre en la ZMT, donde la intensidad máxima alcanzada llega a 15.75°C de acuerdo con su comportamiento en 6 años. La literatura indica que las islas de calor superficial se presentan tanto de día como de noche, aunque son más intensas durante el día, sobre todo en verano (de 10 a 15°C de día y 5 a 10°C por la noche) ya que la radiación solar se encuentra incidiendo de forma directa en las superficies, generando contrastes térmicos importantes entre superficies húmedas, secas, con vegetación o sin ella (Voogt, 2008; EPA, 2013). El comportamiento temporal de la ICUs en la zona de estudio sobrepasa el promedio con casi un grado de diferencia (0.75°C).

Se ha demostrado que existe una relación positiva y significativa entre la intensidad que puede alcanzar una isla de calor y la existencia de superficie construida compacta y una relación negativa entre dicha intensidad y áreas verdes existentes (Alonso *et al.*, 2003; García-Cueto *et al.*, 2007; Romero y Molina, 2008). Para la metrópoli de Toluca, las zonas con persistencia de islas de calor con intensidad fuerte y muy fuerte se localizan en las áreas industriales, administrativas y comerciales, las cuales presentan dicha condición, superficie artificial y pocas áreas verdes.

Mapa 11. Comportamiento temporal de las islas de calor, años 2013-2019



Mapa 12. Persistencia de islas de calor con intensidad superior a los 4°C



Comportamiento de la humedad relativa (islas de sequedad)

Las islas de sequedad son consecuencia de los cambios hechos en la superficie producto de la existencia de una ciudad sin planeación sustentable. El aumento de construcciones y vialidades con materiales poco permeables y la disminución de áreas verdes, se traducen en mayor escorrentía superficial y menor filtración, lo que impacta directamente en menor evaporación y como consecuencia en menor humedad relativa en la atmósfera.

Su intensidad y características están directamente relacionadas con el tamaño de población y por lo general, se presentan con mayor frecuencia en la estación de verano (Tejedor *et al.*, 2016). La humedad relativa normalmente se expresa como un porcentaje; un mayor porcentaje significa que la mezcla de aire y agua es más húmeda. Para la ZMT, se tomaron en cuenta los valores máximos de humedad relativa existentes para el día de la escena trabajada en la temperatura superficial, los cuales se describen en la tabla 27.

Para tener un contexto general de las características de la ciudad, la tabla 28 describe la ubicación de las estaciones meteorológicas que generaron los datos de humedad relativa y viento.

Tabla 27. Valores y estadísticas básicas de la humedad relativa en la ZMT

ESTACIÓN	NOMBRE	VER13	VER14	VER15	VER16	VER18	Media	DesvE	CV
Oxtotitlán	OX	73	83	89	73	79	79.4	6.84	8.62
San Cristobal Huichochitlán	SC	74	93	90	95	88	88	8.28	9.41
Aeropuerto	AP	75	98	91	98	90	90.4	9.40	10.39
San Mateo Atenco	SM	80	83	83	74	80	80	3.67	4.59
Ceboruco	CB	76	82	84	84	81	81.4	3.29	4.04
Metepec	MT	76	88	80	73	79	79.2	5.63	7.11
Toluca-Centro	CE	71	79	80	73	75	75.6	3.85	5.09

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Información básica de las estaciones meteorológicas

<i>Nombre</i>	<i>Latitud Norte</i>	<i>Longitud Oeste</i>	<i>Altitud (msnm)</i>
<i>Oxtotitlán (Ox)</i>	19° 17' 00"	99° 41' 05"	2701
<i>Toluca-Centro (CE)</i>	19° 16' 41"	99° 39' 23"	2676
<i>Metepec (MT)</i>	19° 16' 12"	99° 35' 42"	2610
<i>Ceboruco (CB)</i>	19° 15' 37"	99° 38' 44"	2679
<i>San Mateo Atenco (SM)</i>	19° 16' 49"	99° 32' 30"	2575
<i>Aeropuerto (AP)</i>	19° 20' 04"	99° 34' 26"	2583
<i>San Cristobal Huichochitlán (SC)</i>	19° 19' 38"	99° 38' 03"	2613

Fuente: Elaboración propia, 2015.

De manera general se observa que el año 2013, tuvo condiciones de humedad con valores inferiores al resto de los años (fig. 27). Al igual que la temperatura, el comportamiento de la humedad relativa es heterogéneo al resto de los valores, el valor máximo alcanzado es de 80% correspondiendo a la estación San Mateo Atenco. El año con condiciones de humedad relativa óptimas para la mayoría de los registros de las estaciones existentes es el verano de 2015, los valores son más homogéneos.

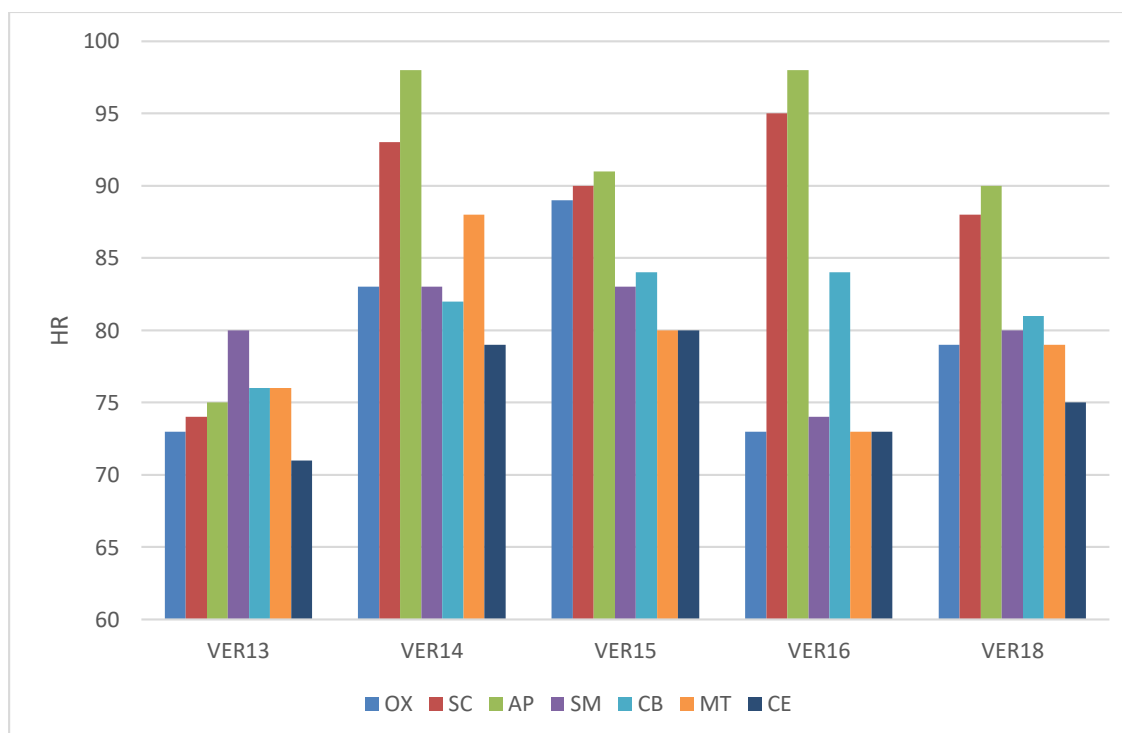
La estación que presenta valores de humedad relativa bajos para todos los años analizados, corresponde a la estación Centro, la cual, como su nombre lo indica, se encuentra en la zona centro de la ciudad, donde convergen actividades comerciales, educativas y administrativas de la metrópoli. El valor más bajo registrado ocurre en el año 2013 con solo 71% de humedad relativa, el más alto ocurre en el año 2015 con 80%, sin embargo, sigue siendo bajo respecto a los demás años analizados.

La estación que registra los valores más altos de humedad relativa para cuatro de los cinco años analizados, es la estación Aeropuerto, los valores superan el 90%, a excepción del verano de 2013. La otra estación que registra condiciones óptimas es San Cristobal Huichochitlán con valores que oscilan entre 88 a 95%.

Respecto a la variabilidad de los datos a lo largo de la temporada analizada, se observa en la tabla 27 que la estación Ceboruco es la que presenta un coeficiente de variación de 4.04%, lo que representa el porcentaje más bajo de variabilidad, es decir, que los valores a lo largo de todos los años presentan homogeneidad. La estación con una mayor variabilidad de datos corresponde a Aeropuerto, con más de 10% de variación, seguida de San Cristobal Huichochitlán y Oxtotitlán. Es importante mencionar que estas estaciones se encuentran en las zonas periféricas de la ciudad, razón por la que se puede explicar el coeficiente de variación mayor.

Las estaciones al interior de la ciudad, presentan condiciones más bajas de variabilidad, pero también poseen un promedio más bajo de valores de humedad relativa a lo largo de todos los años (Centro y Metepec).

Fig 27. Valores de humedad relativa por estación meteorológica por año



Fuente: Elaboración propia

Con base en los valores de humedad relativa generados por las estaciones meteorológicas de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) de Toluca, se realizó la interpolación krigging ordinaria, teniendo como resultado los archivos raster del comportamiento de la humedad relativa en la zona de estudio. Se generaron los mapas que muestran la distribución espacial de la humedad relativa en la zona de estudio. Los valores más altos, representan mejores condiciones climáticas debido a que tener porcentajes altos es un indicativo de zonas húmedas o con vegetación cercanas y eso permite un equilibrio térmico.

Para el año 2013 (mapa 13), los valores más altos son cercanos al 80% de humedad relativa y se desplazan hacia la zona este de la ciudad, en la cual se encuentra el Río Lerma y las Ciénegas, lo que puede incidir en la distribución. La Zona sur, presenta valores de altos a medios de humedad. La isla de sequedad se localiza en la zona centro-oeste de la ciudad, abarcando el centro administrativo y comercial de Toluca. Para este año

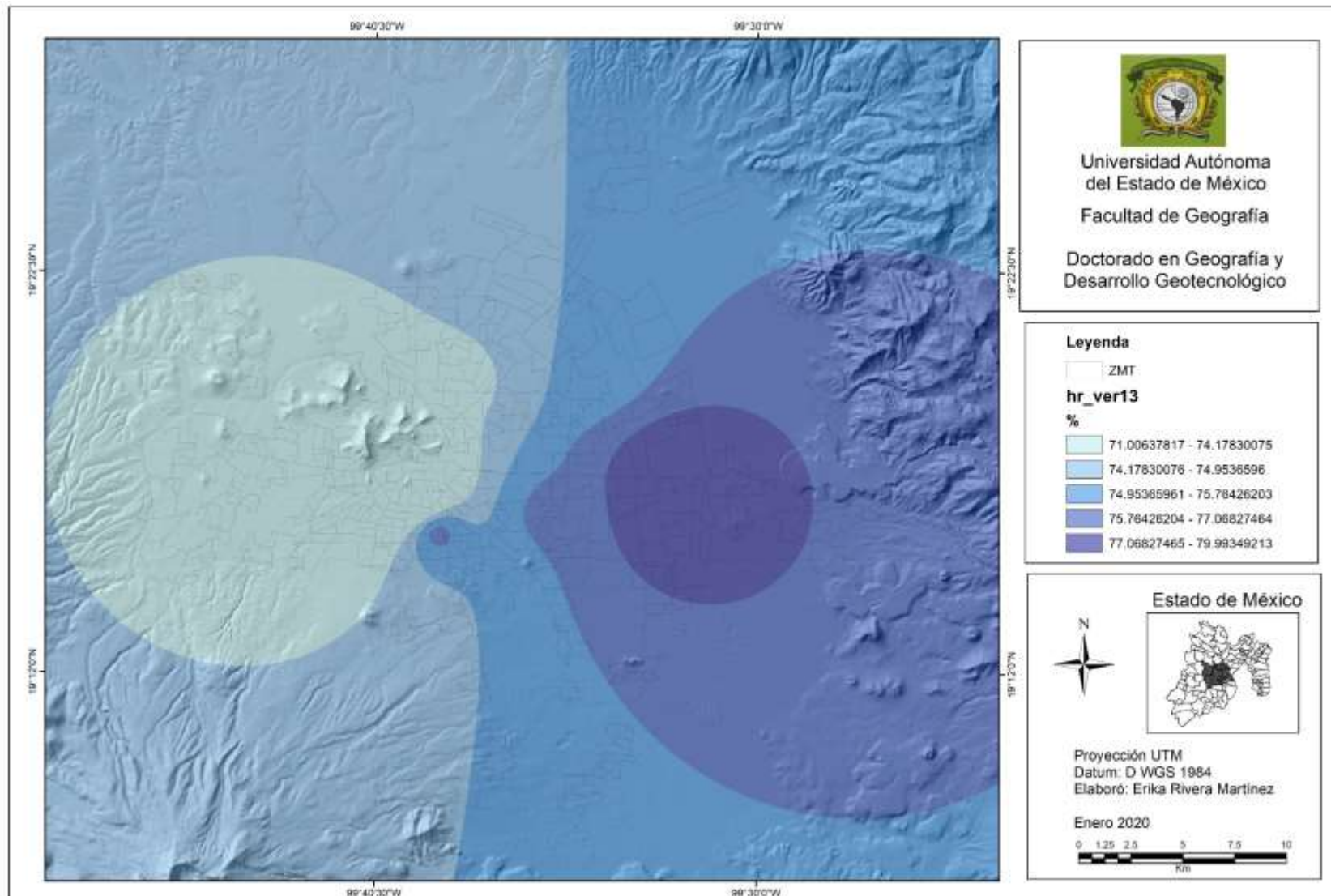
El año 2014, tiene un comportamiento distinto, se presentan valores cercanos al punto de rocío alrededor de la estación Aeropuerto, la cual se ubica al noreste de la ciudad, al igual que en la estación San Cristobal, al norte de la ciudad. Ambas en zonas periurbanas. Para este año se conformaron dos islas de sequedad, la primera abarca la zona centro-oeste de la ciudad y la integran las estaciones Oxtotitlán, Centro y Ceboruco, en esta región se encuentra nuevamente el centro administrativo y comercial, así como la vialidad Adolfo López Mateos, que en cuestión de intensidad de islas de calor ha presentado valores altos. La segunda isla de sequedad, se encuentra en el área de influencia de la estación San Mateo Atenco, la cual es una zona comercial-industrial (mapa 14).

El verano de 2015 (mapa 15), presenta condiciones similares al 2014, los porcentajes más altos de humedad relativa se encuentran hacia la zona norte de la ciudad en las estaciones San Cristobal y Aeropuerto; en esta ocasión Oxtotitlán también se encuentra en el rango alto. La isla de sequedad se extiende hacia el

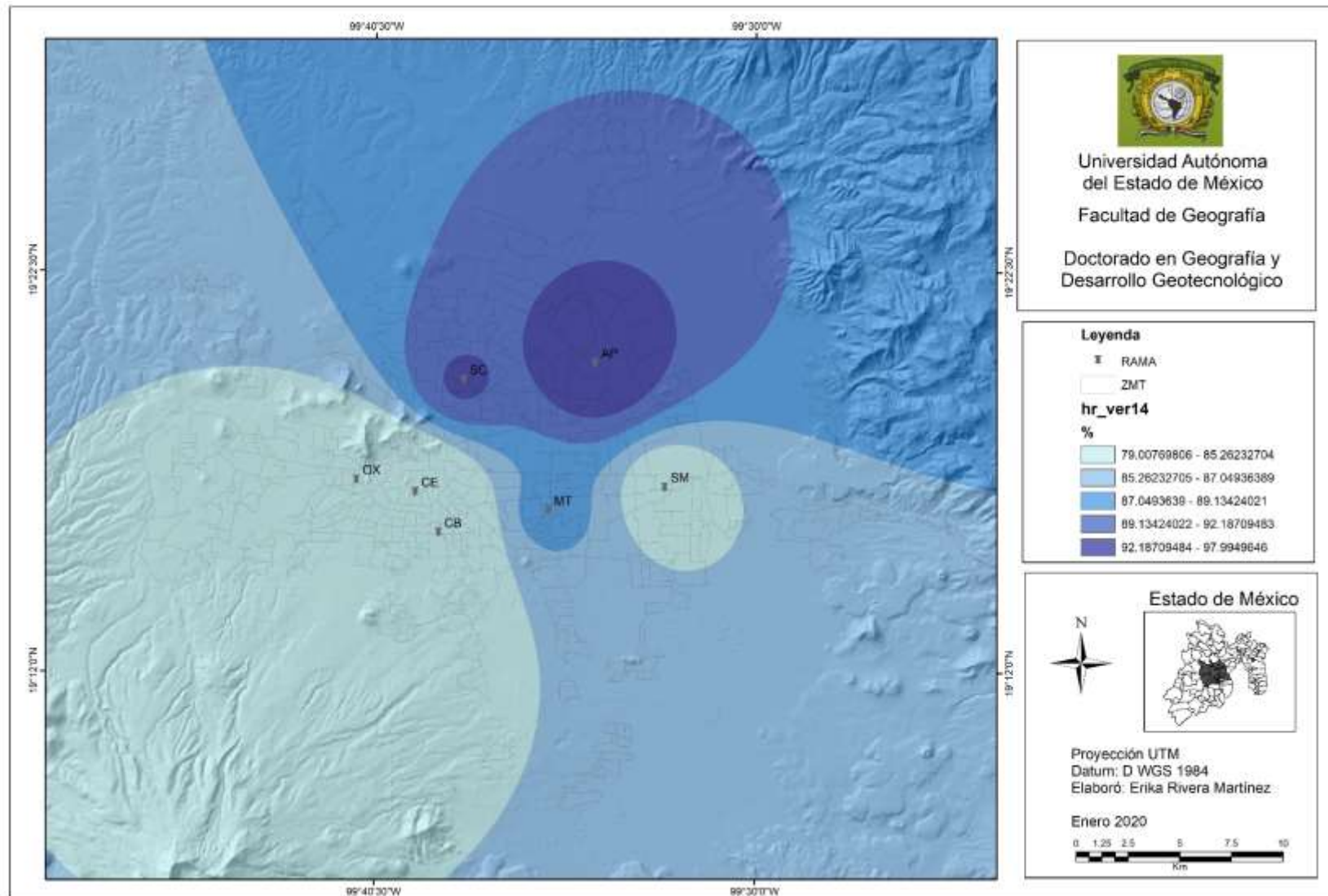
centro-sur de la ciudad a través de las estaciones Centro, Metepec y San Mateo Atenco, aumentó en superficie y cubrió la región comercial y administrativa de la urbe.

Para el año de 2016, los valores más altos oscilaron en el 98% de humedad relativa y nuevamente se desplazan hacia la región norte de la Zona Metropolitana de Toluca (mapa 16). Los valores más bajos llegan al 73% de humedad los cuales representan los valores más bajos en todo el análisis temporal y se presentan en tres de las siete estaciones existentes; abarcan, al igual que los años anteriores, la zona centro-sur de la ciudad. El último año de datos, el 2018 (mapa 17), sigue el mismo patrón de distribución que el resto de los años. Los valores máximos llegan al 90% de humedad y se distribuyen hacia el norte, los mínimos llegan al 75%.

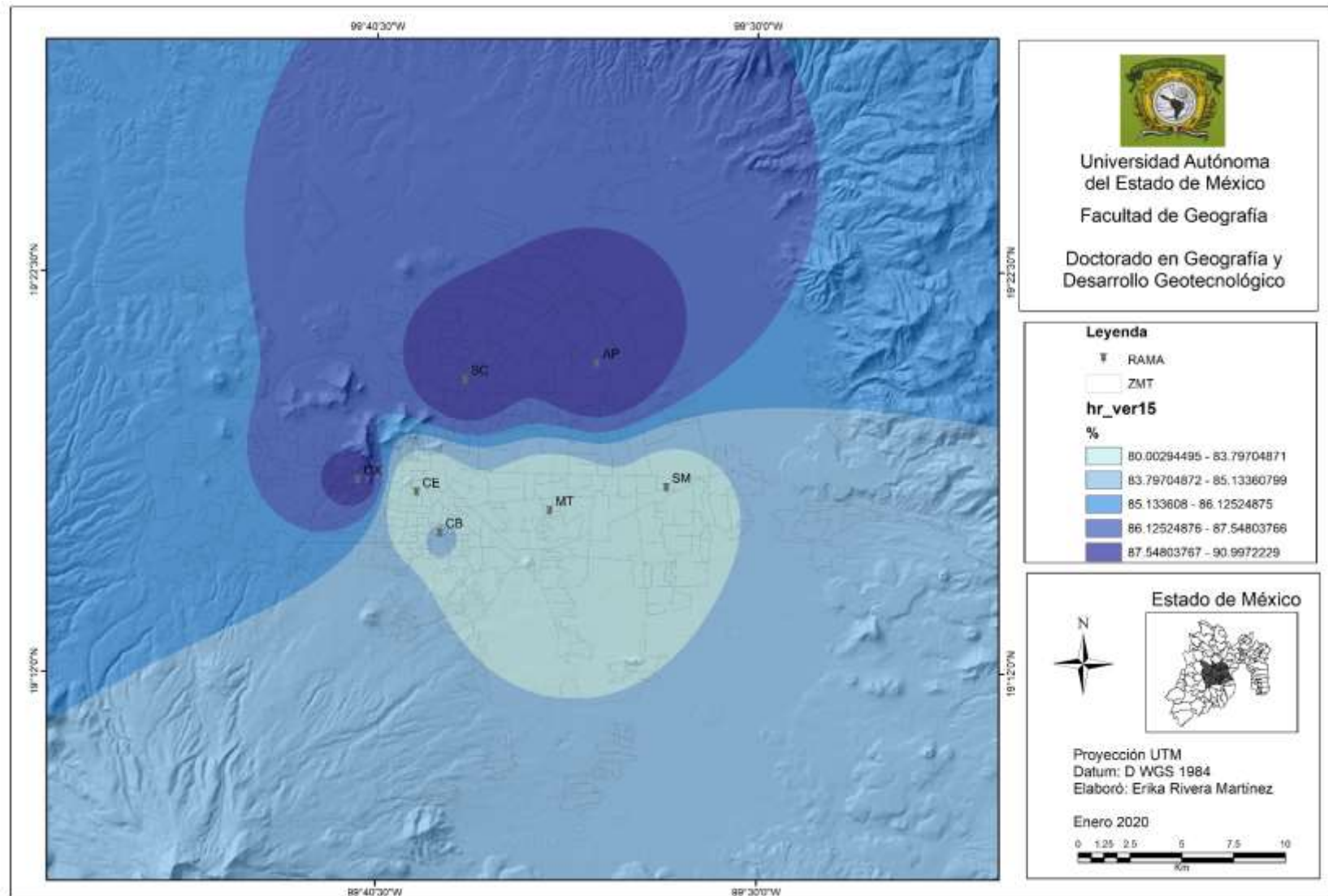
Mapa 13. Distribución de humedad relativa durante el año 2013 en la ZMT



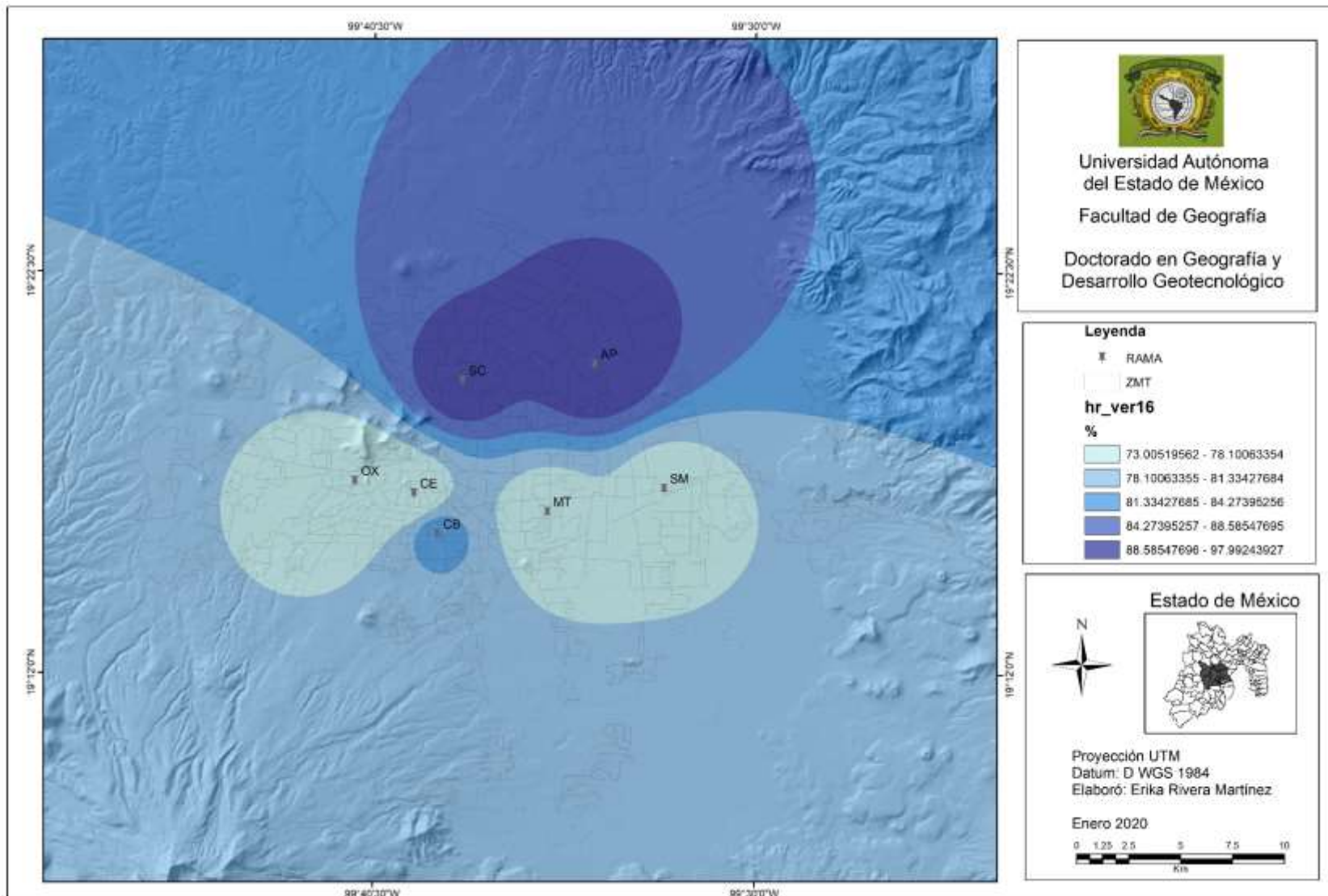
Mapa 14. Distribución de humedad relativa durante el año 2014 en la ZMT



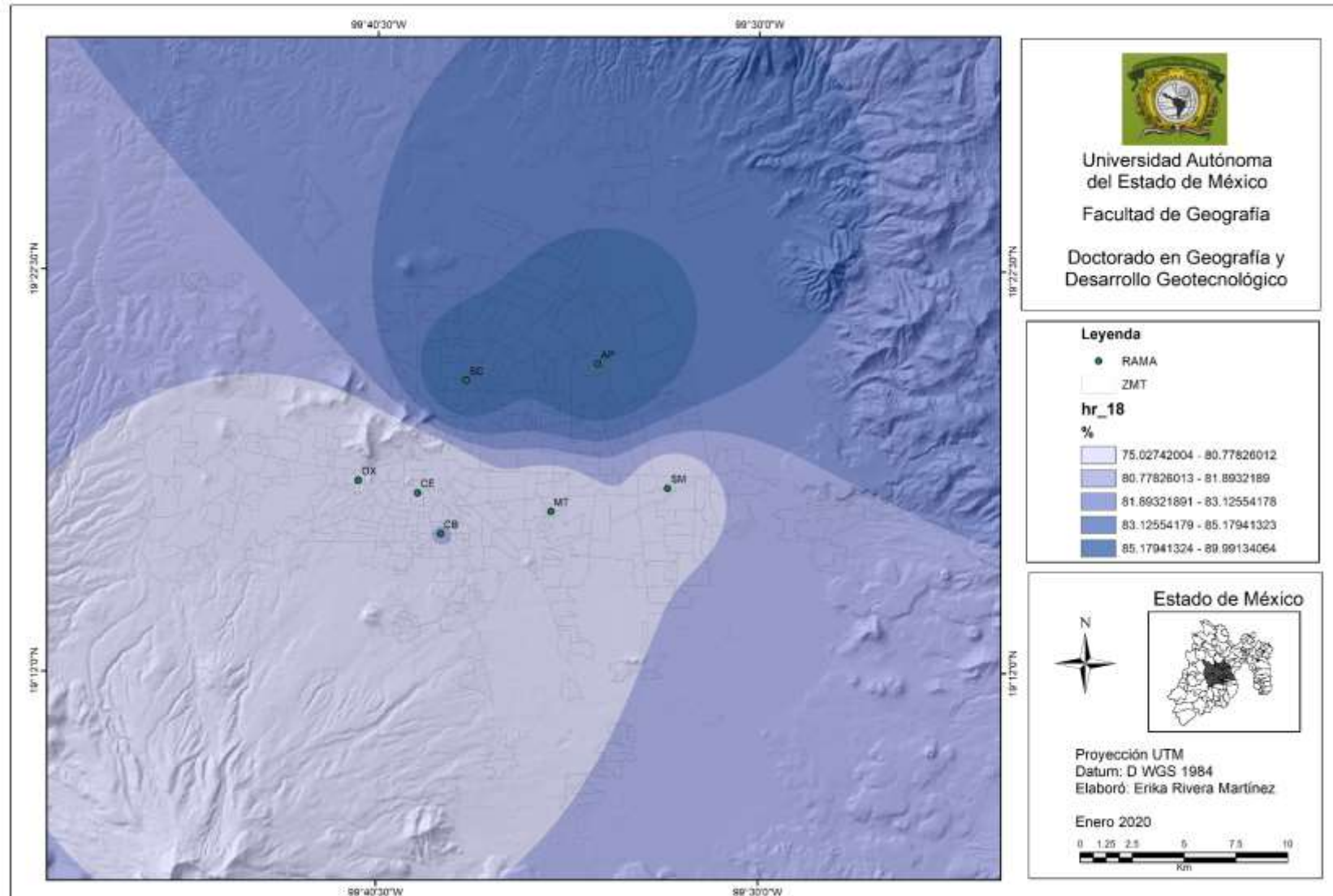
Mapa 15. Distribución de humedad relativa durante el año 2015 en la ZMT



Mapa 16. Distribución de humedad relativa durante el año 2016 en la ZMT



Mapa 17. Distribución de humedad relativa durante el año 2018 en la ZMT



Para conocer la persistencia con base en el comportamiento temporal de las islas de sequedad en la Zona Metropolitana de Toluca, se realizó un layerstacking a los archivos rasters del periodo 2013 al 2018. Con base en el resultado, se realizó el análisis de componentes principales con la finalidad de reducir dimensiones del total de datos existentes.

Se obtuvieron 5 componentes, de los cuales las estadísticas básicas se describen en la tabla 29. El componente 1 es el que alcanza la mayor varianza explicada, por lo que se eligió para representar el comportamiento temporal de las islas de sequedad que se presentan en la zona de estudio a lo largo de los años analizados. Los eigenvalores mostrados en la figura 28, confirman que el componente 1 es el que representa mejor los valores de todos los años, debido a que es el que concentra la mayor cantidad de información.

Figura 28. Comportamiento de los eigenvalores en el ACP de las islas de sequedad

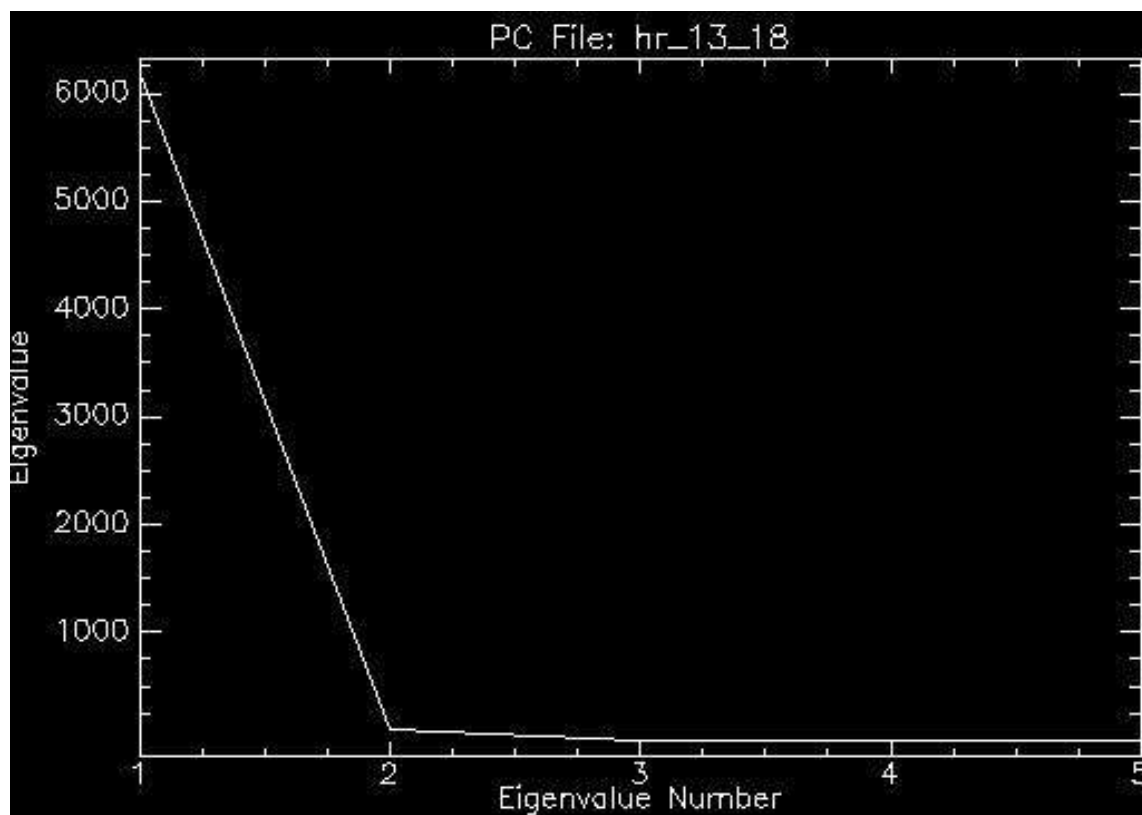


Tabla 29. Estadísticas en el ACP de las islas de sequedad

<i>Basic Stats</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Mean</i>	<i>Stdev</i>	<i>Num</i>	<i>Eigenvalue</i>
<i>Band 1</i>	0.000000	79.993492	48.771072	35.855320	1	6175.033036
<i>Band 2</i>	0.000000	97.994965	56.282486	41.402369	2	91.722417
<i>Band 3</i>	0.000000	90.997223	55.418146	40.744647	3	3.464313
<i>Band 4</i>	0.000000	97.992439	52.921390	38.980751	4	0.683957
<i>Band 5</i>	0.000000	89.991341	80.733996	9.574192	5	0.146741
<i>Covariance</i>	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	
<i>Band 1</i>	1285.603948	1483.186018	1459.886497	1394.239980	-8.994805	
<i>Band 2</i>	1483.186018	1714.156163	1686.215712	1613.056947	-7.694013	
<i>Band 3</i>	1459.886497	1686.215712	1660.126279	1586.500356	-8.878996	
<i>Band 4</i>	1394.239980	1613.056947	1586.500356	1519.498926	-5.701617	
<i>Band 5</i>	-8.994805	-7.694013	-8.878996	-5.701617	91.665148	
<i>Correlation</i>	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	
<i>Band 1</i>	1.000000	0.999118	0.999298	0.997548	-0.026202	
<i>Band 2</i>	0.999118	1.000000	0.999580	0.999480	-0.019410	
<i>Band 3</i>	0.999298	0.999580	1.000000	0.998894	-0.022761	
<i>Band 4</i>	0.997548	0.999480	0.998894	1.000000	-0.015277	
<i>Band 5</i>	-0.026202	-0.019410	-0.022761	-0.015277	1.000000	
<i>Eigenvector</i>	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	
<i>Band 1</i>	0.455973	0.526836	0.518410	0.495759	-0.002562	
<i>Band 2</i>	-0.020268	0.007125	-0.007650	0.024234	0.999446	
<i>Band 3</i>	0.676165	-0.103605	0.184792	-0.704864	0.032956	
<i>Band 4</i>	-0.375092	-0.411193	0.826686	-0.082480	0.003652	
<i>Band 5</i>	0.440211	-0.736600	-0.116767	0.499999	0.001161	

Para generar el mapa del comportamiento temporal de la humedad relativa en el territorio, se analizó el histograma, con la finalidad de identificar los valores mínimos y máximos representativos de acuerdo a la cantidad de puntos que contengan los valores. El histograma muestra (fig. 29) que a partir del valor 51.20, la humedad relativa es representativa con más de 100 puntos, por lo que se define como valor mínimo. El valor máximo con puntos representativos se establece en 73.98.

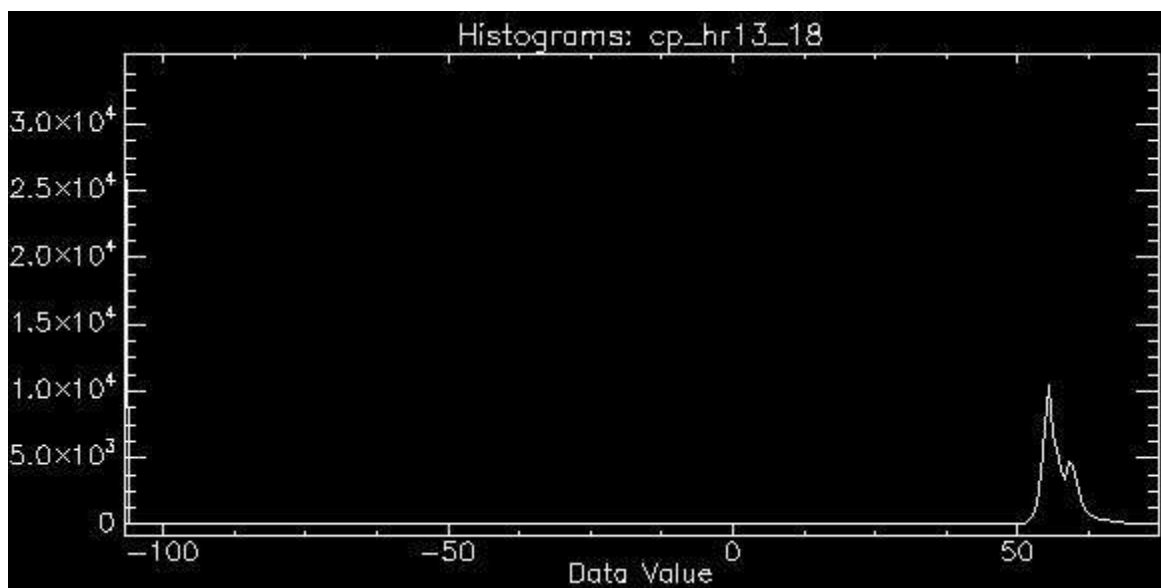
El mapa resultante (mapa 18) describe el comportamiento espacial de la humedad relativa en el territorio. Los valores altos se distribuyen en la zona norte de la ciudad, con las estaciones Aeropuerto y San Cristóbal, siendo estaciones ubicadas en

sectores periurbanos. Los valores bajos abarcan el centro-sur de la metrópoli y se distribuyen a partir de las estaciones Oxtotitlan, Centro, Metepec y San Mateo Atenco, las cuales se encuentran ubicadas en los sectores más urbanizados de la metrópoli y donde se concentran las actividades industriales y comerciales de la misma.

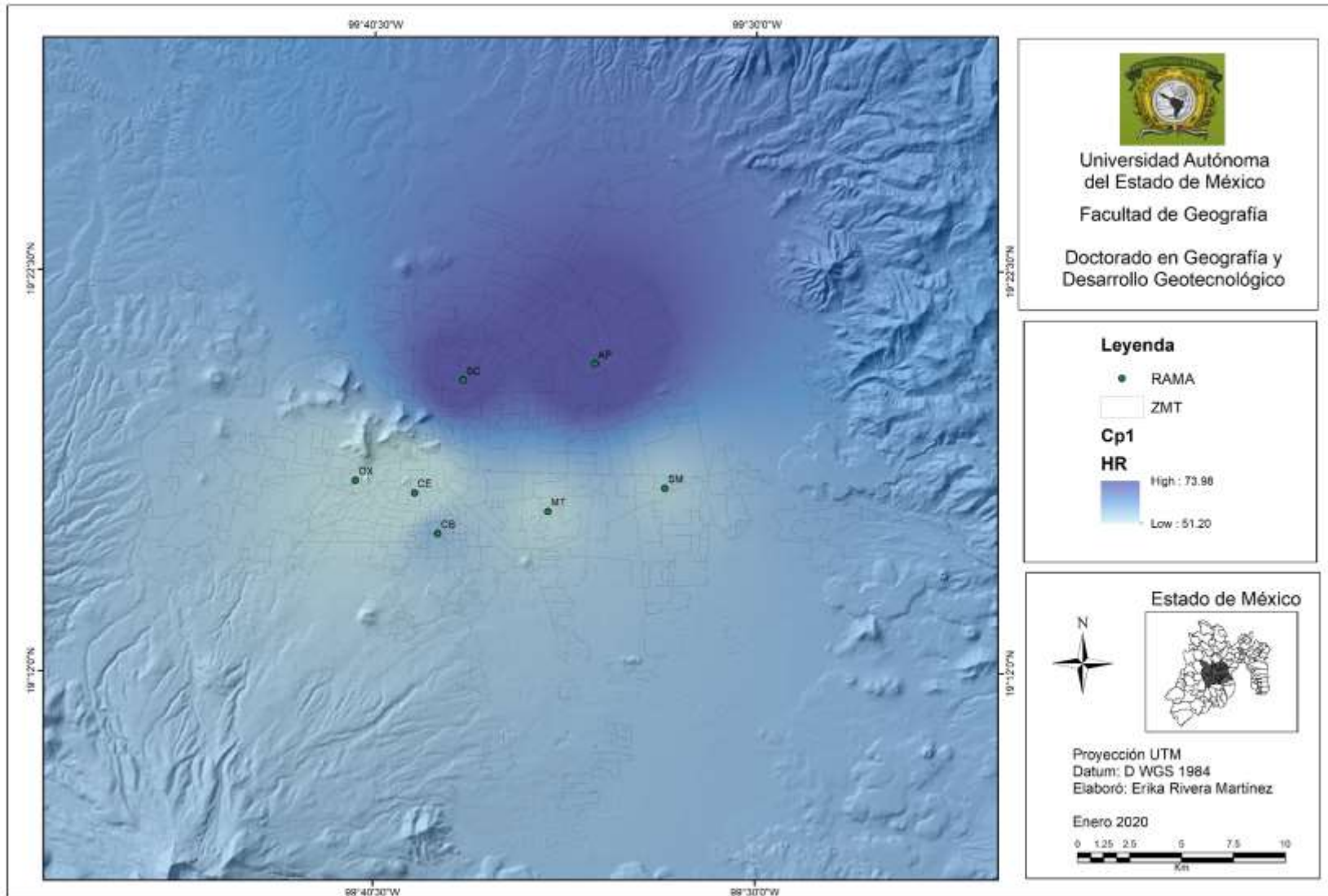
La humedad del aire juega un papel importante en la regulación de la evaporación y tiene relación directa con el confort térmico que puede percibir la población. Investigaciones han concluido que las islas de sequedad son más intensas en verano (Moriwaki, *et al.*, 2013) y tienen relación con las zonas más antropizadas de la ciudad, con mayor densidad vertical de vivienda y con menor cobertura vegetal (Chhetri, D, *et al.*, 2017; Hao, L. *et al.*, 2018), situación que prevalece en la Zona Metropolitana de Toluca.

Figura 29. Histograma del componente 1 de la humedad relativa

Select Stat ▼				
39.812534	0	34442	0.0000	35.0747
40.524544	0	34442	0.0000	35.0747
41.236554	0	34442	0.0000	35.0747
41.948563	0	34442	0.0000	35.0747
42.660573	0	34442	0.0000	35.0747
43.372583	0	34442	0.0000	35.0747
44.084593	0	34442	0.0000	35.0747
44.796602	14	34456	0.0143	35.0890
45.508612	14	34470	0.0143	35.1033
46.220622	22	34492	0.0224	35.1257
46.932632	19	34511	0.0193	35.1450
47.644641	26	34537	0.0265	35.1715
48.356651	25	34562	0.0255	35.1970
49.068661	37	34599	0.0377	35.2346
49.780671	41	34640	0.0418	35.2764
50.492680	59	34699	0.0601	35.3365
51.204690	108	34807	0.1100	35.4465
51.916700	426	35233	0.4338	35.8803
52.628710	731	35964	0.7444	36.6247
53.340719	1575	37539	1.6039	38.2286
54.052729	3769	41308	3.8382	42.0669
54.764739	7356	48664	7.4911	49.5580



Mapa 18. Comportamiento temporal de humedad relativa durante el periodo 2013-2018



Comportamiento de la velocidad y dirección del viento (Canales de viento)

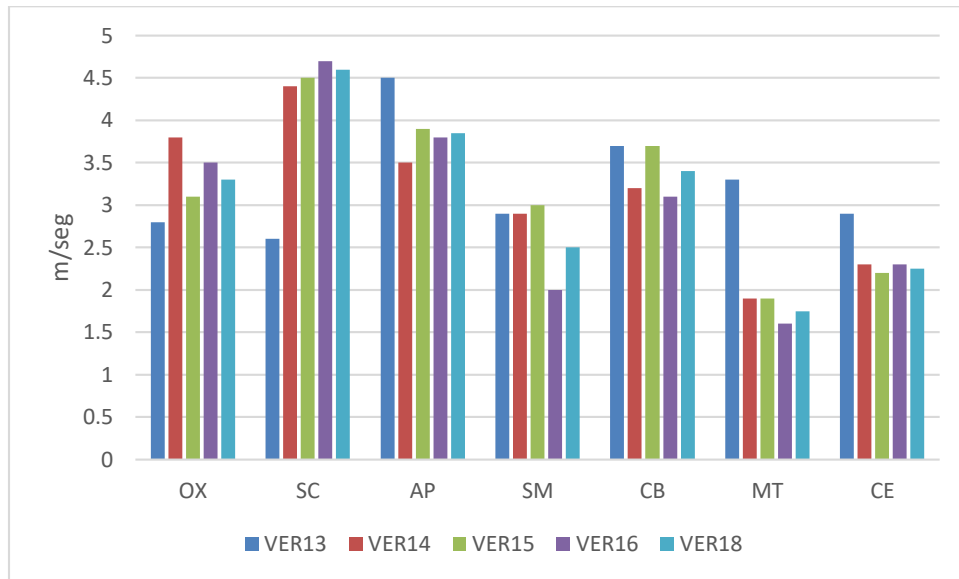
El viento juega un papel importante en el equilibrio térmico de una ciudad, debido a que su intensidad consolida o disipa el fenómeno más representativo del clima urbano: las islas de calor, es decir, la ICU muestra una mayor sensibilidad a la velocidad del viento. Las estadísticas básicas se describen en la tabla 30 y se visualizan en la figura 30.

La estación que presenta condiciones de velocidad más altas corresponde a San Cristóbal Huichochitlán durante todo el periodo de estudio a excepción del año 2013, el cual, como ya se mencionó anteriormente, fue un año con verano atípico respecto a condiciones meteorológicas. La mayor velocidad se alcanza en el año 2016 con 4.7 m/seg. Las velocidades de viento bajas se concentran en las estaciones Centro y Metepec, siendo esta última zona la que posee el valor más bajo para todo el periodo de estudio con 1.6 m/seg de velocidad del viento.

Tabla 30. Valores y estadísticas básicas de la velocidad del viento en la ZMT

ESTACIÓN	NOMBRE	VER13	VER14	VER15	VER16	VER18	Media	DesvE	CV
<i>Oxtotitlán</i>	OX	2.8	3.8	3.1	3.5	3.3	3.3	0.38	11.54
<i>San Cristobal Huichochitlán</i>	SC	2.6	4.4	4.5	4.7	4.6	4.16	0.88	21.13
<i>Aeropuerto</i>	AP	4.5	3.5	3.9	3.8	3.9	3.91	0.36	9.33
<i>San Mateo Atenco</i>	SM	2.9	2.9	3	2	2.5	2.66	0.42	15.64
<i>Ceboruco</i>	CB	3.7	3.2	3.7	3.1	3.4	3.42	0.28	8.11
<i>Metepec</i>	MT	3.3	1.9	1.9	1.6	1.8	2.09	0.69	32.91
<i>Toluca-Centro</i>	CE	2.9	2.3	2.2	2.3	2.3	2.39	0.29	12.05

Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Comportamiento de la velocidad del viento

Las condiciones anticiclónicas que permiten la consolidación de islas de calor en el territorio con mayor intensidad, incluyen un tiempo atmosférico con aire en calma y cielo despejado lo cual permite una mayor insolación en la superficie (López *et al.*, 1993). Por lo que existen umbrales que si se sobrepasan impiden el desarrollo de las islas de calor, lo que indica que a mayor velocidad del viento, menores serán las diferencias de temperatura entre ambientes urbanos y periurbanos o rurales. (Moreno, MC, 2010).

Para verificar si el comportamiento de velocidad de viento en la Zona Metropolitana de Toluca, consolida o disipa las islas de calor y con ello ayudan o empeoran las condiciones climáticas de la ciudad, se aplicó la fórmula propuesta por Oke y Hannell (1970), la cual determina la velocidad límite a partir de la cual se puede desvanecer la isla de calor en función del tamaño de población [16], se expresa como:

$$U = (3.4 \log P) - 11.6 \quad [16]$$

En donde:

U , es la velocidad crítica del viento en m/s y

P , es la población de la ciudad.

De acuerdo con los datos del SEDESOL, CONAPO e INEGI (2018), la población de la metrópoli para el 2015 era de 2 202 886 habitantes, al sustituir los datos en la fórmula, se tiene que la velocidad límite para la ZMT es de 9.96 m/s.

Los datos de velocidad del viento proporcionados por la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de Toluca (RAMA), a lo largo de todos los años de análisis, oscilaron entre 1.6 a 4.7 m/s por lo que se encuentran debajo de la velocidad límite, presentando condiciones idóneas de velocidad del viento para la conformación de isla de calor.

Respecto a la variabilidad de los datos, las estadísticas muestran que es mayor en la estación Metepec, con un 32.91% de coeficiente de variación, lo anterior puede estar influenciado por el comportamiento del viento en el verano de 2013. Le sigue San Cristóbal, sin embargo entre el mayor valor y el siguiente, hay una diferencia de 10%. La estación que presenta mayor homogeneidad en los datos es la estación de Ceboruco con un 8.11% de variabilidad, seguida de la estación Aeropuerto con 9.33%.

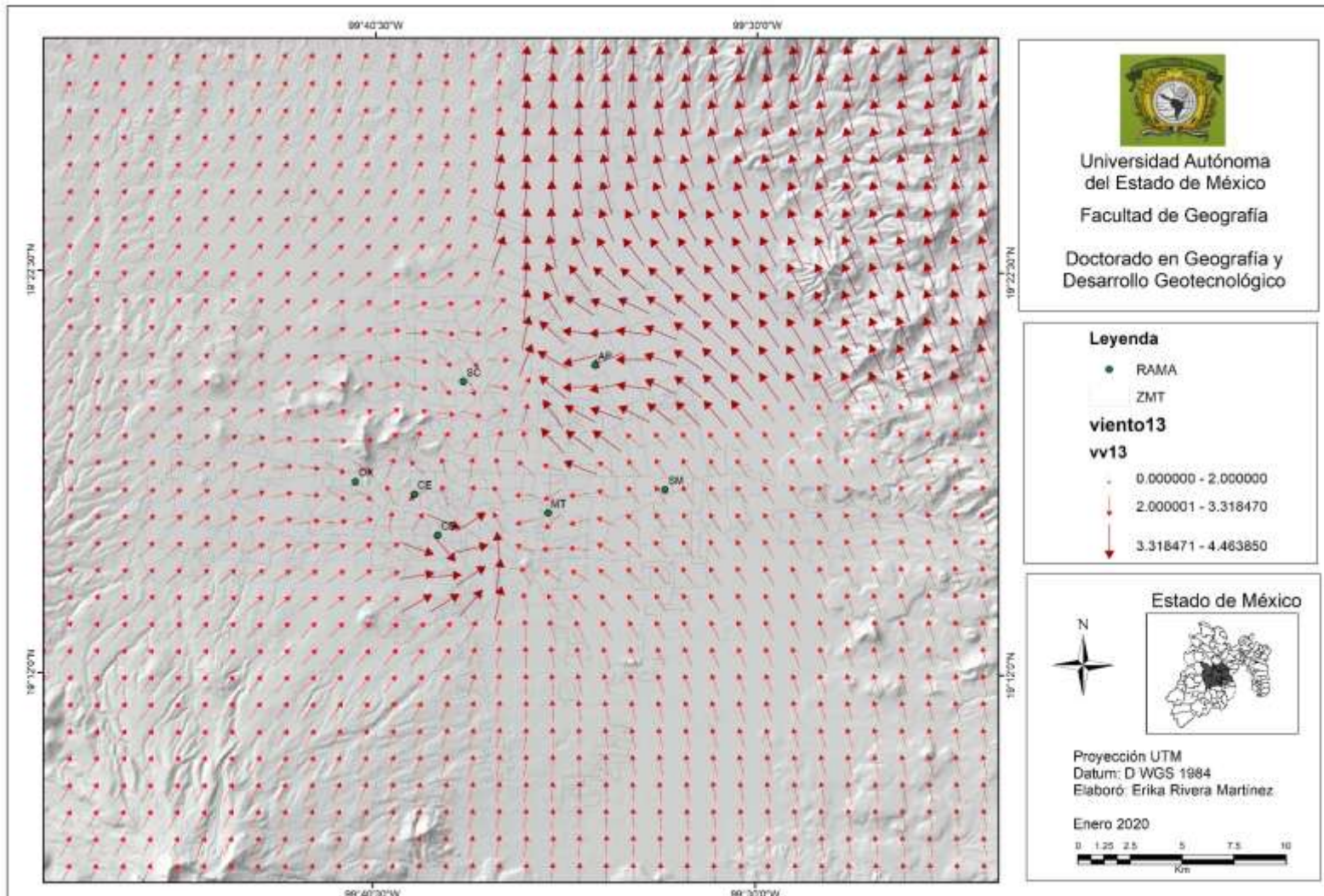
Tomando en cuenta el comportamiento espacial para cada verano analizado, se tiene que para el 2013 (mapa 19), la velocidad del viento oscilaba entre 0 y 4.46 m/s. Los valores altos se distribuían en la zona de la estación Ceboruco y Aeropuerto. Los vientos disminuyen al interior de la ciudad. La dirección predominante proviene del sur, sin embargo, en el centro de la ciudad y la zona industrial las direcciones cambian y confluyen en la estación Ceboruco. Hacia el norte, la velocidad aumenta y vuelve a tener la dirección sur-norte.

Para el verano de 2014 (mapa 20), la velocidad del viento oscila entre 0 y 4.3 m/s. Las estaciones Centro y Metepec, presentan una disminución de los vientos provenientes del suroeste. El comportamiento espacial es más homogéneo y la dirección que prevalece es sureste-noroeste. El año de 2015 (mapa 21), presenta un comportamiento de vientos más heterogéneo. Los vientos tienen dirección sur-norte hasta que llegan al centro de la ciudad, allí disminuye la velocidad, sobretodo en la estación Metepec, la cual llega a 1.9 m/s y cambia la dirección hacia el noroeste. La velocidad aumenta a partir de las estaciones San Cristobal Huichochitlán y Aeropuerto, alcanzando la velocidad máxima de 4.46 m/s.

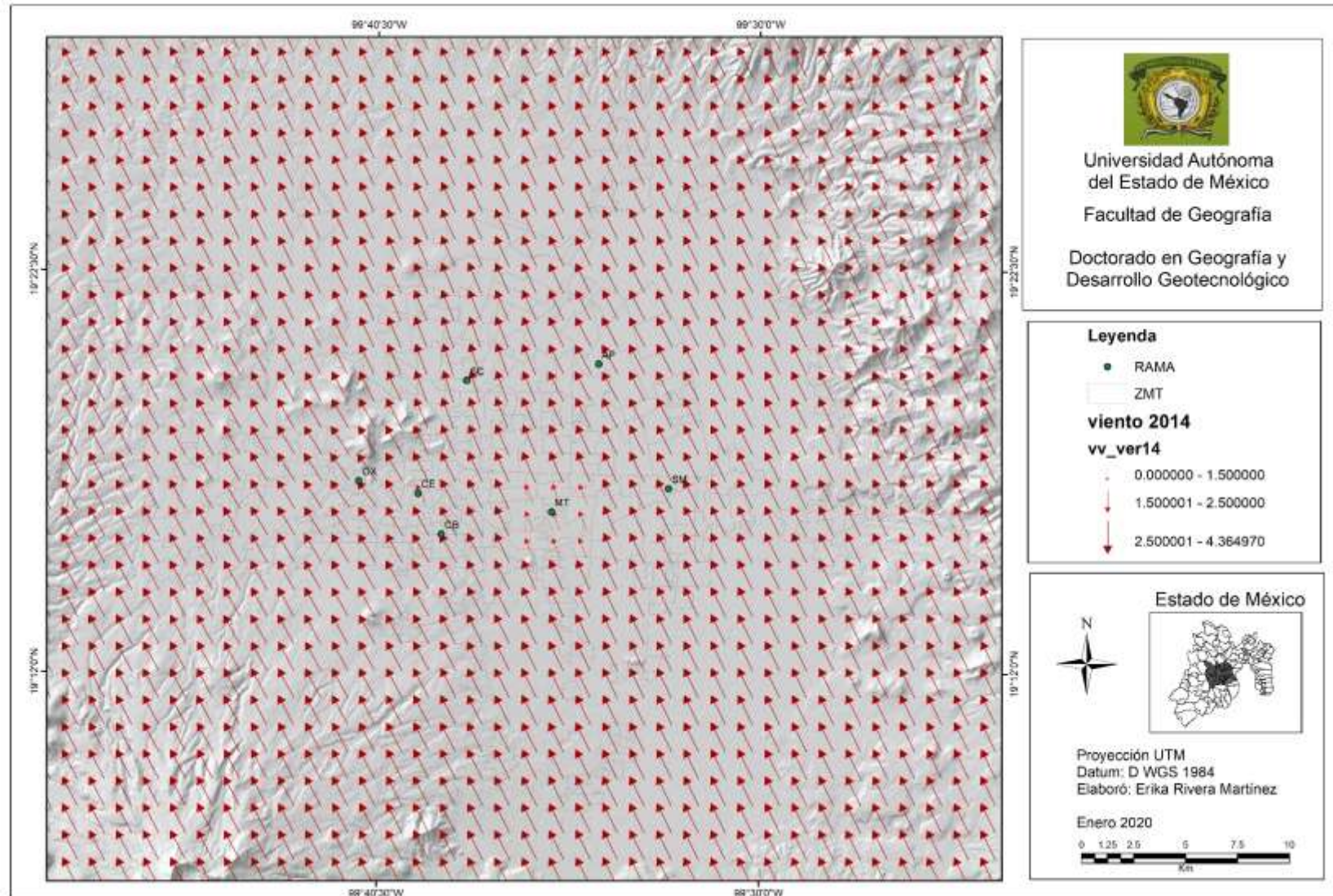
Para el año 2016 (mapa 22), se muestra una zona con mayor superficie donde la velocidad del viento disminuye dentro de la metrópoli, dicha zona la conforman las estaciones San Mateo Atenco, Metepec y Centro alcanzando valores mínimos de hasta 1.6 m/s, los cuales representan los mínimos alcanzados para todo el estudio temporal. Las máximas velocidades se presentan nuevamente en las estaciones San Cristobal y Aeropuerto. La dirección de vientos que predomina corresponde sureste-noroeste.

Finalmente el año 2018 (mapa 23), muestra una distribución semejante a los años anteriores. Los valores de velocidad más bajos se localizan al interior de la ciudad en las estaciones de Metepec y Centro oscilando de 1.8 a 2.5 m/s. Los valores altos de velocidad se homogenizan a través del resto de las estaciones meteorológicas existentes. La dirección que predomina es la sureste-noroeste y sur-norte.

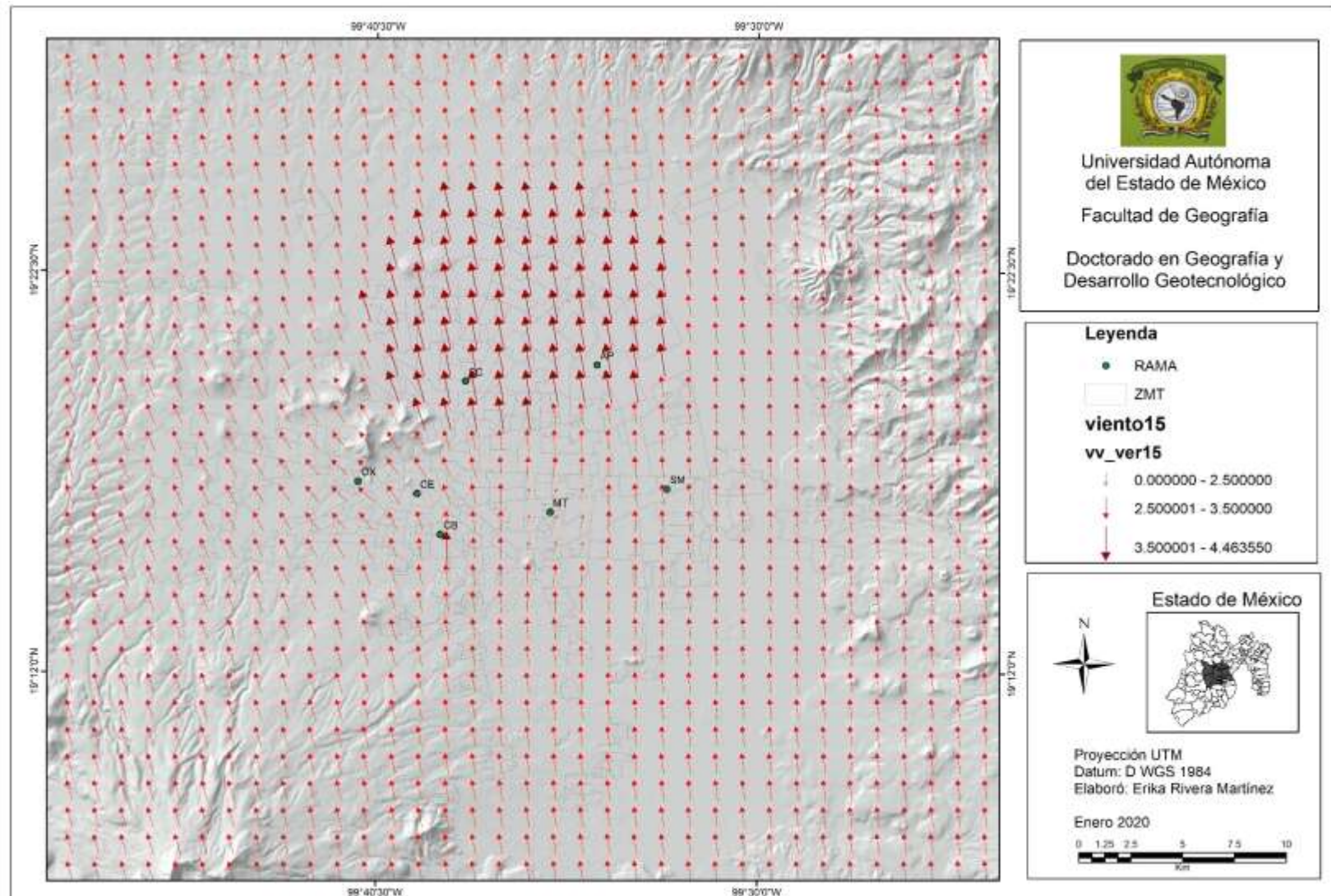
Mapa 19. Distribución de la velocidad y dirección del viento durante el año 2013 en la ZMT



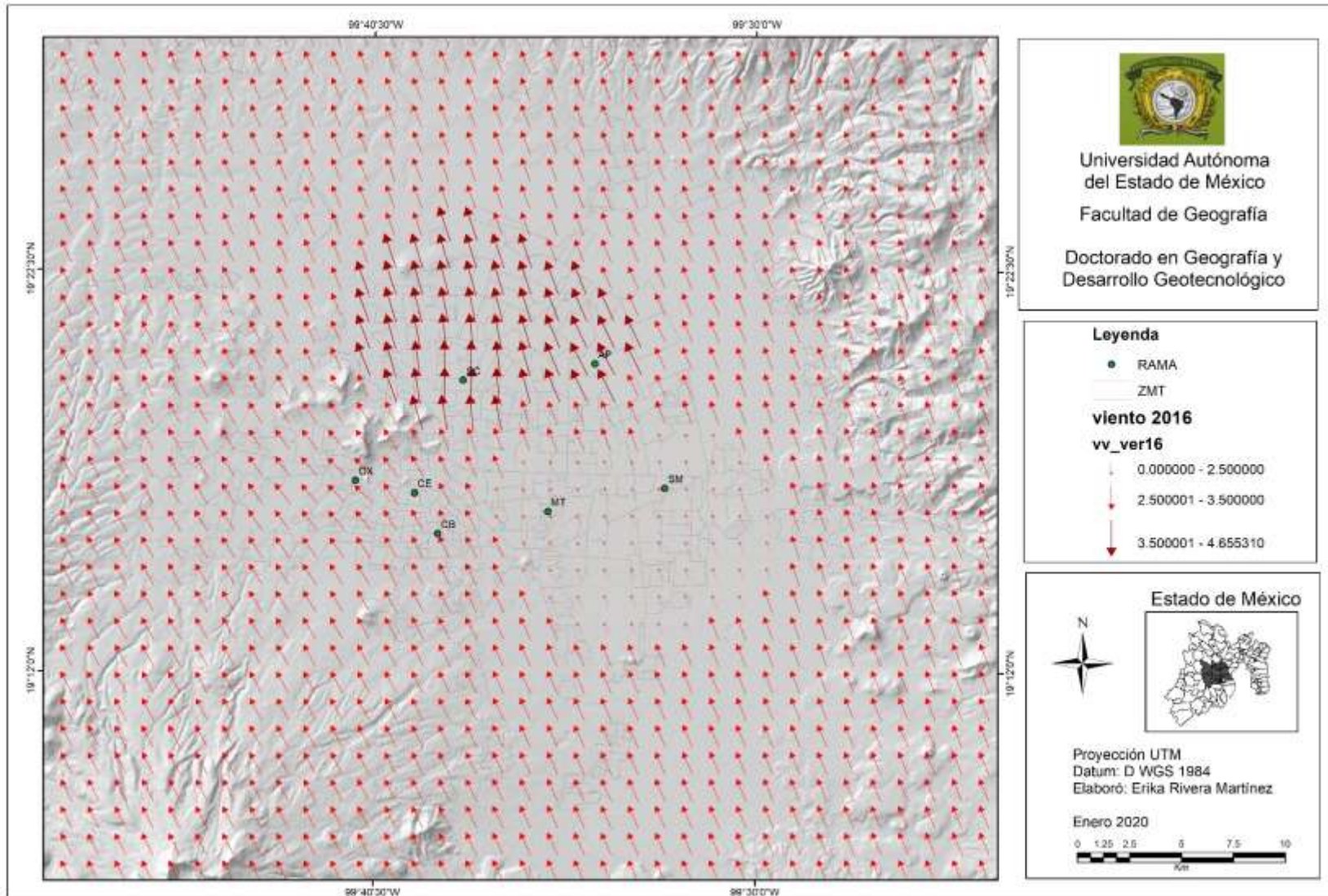
Mapa 20. Distribución de la velocidad y dirección del viento durante el año 2014 en la ZMT



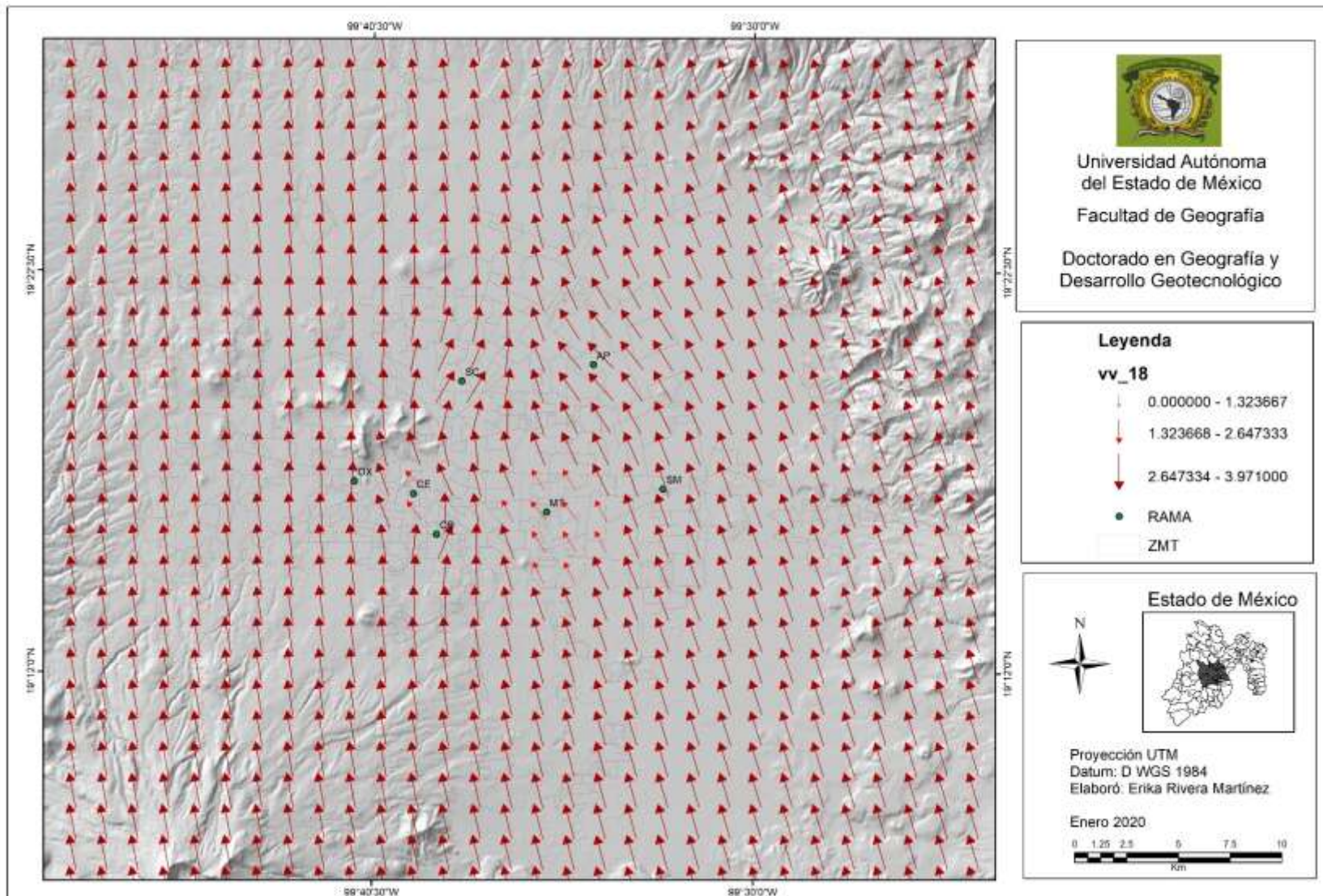
Mapa 21. Distribución de la velocidad y dirección del viento durante el año 2015 en la ZMT



Mapa 22. Distribución de la velocidad y dirección del viento durante el año 2016 en la ZMT

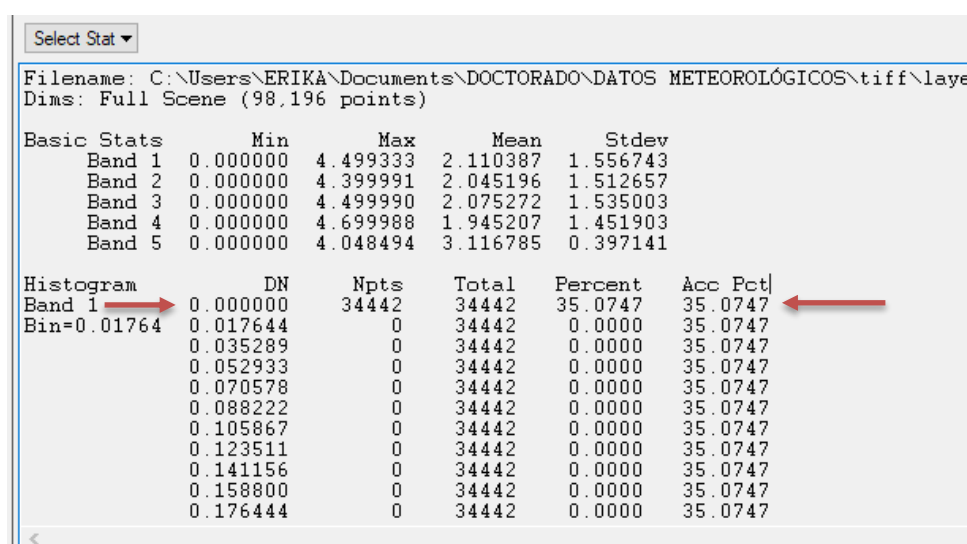


Mapa 23. Distribución de la velocidad y dirección del viento durante el año 2018 en la ZMT

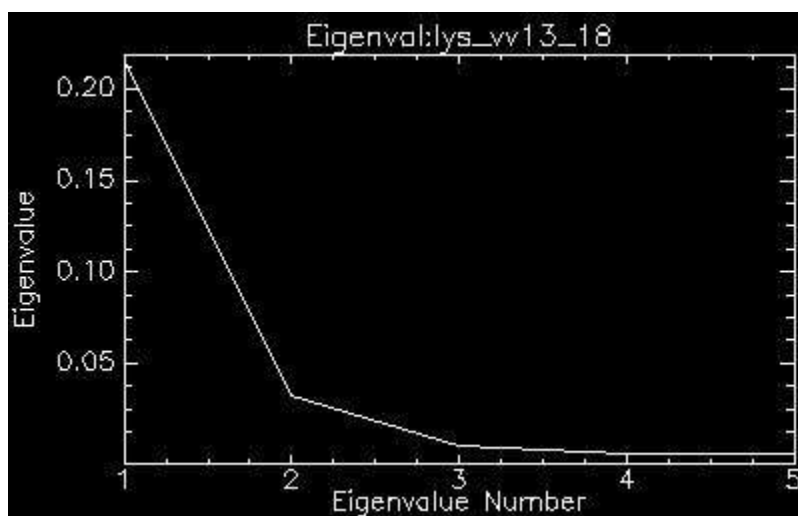


Para conocer la persistencia con base en el comportamiento temporal de la velocidad y dirección del viento en la Zona Metropolitana de Toluca, se realizó un layerstacking a los archivos rasters del periodo 2013 al 2018. Con base en el resultado, se realizó el análisis de componentes principales con la finalidad de reducir dimensiones del total de datos existentes. Anterior a la aplicación del ACP, se construyó una máscara con la finalidad de suprimir un dato atípico que se mostraba en el análisis del histograma (fig. 31).

Figura 31. Histograma del archivo layerstacking de la velocidad del viento

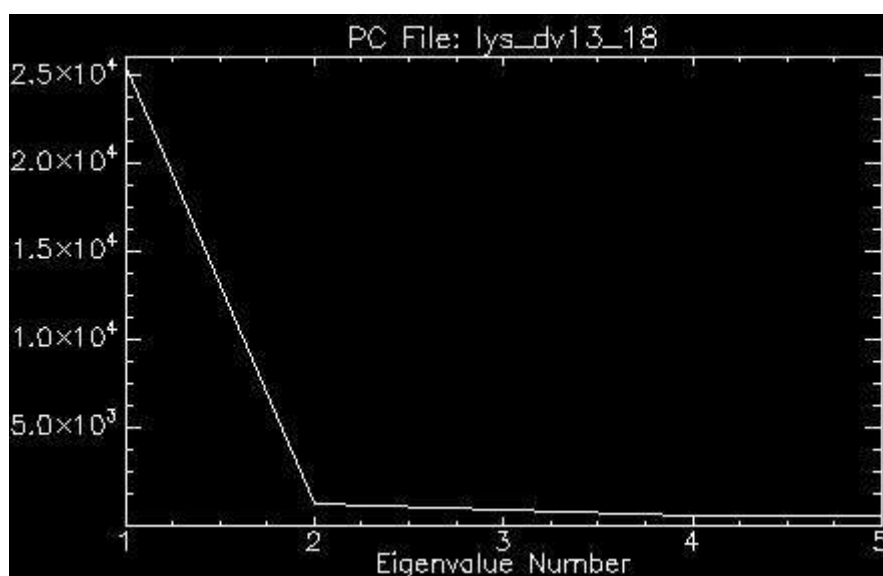


Se obtuvieron 5 componentes, de los cuales las estadísticas básicas se describen en las tablas 31 y 32. El componente 1 es el que alcanza la mayor varianza explicada para las dos variables, por lo que se eligió para representar el comportamiento temporal del viento que se presentan en la zona de estudio a lo largo de los años analizados. Los eigenvalores mostrados en las figuras 32 y 33, confirman que el componente 1 es el que representa mejor los valores de todos los años, debido a que es el que concentra la mayor cantidad de información.

Figura 32. Comportamiento de los eigenvalores en el ACP de la velocidad del viento**Tabla 31.** Estadísticas en el ACP de la velocidad del viento

Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev	Num	Eigenvalue
Band 1	2.600005	4.499333	3.250849	0.164837	1	0.213818
Band 2	1.900745	4.399991	3.151620	0.210444	2	0.031983
Band 3	1.900823	4.499990	3.198028	0.214683	3	0.005401
Band 4	1.600815	4.699988	2.998053	0.315626	4	0.001025
Band 5	2.172726	4.048494	3.150747	0.187656	5	0.000153
Covariance	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	
Band 1	0.027171	-0.002851	0.009515	0.001617	0.009161	
Band 2	-0.002851	0.044287	0.040258	0.063832	0.036222	
Band 3	0.009515	0.040258	0.046089	0.059641	0.038771	
Band 4	0.001617	0.063832	0.059641	0.099619	0.056027	
Band 5	0.009161	0.036222	0.038771	0.056027	0.035215	
Correlation	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	
Band 1	1.000000	-0.082175	0.268891	0.031086	0.296151	
Band 2	-0.082175	1.000000	0.891083	0.961011	0.917222	
Band 3	0.268891	0.891083	1.000000	0.880187	0.962389	
Band 4	0.031086	0.961011	0.880187	1.000000	0.945934	
Band 5	0.296151	0.917222	0.962389	0.945934	1.000000	
Eigenvector	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	
Band 1	-0.041006	-0.441746	-0.439345	-0.672171	-0.397922	
Band 2	0.908724	-0.228533	0.232154	-0.172767	0.195575	
Band 3	-0.251471	0.201098	0.733479	-0.598593	0.003981	
Band 4	0.220433	0.804524	-0.420553	-0.336861	0.117514	
Band 5	-0.246396	-0.254819	-0.195510	-0.215752	0.888585	

Figura 33. Comportamiento de los eigenvalores en el ACP de la dirección del viento

**Tabla 32.** Estadísticas en el ACP de la dirección del viento

Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev	Num	Eigenvalue
Band 1	0.000000	341.998810	121.458196	93.302411	1	25469.393730
Band 2	0.000000	163.999924	99.669352	73.268303	2	662.726915
Band 3	0.000000	200.980560	108.919904	80.228890	3	342.929504
Band 4	0.000000	183.999786	101.380539	74.586486	4	3.799866
Band 5	0.000000	214.910782	164.228358	20.180531	5	1.806707
Covariance	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	
Band 1	8705.339986	6529.130079	7037.999645	6622.942568	68.843679	
Band 2	6529.130079	5368.244205	5869.175189	5462.454237	-	
					63.102061	
Band 3	7037.999645	5869.175189	6436.674743	5976.456178	-	
					86.829099	
Band 4	6622.942568	5462.454237	5976.456178	5563.143963	-	
					63.737004	
Band 5	68.843679	-63.102061	-86.829099	-63.737004	-	
					407.253826	
Correlation	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	
Band 1	1.000000	0.955094	0.940212	0.951695	0.036563	
Band 2	0.955094	1.000000	0.998459	0.999566	-0.042677	
Band 3	0.940212	0.998459	1.000000	0.998741	-0.053629	
Band 4	0.951695	0.999566	0.998741	1.000000	-0.042345	
Band 5	0.036563	-0.042677	-0.053629	-0.042345	1.000000	
Eigenvector	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	
Band 1	-0.571087	-0.457396	-0.498294	-0.465129	0.002492	
Band 2	-0.730030	0.227449	0.384486	0.258365	-0.448041	
Band 3	-0.364276	0.109141	0.192308	0.138703	0.893963	
Band 4	-0.077012	0.205597	-0.717512	0.661025	-0.004694	
Band 5	0.047824	-0.827571	0.228185	0.510597	-0.007786	

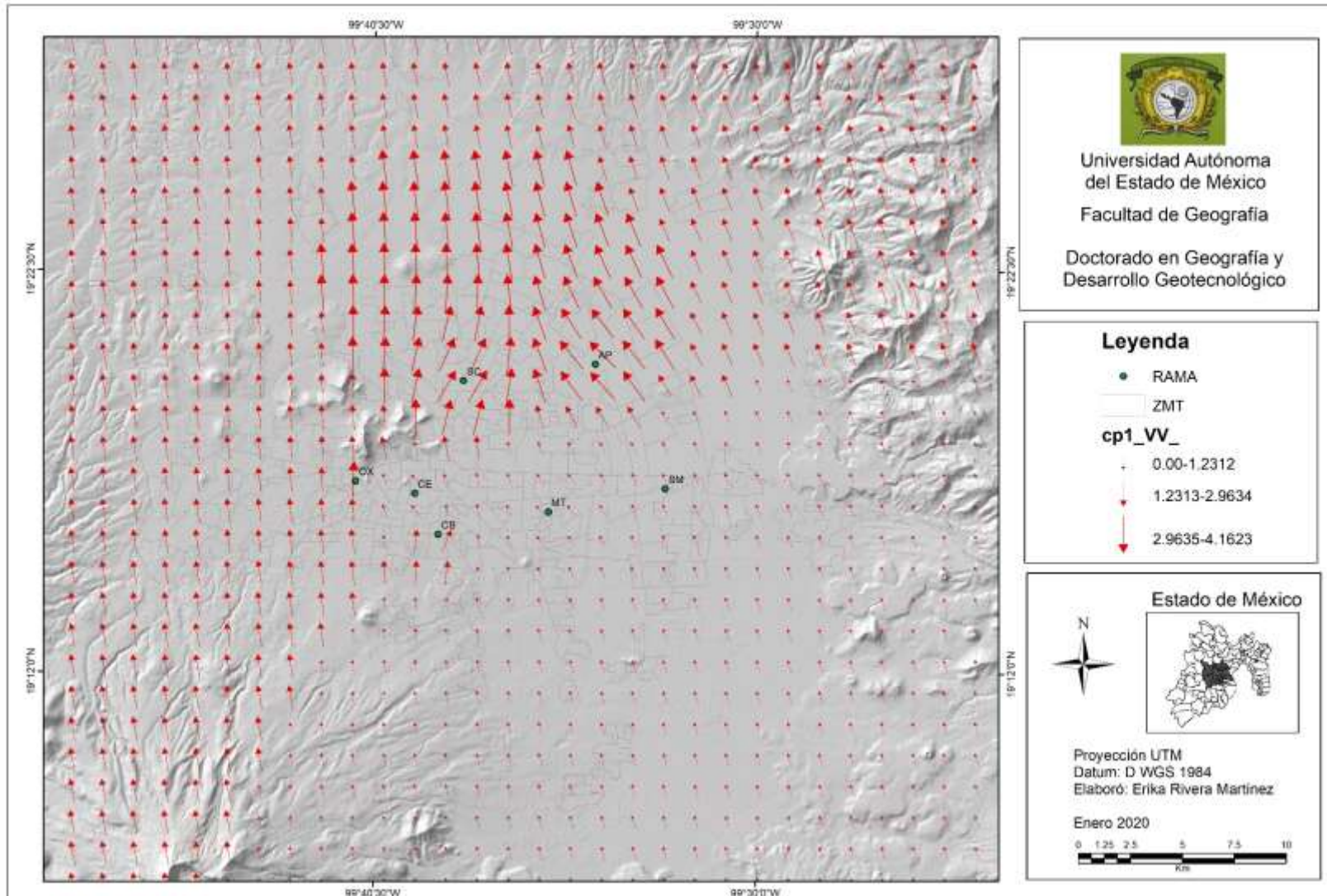
El mapa 24, muestra el comportamiento temporal de la velocidad y dirección del viento para el periodo 2013-2018. El patrón es similar a cada uno de los años por separado, los valores mínimos se encuentran localizados en la parte sur-centro de la ciudad, entre las estaciones San Mateo Atenco, Ceboruco, Metepec y Centro, esta parte del territorio se considera la zona más urbanizada, en ella se concentran las actividades económicas industriales, comerciales y de servicios. La velocidad aumenta conforme se acerca a las zonas periurbanas, con las estaciones Oxtotitlán, San Cristobal Huichochitlán y Aeropuerto.

La modificación en el patrón de comportamiento de la velocidad y dirección de vientos está directamente relacionada con la rugosidad de la ciudad (densificación urbana), a la canalización de vientos en las calles cuando existen zonas de edificios altos (efecto corredor) así como a la aparición de la ICU que origina vientos térmicos (Capelli, *et al.*, 2005). En la Zona Metropolitana de Toluca, la modificación de vientos tiene relación con la rugosidad, debido a que los valores mínimos de velocidad se presentan al interior de la ciudad, en las zonas industriales, comerciales y de servicios administrativos, como ya se ha mencionado.

La dirección del viento prevalece de manera general de sur a norte, sin embargo, los cambios más evidentes suceden al encontrarse con el núcleo de la ciudad, debido al aumento de la rugosidad, la cual posibilita turbulencias locales, a través de un efecto de freno y convergencia y en ocasiones gran rafagosidad, lo que puede llegar a generar tormentas; esta condición está presente a lo largo de todos los años.

Con vientos leves, como sucede en la ZMT, los efectos locales de la ciudad controlan las condiciones de la atmósfera en sus capas inferiores (Landsberg, 1981) y posibilitan la conformación de islas de calor con intensidades altas.

Mapa 24. Comportamiento temporal de la velocidad y dirección del viento durante el periodo 2013-2018



Indicador climático

Teniendo en cuenta que lo que se busca es la diferenciación de zonas adversas y zonas óptimas respecto a condiciones climáticas, los valores de intensidad de isla de calor se multiplicaron por -1, en razón de que todos los agebs con valores altos representarían mejores condiciones climáticas (tabla 33).

Tabla 33. Descripción del comportamiento de variables climáticas respecto a sus valores de intensidad

Indicador	Valor	Estado que posibilita
ICUs	>	Condiciones adversas
Humedad relativa	>	Condiciones óptimas
Canales de viento	>	Condiciones óptimas

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el indicador climático con base en el comportamiento temporal de las variables islas de calor, islas de sequedad y viento, se generaron estadísticas zonales cuya base espacial fueron las agebs de la Zona Metropolitana de Toluca. Las estadísticas utilizadas fueron los valores máximos y los promedios, los cuales después de estandarizarse se realizó el análisis de componentes principales obteniendo los resultados descritos en la tabla 34, donde se puede observar que el componente 1 explica el 61.41% de la varianza total, por lo cual se eligió para que representara el comportamiento del indicador climático.

Tabla 34. ACP de las variables climáticas

Varianza total explicada						
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	1.842	61.416	61.416	1.842	61.416	61.416
2	.992	33.074	94.491			
3	.165	5.509	100.000			

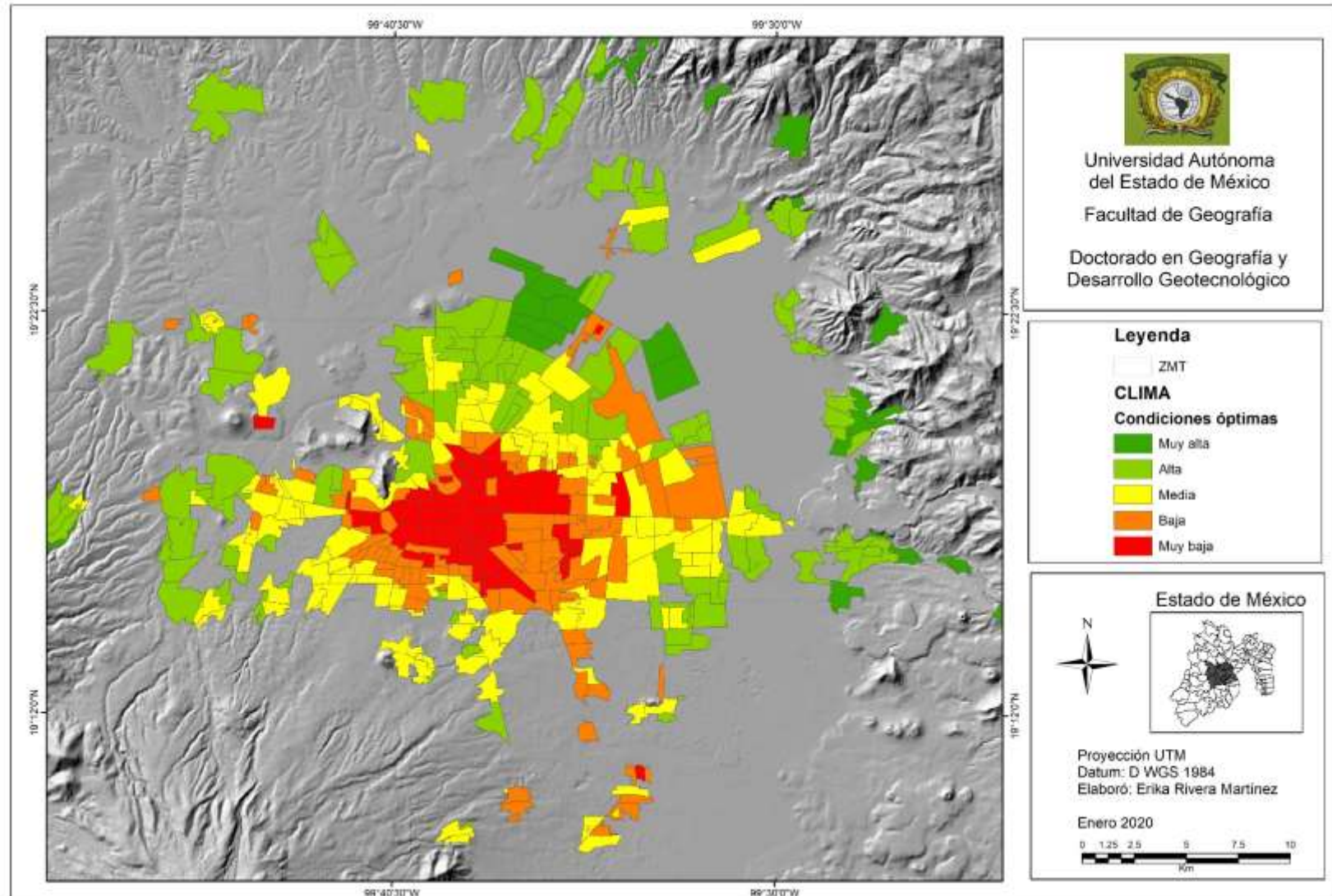
Método de extracción: análisis de componentes principales.

La representación espacial de las zonas con condiciones climáticas adversas (ZCA) se describe en el mapa 25. Las ZCA muy altas se localizan en la parte centro y sur de la ciudad, abarcando zonas del centro administrativo y comercial, el corredor industrial Toluca-Lerma a través de la Avenida Tollocan y la zona del Aeropuerto. Las mejores condiciones climáticas se localizan en la periferia de la metrópoli, sobretodo en la zona norte y en los agebs que están alejados de la mancha urbana principal.

El comportamiento del clima urbano, responde a las modificaciones hechas a la superficie natural. De acuerdo con Landsberg (1981), el hombre ha construido un tipo particular de clima local denominado clima urbano, el cual es la suma de los cambios microclimáticos producto de la alteración realizada sobre la superficie urbana. La ciudad modifica tres factores principales en dicha superficie: el albedo, provocado por la sustitución de superficies naturales por superficies artificiales, la rugosidad, que es resultado de la densificación de construcciones y la humedad retenida en el suelo, que es consecuencia de la disminución de zonas con vegetación (Landa, *et al.*, 2008).

Las características descritas en la literatura respecto a la aparición del clima urbano, corresponden al contexto en el que se ha desarrollado la metrópoli de Toluca. El albedo, la rugosidad y la humedad del suelo han sido modificados gracias al crecimiento de la mancha urbana. Los datos que fundamentan dicha apreciación se incluyen en el indicador territorial. El indicador climático, demuestra que la mayor modificación al clima regional se presenta en donde los cambios en la superficie urbana son más intensos.

Mapa 25. Zonas Climáticas Adversas en la ZMT



Dimensión territorial: Indicador de condiciones territoriales adversas

El territorio representa un elemento fundamental en la buena o mala calidad de vida de la población que lo habita. El tipo de crecimiento de una ciudad condiciona el modelo de ciudad. La ciudad difusa es un modelo de crecimiento urbano que se ha consolidado en las últimas décadas y de acuerdo con Duany *et al.*, (2000) es un modelo autodestructivo y consolida la inequidad social. Esto conlleva otras problemáticas de carácter ambiental, incluyendo a las climáticas, que impactan en la economía, la biodiversidad y la salud de quienes residen en esos espacios urbanos.

La ONU (2015) ha puesto su atención en que el territorio urbano se encamine a la prosperidad urbana, en la cual se incluyen aspectos tales como la calidad de vida de la población, la sostenibilidad ambiental y la equidad e inclusión de la población. El indicador territorial se construyó a partir de las variables que se describen en la tabla 6, la cual contiene los factores que existen en una ciudad y que propician el desarrollo del clima urbano.

Densidad de vegetación

La construcción del Índice de Vegetación (NDVI) permitió identificar las áreas con superficie vegetal en la superficie. Los resultados se muestran en el mapa 26, y se visualiza que la zona urbana carece de áreas extensas con vegetación. La superficie total de áreas con vegetación que se encuentran inmersas en la ZMT alcanza solo los 14.018 km² de los 402.79km² que conforman la metrópoli, es decir, solo el 3.48% de la superficie posee áreas con vegetación.

La mayor superficie se encuentra localizada hacia la zona suroeste que corresponde al volcán Nevado de Toluca y en el extremo este, en el que se localiza la Sierra de las Cruces, la cual divide a la Zona Metropolitana de Toluca con la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Con base en el NDVI, se realizó el cálculo de la superficie de vegetación por ageb para caracterizar de manera puntual el estado que guarda la metrópoli respecto a las áreas verdes. Los resultados se muestran espacialmente en el mapa 27, se evidencia el problema que tiene la mancha urbana al haber modificado la superficie natural por superficie artificial, sin considerar la importancia de mantener áreas con vegetación al interior de la misma.

Del total del área de las 530 agebs que conforman la metrópoli, 419 agebs, que corresponden a 302.19 km² del territorio poseen baja densidad de vegetación, es decir, más del 75% de la ZMT tiene una deficiencia en superficie vegetal. Solo 39 agebs, que corresponden a 27.14 km² de los 402 km² poseen una densidad alta, sin embargo, aún los valores altos, representan bajas densidades para que existan condiciones apropiadas para tener equilibrio en el aspecto ambiental y de salud de la población.

Densidad de vivienda

La densidad de vivienda es un indicador del modelo del crecimiento de la ciudad, esta variable puede incidir en dos factores que propician la aparición del clima urbano: la geometría urbana y la rugosidad de la ciudad. En la primera, dependiendo de la forma de la ciudad se facilita o dificulta la captura de radiación y esta es directamente proporcional al factor de visión de cielo bajo, sin embargo para la zona de estudio, el factor de visión es alto, por lo cual no incide de manera directa en la consolidación del clima urbano.

La rugosidad de la ciudad es un factor directo que incide en la consolidación de un clima local producto de la ciudad debido a que provoca modificaciones en la velocidad del viento permitiendo o mitigando la isla de calor. La rugosidad es inversamente proporcional a la velocidad y depende en gran parte de lo compacta o dispersa que sea la ciudad.

El mapa 28, muestra el comportamiento por ageb de la densidad de vivienda existente en la ZMT, expresada en cantidad de viviendas existentes por cada kilómetro cuadrado en el territorio. Los resultados indican que la metrópoli presenta un modelo de crecimiento difuso, debido a que la densidad es baja pero consume altas tasas de suelo urbano. Del total de agebs que conforman a la ZMT, 356 presentan densidades bajas de vivienda, es decir, aproximadamente el 67% de los agebs cumplen con esta característica.

Las densidades más altas se localizan alrededor de la zona centro de la ciudad, hacia el sur, donde se encuentran importantes zonas comerciales y a lo largo del corredor industrial Toluca Lerma. Existen agebs que poseen las mayores densidades que están desconectados del patrón mencionado, y que constituyen fraccionamientos de interés social que se localizan en zonas periurbanas de la ciudad.

Densidad de unidades económicas

La existencia de unidades económicas representa el desarrollo económico de un lugar, sin embargo, también constituye un foco importante de fuentes de calor externas, específicamente si se trata de unidades económicas de carácter industrial o comercial. Su presencia en el territorio contribuye de manera indirecta al aumento de fuentes de emisión de carbono debido al aumento de tráfico producto del traslado de población que requiere acceder a sus lugares de trabajo.

La distribución de las unidades económicas en los agebs, se muestra en el mapa 29, la mayor densidad se encuentra distribuida en 87 agebs, que representan 32.47 km² del total de la superficie, y se localiza en la zona centro de la ciudad y algunos sectores ubicados a los costados de la Avenida Toluca que conecta el corredor industrial Toluca-Lerma.

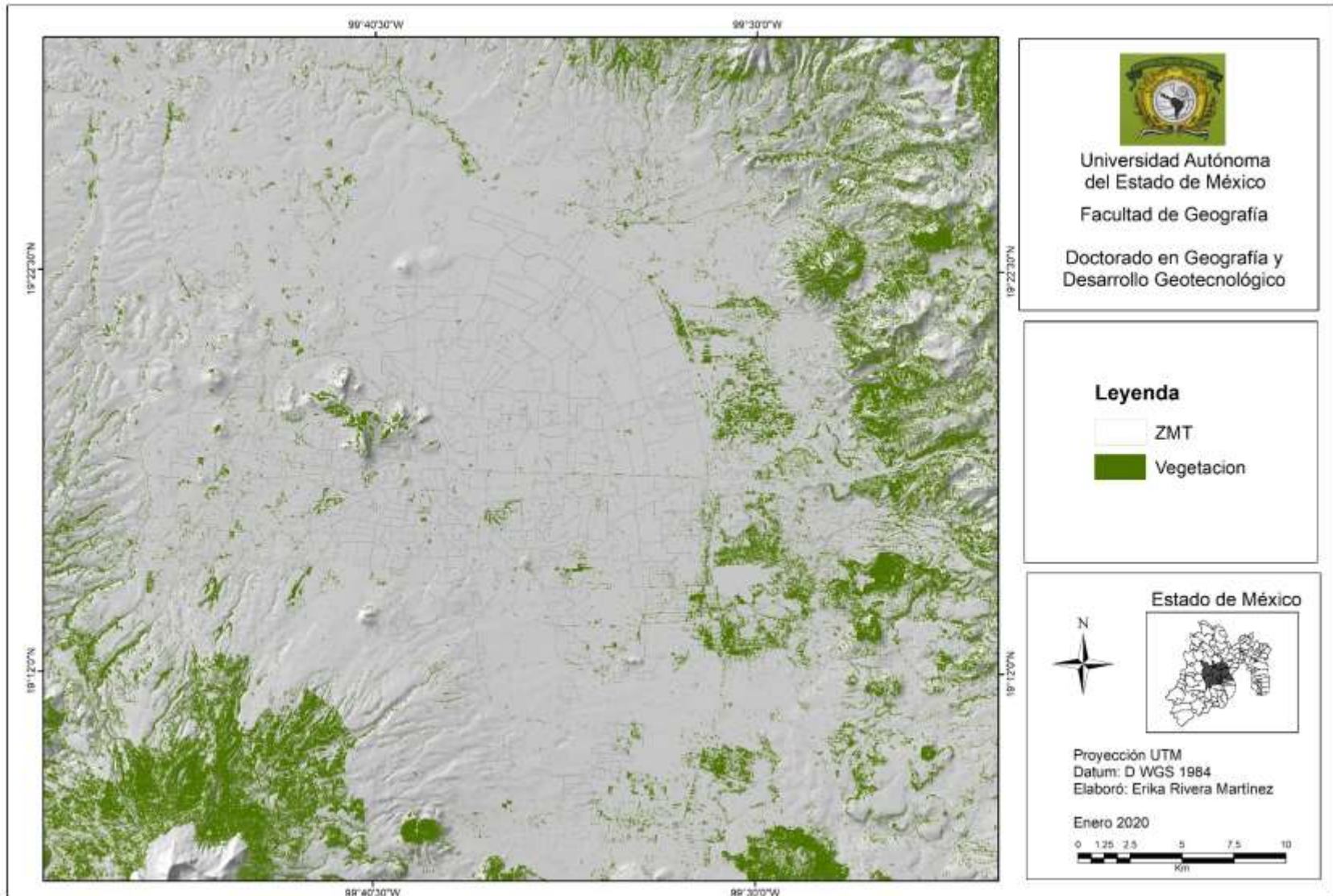
La mayor superficie de la metrópoli presenta densidades bajas de unidades económicas, lo que indica que la actividad económica está concentrada en zonas

muy puntuales de la ciudad. Para identificar los sectores predominantes se cartografiaron las unidades económicas por sector, los mapas describen la distribución de los sectores que más interesan para este caso de estudio, debido a que los sectores industrial, comercial y de servicios son los que más inciden en la función y comportamiento de la ciudad en cuestión de fuentes de calor externas.

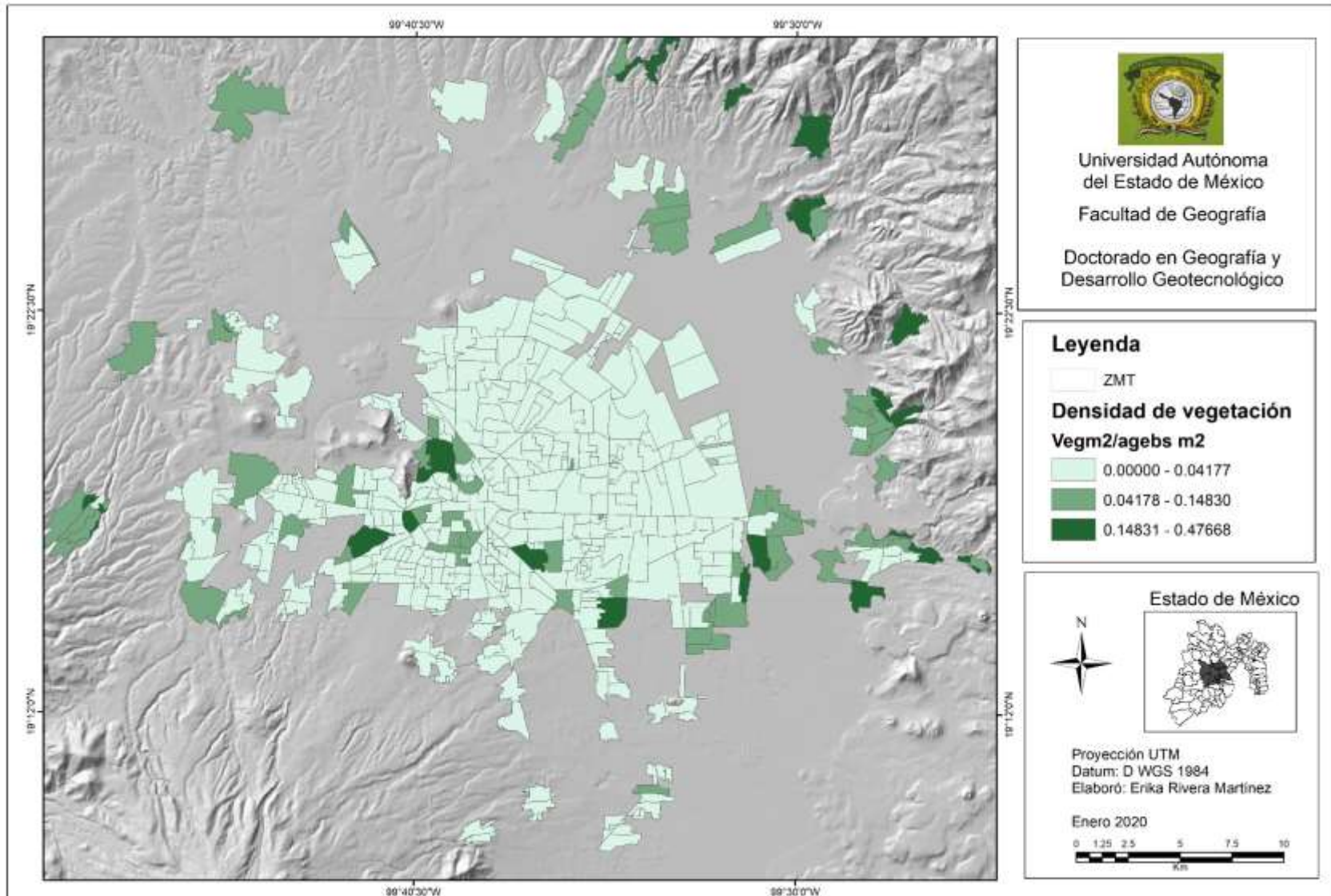
El mapa 30, incluye las unidades económicas dentro del sector industrial, se cartografiaron el total de UE existentes por ageb; las zonas de la metrópoli con más unidades se ubican en Lerma y los parques industriales existentes en el norte de la ciudad. Sin embargo, se tendría que analizar el tamaño de cada una de ellas, puesto que el mapa muestra una distribución baja en el corredor industrial Toluca-Lerma, no obstante, la realidad demuestra que gran parte de la industrial se concentra en esa zona. Para tener un panorama más cercano se tendría que estandarizar la información tomando en cuenta la superficie de cada ageb y/o el tamaño de las unidades económicas en cuestión.

EL mapa 31, incluye las unidades económicas del sector comercio, se muestra que los valores altos prevalecen en agebs localizados en el centro de la ciudad, en la zona de San Mateo Atenco (comercio de calzado), el área que abarca la central de abastos y el municipio de Xonacatlan, dedicado al comercio nacional de peluches. Respecto al sector servicios, el mapa 32, describe la distribución de dichas unidades económicas, los valores más altos se localizan en agebs de la zona centro del municipio de Toluca, agebs aledaños al corredor comercial y de servicios ubicados a lo largo de la carretera Toluca-Tenango y el corredor de Avenida Tollocan.

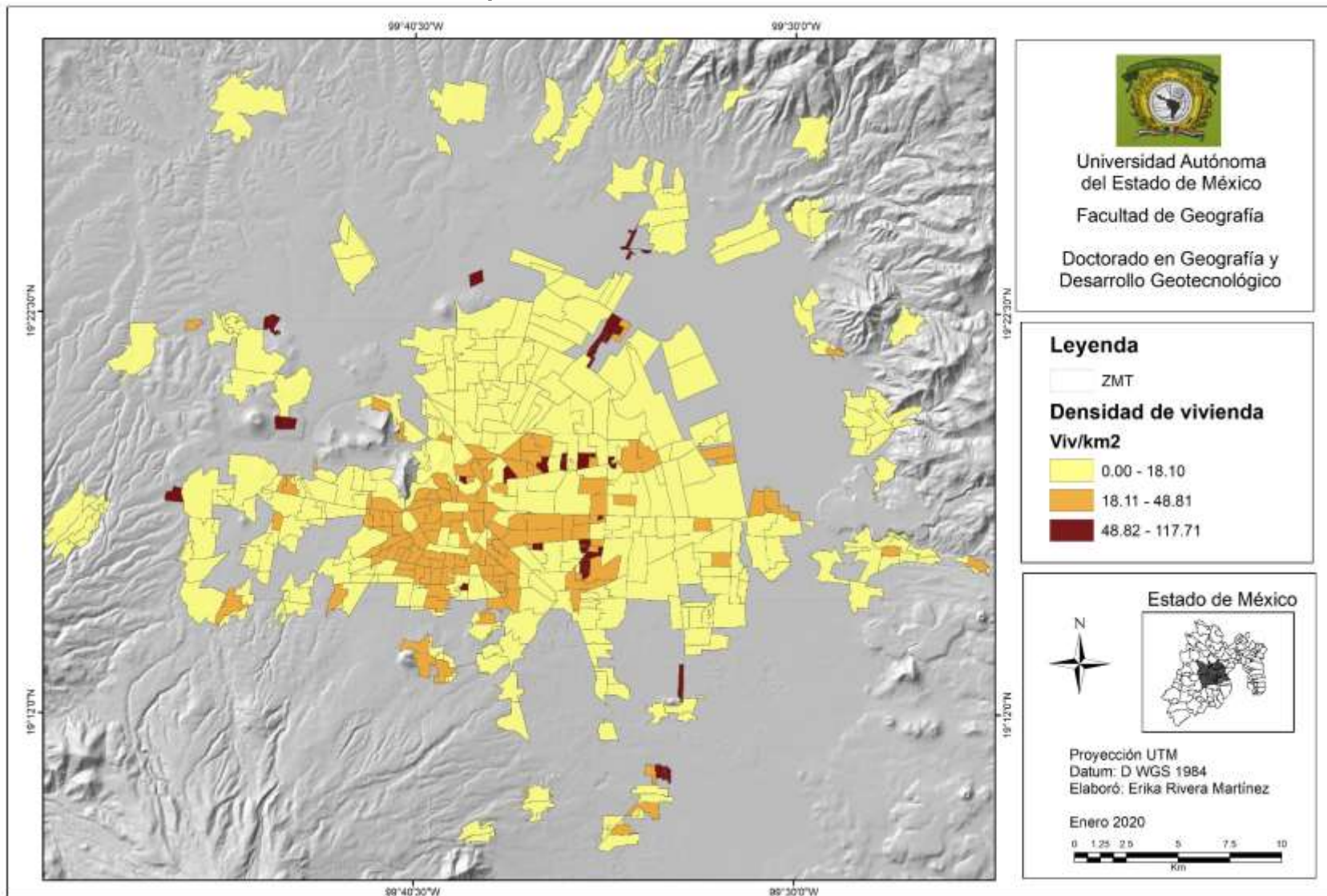
Mapa 26. Vegetación en el territorio urbano y rural



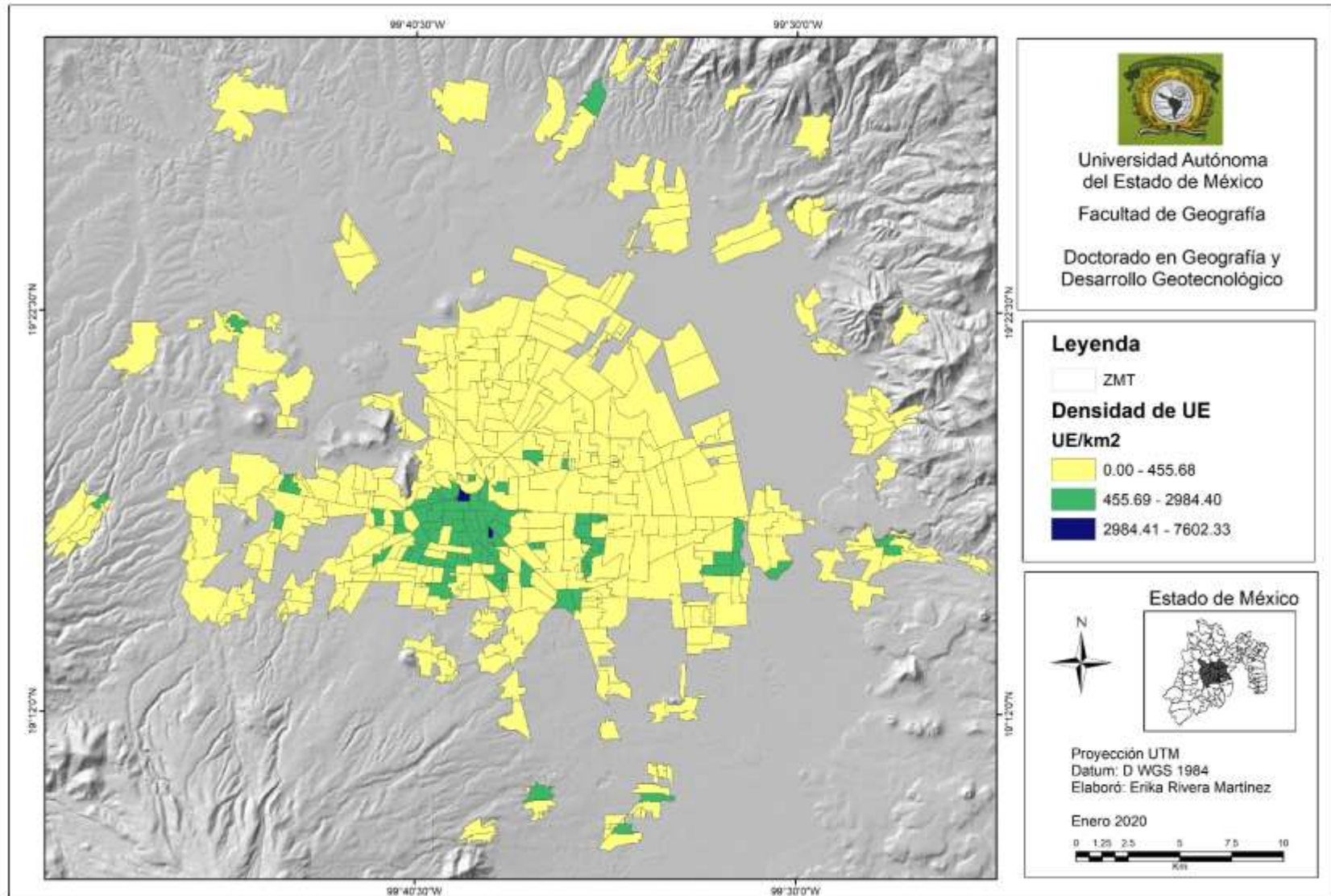
Mapa 27. Densidad de vegetación en la ZMT



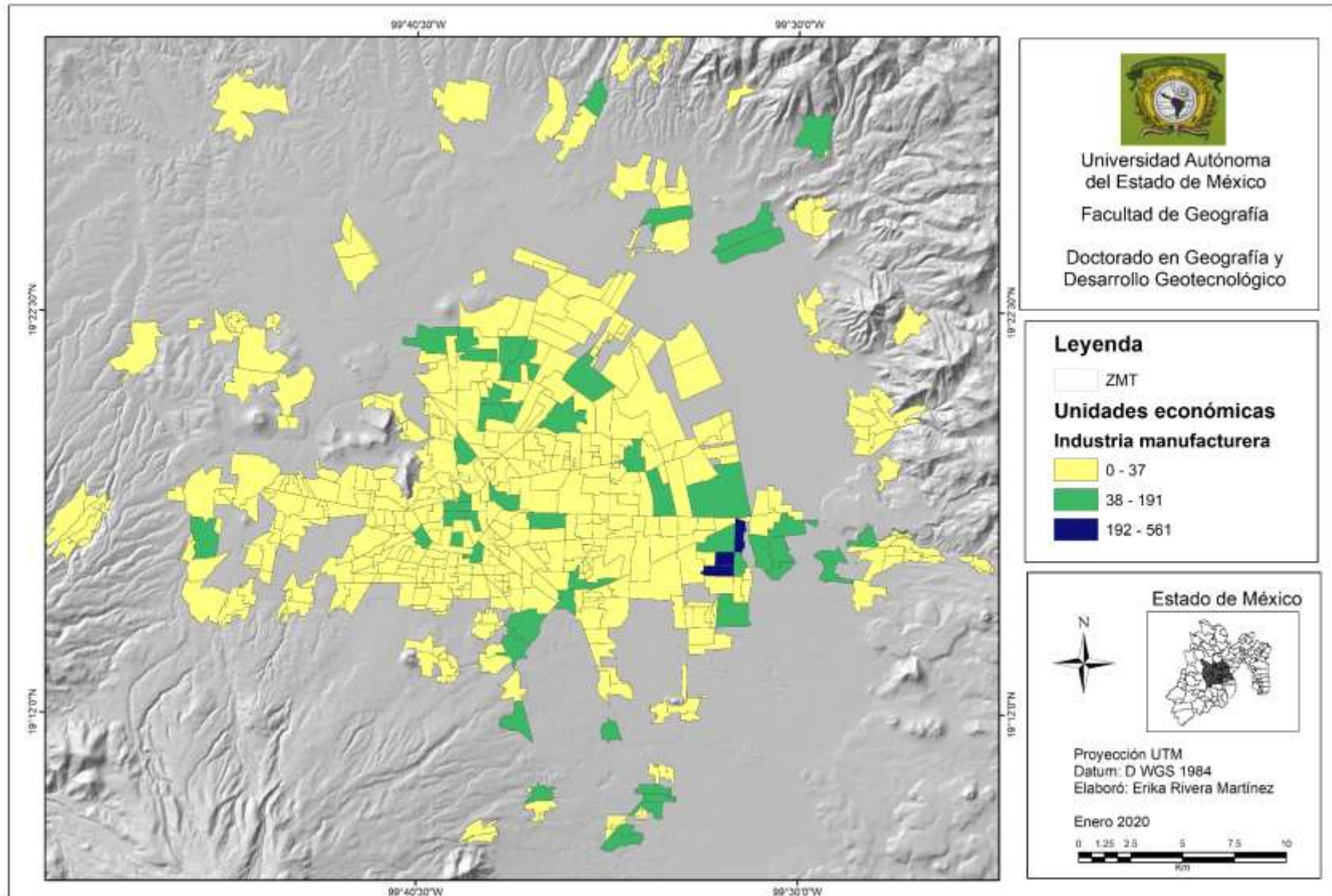
Mapa 28. Densidad de vivienda en la ZMT



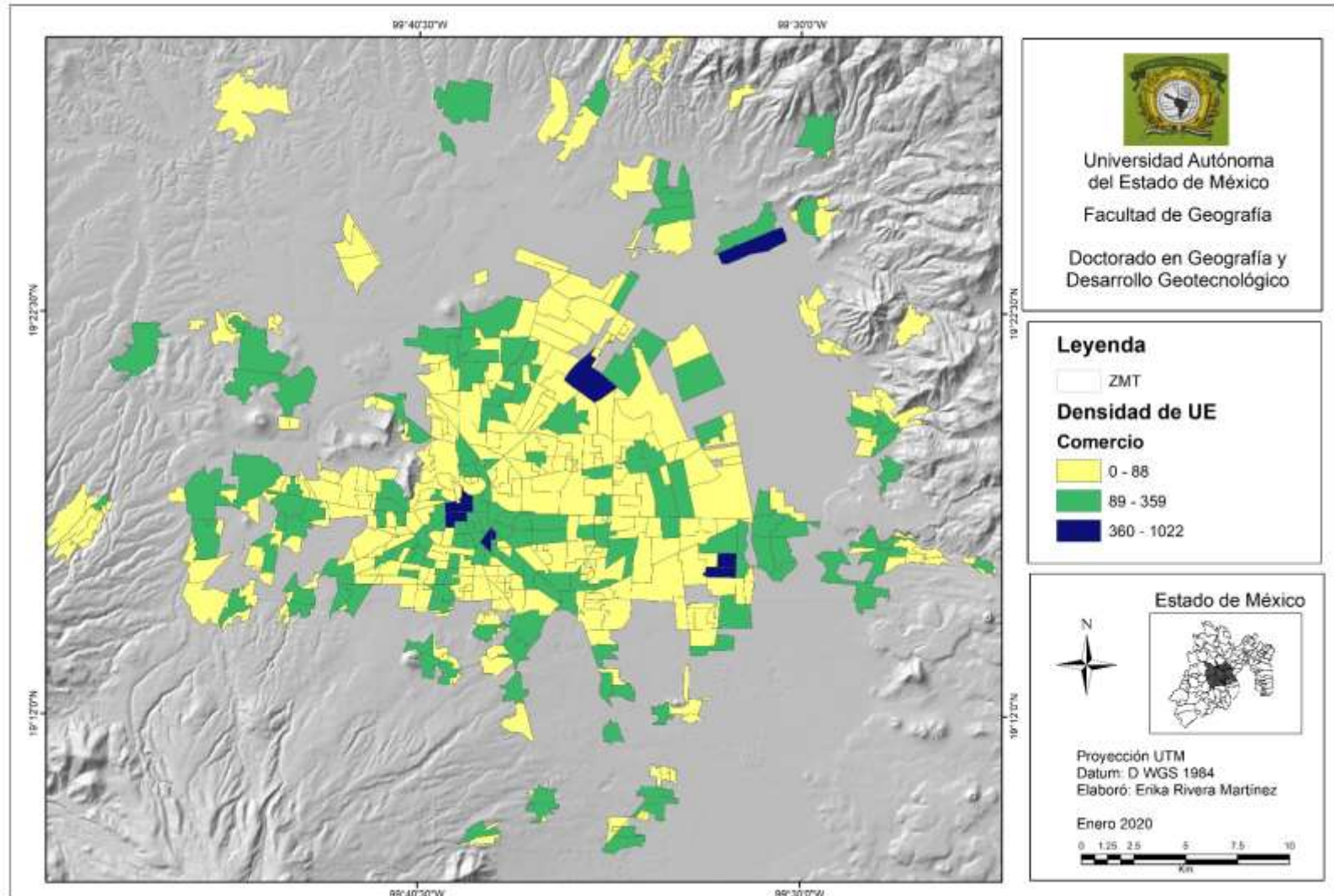
Mapa 29. Densidad de unidades económicas en la ZMT



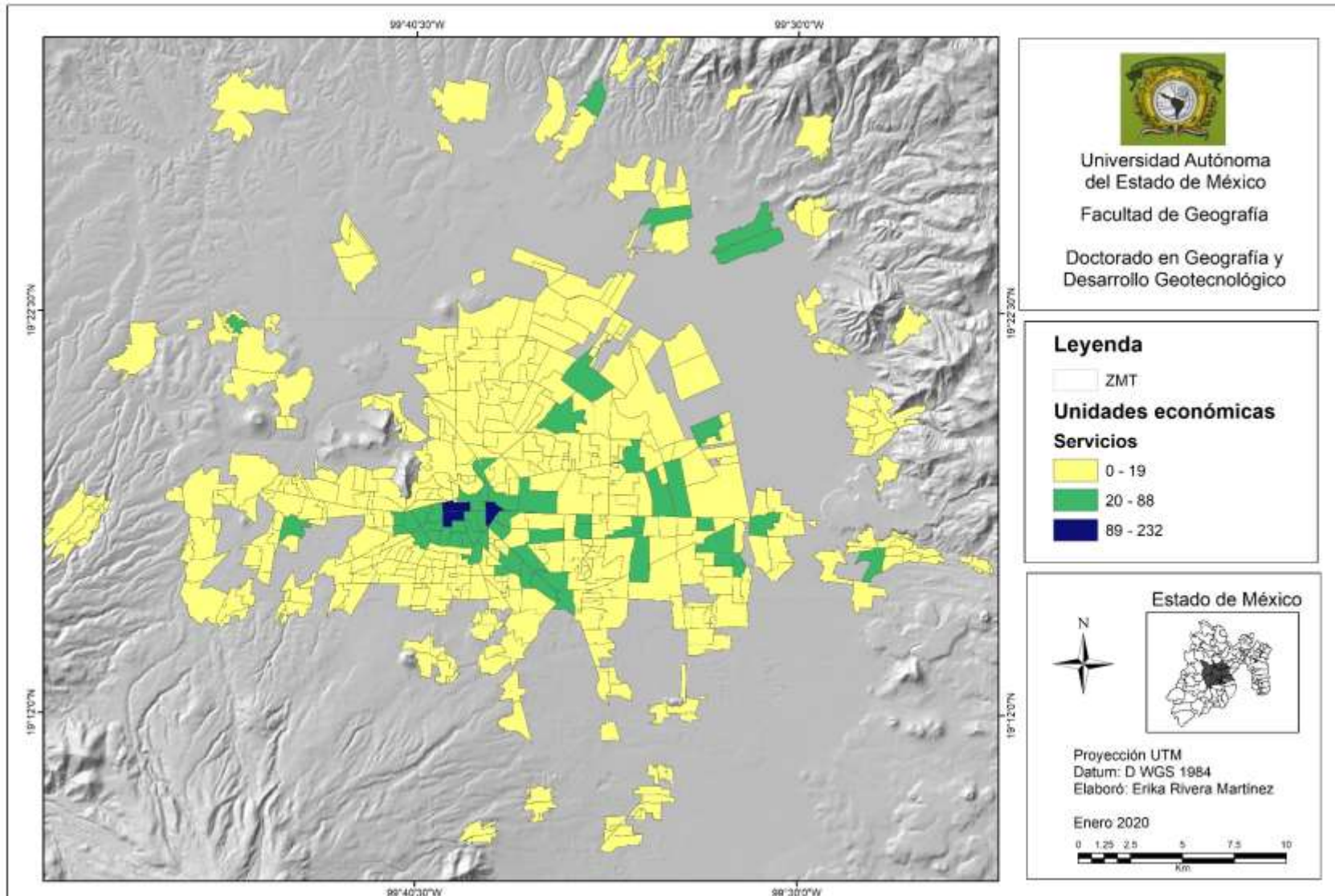
Mapa 30. Unidades económicas del sector industrial en la ZMT



Mapa 31. Unidades económicas del sector comercio en la ZMT



Mapa 32. Unidades económicas del sector servicios en la ZMT



Distancia a cuerpos de agua

Los cuerpos de agua cumplen una función de regulación climática, a mayor distancia de estos, el territorio estará expuesto a condiciones meteorológicas más heterogéneas. La identificación de cuerpos de agua en el territorio a partir de imágenes de satélite y su posterior conversión a polígonos permitió realizar el cálculo de la distancia euclidiana desde los cuerpos de agua, hacia los agebs de la ZMT.

Con base en esa información se configuró el mapa 33, el cual muestra que la mayor parte de los agebs que conforma a la metrópoli se encuentran a una distancia entre 2 y 7 km de los cuerpos de agua existentes en el territorio. Los agebs más cercanos a los cuerpos de agua más importantes (Presa Ignacio Ramírez y Presa Alzate) se localizan en la periferia hacia el noroeste y hacia el sureste con las Ciénegas de Lerma. Los cuerpos de agua restantes son pequeños bordos ubicados en zonas periurbanas.

Se puede distinguir la deficiencia de cuerpos de agua (espejos de agua) al interior de la metrópoli, lo que promueve una baja regulación térmica y condiciona la existencia de islas de calor intensas (Ángel *et al.*, 2010).

Suelo (Brillo, verdor y humedad)

Las características del suelo inciden directamente en los elementos del clima, tales como la temperatura y la humedad relativa. Los cambios en el uso del suelo de rural a urbano disminuyen la vegetación y con ello la humedad en el suelo, lo que propicia una menor evapotranspiración, menor filtración y mayor escorrentía. La transformación tasseled cap genera tres componentes que permiten analizar las características del suelo que inciden en la consolidación de un clima urbano:

El componente uno de la TTC (brillo), recoge los cambios en la reflectividad total de la escena trabajada, lo que permite inferir el albedo en la superficie. El albedo se

define como la capacidad de un material de reflejar la energía solar hacia la atmósfera, lo que se traduce indirectamente en la disminución de la temperatura en superficie. A mayor valor del albedo, mayor la fracción de radiación reflejada. Los colores más claros en la superficie tienen la característica de poseer un mayor albedo.

Para la construcción de la ciudad generalmente se utilizan materiales con albedo bajo y por ende, con una mayor inercia térmica es decir, que poseen la característica de almacenar por mayor tiempo la energía calorífica y reflejarla lentamente al espacio. Para la ZMT, se realizó el cálculo del brillo del suelo, mismo que tiene relación con el albedo de los materiales.

El mapa 34, muestra el comportamiento de la reflectividad en la superficie obtenida de imágenes de satélite durante el periodo 2013-2019. Las reflectividades más bajas en todo el territorio se concentran en los cuerpos de agua y zonas boscosas, debido a que el agua absorbe intensamente en el infrarrojo cercano. Dentro de la zona urbana, los valores más altos de reflectividad se concentran sobre la Avenida Tollocan, Boulevard Aeropuerto y sobre la Carretera Toluca-Naucaupan; dichas zonas corresponden a zonas industriales. Las naves industriales que las integran poseen la característica de estar construidas con lámina de color blanco por lo que emiten una mayor reflectancia. El resto de la ZMT, posee valores de brillo de medios a bajos.

El componente dos de la TTC, representa el contraste entre las bandas visibles y el infrarrojo cercano y permite visualizar la vegetación, su estado y salud. Para interés del presente trabajo, lo que se requiere es definir las zonas con vegetación y las desprovistas de ella. El mapa 35, describe la situación que guarda el verdor en la zona de estudio. Se aprecia la forma de la metrópoli con valores bajos, lo que representa que la mayor parte de la ZMT, se encuentra desprovista de vegetación.

El componente 3 se relaciona con el contenido de agua que existe en la vegetación y el suelo y se expresa a partir del contraste entre el infrarrojo medio. El mapa 36, muestra el comportamiento temporal de la humedad del suelo durante el periodo 2013-2019. La ciudad en general presenta valores bajos, esto se relaciona con las superficies impermeables de las que está constituida, como el asfalto y el cemento. Las vías de comunicación se perciben fácilmente y presentan los valores más bajos dentro de la ciudad. Los valores más altos de humedad del suelo se localizan en las zonas periurbanas, sobretodo en la zona norte de la metrópoli.

Indicador territorial

Teniendo en cuenta que lo que se busca es la diferenciación de zonas adversas y zonas óptimas de condiciones territoriales respecto al clima urbano, los valores de distancia a cuerpos de agua, densidad de vivienda, densidad de unidades económicas y brillo se multiplicaron por -1, en razón de que todos los agebs con valores altos representarían mejores condiciones territoriales (tabla 35).

Tabla 35. Descripción del comportamiento de variables territoriales respecto a sus valores

Indicador	Valor	Estado que posibilita
Densidad de vegetación	>	Condiciones óptimas
Densidad de vivienda	>	Condiciones adversas
Densidad de unidades económicas	>	Condiciones adversas
Brillo del suelo	>	Condiciones adversas
Verdor del suelo	>	Condiciones óptimas
Humedad del suelo	>	Condiciones óptimas
Distancia a cuerpos de agua	>	Condiciones adversas

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el indicador territorial con base en el comportamiento temporal de las variables vegetación, vivienda, unidades económicas, cuerpos de agua y suelo, se generaron estadísticas zonales cuya base espacial fueron las agebs de la Zona Metropolitana de Toluca. Las estadísticas utilizadas fueron los valores máximos y los promedios, los cuales se estandarizaron, y posteriormente se realizó el análisis de componentes principales obteniendo los resultados descritos en la tabla 36, donde se puede observar que el componente 1 explica el 44.61% de la varianza total, por lo cual se eligió para que representara el comportamiento del indicador territorial

Tabla 36. Estadísticas en el ACP para el indicador territorial

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	3.123	44.612	44.612	3.123	44.612	44.612
2	1.347	19.239	63.851			
3	.876	12.515	76.365			
4	.820	11.720	88.085			
5	.519	7.416	95.502			
6	.289	4.123	99.624			
7	.026	.376	100.000			

Método de extracción: análisis de componentes principales.

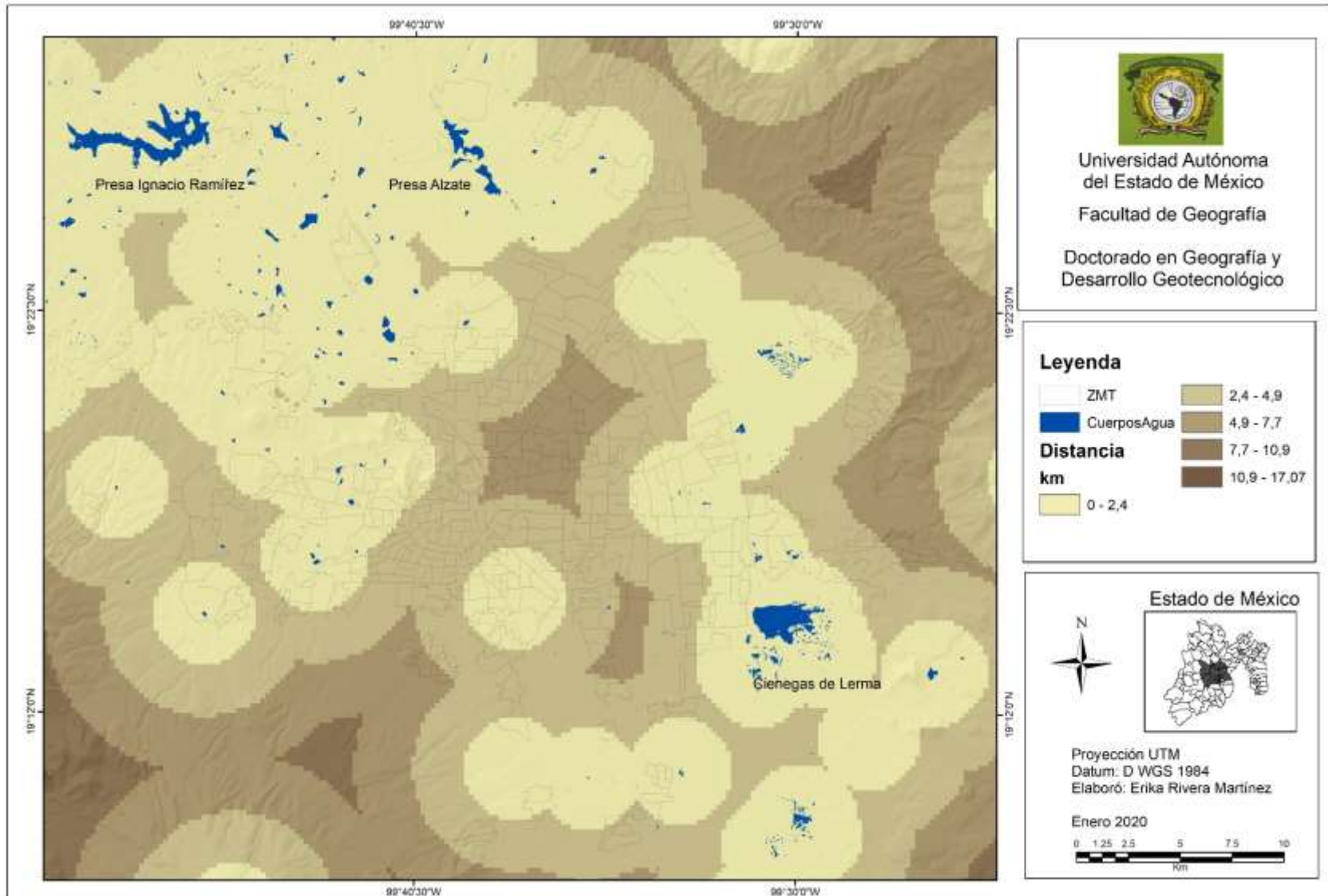
Con base en los valores determinados por el análisis de componentes principales, se construyó el mapa 37, el cual describe las zonas óptimas y adversas respecto a las características existentes en el territorio que se habita. Dichos valores se categorizaron en: muy alta, alta, media, baja y muy baja, refiriendo a las condiciones óptimas-adversas.

Las condiciones territoriales con calidad óptima para mitigar los efectos locales de la ciudad respecto al clima se localizan en las zonas periféricas de la ciudad, abarcando 257 agebs, de los 530 totales, lo que representa una superficie de 255.90 km². Las condiciones bajas y muy bajas están distribuidas en la zona centro-sur de la ciudad y sobre el corredor industrial Toluca-Lerma a través de la Avenida

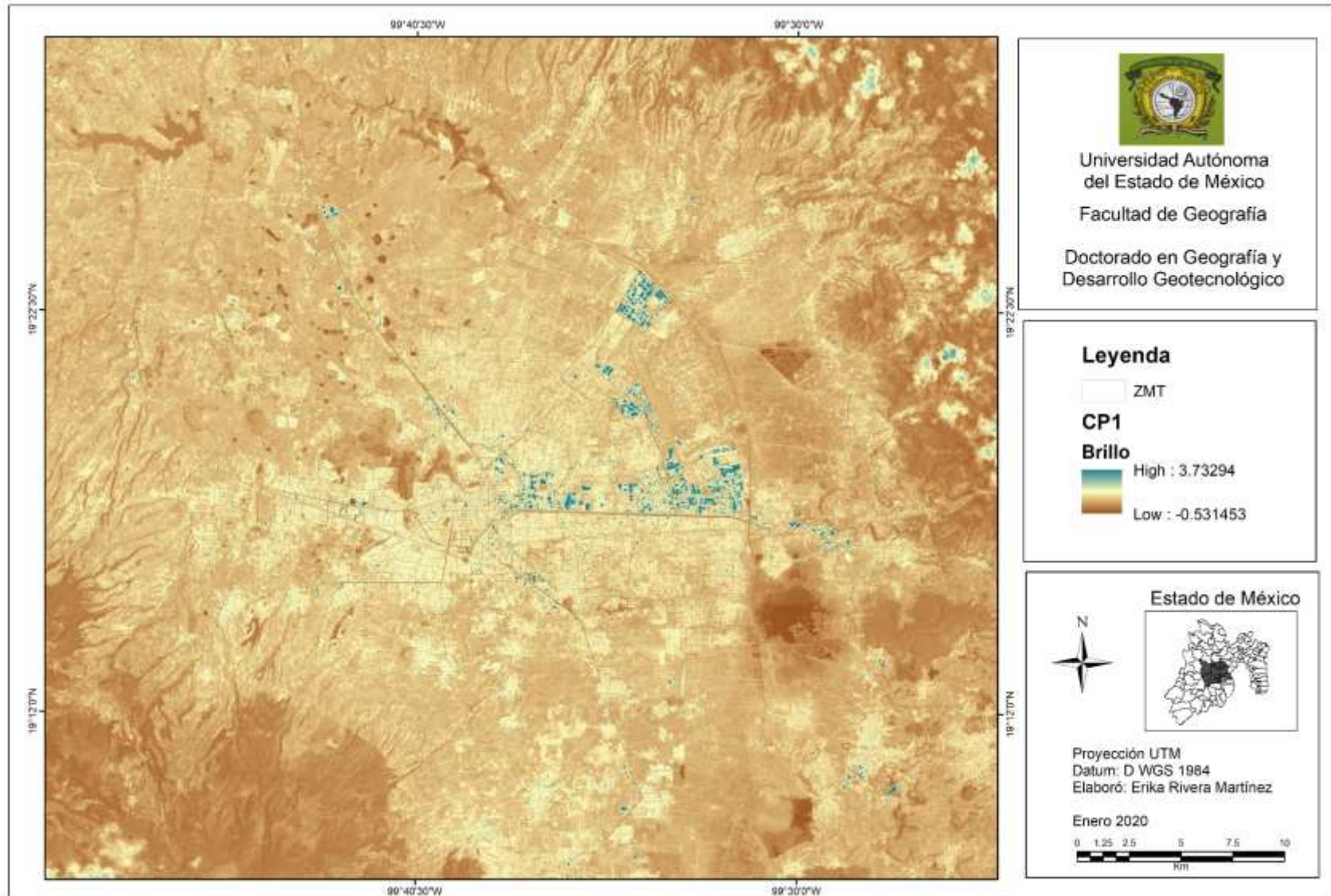
Tollocan. De estos, 118 agebs presentan condiciones adversas bajas, abarcando un total de 58.81 km², Los agebs que presentan condiciones en extremo adversas (muy bajas) son 29, los cuales ocupan un área de 6.18 km². En conjunto, las zonas territoriales adversas se encuentran distribuidas en 147 agebs abarcando 64.99 km² del total de la superficie de la Zona Metropolitana de Toluca.

El territorio posee una estrecha relación con la población debido a que este provee o limita el soporte vital para sustentar las actividades de la sociedad con condiciones que salvaguarden la integridad y desarrollo físico de las personas.

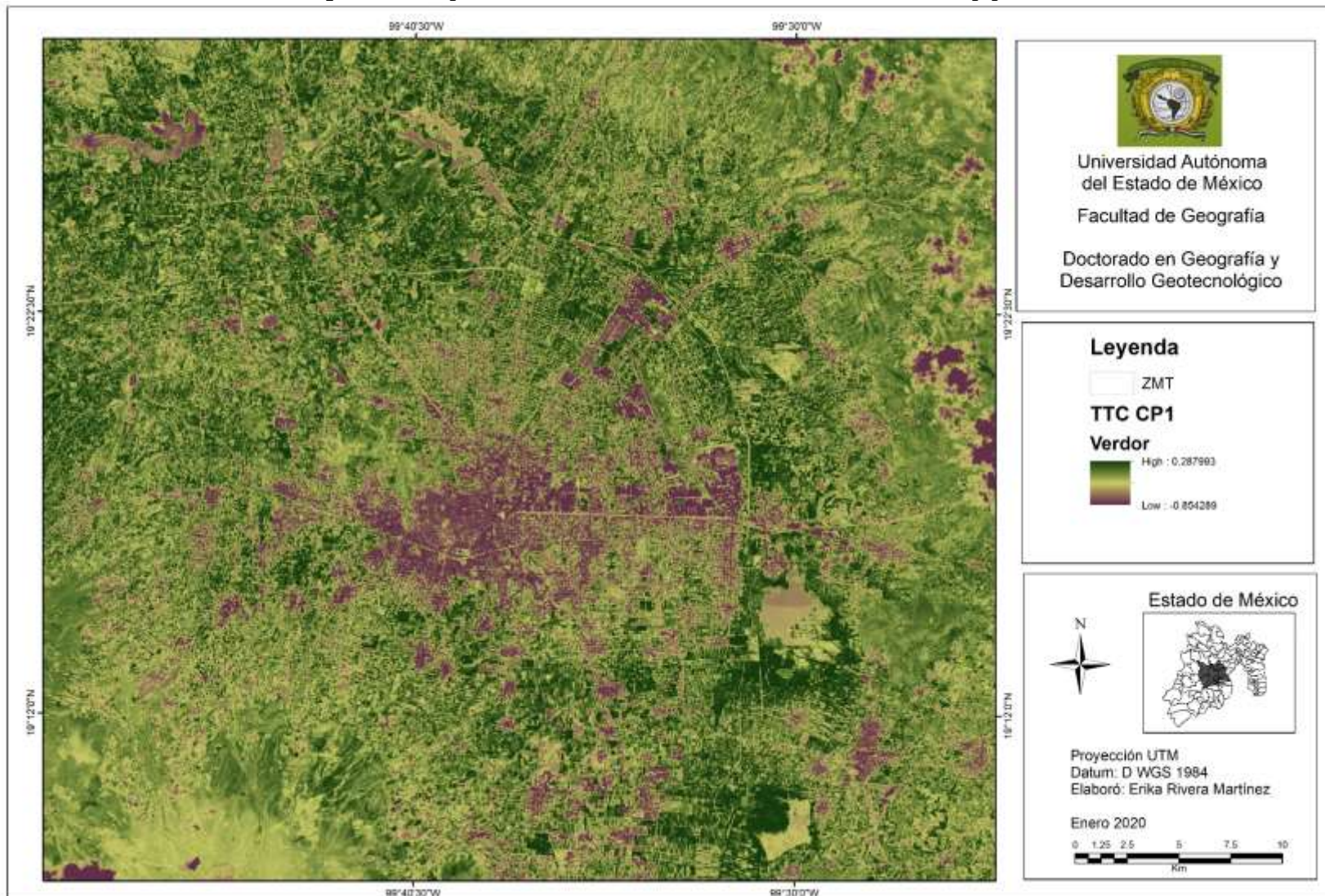
Mapa 33. Distancia a cuerpos de agua en la ZMT



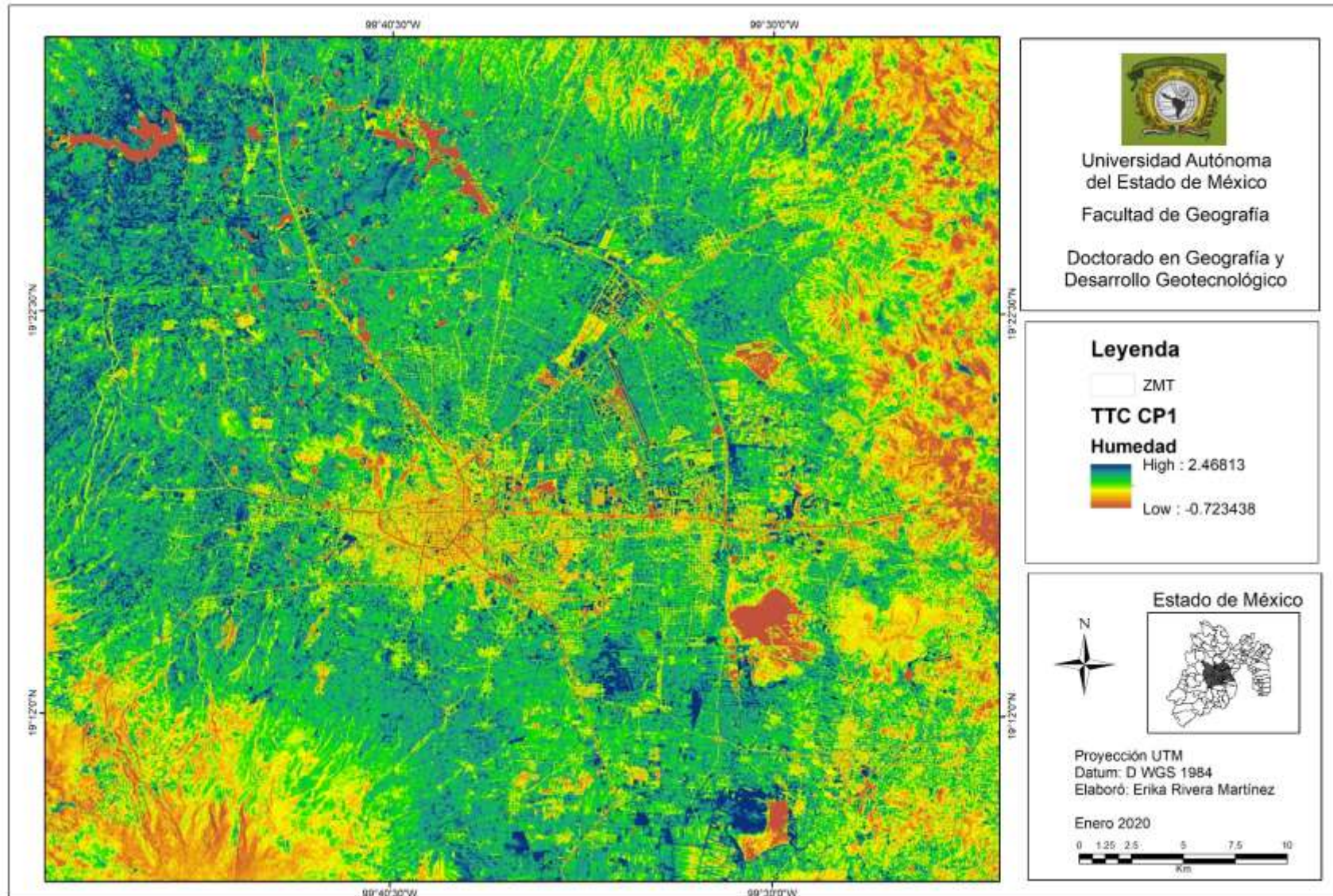
Mapa 34. Componente brillo en la Transformación Tasseled Cap para la ZMT



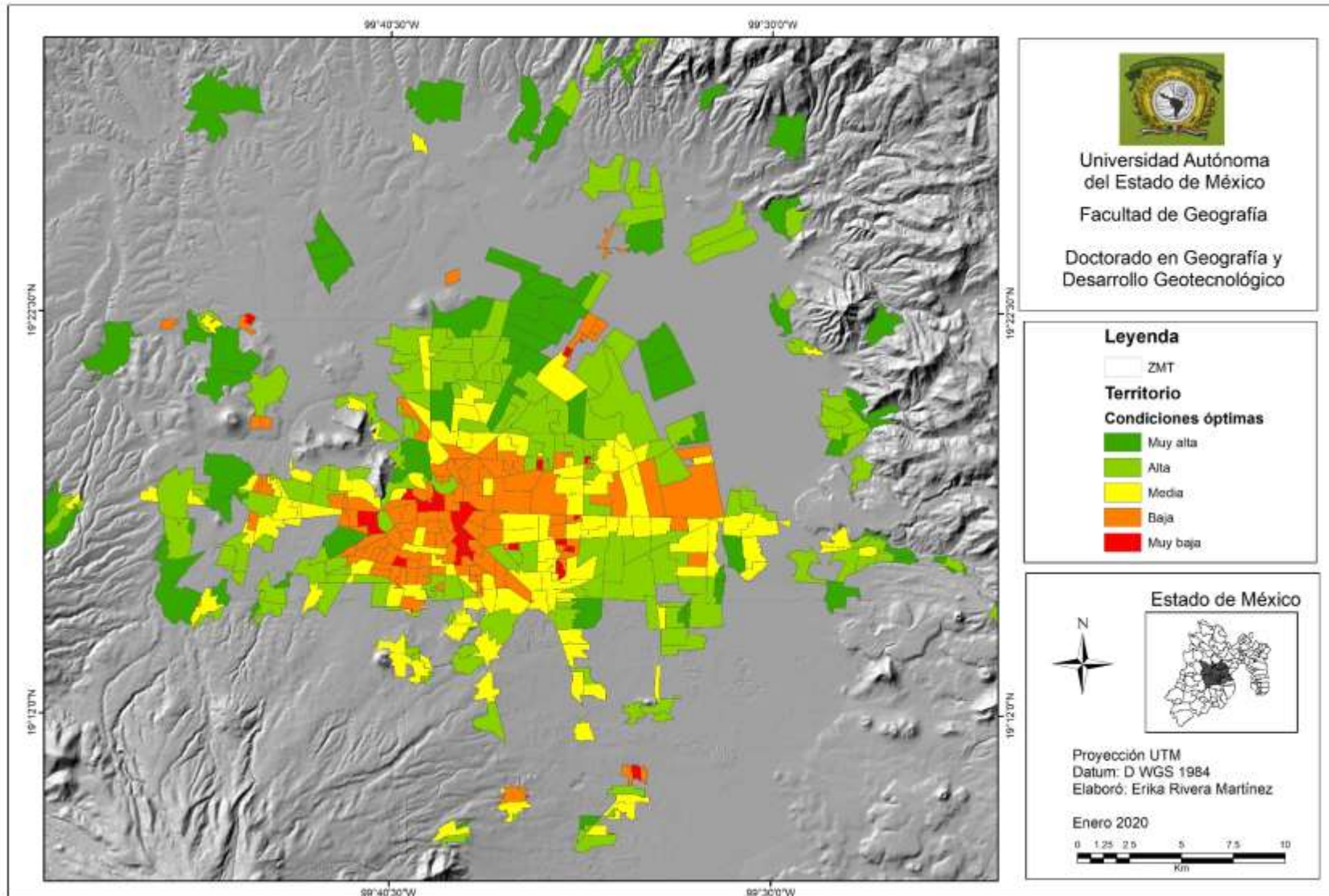
Mapa 35. Componente verdor en la Transformación Tasseled Cap para la ZMT



Mapa 36. Componente humedad en la Transformación Tasseled Cap para la ZMT



Mapa 37. Zonas Territoriales Adversas en la ZMT



Dimensión socioeconómica: Indicador de condiciones socioeconómicas adversas

Uno de los factores que más se encuentran presentes en los casos de injusticia ambiental (incluida la climática) corresponde a las condiciones socioeconómicas de la población. Conocer el estado que guarda la población que habita la Zona Metropolitana de Toluca, permitió identificar los sectores vulnerables en materia económica y social.

Un sector de población es vulnerable ante el clima, cuando no cuenta con la capacidad para hacer frente a las perturbaciones que este puede provocar en el territorio (Kasperson, R. E., y Kasperson, J. X. 2001). Esto representa una baja probabilidad de adaptación a dichas perturbaciones, entendida como baja resiliencia, lo que se traduce en impactos negativos en la salud y la economía de la población principalmente.

Grupos vulnerables

Las variables analizadas se basaron en la tabla, que contiene los sectores que pueden ser vulnerables a los impactos negativos del clima urbano. En primera instancia se encuentran los grupos de población que por edad son más susceptibles a ser afectados por estrés térmico o contaminación, que son las principales consecuencias del aumento de la temperatura en la ciudad. El análisis incluye a adultos mayores y niños; las condiciones en la zona de estudio se describen en el mapa 38.

Los mayores porcentajes de grupos vulnerables al clima urbano van de 33 hasta 53% de su población total y se concentran en 241 agebs de la metrópoli. Se distribuyen en las zonas periféricas sobretudo en la zona norte y este de la ciudad. El centro y sur de la ciudad presentan porcentajes por debajo del 30% del total de la población que la habita.

Condiciones socioeconómicas

La literatura que ha analizado la distribución del clima urbano respecto a los sectores de población, hace referencia a los niveles socioeconómicos existentes. Para el presente trabajo se generó un subíndice de condiciones socioeconómicas que incluyó variables económicas, de educación y de servicio en la vivienda, pretendiendo integrar la acumulación de capital económico y humano.

La variable de dependencia económica es una tasa que hace referencia al número de personas que dependen económicamente por cada persona ocupada, incluyéndose a sí mismo. Técnicamente expresa la relación entre la cantidad de la población inactiva respecto a la población económicamente activa. El mapa 39, muestra que el índice es más alto tiene una relación directamente proporcional con la variable anterior (grupos vulnerables), es decir, hay una distribución espacial de los agebs que cuentan con más adultos mayores y niños, con altos índices de dependencia económica.

De los 530 agebs analizados, 108 presentan la condición de que por cada persona activa económicamente, dependen de ella de 3 a 4 personas. Estos agebs se localizan en las periferias de la ciudad, sobretodo en la zona norte. Por el contrario, los agebs con valores bajos de dependencia económica se distribuyen al interior de la metrópoli abarcando la zona centro de Toluca, el corredor comercial de Metepec y el corredor industrial Toluca-Lerma.

La educación representa una ventana de oportunidad para acceder a mejores condiciones de vida y con ello tener una resiliencia más alta para los cambios que se puedan producir en la ciudad como consecuencia de la presencia del clima urbano; por ello es importante conocer el comportamiento del índice de educación post-básica, el cual se muestra en el mapa 40.

Los valores más altos alcanzan el rango de 73% a 93% de población mayor de 18 años que tiene educación post básica y se concentra en los agebs aledaños al

centro de la ciudad en el municipio de Toluca y en la zona sur, abarcando los agebs del municipio de Metepec. En total son 66 agebs que concentran los altos valores de población que cuenta con educación post básica. Por el contrario, los agebs que presentan los valores más bajos oscilan los rangos de 0 a 21% de población que cuenta con esa característica, son un total de 92 y se concentran en su mayoría en la zona norte de la metrópoli. El resto de los agebs se encuentran en rangos de 20 a 70% de población que cuenta con educación post básica.

La variable educativa que complementa el panorama anteriormente descrito es el nivel de escolaridad, el cual hace referencia al grado promedio de escolaridad que posee una población. A nivel nacional, para el año 2015, el grado promedio de escolaridad era de 8.6, lo que equivalía a un poco más del segundo año de secundaria y para el Estado de México oscilaba en 9.5, siendo de los índices más altos a nivel nacional (INEGI, 2010). La situación de esta variable respecto a la Zona Metropolitana de Toluca se visualiza en el mapa 41.

Se muestra que la metrópoli posee valores altos respecto al promedio nacional y estatal, pues los agebs con los índices más bajos indican que la población tienen un grado promedio de escolaridad de hasta 9.76 años, es decir que alcanzan el primer año de educación media superior. Estos agebs se contabilizan en 300 y conforman prácticamente un cinturón alrededor de la zona centro-sur de la metrópoli. El resto de los agebs se agrupan, como ya se mencionó, en el centro sur, abarcando los municipios de Toluca y Metepec y alcanzan 15.01 años como grado promedio de escolaridad, es decir, hasta nivel superior.

La última característica para inferir las condiciones socioeconómicas de la población, refiere a los bienes y servicios con los que cuenta la vivienda (mapas 42-44). Estas variables permiten determinar situaciones de pobreza de acuerdo con CONEVAL (s/f), debido a que, de acuerdo con los criterios propuestos por la CONAVI, la población que reside en viviendas que no cuentan con alguno de los

servicios de agua, drenaje o energía eléctrica es considerada como población en situación de carencia.

La condición de las viviendas con acceso al servicio de agua en la ZMT es favorable, debido a que más del 80% del total de los agebs poseen más de 70% del total de sus viviendas con el servicio de agua. Los agebs que presentan porcentajes por debajo del 50% de viviendas totales con dicho servicio se localizan en las zonas periurbanas del municipio de Toluca y son un total de 94 agebs.

Respecto al servicio de drenaje, 476 agebs, que representan casi el 90% del total existente cuentan con más del 80% de viviendas con este servicio cubierto. Solo 17 agebs poseen valores menores a 60% de viviendas totales con drenaje. Las viviendas con servicio de energía eléctrica en la ZMT superan el 90% del total existentes en el territorio.

Los bienes en la vivienda representan la capacidad de poder adquisitivo de la población. La caracterización de la Zona Metropolitana de Toluca respecto a dichos bienes se muestra en los 45, 46, 47 y 48. El primer bien descrito es la vivienda que cuenta con refrigerador; 26 agebs poseen porcentaje bajo de viviendas que cuentan con este bien, pues su índice está por debajo del 28% y se localizan en los agebs periféricos a la ciudad. Los agebs con porcentajes superiores al 70% de viviendas que cuentan con refrigerador, son 308 y se ubican en mayor proporción en la zona centro-sur de la metrópoli. La situación de la vivienda con lavadora tiene un patrón muy parecido al de las viviendas con refrigerador.

El servicio de internet en la vivienda si muestra una diferencia en el territorio, 95 del total de los agebs existentes presentan la condición de tener por arriba del 40% del total de sus viviendas con dicho servicio, y se localizan nuevamente en la zona centro y sur de la metrópoli, abarcando los municipios de Toluca y Metepec. Los agebs que tienen menos del 25% de sus viviendas con internet se contabilizan en 317 y se localizan en la zona del centro hacia el norte de la ZMT.

Por último, las viviendas que cuentan con auto, se distribuyen dentro de los agebs de la siguiente forma: Los mayores porcentajes de viviendas que cuentan con auto (más del 60%), se distribuyen en 123 agebs, los cuales se ubican, de acuerdo al mismo patrón de distribución que los demás bienes, al centro y sur de la ciudad. Los menores porcentajes de vivienda oscilan entre 0 a 44% y se localizan en 240 agebs, que se ubican en las zonas periféricas de la ciudad, sobre todo al norte de la metrópoli.

Población con seguridad social

El que una población tenga derecho a la seguridad social, garantiza que tenga asegurada la atención para gozar de un grado máximo de salud, lo que conlleva a un mayor bienestar. La situación que guarda la población con derecho a la seguridad social se muestra en el mapa 49, en él se visualiza que los mayores porcentajes de población que accede a un tipo de servicio de salud pública se ubican por arriba del 66% y se localizan en 257 agebs, los cuales se concentran en su mayoría en la franja centro-sur de la zona de estudio. Los agebs que contienen menos del 50% de su población sin acceso a seguridad social son 103 y se localizan en mayor proporción en la zona norte de la metrópoli.

Indicador socioeconómico

Para generar el indicador territorial con base en la caracterización de las variables relacionadas a edad, educación, vivienda y seguridad social, se estandarizaron los valores que cada variable aportó a cada uno de los agebs que componen la Zona Metropolitana de Toluca. Del total de agebs analizados, se eliminaron ocho por tener información incompleta.

Las variables grupos vulnerables y dependencia económica, se consideraron indicadores de presión. Entre más alto es su porcentaje, menos oportunidad de poseer más patrimonio y favorece una menor cantidad de capital humano, por ello

se le cambió el sentido a la variable, para privilegiar los agebs donde existen valores menores (tabla 37).

Tabla 37. Descripción del comportamiento de variables territoriales respecto a sus valores

Indicador	Valor	Estado que posibilita
Grupos vulnerables	>	Condiciones adversas
Dependencia económica	>	Condiciones adversas
Población con educación post-básica	>	Condiciones óptimas
Nivel de escolaridad	>	Condiciones óptimas
Condiciones socioeconómicas	>	Condiciones óptimas
Acceso a seguridad social	>	Condiciones óptimas

Fuente: Elaboración propia

A partir de los valores calculados, se generó el índice utilizando como método de reducción de dimensiones el análisis de componentes principales (ACP), el cual, de acuerdo a los resultados descritos en la tabla 38, indica que el componente 1 explica el 63.64% de la varianza total, por lo cual es idóneo para representar el comportamiento del indicador socioeconómico.

Tabla 38. Estadísticas en el ACP para el indicador socioeconómico

Componente	Varianza total explicada					
	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	7.637	63.642	63.642	7.637	63.642	63.642
2	.980	8.163	71.805			
3	.864	7.197	79.002			
4	.753	6.274	85.276			
5	.535	4.457	89.732			

6	.483	4.025	93.757		
7	.269	2.245	96.002		
8	.204	1.702	97.704		
9	.104	.869	98.574		
10	.087	.729	99.303		
11	.072	.603	99.905		
12	.011	.095	100.000		

Método de extracción: análisis de componentes principales.

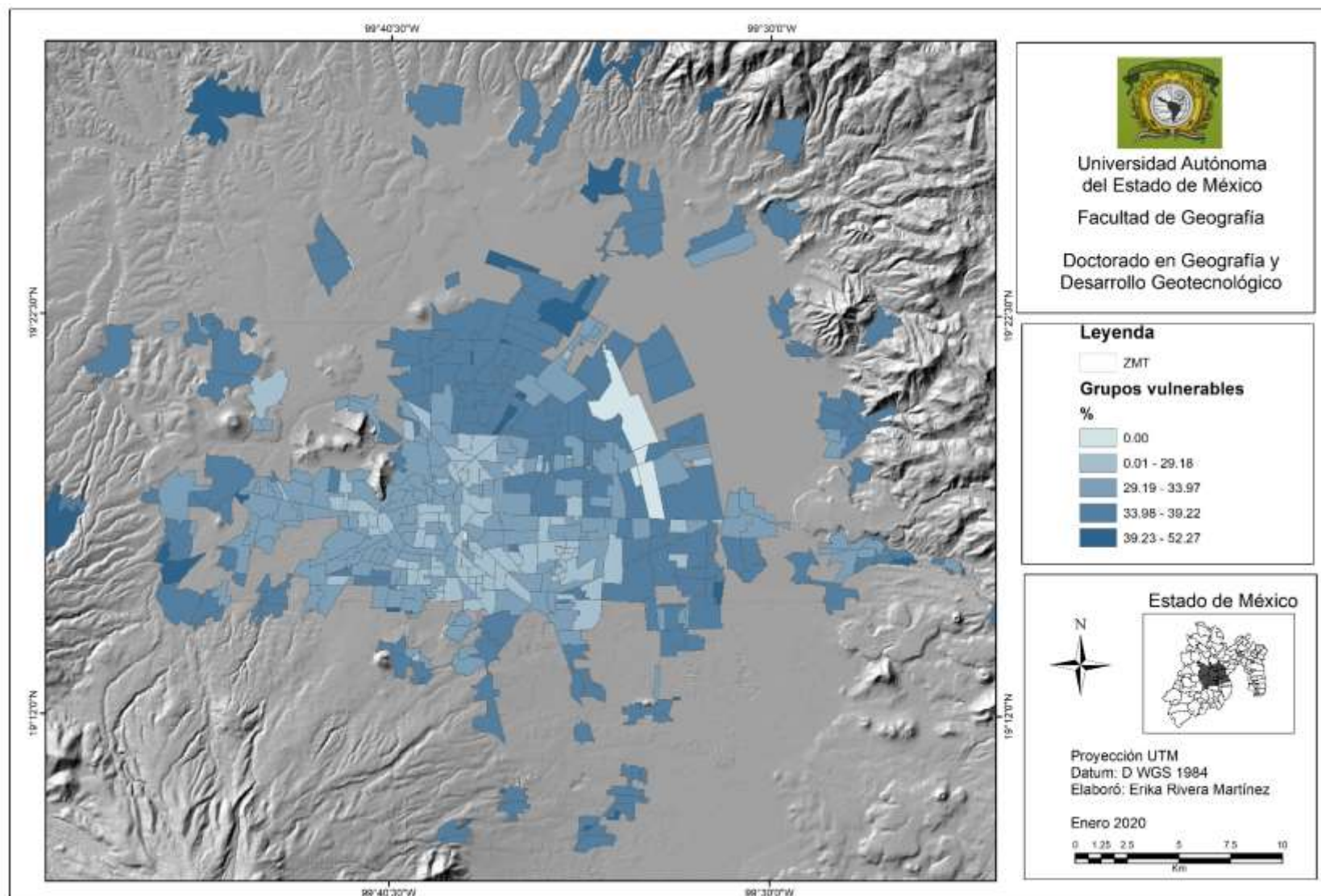
Con base en los valores determinados por el análisis de componentes principales, se construyó el mapa 50, el cual describe las zonas óptimas y adversas respecto a las condiciones socioeconómicas de la población. Dichos valores se categorizaron en: muy alta, alta, media, baja y muy baja, refiriendo a las condiciones óptimas-adversas.

Las zonas con condiciones socioeconómicas óptimas aumentan la capacidad de la población a ser resilientes a los efectos adversos que puede provocar el clima urbano. Del total de los agebs que conforman la ZMT, el 43% de ellos, integra población que cuenta con buenas condiciones socioeconómicas. De ese 43%, que se traduce en 229 agebs, 66 poseen un índice socioeconómico con condiciones óptimas muy altas. Son agebs que se ubican a partir de la Avenida Tollocan hacia el sur de la metrópoli. Los 163 agebs restantes poseen condiciones óptimas altas y se distribuyen en las zonas aledañas del centro y a través del corredor industrial Toluca-Lerma, así como al sur en el municipio de Metepec.

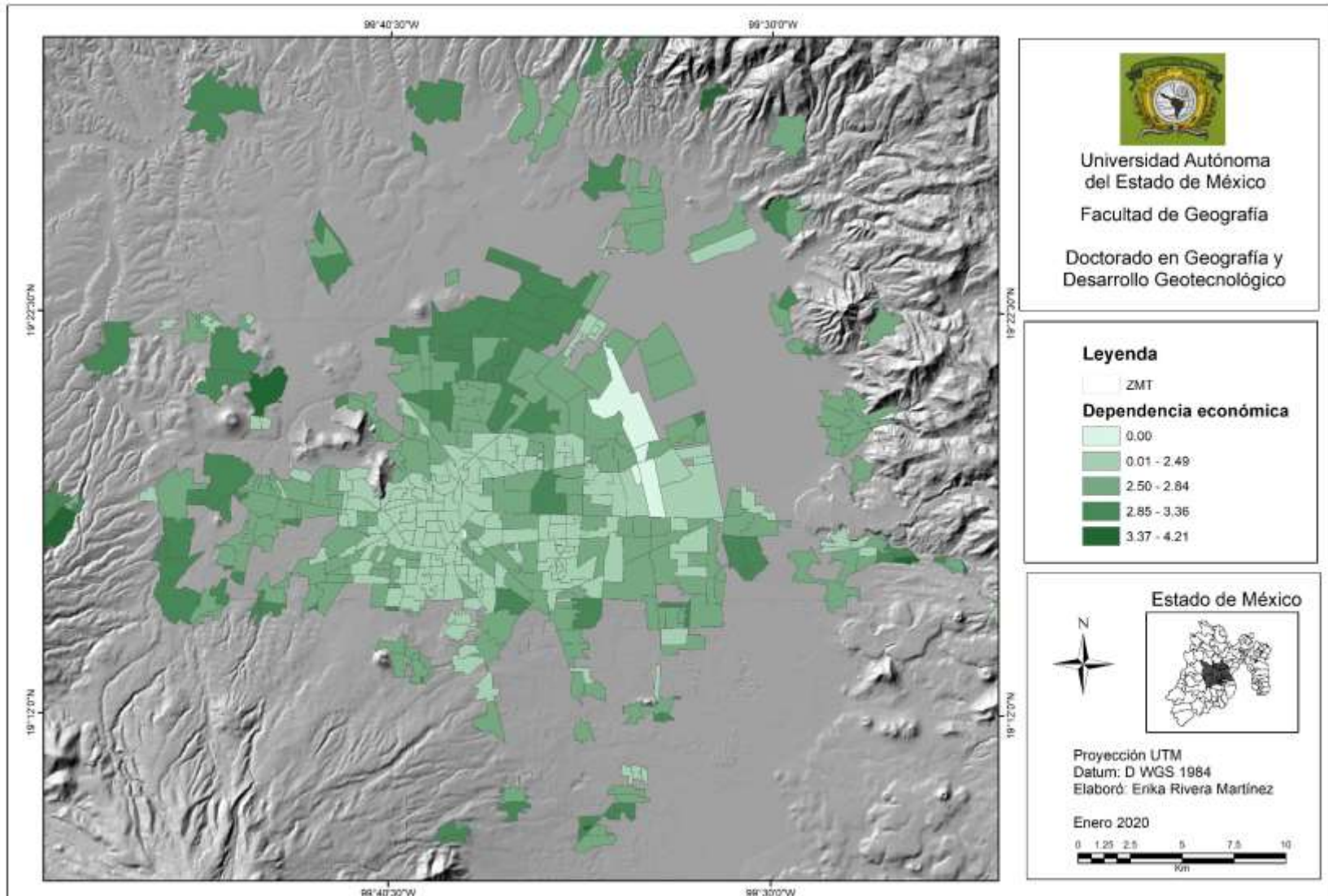
Las zonas socioeconómicas adversas, que condicionarán a la población a resentir más los efectos adversos del clima urbano, se distribuyen en 149 agebs, lo que representa el 28% del total. De ellos, 60, son los que poseen las peores condiciones en materia social y económica pues presentan la clasificación de “muy mala”. Los 89 restantes poseen la clase “baja” y también se localizan en la zona norte del área de estudio. Estos agebs, se deben considerar prioritarios en implementación de políticas públicas, con la finalidad de mejorar las condiciones de vida.

Condiciones favorables de vivienda, educación y servicio de salud permiten a la población tener pilares fortalecidos para alcanzar la justicia en materia climática, debido a que le posibilitan hacer frente a los impactos negativos a los que la sociedad pudiera enfrentarse debido a la existencia de un clima urbano adverso.

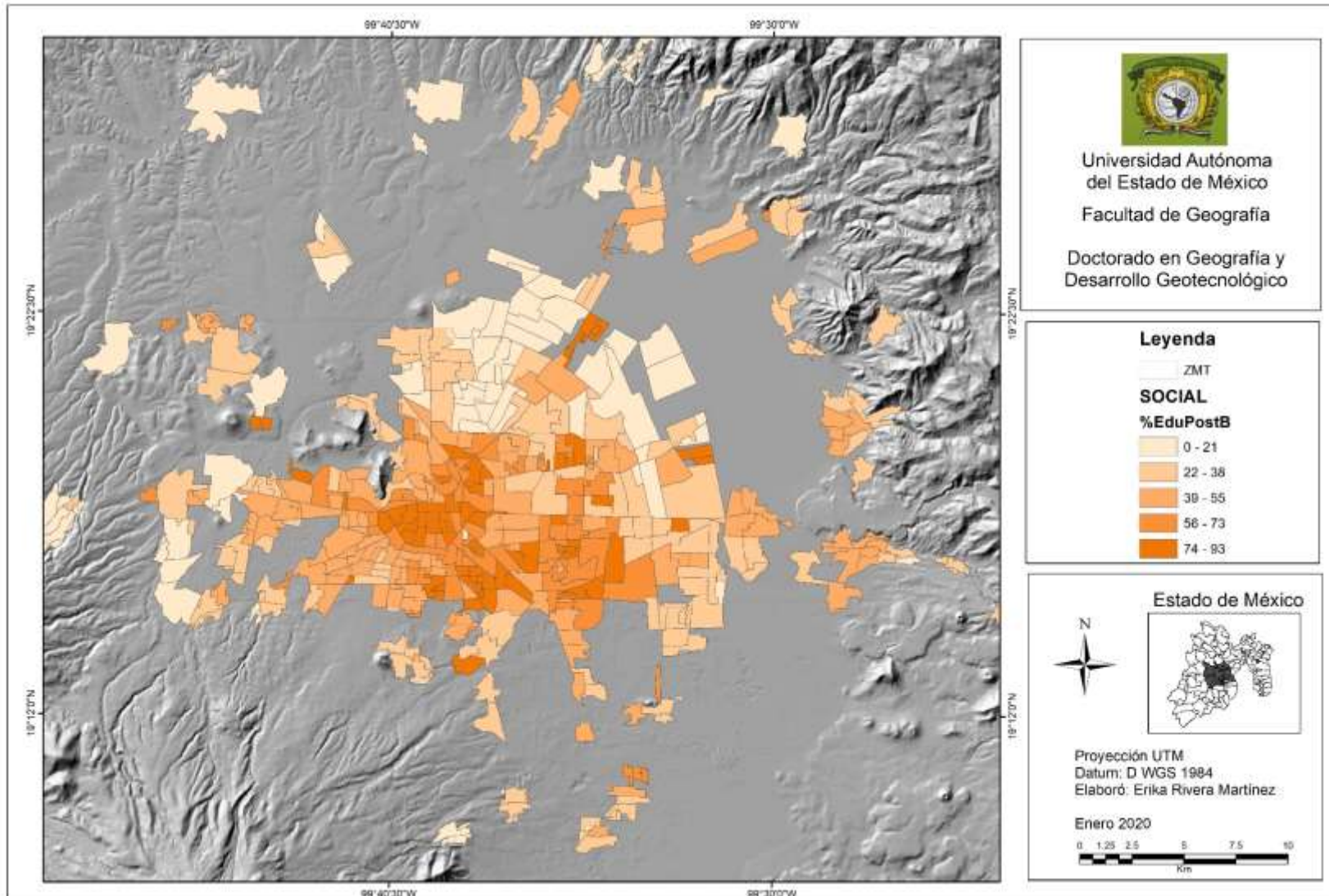
Mapa 38. Índice de grupos vulnerables por ageb en la ZMT



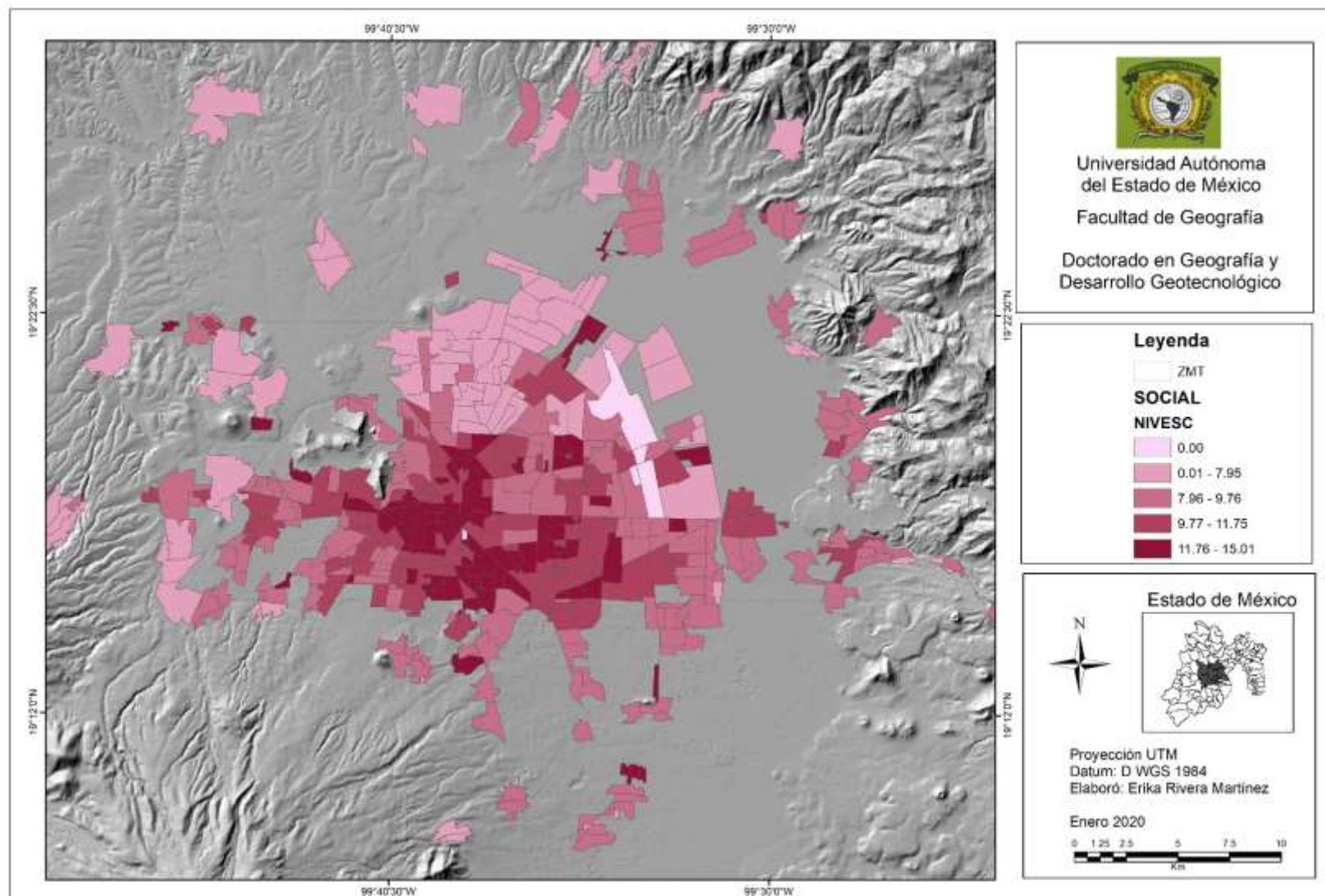
Mapa 39. Índice de dependencia económica por ageb en la ZMT



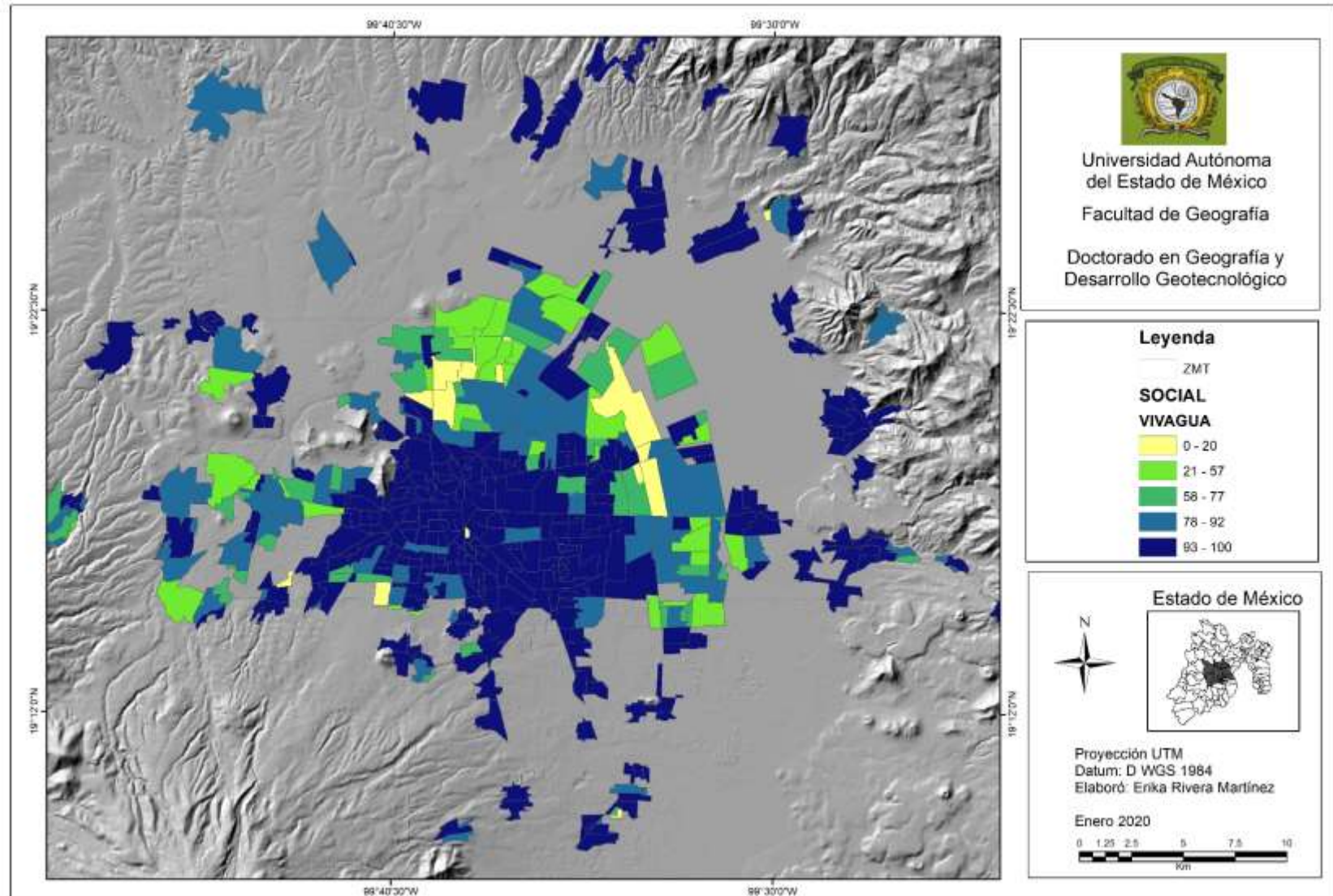
Mapa 40. Índice de población con educación post-básica por ageb en la ZMT



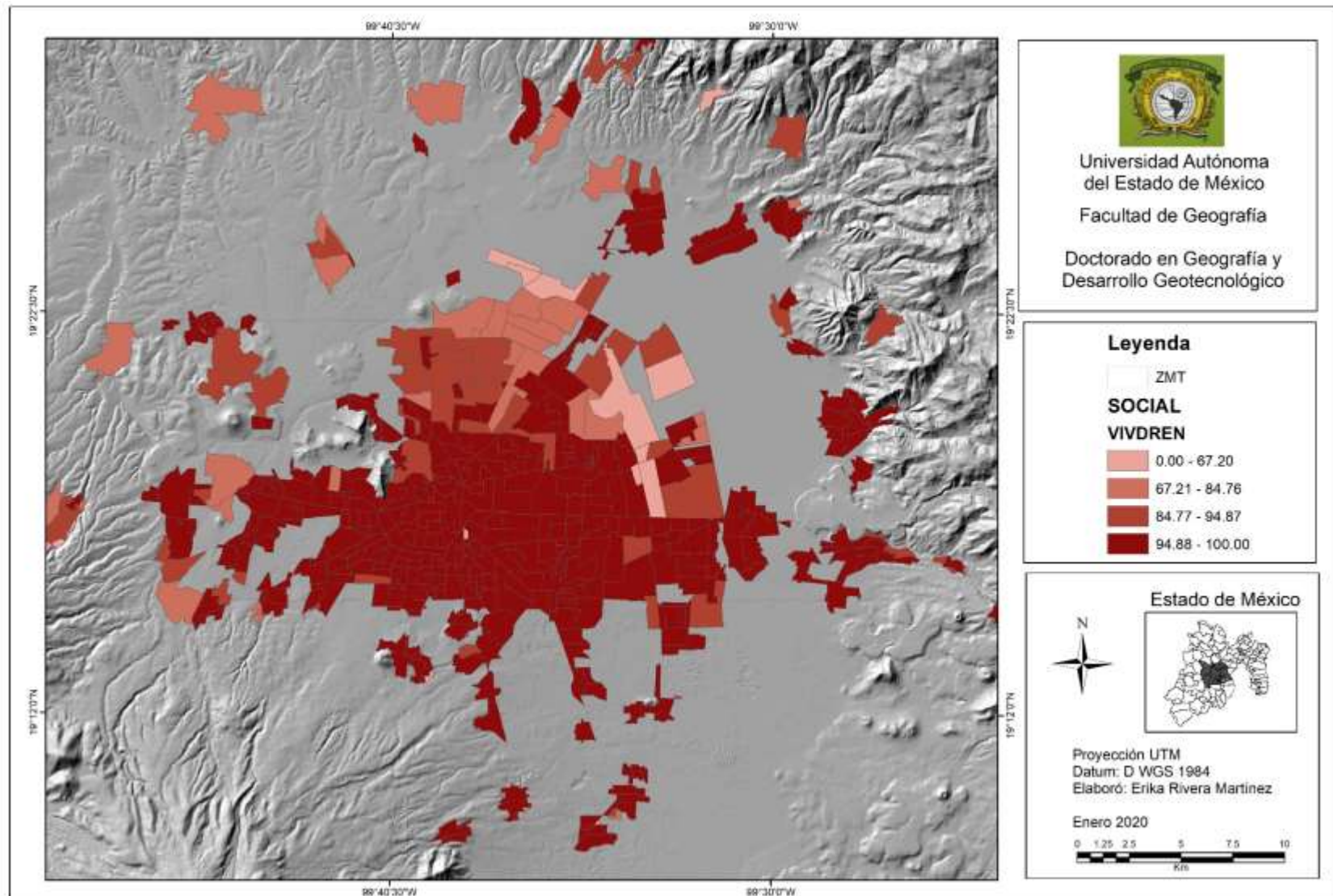
Mapa 41. Índice de nivel de escolaridad por ageb en la ZMT



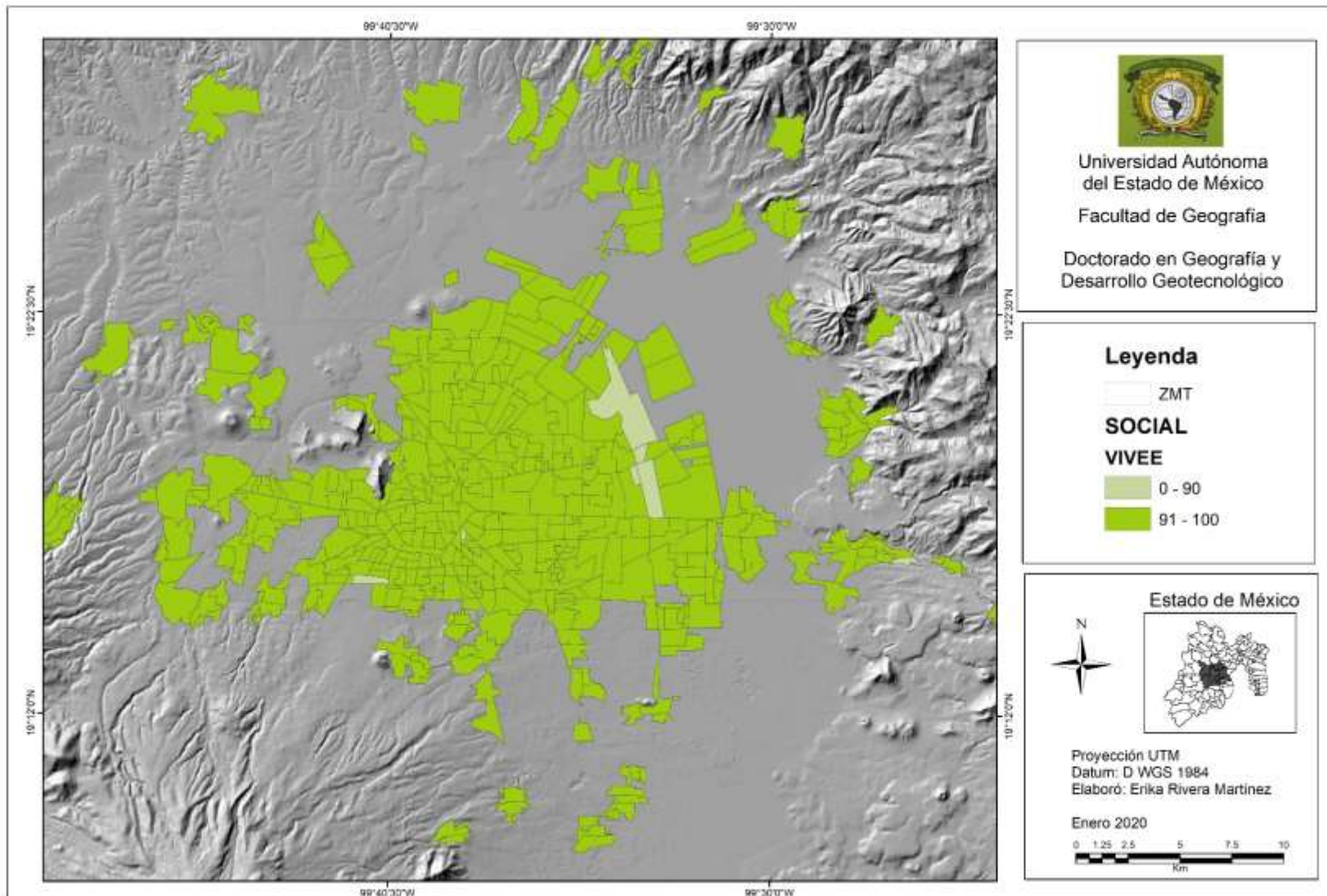
Mapa 42. Índice de viviendas con agua por ageb en la ZMT



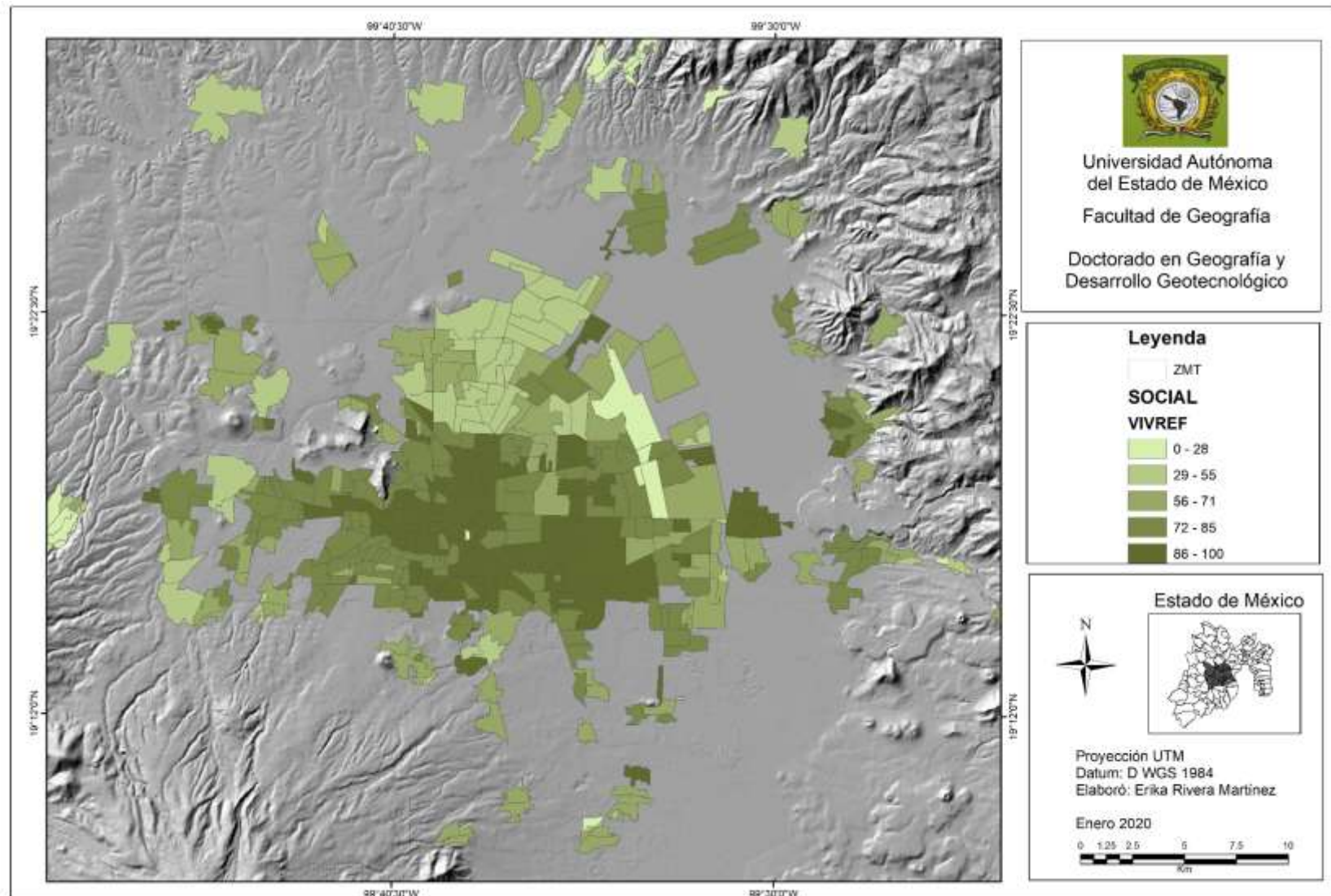
Mapa 43. Índice de viviendas con drenaje por ageb en la ZMT



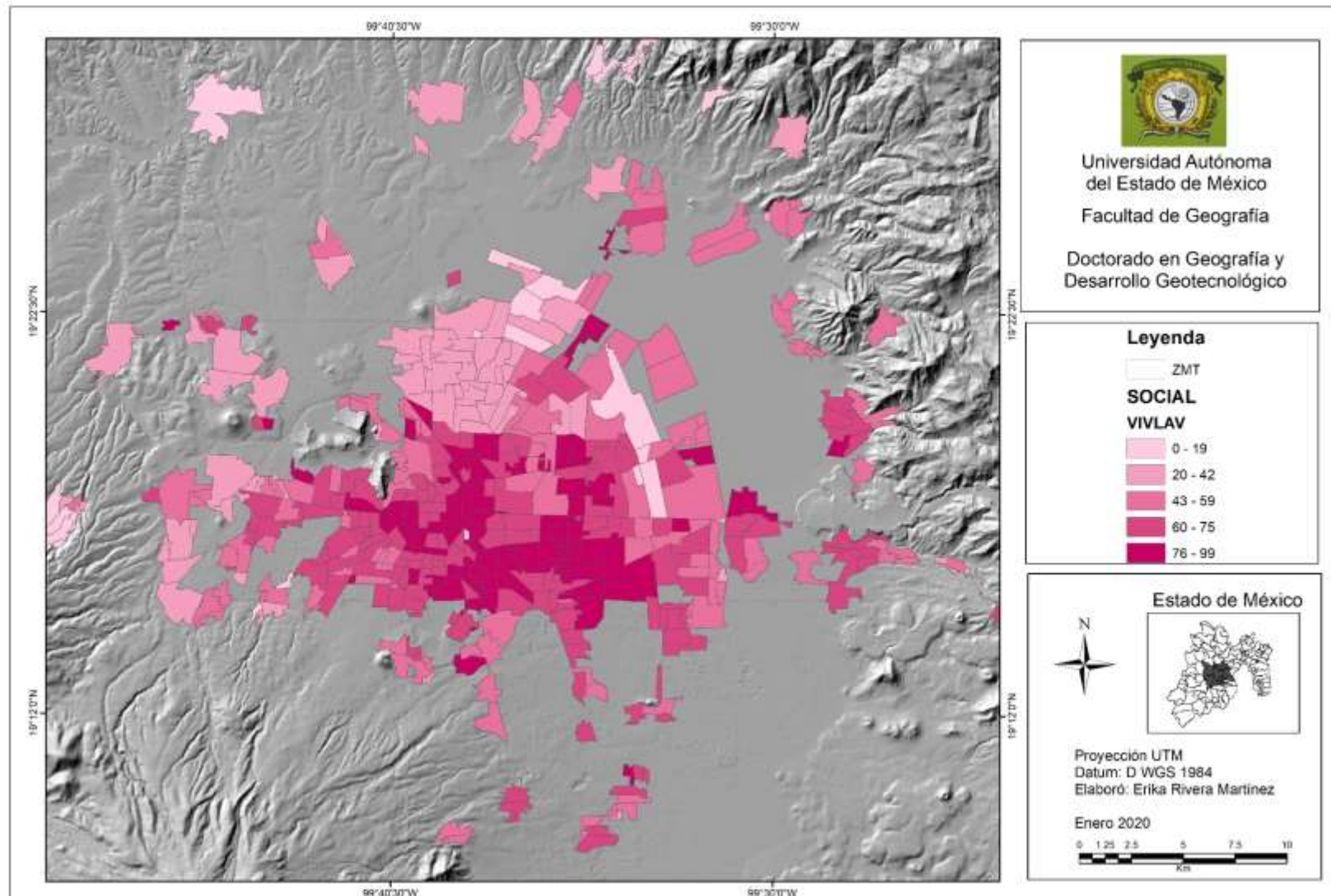
Mapa 44. Índice de viviendas con energía eléctrica por ageb en la ZMT



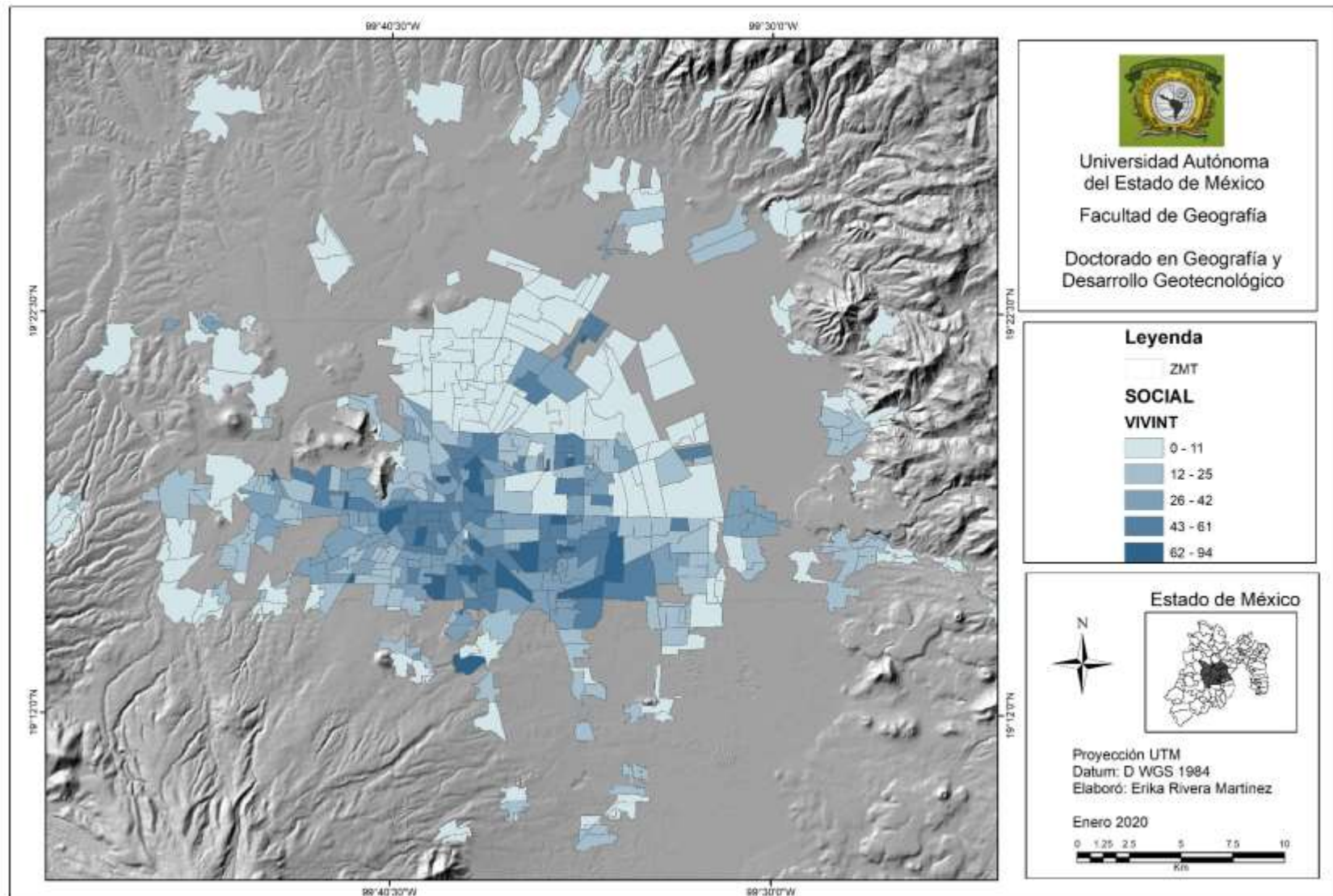
Mapa 45. Índice de viviendas con refrigerador por ageb en la ZMT



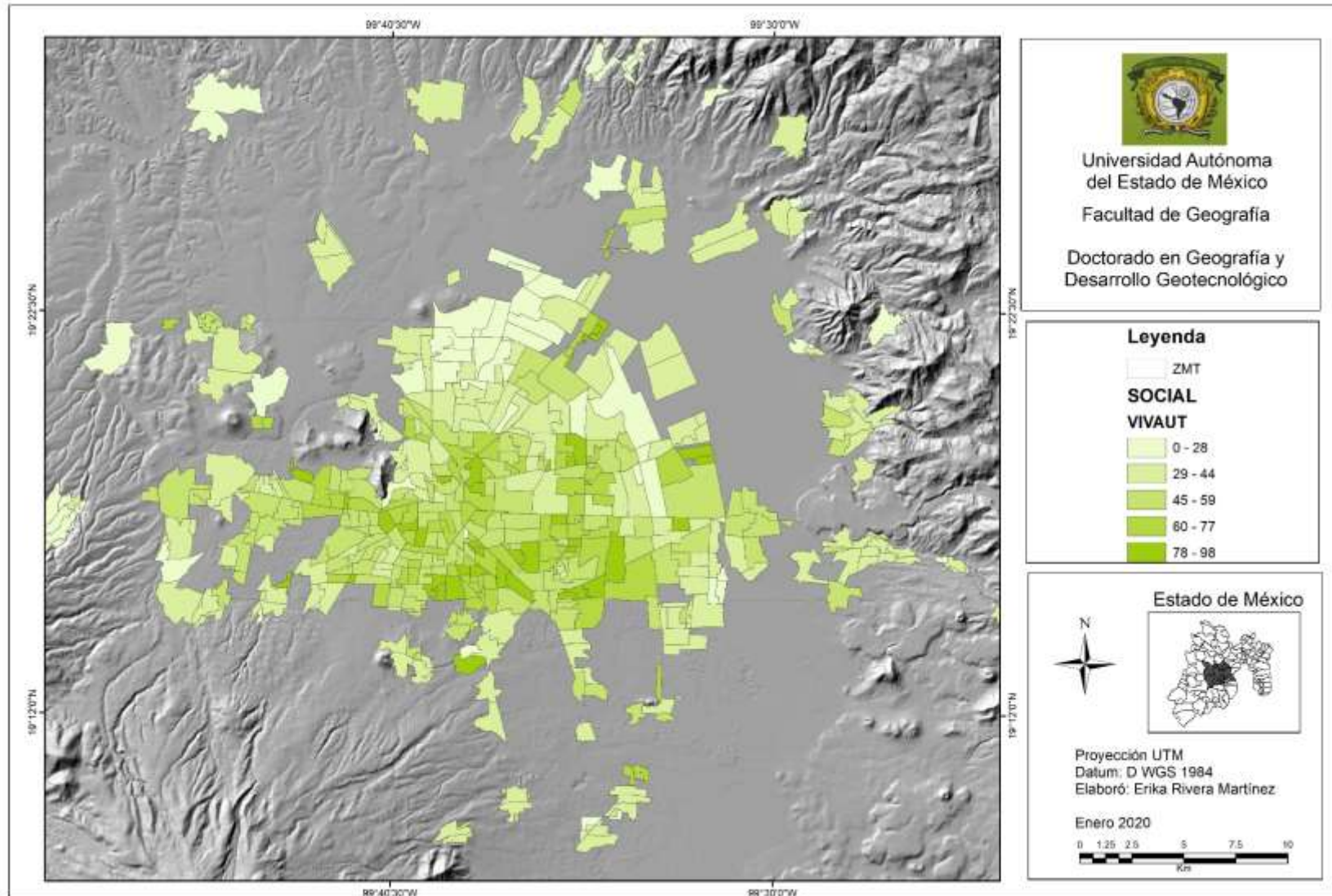
Mapa 46. Índice de viviendas con lavadora por ageb en la ZMT



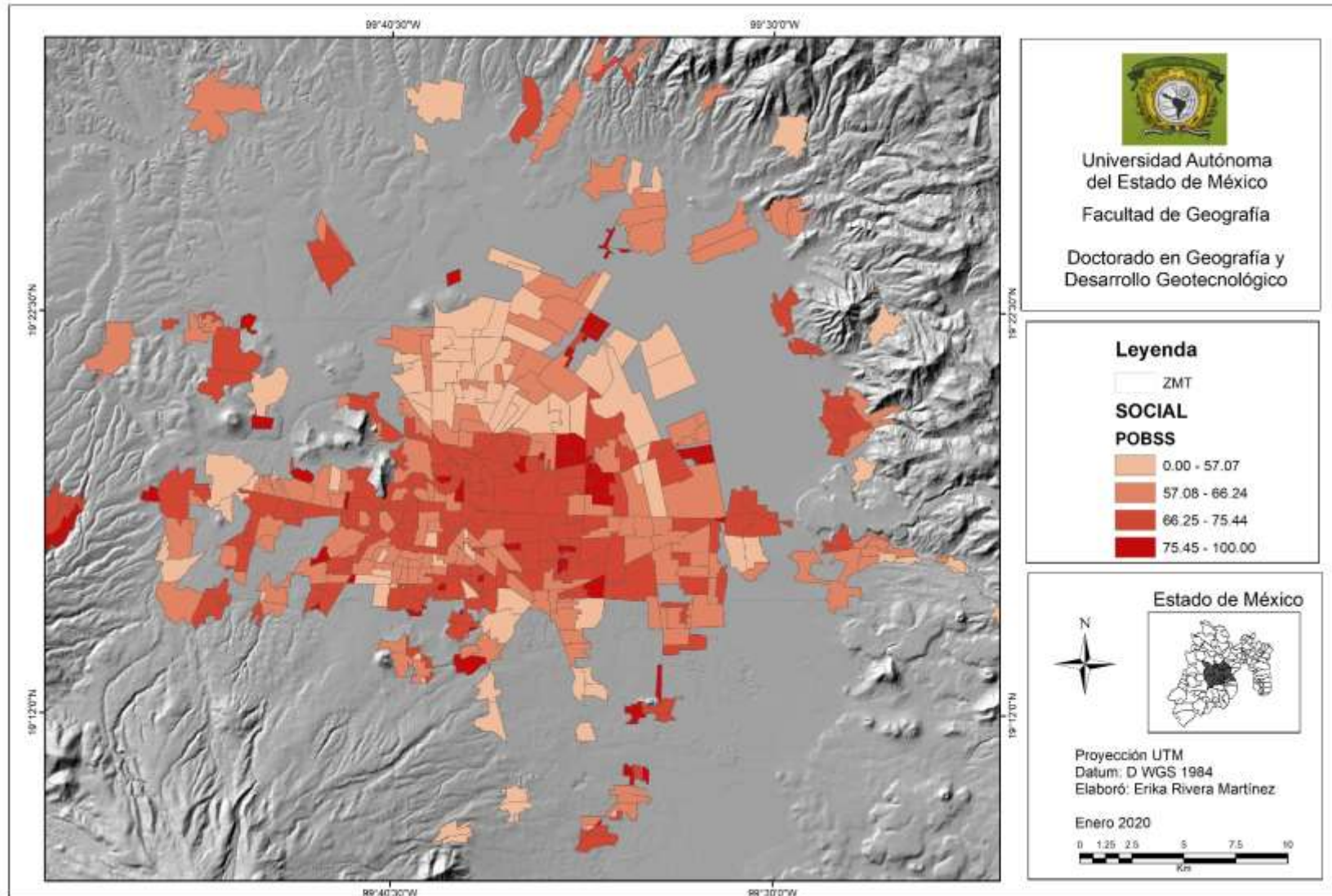
Mapa 47. Índice de viviendas con internet por ageb en la ZMT



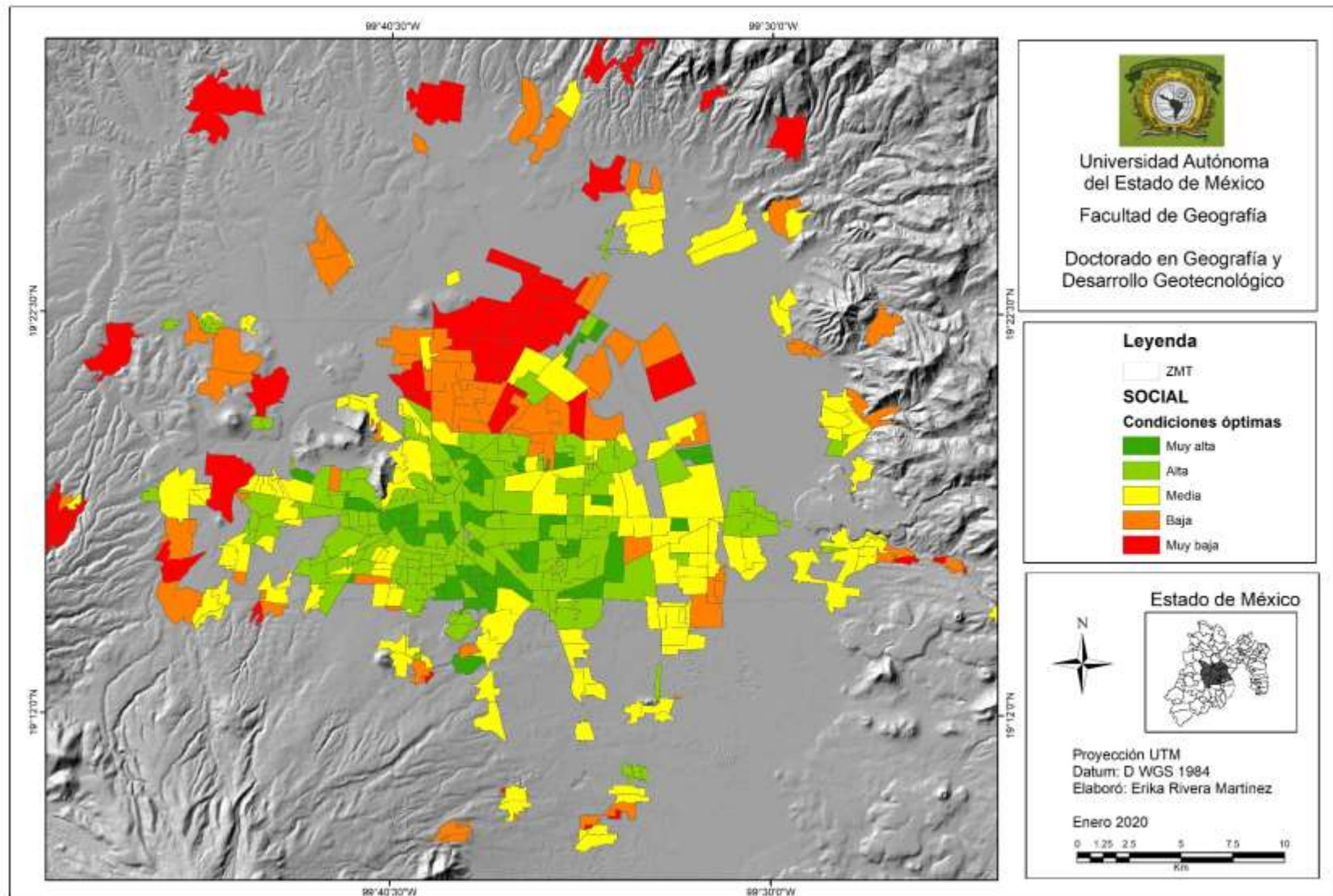
Mapa 48. Índice de viviendas con automóvil por ageb en la ZMT



Mapa 49. Índice de población con acceso servicios de salud por ageb en la ZMT



Mapa 50. Zonas socioeconómicas adversas en la ZMT



4. Inequidad horizontal y vertical (ZCTA y ZSCA)

“En muchos conflictos ambientales los pobres se alinean junto a la preservación de los recursos naturales no por convicción ecologista, sino con el fin de preservar su forma de vida”

Martínez Alíer

Zonas climático-territoriales adversas: inequidad horizontal

La justicia climática horizontal pretende que se prevalezcan condiciones óptimas en el territorio que le permitan a la población tener elementos que le ayuden a aminorar los impactos al clima urbano. Cuando se presenta la inequidad horizontal, se determina que existen características en el territorio que coadyuvan a que los indicadores del clima urbano se manifiesten con mayor intensidad, por lo que las consecuencias negativas en la población presentan el mismo comportamiento.

Para determinar las zonas climático-territoriales adversas (ZCTA) se generó con base en la intersección de entidades, el mapa 51, que incluye las agebs que contienen condiciones adversas de carácter climático y territorial. Son 97 agebs distribuidos en el centro de Toluca, a través de la vialidad Tollocan y la vialidad Toluca-Tenango, abarcando una extensión de 50.58 km². Estos agebs presentan la condición de que en ambos criterios poseen las condiciones más adversas existentes en el territorio.

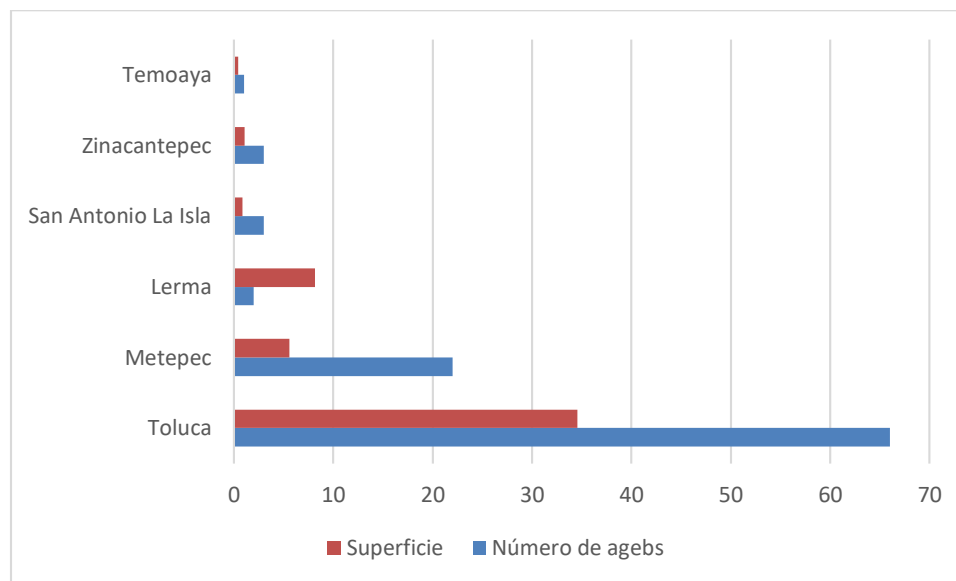
La tabla 39, contiene la información detallada de dichos agebs, la cual incluye el municipio y la localidad a la que pertenece, el número total de agebs por localidad y la superficie que abarca. La mayor parte pertenece a Toluca como localidad, con 63 agebs, los cuales cubren más de 33 km² de los 50.58 km² de superficie total. En la figura 34, se puede apreciar con mayor facilidad los municipios que poseen más agebs con esta problemática, los de mayor número de agebs son Toluca y Metepec, sin embargo, los de mayor superficie abarcada son Toluca y Lerma.

Tabla 39. Municipios con zonas climático-territoriales adversas por intersección

<i>Municipio</i>	<i>Localidad</i>	<i>Número de agebs</i>	<i>Superficie km²</i>
<i>Toluca</i>	Toluca	63	33.63
	San José Guadalupe Otzacatipan	2	0.54
	Fraccionamiento Real de San Pablo	1	0.39
<i>Metepec</i>	San Francisco Coaxusco	5	1.73
	San Salvador Tizatlalli	9	1.37
	San Jorge Pueblo Nuevo	6	1.06
	Metepec	1	0.85
	San Jerónimo Chicahualco	1	0.58
<i>Lerma</i>	Lerma de Villada	2	8.15
<i>San Antonio</i>	Ex-Rancho San Dimas	3	0.83
<i>La Isla</i>			
<i>Zinacantepec</i>	Conjunto Urbano la Loma I	2	0.60
	San Miguel Zinacantepec	1	0.45
<i>Temoaya</i>	Fraccionamiento Rinconada del Valle	1	0.41
Total		97	50.58

Fuente: Elaboración propia

Localidad	Número de agebs	Superficie	
Toluca	63	33.63	
San José Guadalupe Otzacatipan	2	0.54	
Fraccionamiento Real de San Pablo	1	0.39	
San Francisco Coaxusco	5	1.73	
San Salvador Tizatlalli	9	1.37	
San Jorge Pueblo Nuevo	6	1.06	
Metepec	1	0.85	
San Jerónimo Chicahualco	1	0.58	
Lerma de Villada	2	8.15	
Ex-Rancho San Dimas	3	0.83	
Conjunto Urbano la Loma I	2	0.60	
San Miguel Zinacantepec	1	0.45	
Fraccionamiento Rinconada del Valle	1	0.41	

Figura 34. Municipios con zonas climático-territoriales adversas por intersección

Fuente: Elaboración propia

Localidad	Número de agebs	Superficie	
Toluca	63	33.63	
San José Guadalupe Otzacatipan	2	0.54	
Fraccionamiento Real de San Pablo	1	0.39	
San Francisco Coaxusco	5	1.73	
San Salvador Tizatlalli	9	1.37	
San Jorge Pueblo Nuevo	6	1.06	
Metepec	1	0.85	
San Jer+7nimo Chicahualco	1	0.58	
Lerma de Villada	2	8.15	
Ex-Rancho San Dimas	3	0.83	
Conjunto Urbano la Loma I	2	0.60	
San Miguel Zinacantepec	1	0.45	
Fraccionamiento Rinconada del Valle	1	0.41	

Así mismo, para fortalecer el análisis se determinó generar una media por ageb entre los índices climáticos y territoriales, con la finalidad de conocer la manera en la que se comportaba la variable en el espacio y observar si guardaba relación con el procedimiento overlay. Con este procedimiento, aparecen algunos agebs que no aparecían en el procedimiento de intersección, deduciendo que, si bien no tienen

las dos variables negativas, pueden tener alguna de ellas alta y otra media, por lo que el promedio las sitúa en condición adversa.

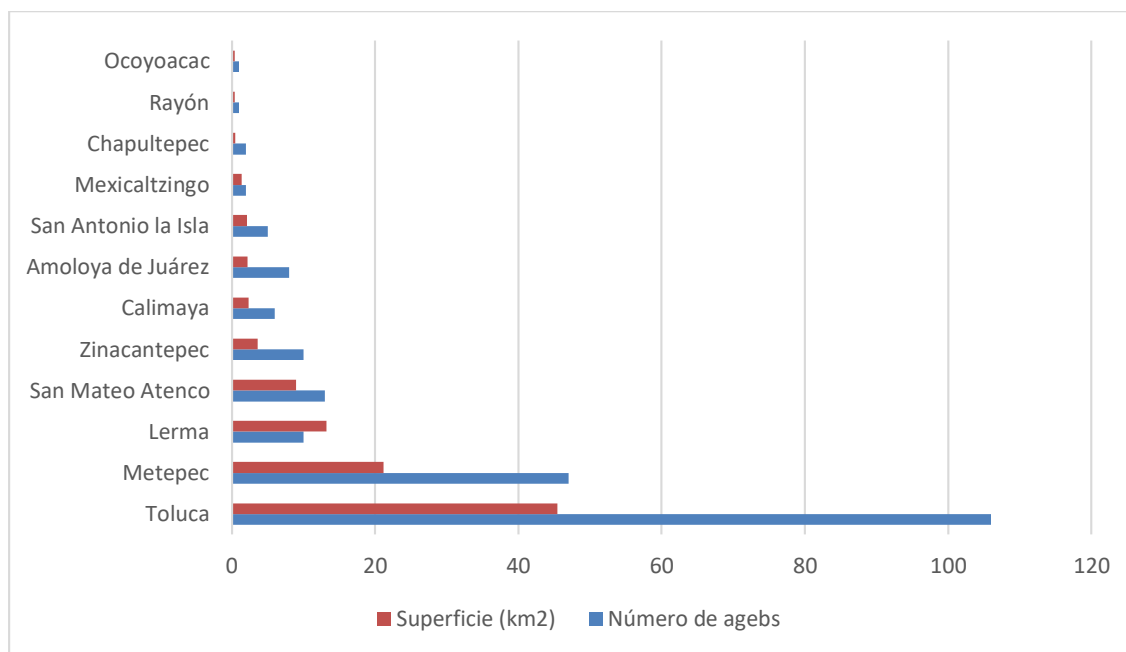
El resultado se muestra en el mapa 52, el cual concentra las condiciones adversas climático-territoriales a través del mismo patrón que con el procedimiento de superposición de mapas, sin embargo, aumenta el número de agebs que presentan ZCTA de 97 a 211. La tabla 40, contiene la información de la cantidad de agebs por municipio y la superficie total que abarcan. Los municipios que presentan agebs con esta condición aumentaron respecto a los que se identificaron por el procedimiento overlay, de 6 a 12.

En la figura 35 se aprecia de forma más fácil la aportación de agebs y superficie que presenta cada municipio a las zonas climático-territoriales adversas. Toluca ocupa el primer lugar con 106 agebs y un poco más del 44% de la superficie total, el segundo lugar lo ocupa Metepec, que paso de 22 a 47 agebs aumentando su superficie de 5 a 21 km². Los municipios que se integran son San Mateo Atenco, Calimaya, Almoloya de Juárez, Mexicaltzingo, Chapultepec, Rayón y Ocoyoacac, de estos, quien aporta más en superficie y en agebs es San Mateo Atenco.

Tabla 40. Municipios con zonas climático-territoriales adversas por promedio

<i>Municipio</i>	<i>Número de agebs</i>	<i>Superficie (km²)</i>
<i>Toluca</i>	106	45.43
<i>Metepec</i>	47	21.15
<i>Lerma</i>	10	13.24
<i>San Mateo Atenco</i>	13	9.00
<i>Zinacantepec</i>	10	3.58
<i>Calimaya</i>	6	2.35
<i>Almoloya de Juárez</i>	8	2.22
<i>San Antonio la Isla</i>	5	2.10
<i>Mexicaltzingo</i>	2	1.40
<i>Chapultepec</i>	2	0.45
<i>Rayón</i>	1	0.42
<i>Ocoyoacac</i>	1	0.40
<i>Total</i>	211	101.75

Fuente: Elaboración propia

Figura 35. Municipios con zonas climático-territoriales adversas por promedio

Fuente: Elaboración propia

Con la finalidad de reforzar el análisis del comportamiento espacial de la justicia climática horizontal en el territorio de la ZMT, se realizó una correlación espacial estadísticamente significativa, para lo cual se calculó el Índice de Morán Local univariado, con la finalidad de identificar los hot spots en el territorio con base en la inequidad horizontal.

Se obtuvo un índice de 0.43, se randomizó a 999 permutaciones, obteniendo una significancia con valor $P=0.05$ (figuras 36 y figura 37). En la figura 38 se aprecia que la justicia climática horizontal se agrupa hacia el norte de la metrópoli, es decir, existe un agrupamiento de agebs con valores altos de justicia cuyos vecinos también poseen dicha condición.

Respecto a la inequidad se observa que muestra el mismo patrón de distribución que el índice de ZCTA, concentrando el agrupamiento en el centro de la metrópoli, y la zona sur hacia el municipio de Metepec, es decir, que agebs con valor bajo de

justicia climática horizontal poseen vecinos con las mismas características. De tal manera que se concluye que existe una correlación espacial significativa respecto a la inequidad climática horizontal.

Figura 36. Significancia LISA de la justicia climática horizontal

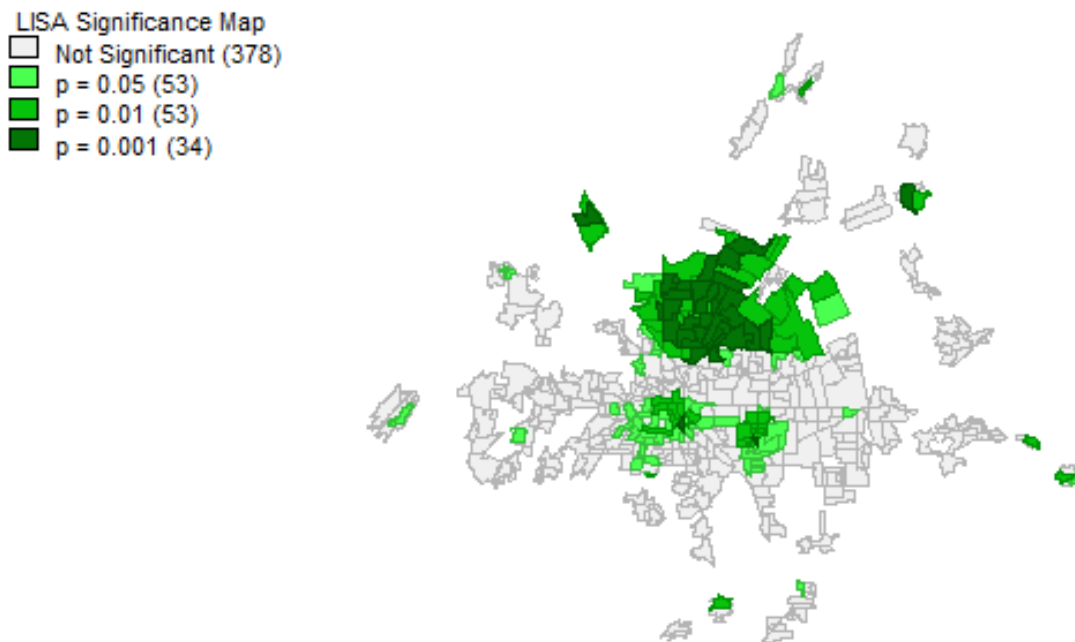


Figura 37. Índice de Moran Local Univariado para la justicia climática horizontal

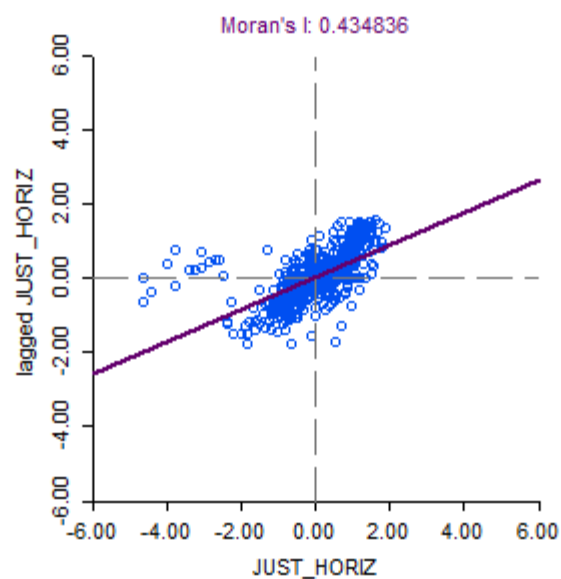
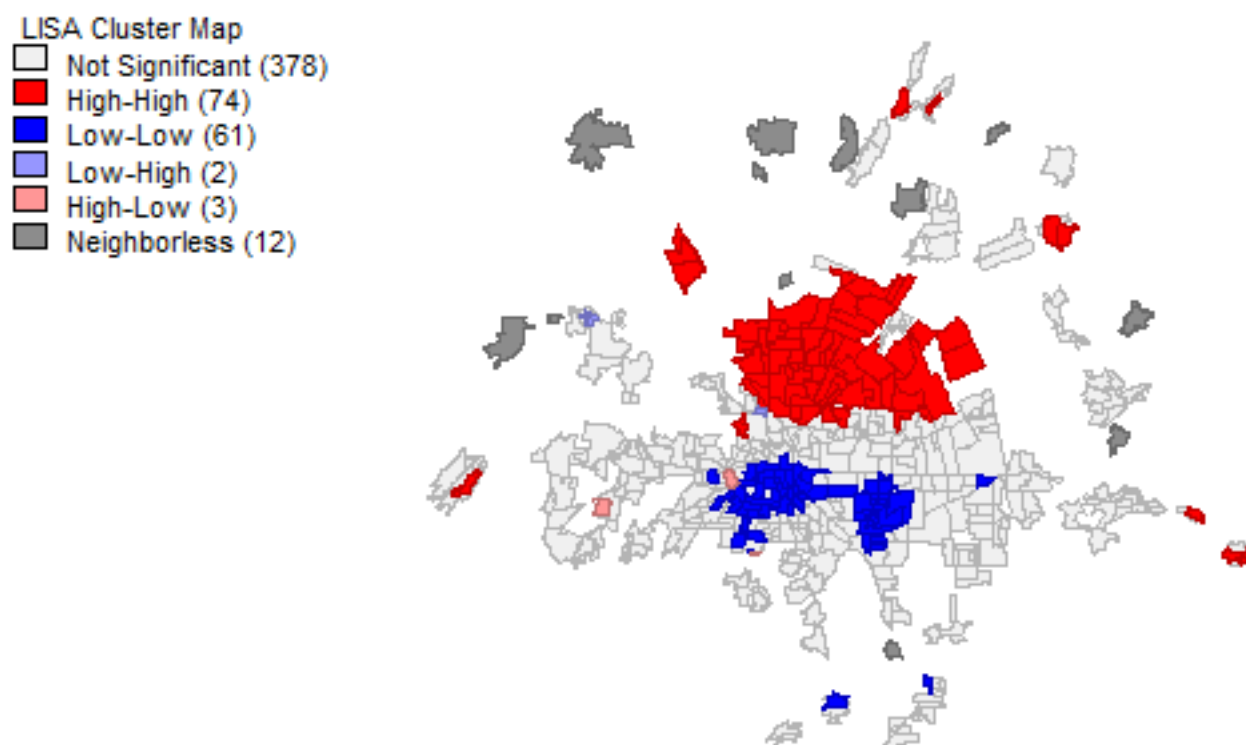
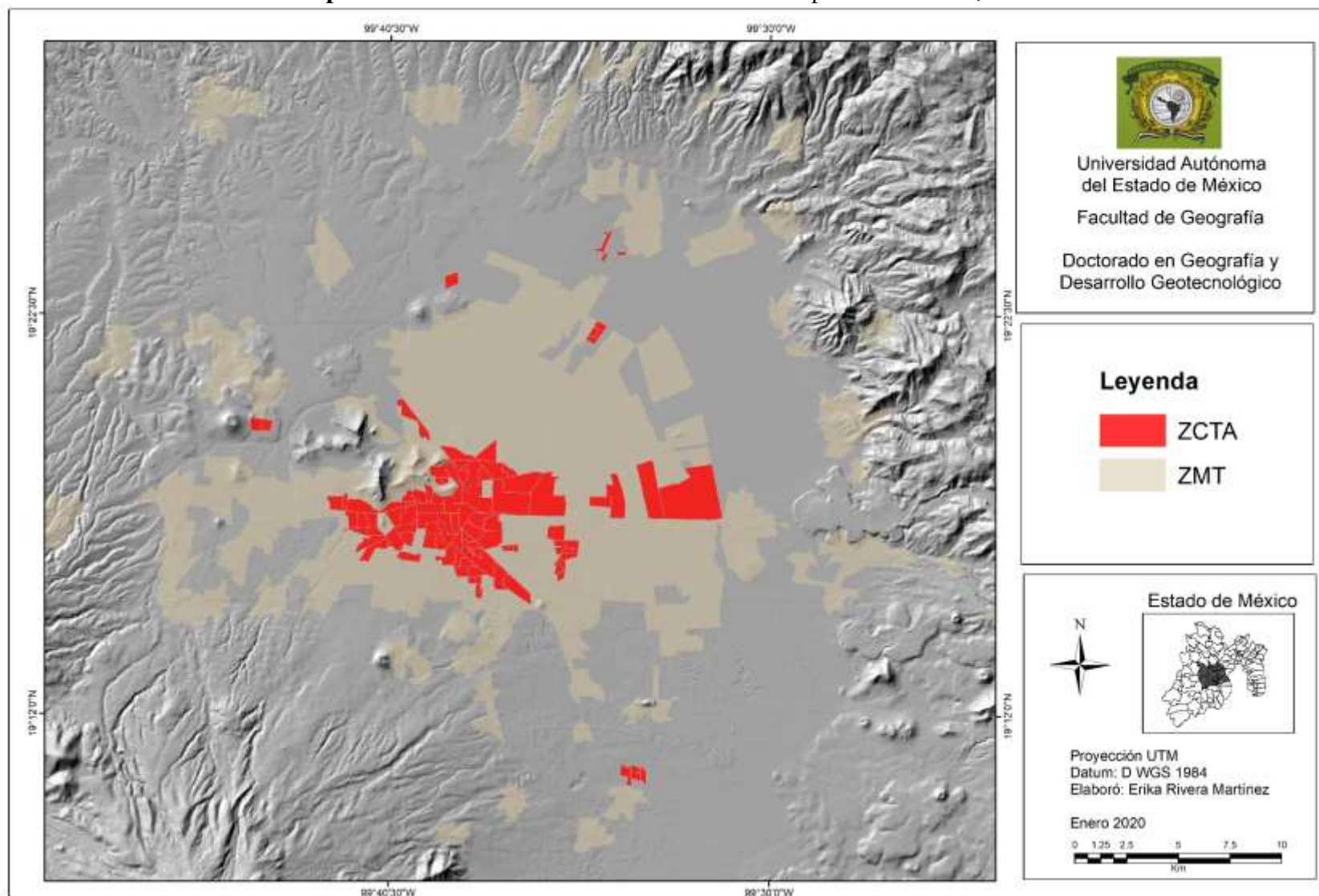


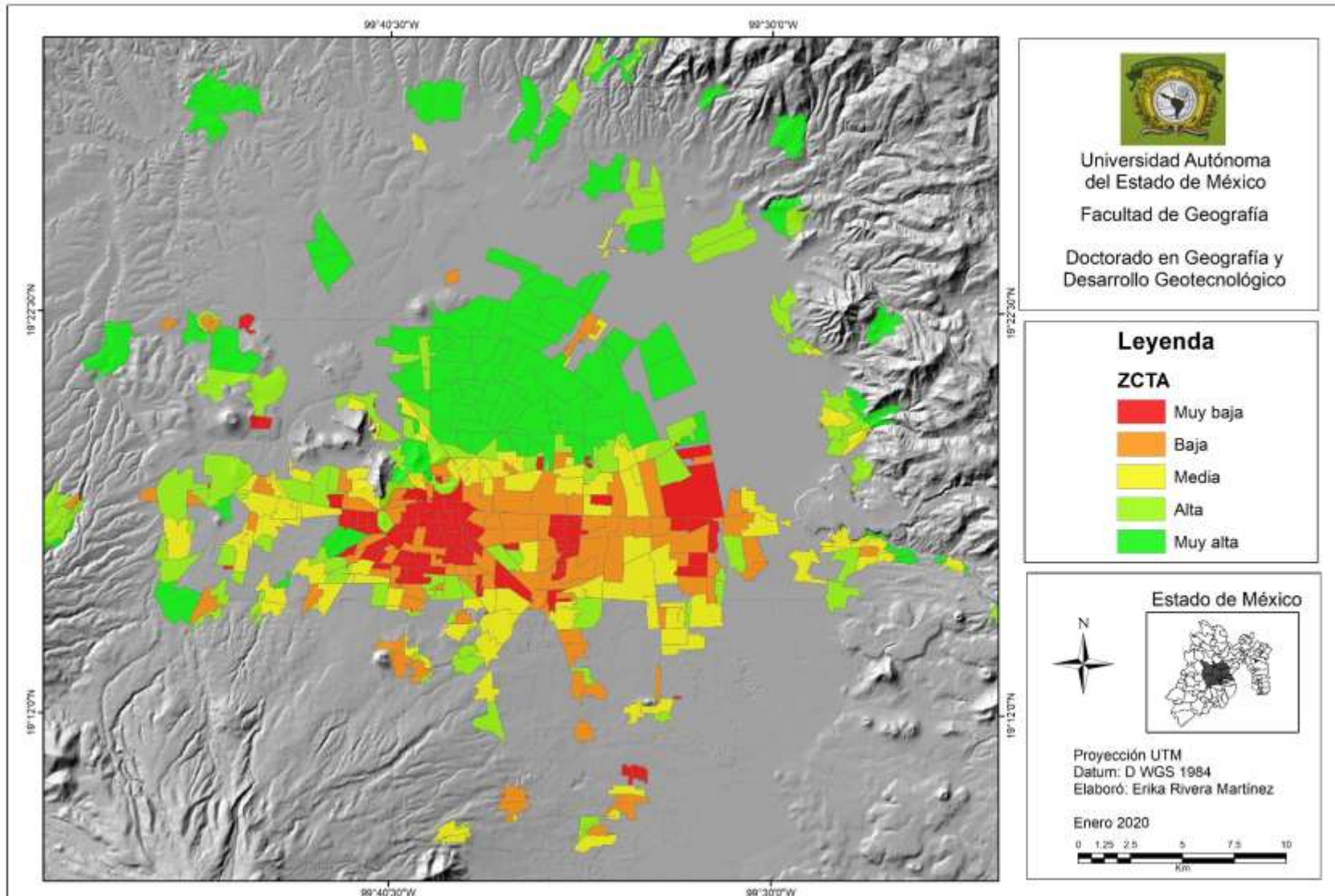
Figura 38. Clusters LISA para la justicia climática horizontal



Mapa 51. Zonas Climático-Territoriales Adversas por intersección, en la ZMT



Mapa 52. Zonas Climático-Territoriales Adversas por promedio, en la ZMT



Zonas socioclimáticas adversas: inequidad vertical

La equidad vertical se presenta cuando una sociedad posee condiciones socioeconómicas similares, las cuales le permiten ser resiliente ante las necesidades que se generan producto de los impactos negativos del clima urbano. Por el contrario, la inequidad vertical se presenta si las condiciones adversas del clima inciden en sectores específicos de la población, los cuales se consideran vulnerables.

Para determinar las zonas socio-climáticas adversas (ZSCA) se generó con base en la intersección de entidades, el mapa 53, que incluye las agebs que presentan características adversas de carácter climático y socioeconómico. Son 3 agebs distribuidos aleatoriamente en la metrópoli, abarcando una extensión total de 7.22 km² del total de la ZMT. Estos agebs presentan la condición de que en ambos criterios poseen las condiciones más adversas existentes en el territorio.

La tabla 41, contiene la información detallada de dichos agebs, la cual incluye el municipio y la localidad a la que pertenece y la superficie que abarca. El municipio de Toluca aporta dos localidades con una ageb cada una, abarcando 6.5 km², lo que representa el 90% del total del territorio que presenta ZSCA.

Tabla 41. Municipios con zonas socioclimáticas adversas por intersección

<i>Municipio</i>	<i>Localidad</i>	<i>Número de agebs</i>	<i>Superficie km²</i>
<i>Toluca</i>	San Nicolás Tolentino	1	4.02
	San Miguel Totoltepec	1	2.5
<i>San Antonio La Isla</i>	San Antonio La Isla	1	0.69
<i>Total</i>		3	7.22

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta el cálculo de la media por ageb entre los índices climático y socioeconómico, los resultados muestran un comportamiento totalmente distinto al realizado con base en los procedimientos overlay (mapa 54). Pues indican que 208 agebs presentan zonas socioclimáticas adversas. Esta diferencia se puede explicar a partir de que una de las dos variables puede no tener un valor tan bajo pero la otra si, por lo que, al calcular la media, su nivel de condiciones óptimas disminuye a tal grado que sitúa al ageb en condición adversa.

Los municipios que los integran se describen en la tabla 42, la cual contiene el número de agebs por municipio y la superficie total abarcada. La figura 39, nos ayuda a apreciar los municipios que encabezan esta lista. Toluca es el municipio que aporta mayor cantidad de agebs y de superficie, con más del 24% del total de ambas variables. El segundo lugar en número de agebs y superficie lo ocupa el municipio de Zinacantepec; San Antonio La Isla, vuelve a aparecer en la lista, aumentando de 1 a 5 agebs y de 0.69 a 2.21km² de superficie respecto a la tabla generada por intersección.

Los municipios de Almoloya de Juárez, San Mateo Atenco, Lerma y Metepec, superan los 10 km² de su superficie con ZSCA. Es importante destacar, que todas las agebs que se encuentran con esta condición tienen la característica común de ubicarse en las zonas periféricas de la metrópoli.

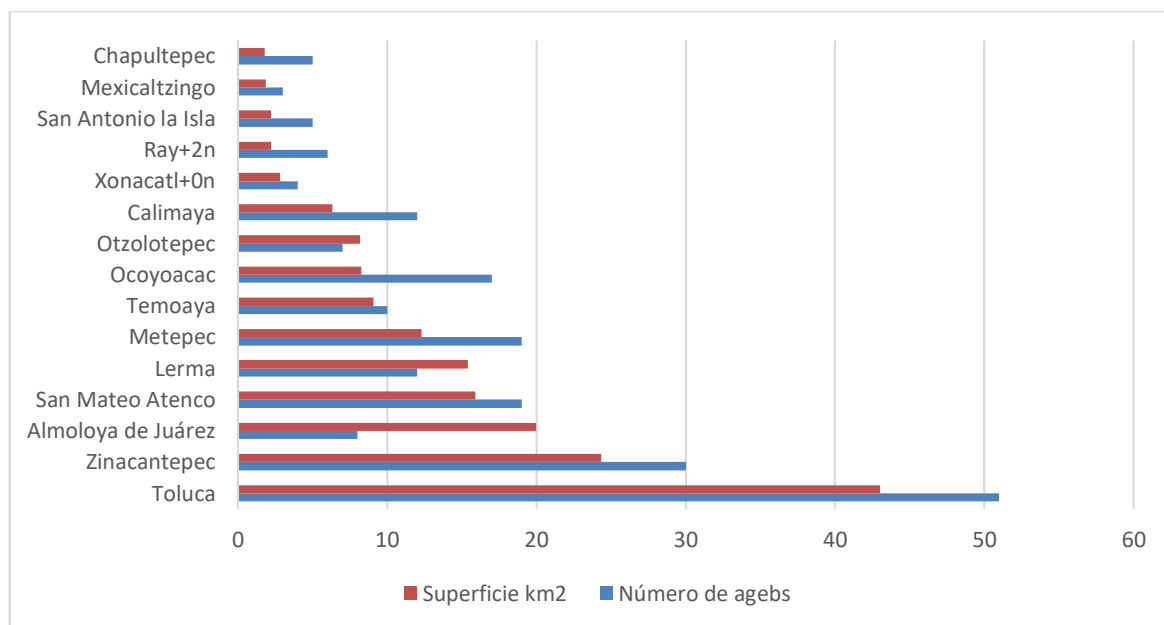
Tabla 42. Municipios con zonas socioclimáticas adversas por promedio

<i>Municipio</i>	<i>Número de agebs</i>	<i>Superficie km2</i>
<i>Toluca</i>	51	43.03
<i>Zinacantepec</i>	30	24.34
<i>Almoloya de Juárez</i>	8	19.98
<i>San Mateo Atenco</i>	19	15.92
<i>Lerma</i>	12	15.39
<i>Metepec</i>	19	12.31
<i>Temoaya</i>	10	9.09

<i>Ocoyoacac</i>	17	8.25
<i>Otzolotepec</i>	7	8.19
<i>Calimaya</i>	12	6.31
<i>Xonacatlán</i>	4	2.82
<i>Rayón</i>	6	2.22
<i>San Antonio la Isla</i>	5	2.21
<i>Mexicaltzingo</i>	3	1.85
<i>Chapultepec</i>	5	1.79
<i>Total</i>	208	173.70

Fuente: Elaboración propia

Figura 39. Superficie por municipios con zonas climático-territoriales adversas por promedio



Fuente: Elaboración propia

De la misma forma que se llevó a cabo con la justicia climática horizontal, para reforzar el análisis del comportamiento espacial de la justicia climática vertical también se realizó una correlación espacial estadística, para lo cual se calculó el Índice de Morán Local univariado, con la finalidad de identificar los hot spots de agebs con justicia y por ende, conocer los cold spots que representen la correlación espacial de la inequidad vertical.

Se obtuvo un índice de 0.41, se randomizó a 999 permutaciones, obteniendo una significancia con valor $P=0.05$ (figuras 40 y 41). En la figura 42 se aprecia que la justicia climática vertical se agrupa en el centro de la metrópoli, es decir, existe un agrupamiento de agebs con valores altos de justicia cuyos vecinos también poseen dicha condición.

Respecto a la inequidad, el patrón que se observa indica que no existe agrupamiento espacialmente significativo. El comportamiento más bien es disperso, debido a que se localiza en agebs periurbanos discontinuos, es decir, son agebs con condiciones climáticas y socioeconómicas adversas, sin embargo, sus vecinos no tienen esa característica.

Figura 40. Significancia LISA de la justicia climática vertical en la ZMT

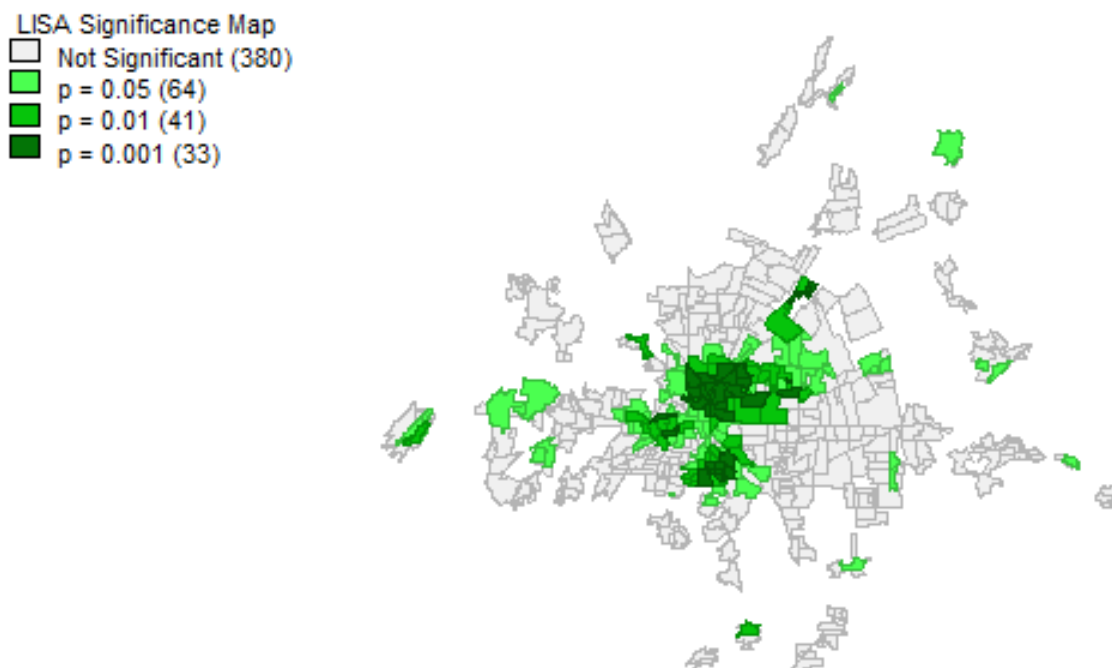


Figura 41. Índice Local de Moran Univariado de la justicia climática vertical

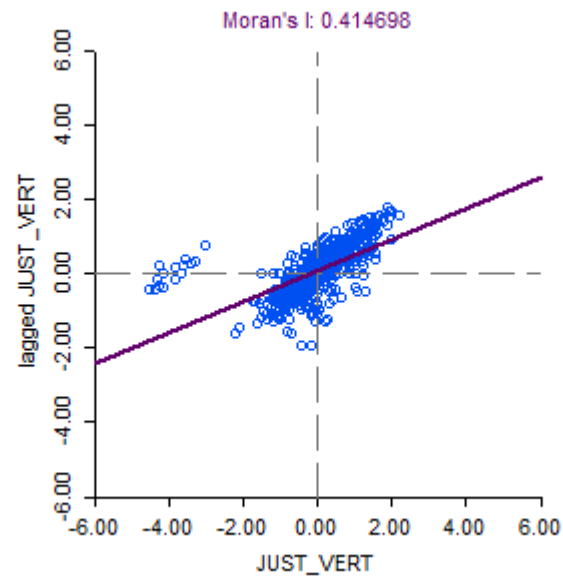
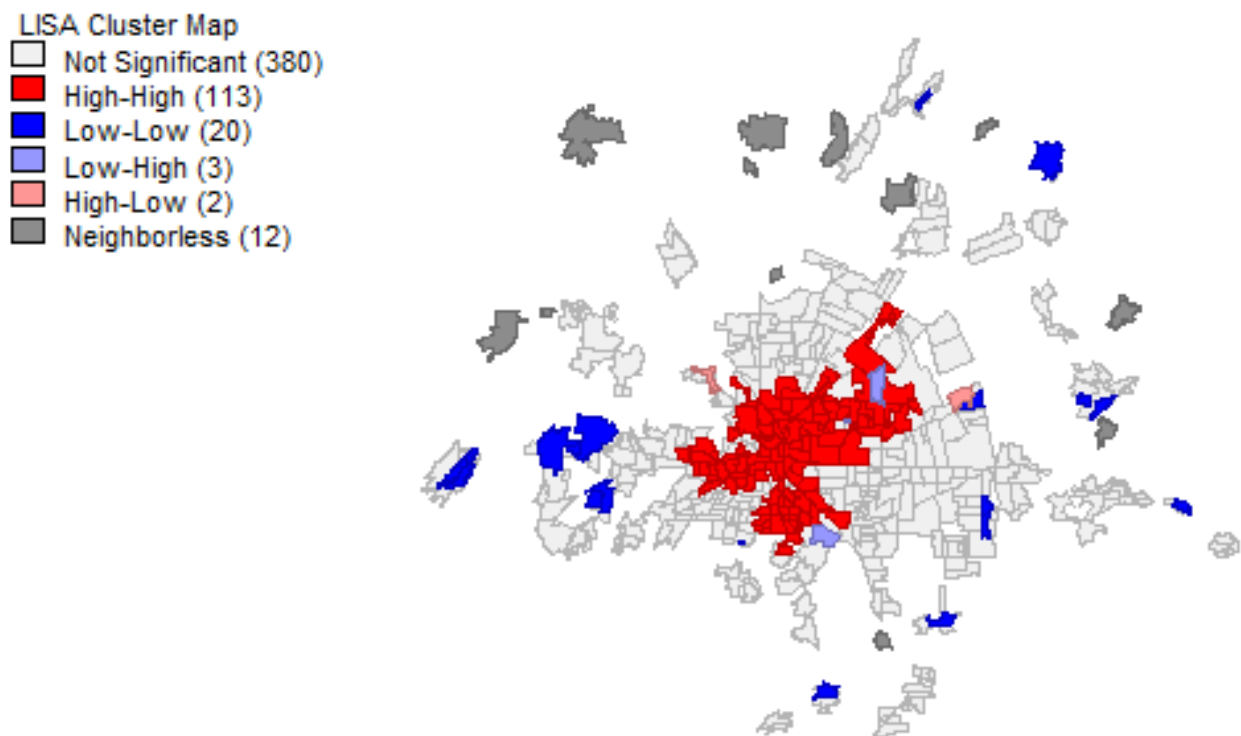
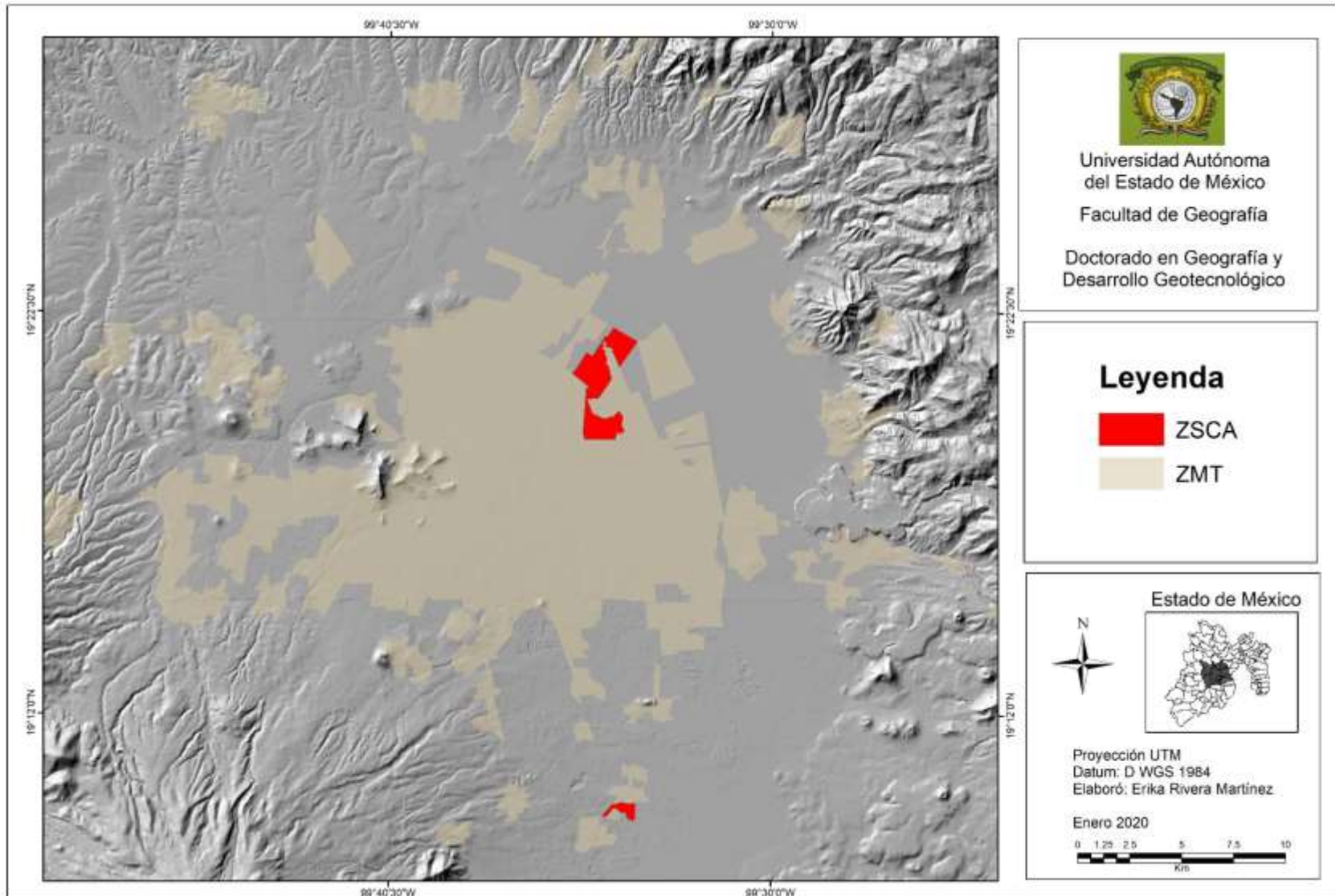


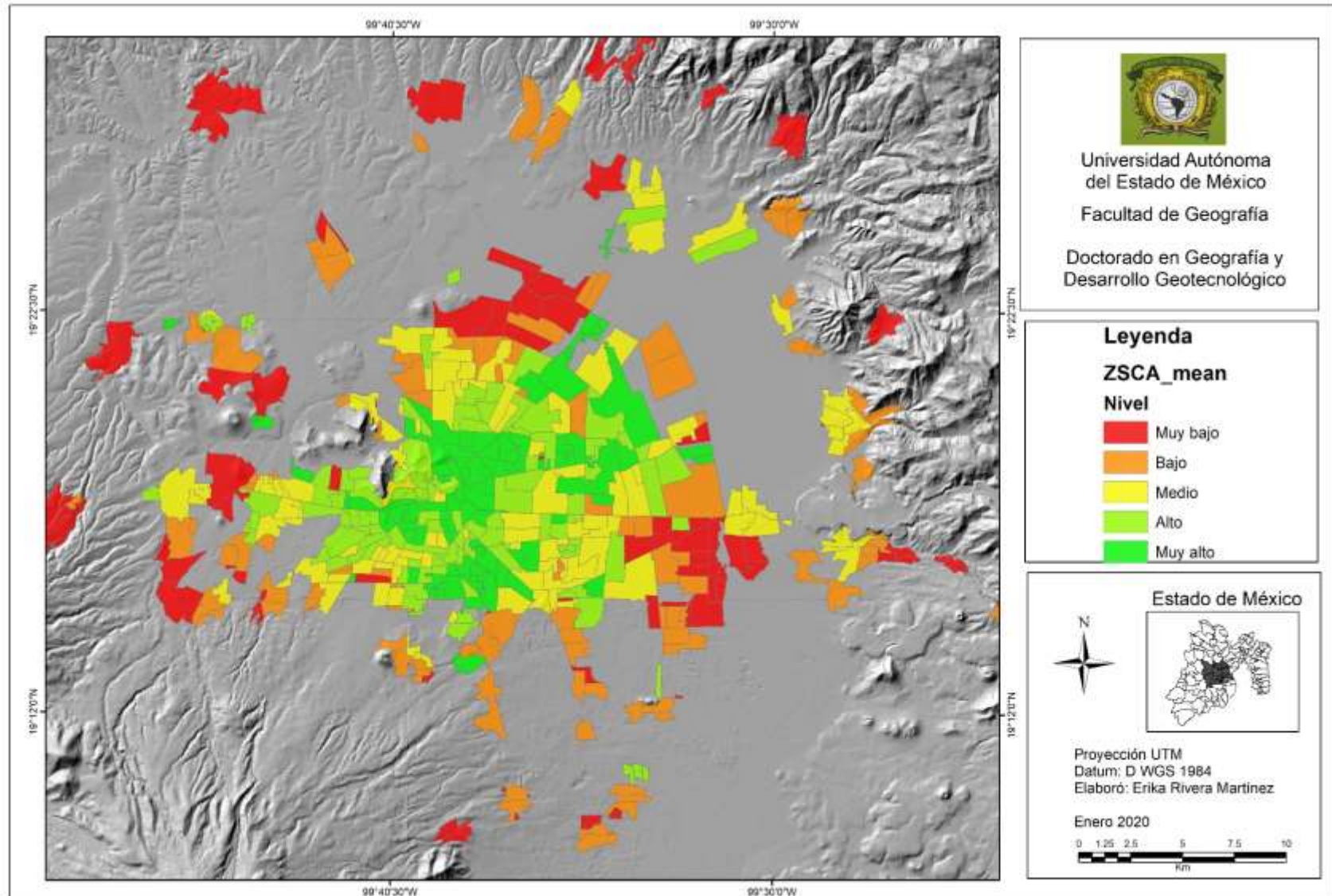
Figura 42. Autocorrelación espacial de la justicia climática vertical en la ZMT



Mapa 53. Zonas Socio Climáticas Adversas por intersección, en la ZMT



Mapa 54. Zonas Socio Climáticas Adversas por promedio, en la ZMT



5. Justicia Climática en la Zona Metropolitana de Toluca

«Cambiar el sistema, no el clima».
Ecologistas en Acción

Indicador sintético: Justicia Climática

Cuando se abordó el sustento teórico de la justicia climática, se mencionó que el término surgió a partir de las desigualdades socioeconómicas que se percibían en el mundo, respecto a los impactos del cambio climático.

Soja (2014), mencionaba que “la justicia siempre tiene consecuencias geográficas y espaciales” sin embargo, en este trabajo se afirma que para hablar de justicia no solo se tienen que analizar las consecuencias, sino que hay que evidenciar las causas. Desde la perspectiva geográfica, el objetivo es espacializar las desigualdades verticales (socioeconómicas) y horizontales (territoriales) que generan condiciones de vulnerabilidad ante el clima urbano.

Para ello se generó con base en los subíndices climático, territorial y socioeconómico, el índice sintético de Justicia Climática, el cual se basó en el método de Jerarquías Analíticas de Satty, mismo que considera la ponderación de las variables a incluir.

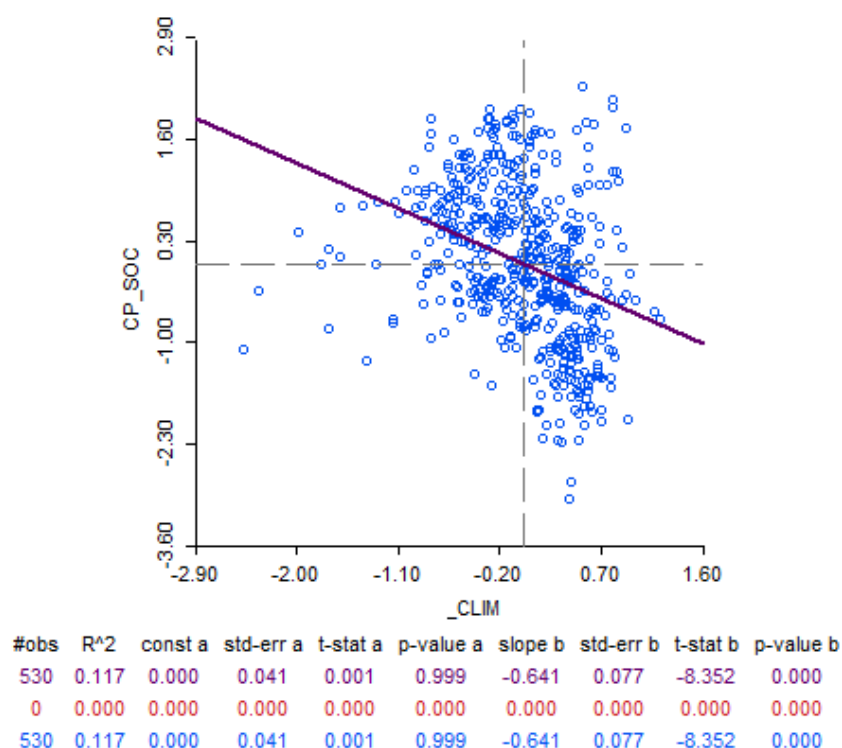
Para determinar el peso a asignar a las variables a integrar, se analizó la participación de cada uno de los subíndices en la relación con la existencia del clima urbano. Tomando como variable dependiente a los indicadores del clima urbano y como variables independientes a las condiciones territoriales y socioeconómicas se determinó que, el componente territorial, puede funcionar como causa-consecuencia, puesto que tiene la capacidad de detonar o mitigar la intensidad de los indicadores del clima urbano.

Por su parte, el componente socioeconómico, funge como consecuencia, debido a que aporta a los grupos vulnerables y a los resilientes a los impactos del clima urbano. Por lo que, de acuerdo a la percepción teórica, el componente territorial

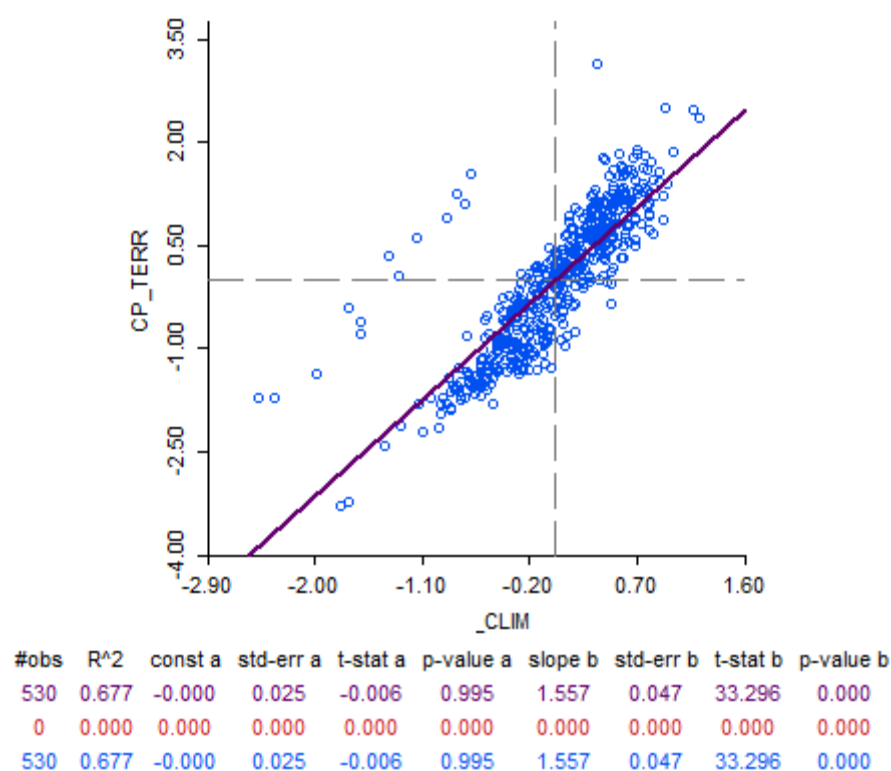
tiene mayor incidencia en la existencia del clima urbano, que el componente socioeconómico.

Para fundamentar lo anterior, se realizó un análisis de regresión, con la finalidad de determinar cuál de los subíndices presentaba mayor relación estadísticamente significativa con el clima urbano. La figura 43 muestra la gráfica de dispersión de las variables clima y sociedad. El coeficiente de determinación (r^2) es de 0.117, lo que refiere a que solo el 11% de la variación total, es explicada a partir de este modelo.

Figura 43. Modelo de regresión de los índices clima- sociedad



Respecto al análisis de regresión de las variables territorio y clima, se tiene un coeficiente de determinación de 0.677, lo que indica que el ajuste del modelo es mejor que el de sociedad-clima, ya que el valor de r^2 , indica que el 67% de la variabilidad de los datos se explica por el modelo de regresión. Es decir, el 67% de los casos del componente clima, son explicados por el componente territorio.

Figura 44. Modelo de regresión de los índices clima-territorio

Con base en lo anterior, se determinó la asignación de pesos para los 3 índices calculados previamente para cada una de las dimensiones clima, territorio y sociedad. La jerarquía se describe en la siguiente tabla:

Tabla 43. Determinación de pesos para los índices

<i>Dimensión</i>	<i>Jerarquía</i>	<i>Descripción</i>
<i>Territorio</i>	1	Las características del territorio determinan la (in)existencia del clima urbano
<i>Clima</i>	2	Su presencia e intensidad afectan a grupos vulnerables

<i>Sociedad</i>	3	Las características socioeconómicas de la sociedad determinan la (in)existencia de grupos vulnerables
-----------------	---	---

La aplicación del método de Jerarquías analíticas de Satty, permitió con base en la jerarquización previa, determinar el peso correspondiente a cada variable para aplicarlo en la suma ponderada necesaria para realizar el procedimiento analítico jerárquico. El resultado se muestra en la tabla 44. Para la interpretación de resultados se calcularon rangos y posterior a ello, se generaron clases, para determinar el nivel de justicia climática que posee la ZMT, por ageb. Las clases son: muy alta, alta, media, baja y muy baja.

Tabla 44. Ponderación de pesos para el Análisis de Jerarquías Analíticas

<i>Dimensión</i>	<i>Jerarquía</i>	<i>1/n</i>	<i>1/n/sum1/n</i>
<i>Territorio</i>	1	1	0.54545455
<i>Clima</i>	2	0.5	0.27272727
<i>Socioeconómico</i>	3	0.33333333	0.18181818
<i>Suma</i>		1.83333333	1

La justicia climática con basé en criterios cuantitativos, está plasmada en el mapa 55, los niveles más altos se localizan en 209 agebs de los 530 analizados, es decir, el 39.43% de agebs presentan condiciones óptimas que le permiten tener justicia en materia climática. La tabla 45, contiene los agebs agrupados por municipio así como la superficie total abarcada con esta condición de justicia.

En la figura 45, se aprecia que el municipio de Toluca encabeza la lista por el número de agebs y por superficie, con un total de 95 agebs que abarcan una extensión de más de 100 km² de superficie con justicia climática alta y muy alta. Le sigue el municipio de Almoloya de Juárez por superficie con más de 24 km² repartidos en 11 agebs con dicha condición y Zinacantepec por número de agebs, con 23.

Sin embargo, los resultados cambian, si se considera el porcentaje de agebs por municipio que se encuentran presentes en esta categoría, respecto del total de agebs que lo constituyen. La figura 46, describe a los municipios que poseen el mayor porcentaje de agebs con justicia climática en el nivel alto y muy alto. Los municipios que encabezan la lista son Otzolotepec y Xonacatlan, pues el 100% de los agebs que los conforman se encuentran en la categoría de justicia climática alta y muy alta.

Siguen en mayoría de porcentaje, Temoaya con cerca del 70% de sus agebs, Almoloya de Juárez con 61% y Ocoyoacac con cerca del 60% de agebs dentro de este rubro. Cabe mencionar que todos los municipios que encabezan el máximo porcentaje se localizan en la zona norte de la Zona Metropolitana de Toluca, con excepción de Ocoyoacac. El resto de los municipios poseen menos de la mitad de sus agebs en el rango de justicia climática alta y muy alta.

De todos los municipios que conforman la Zona Metropolitana de Toluca, solamente uno, no posee algún ageb con justicia climática en nivel alto o muy alto, y es San Antonio La Isla; el resto de los municipios aportan al menos uno a este nivel, tal es el caso de Mexicaltzingo y Chapultepec.

Tabla 45. Municipios con condiciones óptimas de justicia climática, por localidad y superficie

<i>Municipio</i>	<i>Número de agebs</i>	<i>% del total de agebs</i>	<i>Localidades</i>	<i>Superficie Km²</i>
<i>Toluca</i>	95	37.11	Barrio Santa Cruz Cacalomacán Calixtlahuaca El Cerrillo Vista Hermosa Jicaltepec Autopan Jicaltepec Cuexcontitlán La Constitución Toltepec	105.03

<i>Almoloya de Juárez</i>			San Andrés Cuexcontitlán	
			San Antonio Buenavista	
			San Cayetano Morelos	
			San Diego de los Padres	
			Cuexcontitlán	
			San Felipe Tlalmimilolpan	
			San José Guadalupe	
			Otzacatipan	
			San Juan Tilapa	
			San Marcos	
			Yachihuacaltepec	
			San Mateo Otzacatipan	
			San Miguel Totoltepec	
			San Nicolás Tolentino	
			San Pablo Autopan	
			San Pedro Totoltepec	
			Santa Cruz Otzacatipan	
			Tlachaloya Segunda	
			Sección	
			Toluca de Lerdo	
<i>Zinacantepec</i>	11	61.11	Barrio San Pedro	24.31
			La Cabecera	
			Mayorazgo de León	
			San Francisco	
			Tlalcilcalpan	
			San Mateo Tlalchichilpan	
			San Miguel Almoloya	
			Santiaguito Tlalcilcalli	
			Villa de Almoloya de Juárez	
	23	43.4	Barrio de M+	21.66
			Ejido San Lorenzo	
			Cuauhtenco	
			El Cópore	
			San Antonio Acahualco	
			San Juan de las Huertas	
			San Miguel Zinacantepec	

<i>Metepec</i>	17	24.64	Santa Cruz Cuauhtenco	17.26
			Santa María del Monte	
			Tejalpa	
			Metepec	
			San Bartolomé	
			San Francisco Coaxusco	
			San Gaspar Tlahuelilpan	
			San Jorge Pueblo Nuevo	
			San Lorenzo Coacalco	
			(San Lorenzo)	
			San Lucas Tunco (San Lucas)	
			San Salvador Tizatlalli	
			San Sebastián	
<i>Otzolotepec</i>	13	100	Colonia Guadalupe	15.96
			Victoria	
			Ejido de la Y Sección	
			San Mateo Capulhuac	
			San Mateo Mozoquilpan	
			Santa Ana Jilotzingo	
			Santa María Tetitla	
			Villa Cuauhtémoc	
<i>Lerma</i>	13	48.15	Colonia Álvaro Obregón	14.56
			Lerma de Villada	
			San Francisco	
			Xochicuautila	
			San Mateo Atarasquillo	
			San Miguel Ameyalco	
			San Nicolás Peralta	
			San Pedro Tultepec	
			Santa María Atarasquillo	
			Santiago Analco	
<i>Temoaya</i>	9	69.23	Enthavi	10.55
			Molino Abajo	
			San Diego Alcalá	
			San Lorenzo Oyamel	
			San Pedro Abajo	

<i>Xonacatlán</i>	6	100	San Pedro Arriba	
			Santa María Zolotepec	7.55
<i>Ocoyoacac</i>	12	57.14	Xonacatlán	
			El Pedregal de Guadalupe	5.82
			Hidalgo	
			Ocoyoacac	
			San Jerónimo Acazulco	
<i>San Mateo Atenco</i>	4	20	San Pedro Atlapulco	
			San Mateo Atenco	2.86
<i>Calimaya</i>	2	16.67	Santa María la Asunción	
			San Lorenzo Cuauhtenco	1.51
			Zaragoza de Guadalupe	
<i>Rayón</i>	2	33.33	Santa María Rayón	0.60
<i>Mexicaltzingo</i>	1	33.33	San Mateo Mexicaltzingo	0.45
<i>Chapultepec</i>	1	16.67	Chapultepec	0.31
<i>Total</i>	209			228.45

Figura 45. Municipios con condiciones óptimas de justicia climática, por localidad y superficie

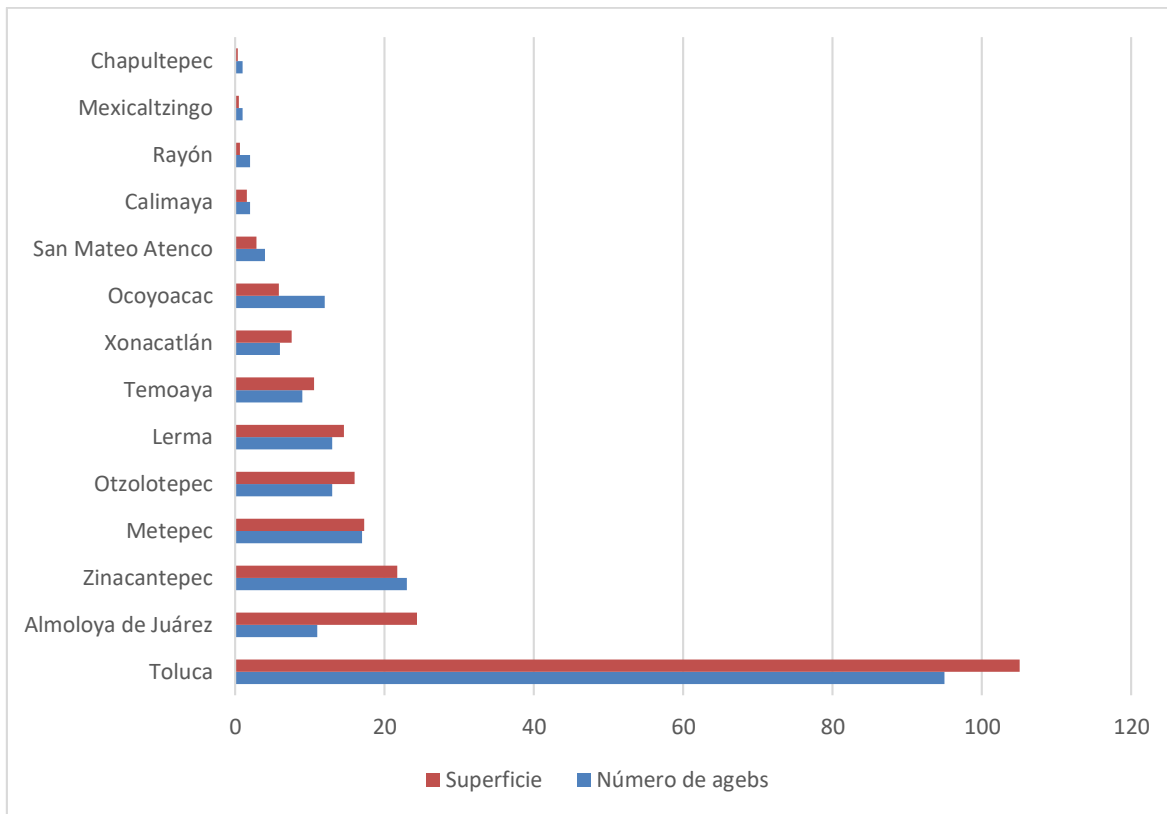
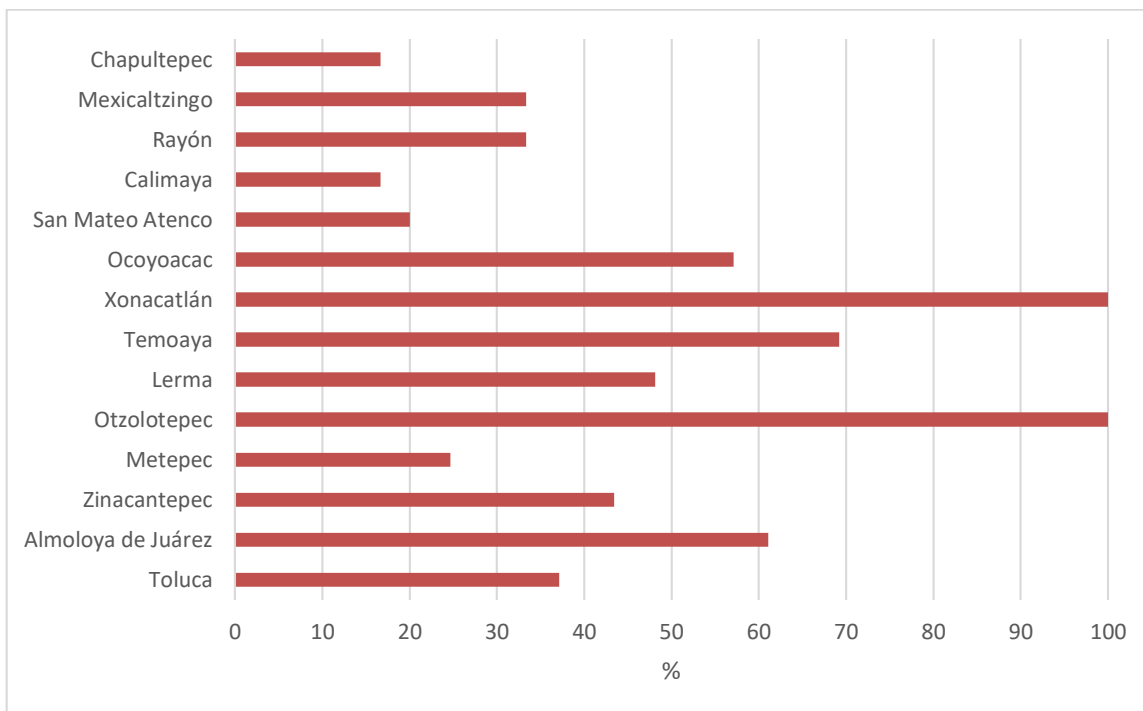
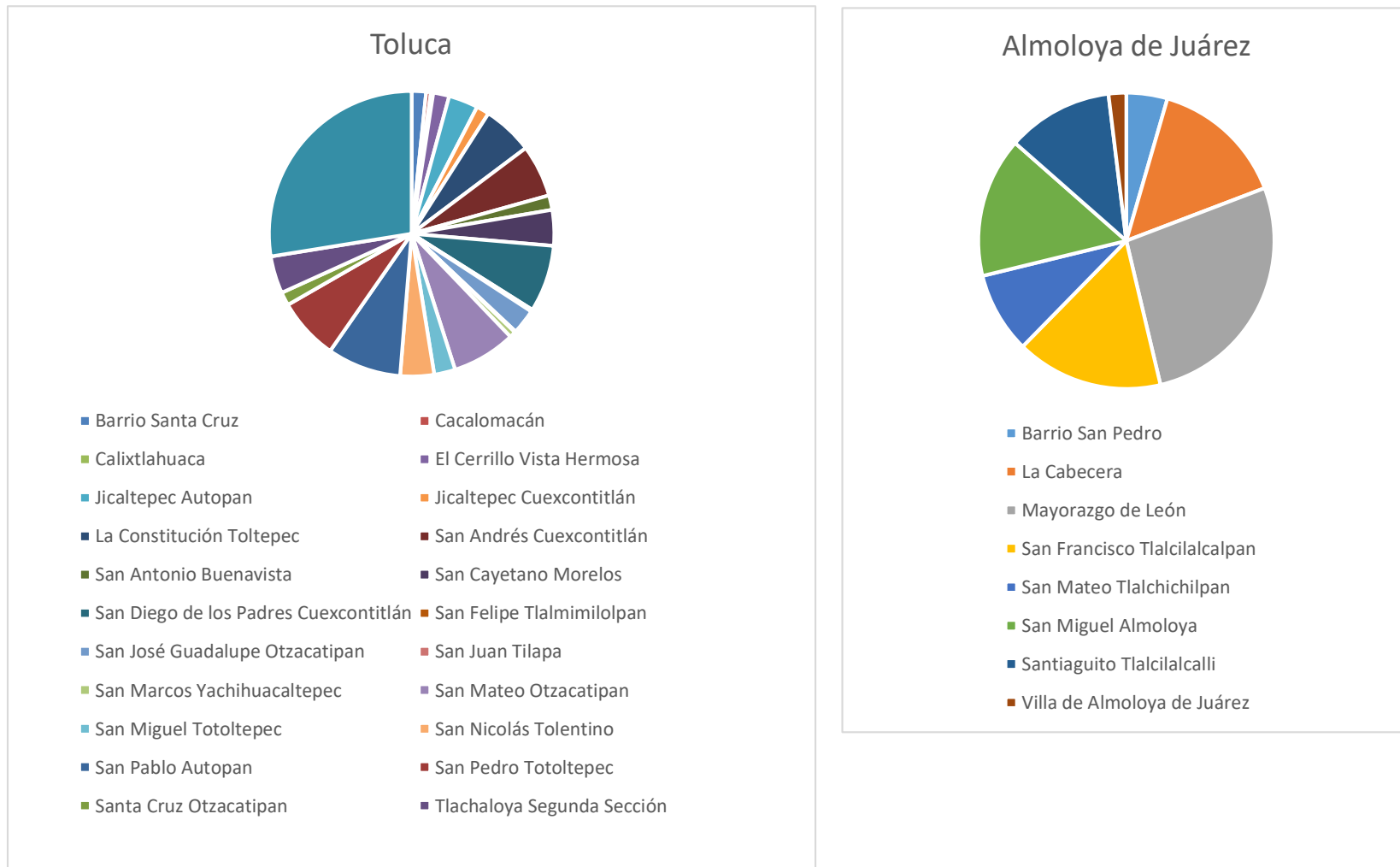


Figura 46. Porcentaje de agebs por municipio, con condiciones óptimas de justicia climática

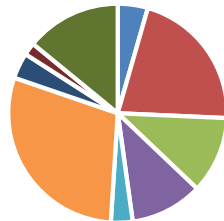


En la figura 47, se puede apreciar la manera en la que se distribuye la superficie total con justicia climática alta y muy alta, a través de las localidades por municipio. Lo anterior se realizó con la finalidad de que los resultados pudieran ser descriptivos respecto a las zonas que presentan óptimas condiciones territoriales, las cuales les permiten hacer frente a los impactos del clima urbano y que gracias a sus características socioeconómicas, pueden ser sociedades resilientes a dichos impactos, o bien, que aunque pueden presentar condiciones socioeconómicas medias o bajas, el territorio que poseen, les permite construir resiliencia antes las consecuencias negativas que se puedan gestar.

Figura 47. Distribución de la superficie por localidad con justicia climática alta

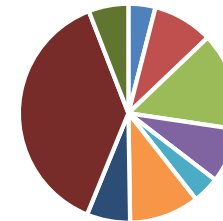


Zinacantepec



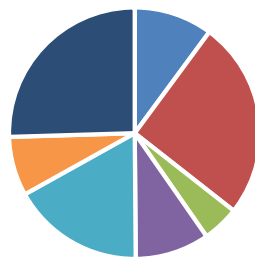
- Barrio de M+
- El Cópore
- San Juan de las Huertas
- Santa Cruz Cuauhtenco
- Tejalpa
- Ejido San Lorenzo Cuauhtenco
- San Antonio Acahualco
- San Miguel Zinacantepec
- Santa María del Monte

Metepec



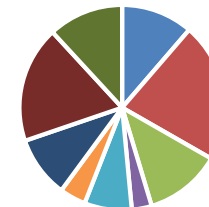
- Metepec
- San Francisco Coaxusco
- San Jorge Pueblo Nuevo
- San Lucas Tunco (San Lucas)
- San Sebastián
- San Bartolomé
- San Gaspar Tlahuelilpan
- San Lorenzo Coacalco (San Lorenzo)
- San Salvador Tizatlalli

Otzolotepec



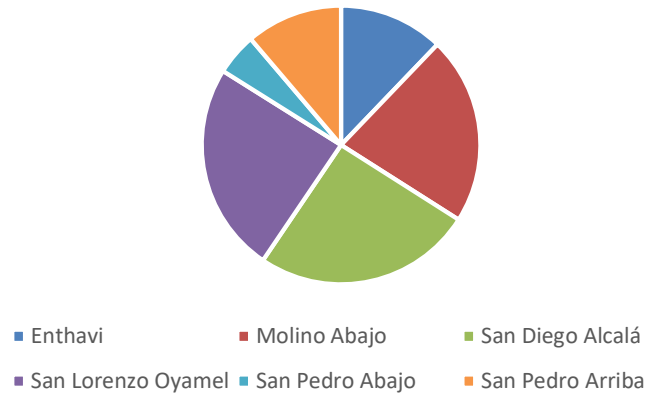
- Colonia Guadalupe Victoria
- San Mateo Capulhuac
- Santa Ana Jilotzingo
- Villa Cuauhtémoc
- Ejido de la Y Sección
- San Mateo Mozoquilpan
- Santa María Tetitla

Lerma

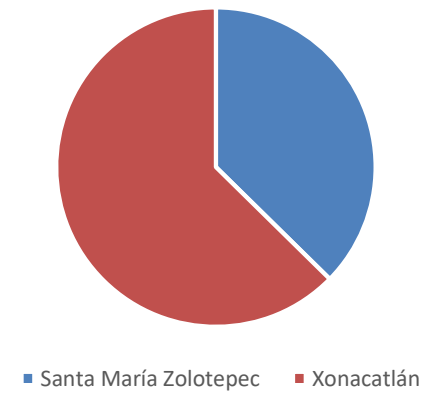


- Colonia Álvaro Obregón
- San Francisco Xochicuautila
- San Miguel Ameyalco
- San Pedro Tultepec
- Santiago Analco
- Lerma de Villada
- San Mateo Atarasquillo
- San Nicolás Peralta
- Santa María Atarasquillo

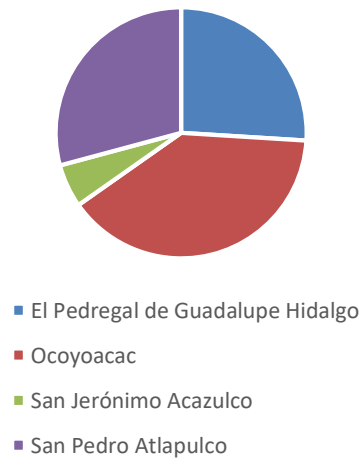
Temoaya



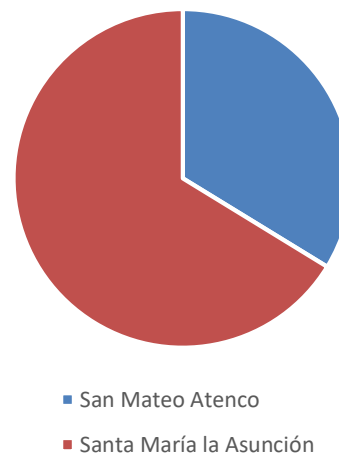
Xonacatlán



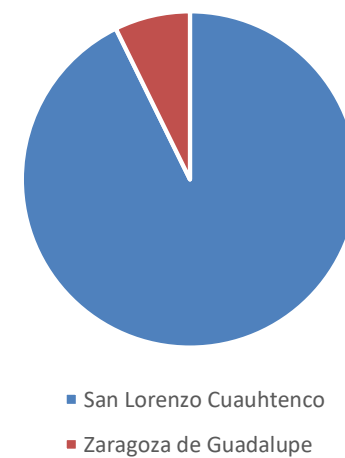
Ocoyoacac



San Mateo Atenco



Calimaya



Del lado opuesto, se encuentran las zonas que, de acuerdo con sus características territoriales y/o socioeconómicas, son afectadas por las condiciones adversas del clima urbano, presentando la categoría de injusticia climática en la Zona Metropolitana de Toluca. De acuerdo con el mapa 55, los agebs que se encuentran en esta situación, se concentran en la zona centro, este y sur de la metrópoli. En total son 203 agebs, repartidos en 12 municipios de los 15 que conforman a la ZMT (tabla 46). Los municipios que no poseen agebs dentro de esta categoría son Otzolotepec, Temoaya y Xonacatlán, ubicados al norte de la metrópoli.

En la figura 48, se aprecia que el municipio que más aporta en superficie y número de agebs es Toluca con 106 agebs con categoría de injusticia climática, los cuales abarcan casi 50 km² de superficie, seguido de Metepec con 38 agebs y 14.35 km² y Lerma con 12.35 km². Los demás municipios aportan un total de agebs que suman menos de 10 km² con esta condición.

Se realizó el mismo ejercicio que con la justicia climática, y se graficó el porcentaje de agebs que se encuentran en la categoría de justicia baja y muy baja, respecto del total de agebs que poseen los municipios. La figura 49, describe la situación y muestra que el municipio que más aporta a la condición de injusticia climática es San Antonio La Isla, pues casi el 90% de sus agebs se encuentran en esta categoría. Calimaya posee el 75% de sus agebs en el rango de injusticia, Mexicaltingo aporta el 67%, mientras que San Mateo Atenco y Metepec cuentan con el 55% de sus agebs dentro del nivel bajo y muy bajo de justicia climática. El resto de los municipios poseen por debajo del 50% de agebs, con dicha condición. En esta proporción, Toluca no aparece dentro de los municipios que encabezan la lista.

Tabla 46. Municipios con condiciones adversas de justicia climática, por localidad y superficie

<i>Municipio</i>	<i>Número de agebs</i>	<i>% del total de agebs</i>	<i>Localidades</i>	<i>Superficie km2</i>
<i>Toluca</i>	106	41.41	Cacalomacán Calixtlahuaca El Cerrillo Vista Hermosa Fraccionamiento Real de San Pablo San José Guadalupe Oztacatipan San Juan Tilapa Santiago Tlacotepec Tlachaloya Primera Sección Toluca de Lerdo	49.60
<i>Metepec</i>	38	55.07	Metepec San Bartolomé San Francisco Coaxusco San Gaspar Tlahuelilpan San Jerónimo Chicahualco San Jorge Pueblo Nuevo San Salvador Tizatlalli Santa María Magdalena Ocotitlán	14.35
<i>Lerma</i>	9	33.33	Colonia los Cedros Lerma de Villada San Mateo Atarasquillo San Nicolás Peralta San Pedro Tultepec Santa María Atarasquillo	12.35
<i>San Mateo Atenco</i>	11	55.00	San Mateo Atenco	7.60
<i>Calimaya</i>	9	75.00	Calimaya de Díaz González San Andrés Ocotlán Santa María Nativitas Zaragoza de Guadalupe	4.73
<i>Zinacantepec</i>	11	20.75	Conjunto Urbano la Loma I San Juan de las Huertas San Miguel Zinacantepec	3.76

			Santa María del Monte	
<i>San Antonio la Isla</i>	7	87.50	Ex-Rancho San Dimas	2.36
			San Antonio la Isla	
<i>Almoloya de Juárez</i>	3	16.67	Conjunto Habitacional Ecológico SUTEYM	1.70
			Fraccionamiento Colinas del Sol	
			San Francisco Tlalcilcalpan	
			Villa de Almoloya de Juárez	
<i>Mexicaltzingo</i>	2	66.67	San Mateo Mexicaltzingo	1.40
<i>Chapultepec</i>	2	33.33	Chapultepec	0.45
			Unidad Habitacional Santa Teresa	
<i>Rayón</i>	1	16.67	Santa María Rayón	0.42
<i>Ocoyoacac</i>	1	4.76	Ocoyoacac	0.40

Figura 48. Municipios con condiciones adversas de justicia climática, por localidad y superficie

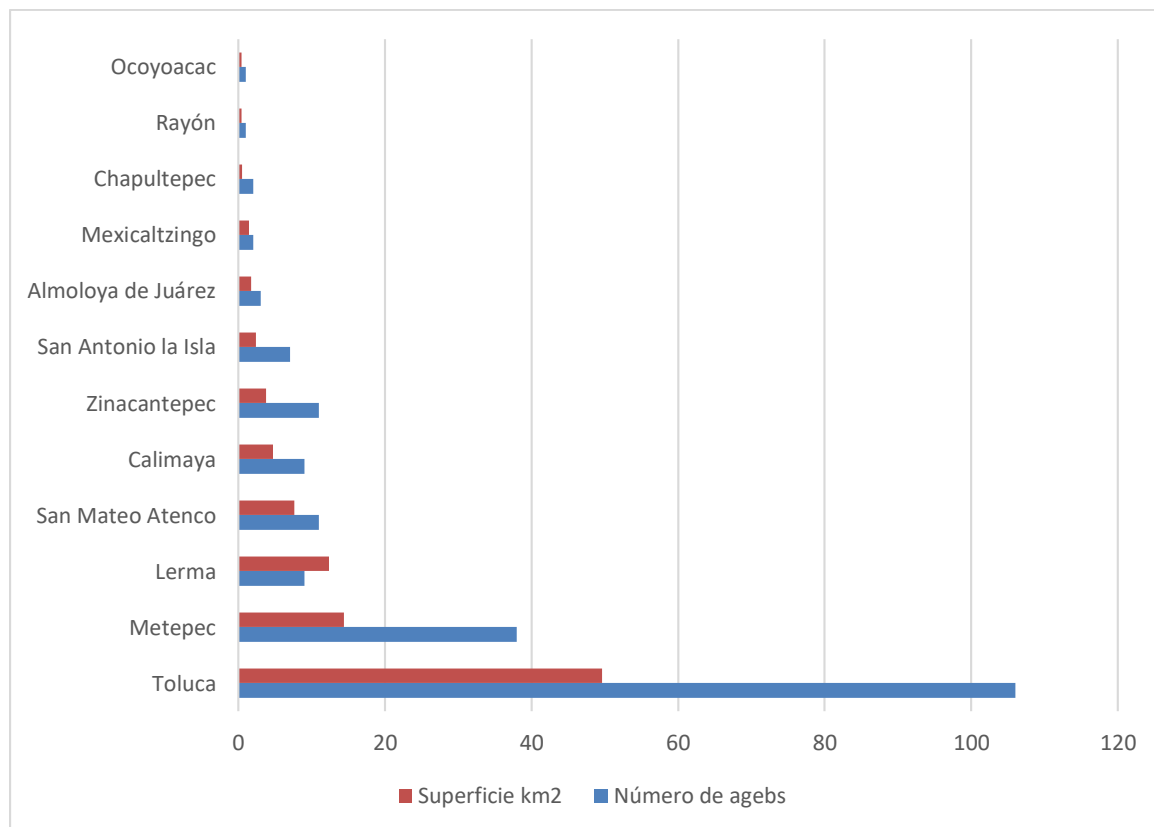
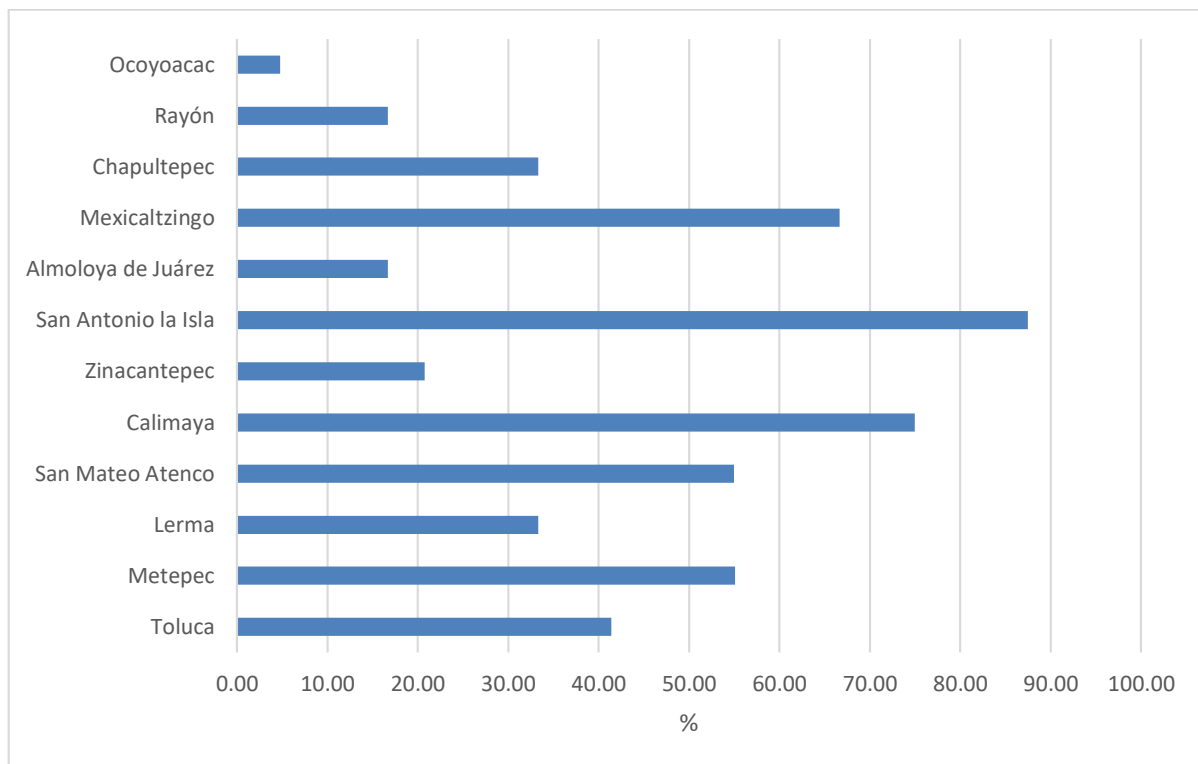
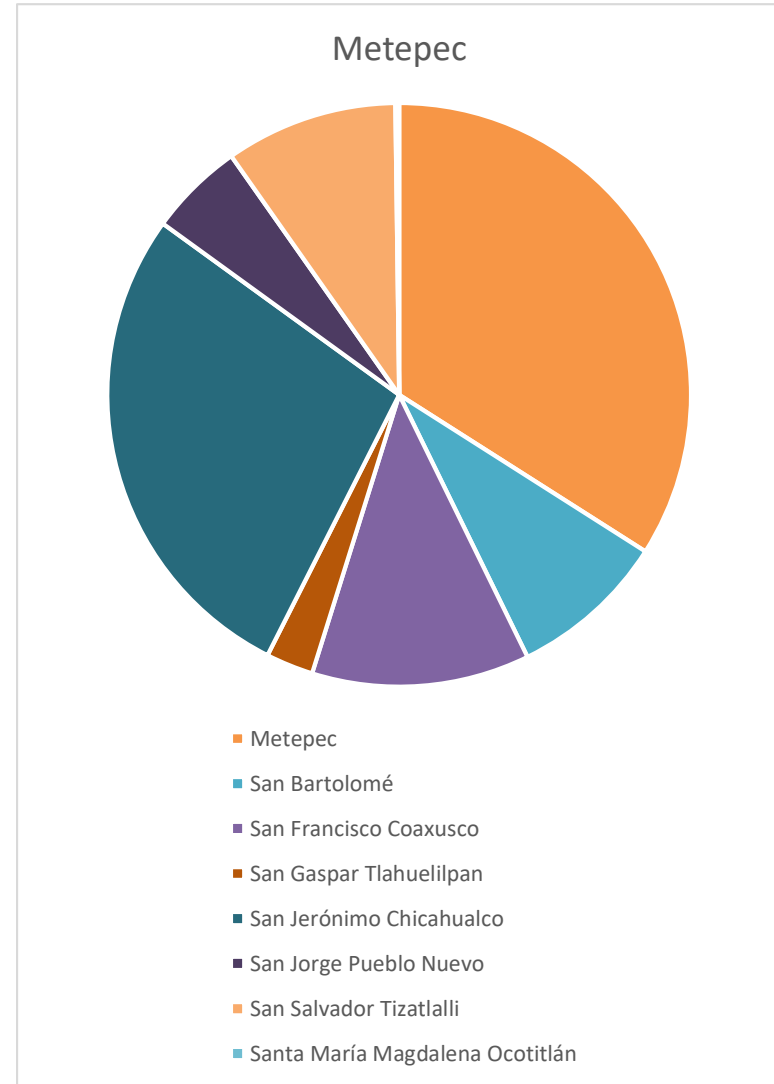
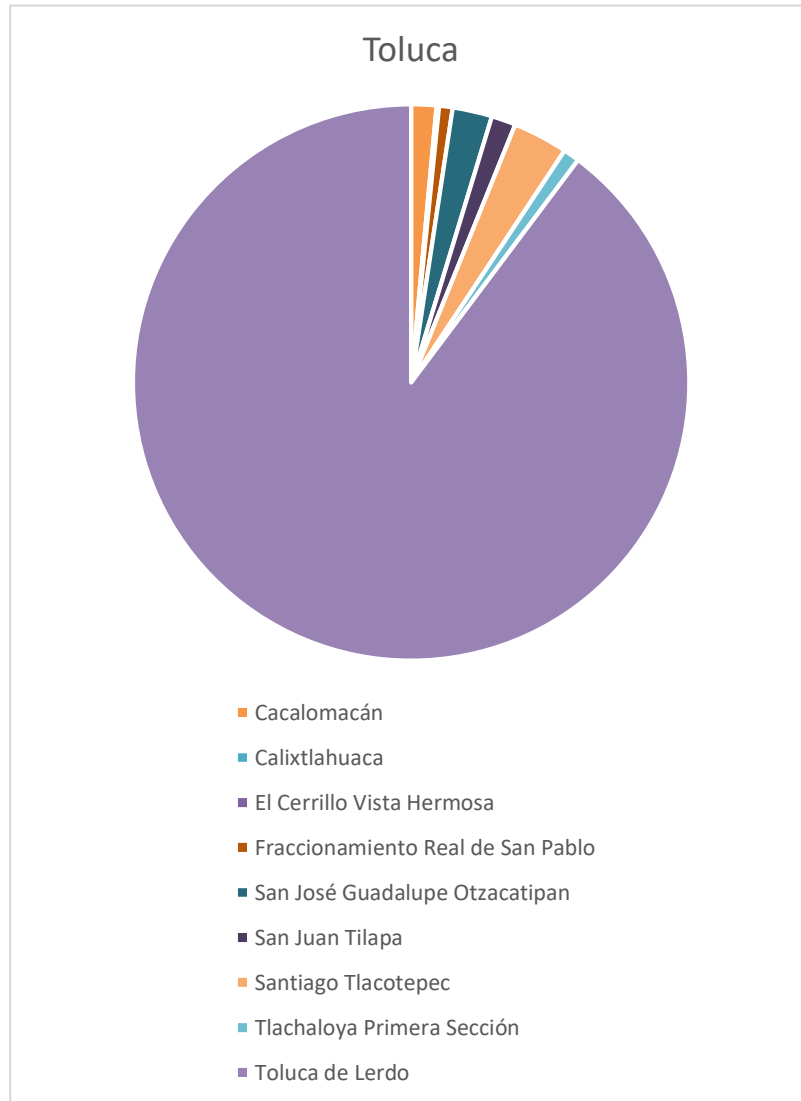
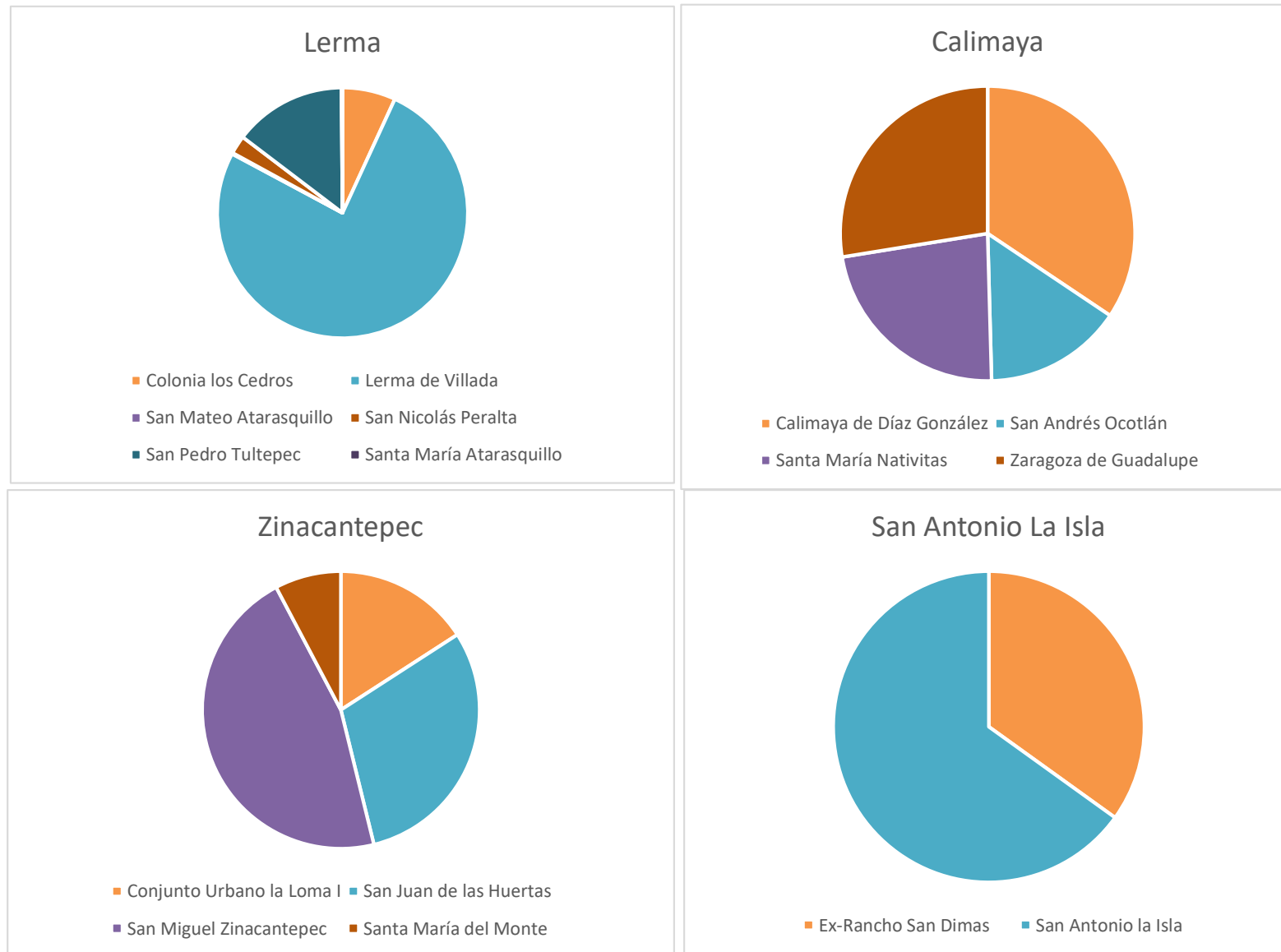


Figura 49. Porcentaje de agebs por municipio, con condiciones de injusticia climática

La injusticia climática pone en evidencia la desigualdad que se tiene dentro una sociedad, respecto a los diferentes niveles de calidad de vida que se pueden alcanzar producto de las óptimas o adversas condiciones del clima urbano al que estén expuestos. Por ello, es importante resaltar los espacios que se vuelven vulnerables a los impactos de ese clima local, producto de las malas condiciones territoriales y/o socioeconómicas. La figura 50, muestra la distribución por localidad de la superficie que posee cada municipio, dentro del rango de injusticia climática, con la finalidad de evidenciar los lugares a los cuales los municipios deberían poner especial atención, con el objetivo de disminuir las condiciones adversas y con ello, aumentar la resiliencia de la sociedad que habita esos espacios.

Figura 50. Distribución por localidad de la superficie con justicia climática baja y muy baja



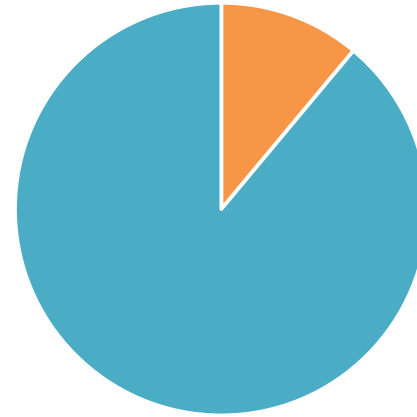


Almoloya de Juárez



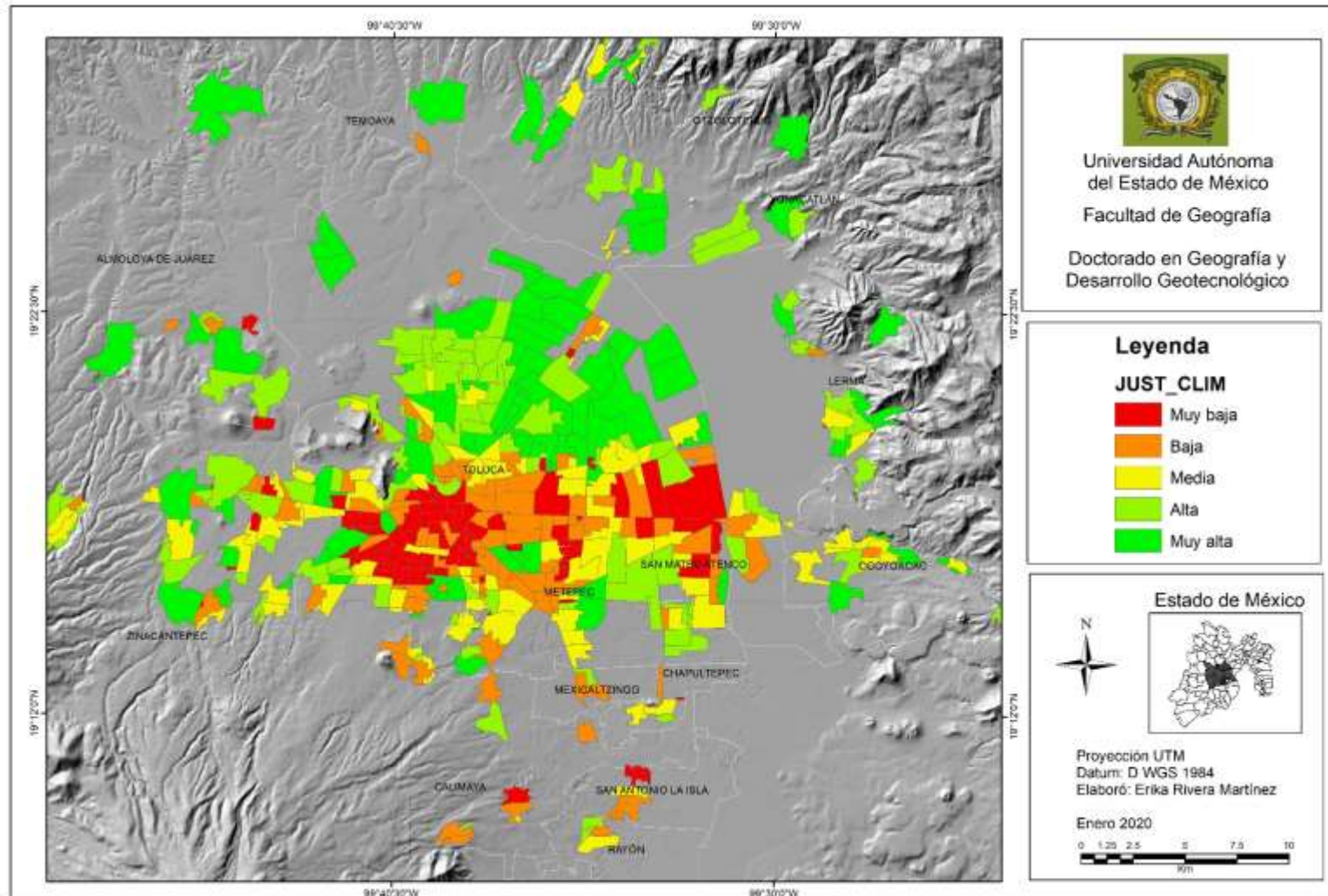
- Conjunto Habitacional Ecológico SUTEYM
- Fraccionamiento Colinas del Sol
- San Francisco Tlalcilalcalpan
- Villa de Almoloya de Juárez

Chapultepec



- Chapultepec
- Unidad Habitacional Santa Teresa

Mapa 55. Justicia climática en la Zona Metropolitana de Toluca



Finalmente, para identificar el comportamiento espacial de la injusticia por agebs, se realizó una correlación espacial estadística, para lo cual se calculó el Índice de Morán Local univariado, con la finalidad de identificar los hot spots de agebs con justicia y por ende, conocer los cold spots que representen la correlación espacial de injusticia.

Se obtuvo un índice de 0.38, se randomizó a 999 permutaciones, obteniendo una significancia con valor $P=0.05$ en 76 agebs, 37 con valor $p=0.01$ y 20 con valor $p=0.001$ (figuras 51 y 52). En la figura 53, se aprecia que existe un patrón de correlación espacial agrupado respecto a la justicia climática y se concentra en la zona norte de la metrópoli, es decir, existe un agrupamiento de 61 agebs con valores altos de justicia cuyos vecinos también poseen dicha condición.

Respecto a la injusticia, el patrón que se observa indica que también existe agrupamiento espacialmente significativo. El cluster se distribuye en el centro de la metrópoli y siguen la línea de la Avenida Tollocan, en el lado sur. Son 63 agebs, que presentan niveles bajos y muy bajos de justicia climática, y sus vecinos también poseen dicha característica, es decir, 63 agebs presentan injusticia climática en la Zona Metropolitana de Toluca.

Figura 51. Significancia LISA de la Justicia Climática

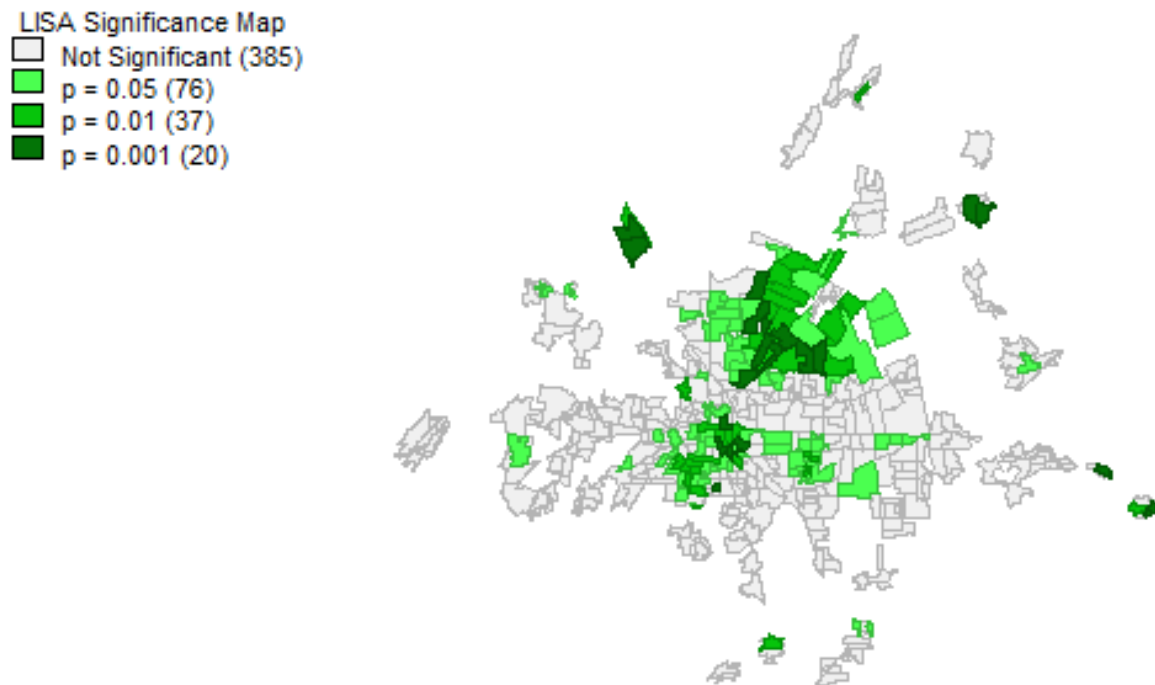


Figura 52. Índice de Moran Local Univariado para la justicia climática

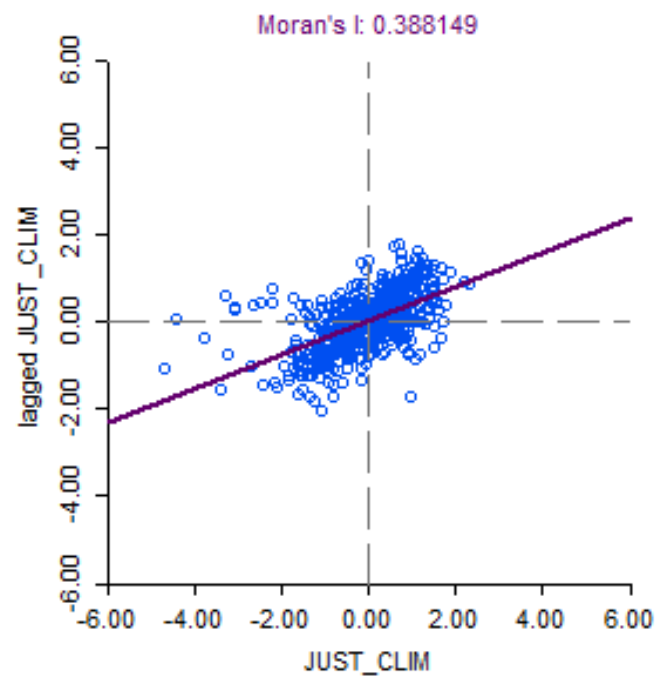
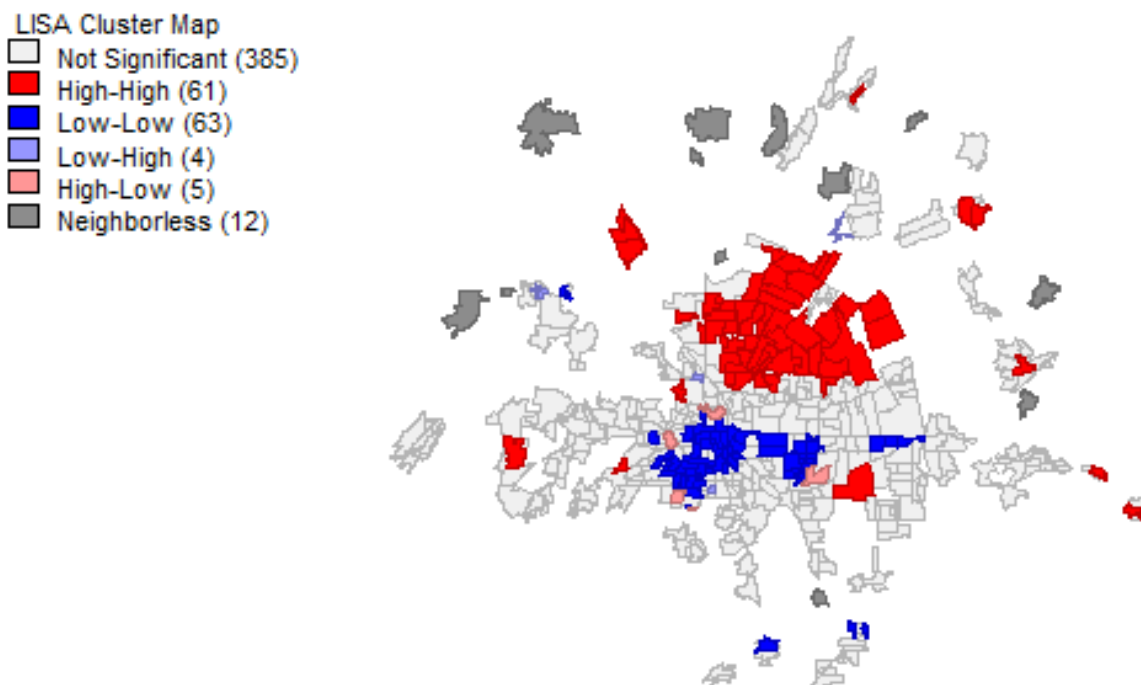


Figura 53. Clusters LISA para la justicia climática

La situación que guarda la justicia climática en la Zona Metropolitana de Toluca con base en características cuantitativas, tiene un comportamiento distinto a lo consultado en la literatura. Puesto que la tendencia de los estudios en materia de justicia climática, se encamina a considerar solo las condiciones socioeconómicas de la población para evidenciar que existe una desigual distribución del comportamiento adverso del clima en la población.

Pocos son los estudios que han enfocado su atención en la justicia climática a nivel local, aun así, las consideraciones finales, en su mayoría, indican que las poblaciones con menores recursos económicos o con niveles socioeconómicos bajos son las más afectadas, respecto a los impactos negativos del clima, ya sea a escala global o local. Por mencionar algunos ejemplos, Borrás (2016), indica que los países con mayor condición de pobreza y con alta vulnerabilidad social son los que más están sufriendo los impactos generados por el cambio climático.

Algunos otros estudios indagan sobre la injusticia climática a nivel local, producto del clima urbano y concluyen que la población que se encuentra en los niveles socioeconómicos más altos cuenta con mejores condiciones ambientales y climáticas en relación con los indicadores de sectores de población situados en niveles socioeconómicos bajos (Moreno y Fernández, 2003; Romero et al., 2010; Smith y Hernández, 2018). Sánchez *et al.*, (2017) retoman la injusticia climática, producto del clima urbano, con base en los hogares que no cuentan con sistemas de refrigeración, debido a que poseen un menor confort térmico respecto a la intensidad que puede presentar la isla de calor.

Por su parte, Ranganathan, M., & Bratman, E. (2019), centran su investigación en las zonas de mayoría negra que se dice que son vulnerables a los fenómenos meteorológicos extremos. En otro contexto, Chu, E., y Michael, K. (2019), atribuyen una mayor exposición a los riesgos climáticos emergentes y la precariedad económica a los migrantes, por lo que presentan condiciones de injusticia climática.

Las investigaciones anteriormente mencionadas, relacionan solo aspectos socioeconómicos con los impactos del clima local o regional. A diferencia de los resultados descritos, la Zona Metropolitana de Toluca, muestra un comportamiento distinto, la injusticia climática que se presenta, no tiene una relación directa con los sectores de población más pobres o con condiciones socioeconómicas bajas. Debido a que algunos sectores que pudieran representar áreas de vulnerabilidad respecto a cuestiones de edad, educación, salud o vivienda, no presentan zonas climáticas adversas. Por el contrario, los sectores que presentan valores más altos en la dimensión socioeconómica, están más expuestos a condiciones adversas del clima urbano. El elemento que incide en la injusticia climática producto del clima urbano, corresponde al territorio. Se presentan correlaciones estadísticas y espaciales más intensas con estas dos últimas dimensiones.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

La justicia climática desde su base teórica busca la disminución de las desigualdades socioeconómicas, en torno a los impactos que generan los cambios climáticos. El aporte en la investigación que se ha realizado a lo largo de los últimos años, se ha concentrado en identificar las desigualdades que se presentan entre países desarrollados y subdesarrollados, en torno al cambio climático global. Sin embargo, es en la escala local donde se distinguen a detalles dichas desigualdades desarrolladas y sostenidas al interior de la sociedad, por ende, la justicia climática se torna en otra perspectiva.

Se ha identificado la necesidad de centrar la atención en la justicia climática a escala local, considerando el desarrollo del clima urbano al interior de las ciudades, debido a que el impacto del clima a nivel local, producto de la ciudad insostenible deja de manifiesto, mayor inequidad, la cual se traduce en mayor injusticia. Por lo que, si bien el cambio climático es el tema predominante en la investigación científica de los últimos años, no se debe olvidar que los patrones representativos del clima local son impactados por el cambio global, y se reflejan en impactos negativos en la biodiversidad y los seres humanos.

Centrándonos en los aportes y resultados que ha dado esta investigación, la redacción de las conclusiones se presenta en torno a la secuencia de los objetivos específicos planteados, mismos que se describieron en el primer apartado y se retoman enseguida.

El primer objetivo que se definió, consistía en analizar el comportamiento y distribución espacial de los elementos temperatura, humedad relativa y viento del clima urbano a lo largo de 6 años, con la finalidad de obtener el mapa de clima urbano y sus condiciones negativas persistentes en el territorio. Con base en este objetivo se concluye que:

La Zona Metropolitana de Toluca ha generado un cambio en el comportamiento de los elementos del clima regional, produciendo un clima urbano. El indicador de islas de calor, demuestra la persistencia de estas en el territorio a lo largo de los años analizados. La variabilidad de los datos para la temperatura de superficie es baja, es decir, los datos se comportan con cierta homogeneidad; el coeficiente de variación presenta porcentajes por debajo del 8% para la mayoría de los años, con excepción del 2013.

Todos los años analizados presentan islas de calor, sin embargo, el año que presenta mejores condiciones respecto a superficie ocupada de islas de calor es el 2014 y respecto a intensidad es el 2013, con 15.82°C . El año que posee las condiciones más adversas, tomando en cuenta intensidad y superficie abarcada es el 2016, la máxima intensidad alcanzada es de 19.71°C de diferencia respecto al entorno periurbano o rural. El comportamiento de la ZMT, supera en intensidad al promedio descrito en la literatura, el cual oscila de 10 a 15°C en el día, pues las intensidades alcanzadas más bajas son de 15°C y las máximas superan los 19°C .

El mapa que integra a todos los años, indica que la máxima intensidad se encuentra en 15.75°C , las islas de calor ocupan una superficie promedio de 28.02% de la superficie total de la ZMT. El comportamiento espacial, muestra un patrón recurrente, en el que las máximas intensidades se ubican en la zona centro-sur de la ciudad, en los agebs aledaños a la vialidad Tollocan y los que se localizan junto a la vialidad Aeropuerto. Para la metrópoli de Toluca, las zonas con persistencia de islas de calor con intensidad fuerte y muy fuerte se localizan en las áreas industriales, administrativas y comerciales, las cuales presentan extensas áreas de superficie artificial y pocas de áreas verdes.

Respecto a la humedad relativa y la consecuente isla de sequedad, el comportamiento en el área de estudio muestra que el 2013 fue un año atípico, pues presenta valores por debajo de los valores de los años siguientes. El 2016, representa el año con mejores condiciones de humedad relativa, se alcanza el

mayor porcentaje con 98% ubicado en la estación Aeropuerto que se localiza al noreste de la metrópoli. El valor más bajo, como ya se mencionó, se registró en el año 2013 con solo 71% de humedad relativa, el cual se generó en la estación Toluca-Centro.

Tomando en cuenta la persistencia de la isla de sequedad, los valores altos de humedad relativa se distribuyen en la zona norte de la ciudad, con las estaciones Aeropuerto y San Cristóbal, siendo estaciones ubicadas en sectores periurbanos. Los valores bajos, los cuales representan la isla de sequedad, abarcan el centro-sur de la metrópoli y se distribuyen a partir de las estaciones Oxtotitlan, Centro, Metepec y San Mateo Atenco, las cuales se encuentran ubicadas en los sectores más urbanizados de la metrópoli y donde se concentran las actividades industriales y comerciales de la misma.

Considerando el último indicador del clima urbano, el viento, se sabe que juega un papel importante para consolidar o disipar la isla de calor y directamente su intensidad. La estación que presenta condiciones de velocidad más altas durante todo el periodo de estudio a excepción del año 2013, corresponde a San Cristóbal Huichochitlán. La mayor velocidad se alcanza en el año 2016 con 4.7 m/seg. Las velocidades de viento bajas se concentran en las estaciones Centro y Metepec, siendo esta última zona la que posee el valor más bajo para todo el periodo de estudio con 1.6 m/seg de velocidad del viento.

El viento constituye uno de los principales elementos del clima, ante la cual la isla de calor puede mostrar una mayor sensibilidad. Cuando las condiciones regionales respecto al viento son intensas, el clima local cede ante ellas. La teoría indica que a mayor velocidad del viento, menor será la diferencia de temperatura que exista entre el ambiente urbano y el periurbano o rural. Por lo anterior, existen umbrales de velocidad de viento que si se sobrepasan, impiden el desarrollo de la isla de calor, para la Zona Metropolitana de Toluca, este umbral es de 9.96 m/s. Con base en los datos existentes, se tiene que el comportamiento temporal de la velocidad

osciló entre 1.6 a 4.7 m/s por lo que se encuentran debajo del umbral, presentando condiciones idóneas de velocidad del viento para la conformación de isla de calor.

El comportamiento temporal del viento, a lo largo de los años analizados, muestra un patrón donde los valores mínimos de velocidad se encuentran localizados en la parte sur-centro de la ciudad, a través de las estaciones San Mateo Atenco, Ceboruco, Metepec y Centro. La velocidad aumenta conforme se acerca a las zonas periurbanas, con las estaciones Oxtotitlán, San Cristobal Huichochitlán y Aeropuerto, las cuales se localizan al norte de la ciudad. Lo anterior tiene una relación directa con los niveles de rugosidad que presenta la metrópoli a lo largo de su territorio. En zonas con mayor densidad de construcción, la velocidad del viento disminuye. Respecto a la dirección del viento, el comportamiento prevalece de sur a norte, pero se modifica conforme los vientos ingresan a lo más céntrico de la ciudad, esta condición posibilita la generación de turbulencias y rafagosidad.

El índice climático generado demuestra el comportamiento en conjunto de los elementos climáticos considerados. Las zonas climáticas adversas se identificaron en la parte centro y sur de la metrópoli; por el contrario, las zonas que presentan condiciones climáticas óptimas se ubican en la periferia norte y en los agebs que no se encuentran conurbados con la metrópoli. El comportamiento del clima urbano, responde a las modificaciones hechas a la superficie natural, debido a que el indicador climático, demuestra que la mayor modificación al clima regional se presenta en donde los cambios en la superficie urbana son más intensos.

Considerando el segundo objetivo particular, el cual planteaba categorizar las condiciones territoriales y socioeconómicas que existen en la Zona Metropolitana de Toluca, con la finalidad de identificar las zonas territoriales y socioeconómicas adversas, los resultados muestran que:

Respecto a la densidad de vegetación, los resultados del NDVI, indican que las áreas verdes existentes dentro de la zona urbana ocupan en conjunto tan solo el 3.48% de la superficie total que ocupa la Zona Metropolitana de Toluca. El 75% de los

agebs tienen una deficiencia en superficie vegetal. Se tiene un problema ambiental en este sentido, debido a que la vegetación sirve como regulador ambiental y como facilitador de filtración de agua al subsuelo, por lo que se deducen impactos al ambiente y biodiversidad en este rubro.

El análisis de la densidad de vivienda demuestra que la ciudad presenta un modelo de crecimiento disperso, debido a que las densidades son bajas pero consumen altas tasas de suelo urbano. Lo anterior se fundamenta a partir de que el 67% de los agebs que componen a la metrópoli presentan esta condición. Las densidades más altas se localizan alrededor de la zona centro y siguen un comportamiento radial a lo largo del corredor industrial Toluca-Lerma y hacia el sur en el municipio de Metepec.

Tomando en cuenta la densidad de unidades económicas, el patrón de máxima densidad se localiza en la zona centro de la ciudad y algunos sectores ubicados a los costados de la Avenida Tollocan que conecta el corredor industrial Toluca-Lerma. La mayor superficie de la metrópoli presenta densidades bajas de unidades económicas, lo que indica que la actividad económica está concentrada en núcleos industriales y comerciales existentes en el territorio.

Referente a los cuerpos de agua y su cercanía o lejanía a cada uno de los agebs, se concluye que existen pocos cuerpos de agua alrededor y al interior de la zona de estudio. Las distancias entre agebs y los principales cuerpos de agua oscilan entre 2 y 7 km. Esta condición promueve una baja regulación térmica al interior de la metrópoli.

Las características del suelo analizadas, permitieron identificar respecto al componente brillo, el cual infiere el albedo de la zona urbana, que los valores más altos están condicionados por el color claro de los materiales de las naves industriales, sin embargo, el resto de la metrópoli presenta valores de medios a

bajos, lo que representa que el albedo promedio, permite tener una inercia térmica alta, por consiguiente, el incremento de temperatura superficial.

El componente de verdor, demuestra que la metrópoli cuenta con valores bajos en promedio, lo que indica que la mayor parte de la superficie urbana está desprovista de vegetación. Finalmente el componente de humedad expresa valores bajos, lo que se traduce a que la ciudad está construida en su mayoría con materiales impermeables, y que posee poco porcentaje de suelo desnudo o con vegetación. Los valores más altos de humedad se encuentran en los agebs no conurbados y los periurbanos, en especial al norte de la metrópoli.

En conjunto, el indicador territorial, nos permite visualizar que las zonas con condiciones territoriales adversas se concentran en los sectores centro-sur de la metrópoli, relacionándose directamente con la mayor densificación urbana y con la existencia de núcleos industriales y comerciales. Las zonas con condiciones óptimas se localizan en la dirección norte. Por lo anterior se concluye que la zona centro-sur, está en condiciones territoriales inadecuadas para ser resiliente a los impactos del clima urbano, los cuales son más intensos en dicha zona.

Las zonas socioeconómicas adversas, tuvieron como soporte el análisis de las variables de edad, condiciones socioeconómicas, vivienda y salud. La población vulnerable al clima urbano se concentra en agebs periféricos en dirección norte y este. Al interior de la ciudad existe poco porcentaje de adultos mayores y niños, lo que representa poca vulnerabilidad en este rubro.

Las condiciones socioeconómicas analizadas permitieron identificar los sectores que pudieran ser vulnerables a las condiciones adversas del clima, respecto a la dependencia económica, los mayores porcentajes presentan una relación directa con los grupos vulnerables por edad, pues se distribuyen en la misma zona. Tomando en cuenta la escolaridad, los valores más altos se encuentran en los agebs aledaños al centro de la ciudad en el municipio de Toluca y en la zona sur,

abarcando los agebs del municipio de Metepec. Las zonas vulnerables por cuestiones de bajos niveles de educación se concentran en la zona norte de la metrópoli.

La última característica que permitió la identificación de ZTA, fue la vivienda, en este sentido las mejores condiciones respecto a bienes y servicios se localizan siguen en mismo patrón que con las variables anteriores. El centro- sur de la metrópoli posee mejores condiciones que les permiten construir una mayor resiliencia al clima urbano.

En conjunto, el indicador socioeconómico, muestra que las zonas socioeconómicas adversas, que condicionarán a la población a resentir más los efectos adversos del clima urbano, se distribuyen en 149 agebs, lo que representa el 28% del total y se concentran en la zona norte del área de estudio.

Con base en el tercer objetivo planteado, el cual indica que: se debe analizar el grado de correlación estadística y espacial entre los indicadores climáticos, territoriales y socioeconómicos incluidos para generar un indicador que permita identificar y categorizar zonas socioclimáticas y socioterritoriales adversas, las cuales permitan medir la equidad horizontal y vertical, se presentan las siguientes aseveraciones:

El análisis del indicador climático y el territorial, determinaron las zonas climático-territoriales adversas, las cuales permitieron identificar y medir la equidad horizontal y con ello la justicia climática horizontal, misma que pretende minimizar características en el territorio que coadyuvan a que los indicadores del clima urbano se manifiesten con mayor intensidad. Con base en el procedimiento overlay se detectaron ZCTA distribuidas en 97 agebs a lo largo del centro de Toluca, a través de la vialidad Tollocan y la vialidad Toluca-Tenango. Sin embargo, a partir del cálculo estadístico de medias, la superficie y número de agebs aumentó a 211 agebs. La mayor inequidad horizontal se concentra en tres municipios: Toluca,

Metepec y Lerma, esto se refuerza a partir del resultado de la autocorrelación espacial realizada, pues los clusters se generan en la zona centro del municipio de Toluca y al sur, en el municipio de Metepec. Las ZCTA representan información importante, debido a que son el punto de arranque para reacomodar las políticas públicas respecto al desarrollo urbano que se tiene planteado para la metrópoli.

Respecto a las Zonas Socioclimáticas Adversas, las cuales permiten medir la inequidad vertical, el indicador demostró por procedimiento overlay, que estas son escasas y se presentan de manera aleatoria en dos municipios, Toluca y San Antonio La Isla, sin embargo, con procedimiento estadístico, las ZSCA aumentan a 208 agebs y se incorporan todos los municipios que conforman a la metrópoli, no existe un agrupamiento, su distribución en el espacio también es aleatoria. Las ZSCA, se presenta en agebs que poseen la característica común de ubicarse en las zonas periféricas de la metrópoli y en agebs no conurbadas, lo que indica que las zonas periurbanas presentan cierta desigualdad socioeconómica respecto a las zonas urbanas al interior de la zona metropolitana.

La justicia climática vertical, presenta un agrupamiento espacial estadísticamente significativo con 113 agebs, los cuales se ubican al interior de la metrópoli, en los sectores centro, noreste y centro-sur. Estas agebs poseen la condición socioeconómica óptima que les fortalece para aumentar la resiliencia a los impactos del clima urbano.

Finalmente, el cuarto objetivo proponía analizar el comportamiento y distribución de la equidad horizontal y la equidad vertical presentes en la zona de estudio para determinar la existencia de justicia climática. Con base en este objetivo, los resultados del análisis realizado, permitieron cuantificar y espacializar el comportamiento de la justicia climática en la Zona Metropolitana de Toluca, teniendo las siguientes aseveraciones:

El indicador que más peso tiene respecto a la construcción de justicia climática en torno al clima urbano es el territorio, por lo que las zonas climático-territoriales adversas, son un punto importante en la consolidación de (in)justicia climática en el área de estudio. El coeficiente de determinación calculado, para el modelo de regresión que se realizó, afirma dicho planteamiento, puesto que para los indicadores clima-sociedad, el coeficiente alcanza un 11% de explicación de la variación total, a diferencia del realizado para los indicadores clima-territorio, donde se alcanza un 67%, es decir, el 67% de los casos del componente clima, son explicados por los casos del componente territorio.

Con base en lo anterior, el índice sintético de Justicia climática muestra que el 39.43% del total de agebs existentes, presentan niveles altos de justicia. Los municipios que concentran el mayor porcentaje de sus agebs con esta condición son Otzolotepec, Xonacatlán, Temoaya y Almoloya de Juárez. Todos ellos comparten la característica de ubicarse al norte de la metrópoli. En los dos primeros, el 100% de su territorio se alcanza la justicia climática, es decir, poseen equidad vertical y horizontal que les permiten construir espacios y sociedad resiliente a los impactos del clima urbano. En esta categoría, el municipio de San Antonio La Isla, no aporta agebs a la misma, por lo que se deduce que presenta inequidad vertical y horizontal y se convierte en un foco rojo de atención dentro de la Zona Metropolitana de Toluca.

La injusticia climática es el punto central de las conclusiones, debido a que muestra las desigualdades existentes al interior de la sociedad y del espacio en el que se desarrolla el clima urbano. La existencia de zonas con injusticia climática pone en la mesa de discusión los lugares que deben ser atendidos de manera prioritaria para cambiar sus condiciones socioterritoriales, de manera tal, que les permitan fortalecer la resiliencia para hacer frente a las consecuencias negativas que producen las islas de calor, las islas de sequedad y los cambios en los canales de viento, todos producto del clima urbano.

Los agebs que se encuentran en esta categoría son 203, repartidos en 12 municipios de los 15 que conforman la ZMT. Los 3 restantes no poseen agebs con categoría de injusticia climática y son Otzolotepec, Temoaya y Xonacatlán.

Los agebs con la condición de injusticia climática se distribuyen en el territorio con autocorrelación espacial estadísticamente significativa a partir de clusters agrupados, con ubicación en el centro de la metrópoli y en dirección radial hacia la Avenida Toluca, en el lado sur. Su distribución se relaciona con los núcleos comerciales, administrativos e industriales de la metrópoli.

La hipótesis planteada al principio de la investigación proponía que el clima urbano existente en la Zona Metropolitana de Toluca tenía un comportamiento y distribución desigual en el territorio e incidía de manera directa en la población con condiciones socioeconómicas adversas para ser resilientes a los impactos negativos generados. Así mismo se visualizaba que existen áreas en donde persisten condiciones socioclimáticas adversas y que no son representativas de la justicia climática en el área de estudio.

Si bien, este último enunciado se acepta, debido a que existen zonas donde persisten condiciones adversas en materia climático-socio-territorial que permiten la existencia de injusticia climática en la zona, la hipótesis en su conjunto se rechaza, toda vez que la distribución y persistencia de las condiciones adversas en la Zona Metropolitana de Toluca, no incide de manera directa en la población con condiciones socioeconómicas bajas. Al contrario, los impactos persistentes del clima urbano, inciden en los sectores de población que presentan niveles medios-altos respecto al indicador socioeconómico.

Por lo que se concluye que para la zona de estudio, las condiciones del territorio son las que determinan la existencia o no de justicia climática, por lo que la equidad vertical queda en segundo término para la problemática planteada. La situación que guarda la justicia climática en la Zona Metropolitana de Toluca con base en

características cuantitativas, tiene un comportamiento distinto a lo planteado, debido a que la injusticia climática que se presenta, no tiene una relación directa con los sectores de población más pobres o con condiciones socioeconómicas bajas.

En este sentido, los sectores de población que habitan zonas periurbanas y con niveles bajos en la dimensión socioeconómica, son los que poseen mejores condiciones climáticas, que a su vez, les permiten tener una calidad de vida más alta en materia ambiental.

Recomendaciones

Con la finalidad de evidenciar los lugares a los cuales los municipios deberían poner especial atención, debido a las condiciones adversas que presentan en materia territorial y/o socioeconómica y con el objetivo de disminuir dichas condiciones y con ello, aumentar la resiliencia de la sociedad que habita esos espacios ante el clima urbano que gesta la ciudad, se realiza la siguiente lista con la localidad más afectada por municipio respecto a la injusticia climática.

Municipio	Localidad con más superficie afectada
Toluca	Toluca Santiago Tlacotepec
Metepec	Metepec San Jerónimo Chicahualco
Lerma	Lerma de Villada San Pedro Tultepec
San Mateo Atenco	San Mateo Atenco
Calimaya	Calimaya de Díaz González Zaragoza de Guadalupe
Zinacantepec	San Miguel Zinacantepec San Juan de las Huertas

San Antonio La Isla	San Antonio la Isla Ex-Rancho San Dimas
Almoloya de Juárez	Fraccionamiento Colinas del Sol Villa de Almoloya de Juárez
Mexicaltzingo	San Mateo Mexicaltzingo
Chapultepec	Chapultepec Unidad Habitacional Santa Teresa
Rayón	Santa María Rayón
Ocoyoacac	Ocoyoacac

Se recomienda que en estas localidades se realice de manera más detallada un análisis de las condiciones territoriales que coadyuvan a que la población esté más expuesta a mayores intensidades de islas de calor y de islas de sequedad, lo que se traduce en afectaciones a la salud y la economía de dicha población, sin mencionar las afectaciones a la biodiversidad.

También se cree necesario que esta investigación sea tomada en cuenta para la planeación urbana de próximos gobiernos locales, con la finalidad de disminuir la brecha de desigualdades territoriales que hacen posible la existencia de injusticia climática en la Zona Metropolitana de Toluca

Bibliografía

- Alcaraz Sendra, Olga, Antequera, Josep, Buenestado Caballero, Pablo, Xercavins, Josep, Escribano Rodríguez De Robles, Beatriz, & Turon Florenza, Albert. (2015). Una proposta de model de justícia climàtica per càpita. *Sostenible?*, (16), Sostenible?, 2015, Issue 16.
- Alfie Cohen, M. (2015). Conflictos socio-ambientales: la minería en Wirikuta y Cananea. *El Cotidiano*, [en línea] (191), pp.97-108. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=32538023011>
- AMAI. (2011) Índice de nivel socioeconómico. Disponible en: <http://nse.amai.org>
- Anderson, S. (2002) An evaluation of spatial interpolation methods on air temperature in Phoenix, AZ. Department of Geography, Arizona State University. Disponible en: <http://www.cobblestoneconcepts.com/ucgis2summer/anderson/anderson.htm>
- Ángel, Laura et al. (2010). Islas de calor y cambios espacio-temporales de la temperatura en la ciudad de Bogotá. *Ciencias de la Tierra* 34. 173-183. Bogotá, Colombia.
- Antenas Collderram, Josep Maria, & Vivas, Esther. (2009). Justicia climática y justicia social: Un mismo combate contra el capitalismo global. *Ecología Política*, (39), 103-106.
- Ayllón, T. (2003). Elementos de Meteorología y Climatología. México: Trillas.
- Banco Mundial (2015). Indicadores de desarrollo mundial: población urbana. Consultado en: <http://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS?end=2015&start=1960>
- Ballinas, M. (2011). Mitigación de la isla de calor urbana: Estudio de caso de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Tesis de maestría. México, DF: UNAM.
- Ballinas, M., Barradas. V. (2014). The actual urban heat island in Mexico City. Obtenido de http://www.researchgate.net/profile/Victor_Barradas3/publication/270050061_The_actual_urban_heat_island_in_Mexico_City/links/549ef0870cf267bdb8fdb96e.pdf
- Baptiste, & Rhiney. (2016). Climate justice and the Caribbean: An introduction. *Geoforum*, 73, 17-21.
- Baqueda C. (2012). Acceso a la justicia ambiental en México: retrocesos, avances y desafíos. En: Premio Nacional de Investigación Social y de Opinión Pública 2011. Coord. Mascott Sánchez M. y Meixueiro Nájera G. Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública. 155-187.
- Barradas, V. (1987). Evidencia del efecto de "Isla Térmica" en Jalapa, Veracruz, México. *Revista Geofísica*, 126-135.
- Barrett, S. (2013). Local level climate justice? Adaptation finance and vulnerability reduction. *Global Environmental Change*, 23(6), 1819-1829.
- Barrett, S. (2013). The necessity of a multiscale analysis of climate justice. *Progress in Human Geography*, 37(2), 215-233.
- Bernstein A.R. (2011) Climate Justice. In: Chatterjee D.K. (eds) *Encyclopedia of Global Justice*. Springer, Dordrecht
- Borras, S. (2016). Movimientos para la justicia climática global: replanteando el escenario internacional del cambio climático | *Movements for global climate Justice: Reconsidering the*

- international arena of climate change. Relaciones Internacionales*, 0(33). Recuperado de <https://revistas.uam.es/index.php/relacionesinternacionales/article/view/6729/7062>
- Bosque Sendra J, Díaz C, Díaz M.A. (2001). De la justicia espacial a la justicia ambiental en la política de localización de instalaciones para la gestión de residuos en la Comunidad de Madrid. *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*. 137-138: 89-114
- Brennetot A., (2010) Pour une géoéthique. *Éléments pour une analyse des conceptions de la justice spatiale. L'Espace géographique*. 1:75-88.
- Bulkeley, H., Carmin, J., Broto, V. C., Edwards, G. A., & Fuller, S. (2013). Climate justice and global cities: mapping the emerging discourses. *Global Environmental Change*, 23(5), 914-925.
- Bulkeley, H., Edwards, G. A., & Fuller, S. (2014). Contesting climate justice in the city: Examining politics and practice in urban climate change experiments. *Global Environmental Change*, 25, 31-40.
- Capelli de Steffens, Alicia M., Piccolo, María Cintia, & Campo de Ferreras, Alicia M.. (2006). Clima urbano de Bahía Blanca. *Revista Universitaria de Geografía*, 15(1), 183-186. Recuperado en 04 de abril de 2018, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652006000100011&lng=es&tling=es.
- Capelli de Steffens, A.; Píccolo, M.; Hernández, J. y Navarrete, G. (2001). La isla de calor estival en Temuco, Chile. *Papeles de Geografía*. 33:49-60.
- Casillas, A., García R., Castro J. y Dávalos E. (2011). Evolución de la Isla Urbana de Calor en Mexicali, BC., mediante una herramienta inteligente. Obtenido de XX Congreso Mexicano de Meteorología: www.ommac.org/congreso2011/document/extenso/Ext2011027.pdf
- Casillas-Higuera, A., García-Cueto R., Leyva-Camacho O. y González-Navarro F. (2014). Detección de la Isla Urbana de Calor mediante Modelado Dinámico en Mexicali, B.C., México. *Información Tecnológica*, 25(1), 139-150.
- Centro de Derechos Humanos (2008) Informe Anual sobre Derechos Humanos en Chile 2008. Hechos 2007. Capítulo de Medio Ambiente. Universidad Diego Portales. Santiago de Chile. 505-538.
- Cervantes J., Barradas V., Tejeda A., Angulo Q., Triana C. y Gutiérrez G. (2000). Aspectos del clima urbano de Villahermosa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*. 16 (31), 10-16.
- Chu, E., & Michael, K. (2019). Recognition in urban climate justice: Marginality and exclusion of migrants in Indian cities. *Environment and Urbanization*, 31(1), 139-156.
- Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección espacial*, 3ª Edición, Madrid, Rialp.
- Chhetri, D. B. T., Fujimori, Y., & Moriwaki, R. (2017). Local climate classification and urban heat/dry island in Matsuyama plain. *土木学会論文集 B1 (水工学)*, 73(4), I_487-I_492.
- Colunga, M L., Cabromón-Sandoval, V, Suzán-Azpiri, H, Guevara-Escobar, A, y Luna-Soria, H. (2015). The role of urban vegetation in temperature and heat island effects in Querétaro city, Mexico. *Atmósfera*, 28(3), 205-218. Disponible en:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-62362015000300005&lng=es&tlng=pt.

CONEVAL (s/f) Acceso a servicios básicos de vivienda. Disponible en : <https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Medici%C3%B3n/Acceso-a-servicios-basicos-vivienda.aspx>

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) (2014). H. Congreso de la Unión. Consultado en <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/cpeum.htm>.

Contreras A., Salas J., Velásquez G., Quevedo H. (2008). Determinación de la isla de calor urbano en Ciudad Juárez mediante programa de cómputo. CULCyT. 5(26), 3-16.

Coseo, P. y Larsen, L. (2014). How factors of land use/land cover, building configuration, and adjacent heat sources and sinks explain Urban Heat Islands in Chicago. Landscape and Urban Planning, 125, 117-129. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2014.02.019

Cui Y. y de Foy, B. (2012). Seasonal Variations of the Urban Heat Island at the Surface and the Near-Surface and Reductions due to Urban Vegetation in Mexico City. Journal of applied meteorology and climatology. 51: 855-868.

Cumbre de Johannesburgo (2002). Consultado en http://www.un.org/spanish/conferences/wssd/cumbre_ni.htm.

Declaración de la Conferencia de Estocolmo (1972). Consultado en <http://www.oarsoaldea.net/agenda21/files/>Declaracion%20de%20Stockholmo.pdf>.

Declaración de la Conferencia de Johannesburgo (2002) Consultado en: . https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/WSSDsp_PD.htm

Declaración de la Conferencia de Río (1992). Consultado en <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/riodeclaration.htm>.

Duany A. (2000) A new theory of urbanism. Sci Am. Dec;283(6):90-1. PMID: 11103464.

Elizondo, J. E., & Maestre, L. P. (2002). Fundamentos de procesamiento de imágenes. Documentación Universidad Autónoma de Baja California, Unidad Tijuana.

Evans J. y de Shiller S. (2005). La isla de calor en ciudades con clima cálido-húmedo. El caso de Tampico, México. ASADES. 9. 37-42.

EPA (n/d). Environmental justice. Disponible en: <https://www.epa.gov/environmentaljustice>

EPA (2008). Reducing urban heat islands. Disponible en: https://www.epa.gov/sites/production/files/201705/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_1.pdf

EPA (2016) Climate change and heat islands. Disponible en <https://www.epa.gov/heatislands/climate-change-and-heat-islands>

ESA (2015). Sentinel-2 User Handbook. Disponible en https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook

ESRI (2016). ArcGis for desktop: estadísticas zonales. Disponible en: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/zonal-statistics.htm>

- ESRI (2019). ArcGis for desktop: análisis de superposición. Disponible en: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.7/analyze/commonly-used-tools/overlay-analysis.htm#GUID-BF7FF5E5-302F-4DC4-9108-7C91795B5427>
- Fernández, F. (1995). Manual de Climatología aplicada. Clima, medioambiente y planificación. Síntesis. Madrid.
- Fernández, F., Martilli, A. (2012). El clima urbano: aspectos generales y su aplicación en el área de Madrid. *Indice*, 50: 21-24.
- Figueirido, Monteiro, C.A. (2003) Teoria e Clima Urbano - Um projeto e seus caminhos. En: Monteiro, C.A.F; Mendonça, F. Clima urbano. São Paulo: Contexto. 9 – 67.
- Fisher, S. (2015). The emerging geographies of climate justice. *Geographical Journal*, 181(1), 73-82
- Fuentes, CA. (2015). Islas de calor urbano en Tampico, México: Impacto del microclima a la calidad del hábitat. *Nova scientia*, 7(13), 495-515. Galindo, I. (2007). Identificación y estudios de las islas urbanas de calor de las ciudades de Guadalajara y Colima, propuestas de estrategias de mitigación. México: CONAVI-CONACYT. Disponible en: 2006-2012.conacyt.gob.mx/fondos/FondosSectoriales/.../8-IgnacioGalindo.pdf
- García-Cueto O., Jáuregui-Ostos E., Toudert, D., Tejeda-Martínez, A. (2007). Detection of the urban heat island in Mexicali, B. C., México and its relationship with land use. *Atmósfera*, 20(2), 111-131.
- García, M. (2013). Clima urbano costero de Mar del Plata y Necochea-Quequén. GAEA. Buenos Aires
- Hao, L., Huang, X., Qin, M., Liu, Y., Li, W., & Sun, G. (2018). Ecohydrological processes explain urban dry island effects in a wet region, southern China. *Water Resources Research*, 54(9), 6757-6771.
- Harvey, D. (1977). Urbanismo y desigualdad social. Madrid: Siglo XXI.
- Innerarity, D. (2012). Justicia climática. *Dilemata*, 0(9), 175-191. Recuperado de <http://www.dilemata.net/revista/index.php/dilemata/article/view/152/146>
- IPCC (2001). Glosario de términos. Tercer informe. IPCC
- INEGI (2008). Cartografía censal: Área Geoestadística Básica. <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/prodyserv/cartocen/>.
- INEGI (2010). XIII Censo General de Población y Vivienda 2010. Disponible en línea: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/default.aspx>
- INEGI (2016), Marco Geoestadístico Nacional, versión 2016. Disponible en línea: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/m_geoestadistico.aspx
- Instituto Argentino del Petróleo (1991). Guía de recomendaciones para proteger el medio ambiente durante el desarrollo de la exploración y explotación de hidrocarburos. Buenos Aires.

- Jankovic V (2013). A historical review of urbanclimatology and the atmospheresof the industrialized world. *WIREs Clim Change*, 4:539–553. doi: 10.1002/wcc.244
- Janoschka, Michael. (2002). El nuevo modelo de la ciudad latinoamericana: fragmentación y privatización. *EURE* (Santiago), 28(85), 11-20. <https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612002008500002>
- Jáuregui, E. (1979) La isla de calor en Toluca. *Boletín Investigaciones Geográficas, UNAM*. 9: 27-37.
- Jauregui, E. (1993). La isla de calor urbano de la ciudad de México a finales del siglo XIX. *Boletín Investigaciones Geográficas, UNAM*. 26: 31-40.
- Jauregui, E. (1997). Heat island development in Mexico City. *Atmospheric Environment*, 31(22), 3821-3831.
- Jauregui, E. (2005). Possible impact of urbanization on the thermal climate of some large cities in México. *Atmósfera*, 18(4), 249-252. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-62362005000400004&lng=es&tling=en.
- Jauregui, E., Godinez, L., Cruz, F. (1992) Aspects of heat-island development in Guadalajara, Mexico, *Atmospheric Environment. Urban Atmosphere*, 26B (3), 391-396, ISSN 0957-1272, [http://dx.doi.org/10.1016/0957-1272\(92\)90014-J](http://dx.doi.org/10.1016/0957-1272(92)90014-J).
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/095712729290014J>)
- Jáuregui, E. y Tejeda, A. (1997). Urban–rural humidity contrasts in Mexico city. *Int. J. Climatol.*, 17: 187–196. doi:10.1002/(SICI)1097-0088(199702)17:2<187::AID-JOC114>3.0.CO;2-P
- Kasperson, R. E., & Kasperson, J. X. (2001). Climate change, vulnerability, and social justice (pp. 1-18). Stockholm: Stockholm Environment Institute.
- Landa, R., Magaña, V., Neri, C. (2008) Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático. SEMARNAT, CCA UNAM. México.
- Lillo, J. (2011). Impactos de la minería en el medio natural. Grupo de Geología Universidad Rey Juan Carlos.
- López, A., Fernández, F., Arroyo, F., Martín, J., Cuadrat, J.M. (1993). El clima de las ciudades españolas. Ed. Cátedra.
- Martínez Alier, J. (2004). Los conflictos ecológico-distributivos y los indicadores de sustentabilidad. *Revibec: revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica*, 1, 021-30.
- Martinez Alier, J. (2008). Conflictos ecológicos y justicia ambiental. *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*, 103, 11-28.
- Martínez Alier, J. (2009) Conflictos ecológicos por extracción de recursos y por producción de residuos. (Dossier). En: *Letras verdes*, Quito: FLACSO sede Ecuador. Programa de Estudios Socioambientales. 3:pp. 8-10. ISSN: 1390-4280
- Ministerio Público Fiscal (2018). *Litigios Complejos en las Américas*. Buenos Aires, Argentina

- Mishra V, Ganguly A, Nijssen B and Lettenmaier D (2015). Changes in observed climate extremes in global urban áreas. *Environ Res Lett* 10(2):024005. Doi: 10.1088/1748-9326/10/2/024005
- Montávez, J., Rodríguez, A., Jiménez, J. (2000). A study of the urban heat island of Granada. *Internacional Journal of Climatology*. 20: 899-911.
- Morales, C., González, L., Madrigal, D. (2007). Isla de calor en Toluca, México. *Ciencia Ergo Sum*, 14(3), 307-316.
- Moreno MC. (2010). Climatología urbana. Textos docents 160. 2ª edición. Barcelona
- Moreno, A. (2007) ¿Está equitativamente repartida la contaminación sonora urbana? Una evaluación desde el principio de justicia ambiental en la ciudad de Madrid. *Estudios Geográficos*. 263: 595-626.
- Moreno, A. (2009): "Hacia la evaluación de la justicia ambiental mediante sistemas de información geográfica" en Gustavo D. Buzai (Editor): *Geografía y sistemas de información geográfica. Aspectos conceptuales y aplicaciones*. Luján (Argentina), Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con SIG, Programa de Estudios Geográficos, Universidad Nacional de Luján, p. 101-126. ISBN 978-987-05-7535-1. <http://www.gesig-proeg.com.ar/documentos/libros/libro-13/CAPITULO-05.pdf>
- Moreno A (2010) Justicia ambiental. Del concepto a la aplicación en planificación y análisis de políticas territoriales. *Scripta Nova*. XIV (316).
- Moreno, A. y Cañada, R. (2007) Justicia ambiental y contaminación atmosférica por dióxido de azufre en Madrid: análisis espacio-temporal y valoración con sistemas de información geográfica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. 44: 301-324.
- Moreno, A. y Fernández, F. (2003). El confort climático en los entornos residenciales de las capas altas, medias y bajas de la Comunidad de Madrid: otra forma de desigualdad socioespacial. In MORENO JIMÉNEZ, A. (Dir.). *La distribución espacial de la renta en la Comunidad de Madrid. Análisis y aplicaciones*. [En línea]. Madrid: Instituto de Estadística, Consejería de Economía e Innovación Tecnológica. Pp 153-176.
<<http://www.madrid.org/iestadis/gazeta/publicaciones/iesparentano.htm>>.
- Moriwaki, R., Watanabe, K., & Morimoto, K. (2013). Urban dry island phenomenon and its impact on cloud base level. *Journal of JSCE*, 1(1), 521-529.
- Nascimento, D.; Oliveira, I. (2011) Análise da evolução do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia/GO (1986-2010). *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, GO, 31(2) Disponible en: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/bgg/article/view/16849>>.
- Oke, T. R. (1987). *Boundary Layer Climates*. Routledge, 2nd edition. London
- OMS (2016). Global Urban Ambient Air Pollution Database. Disponible en: http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/
- O'Neill, S. *Ethic Theory Moral Prac* (2017) 20: 685. <https://doi.org/10.1007/s10677-017-9788-z>
- ONU-Habitat (2012). *Estado de las ciudades de América Latina y El Caribe 2012, rumbo a una nueva transición urbana*. Kenia: UN-HABITAT

- Pérez ME. Y García MP. (2002). Cartografía térmica del área metropolitana de Madrid a partir del sensor ETM del LANDSAT 7. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 377-386.
- Puaschunder, J. (2020). Mapping climate justice. In *Governance & Climate Justice* (pp. 23-38). Palgrave Macmillan, Cham.
- Ramírez, S J., Galindo, M G., & Contreras, C. (2015). Justicia ambiental: Entre la utopía y la realidad social. *Culturales*, 3(1), 225-250. Recuperado en 25 de agosto de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-11912015000100008&lng=es&tlng=es.
- Rawls, J. (1971) Teoría de la justicia. FCE
- Rawls, J. (1986). Justicia distributiva. *Estudios públicos*, 24, 53-90.
- Ranganathan, M., & Bratman, E. (2019). From urban resilience to abolitionist climate justice in Washington, DC. *Antipode*.
- Ramírez, M. (2004). El método de jerarquías analíticas de Saaty en la ponderación de variables. Aplicación al nivel de mortalidad y morbilidad en la provincia del Chaco. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*, 1-4.
- Riechman, J. (2003). Tres Principios Básicos de Justicia Ambiental (Ponencia presentada en el XII Congreso de la Asociación Española de Ética y Filosofía Política, celebrada en Castellón).
- Rivera, E. (2016). Islas de calor y superficie artificial en la Zona Metropolitana de Toluca. Tesis de maestría. Toluca, México: UAEMex.
- Rivera, E., Antonio-Némiga, X., Origel-Gutiérrez, G., Sarricolea, P., y Adame-Martínez, S. (2017). Spatiotemporal analysis of the atmospheric and surface urban heat islands of the Metropolitan Area of Toluca, Mexico. *Environmental Earth Sciences*, 76(5), 225.
- Robaa, SM (2003). Urban-suburban/rural differences over Greater Cairo, Egypt. *Atmósfera*. 16(3) 157-171.
- Romero, H., Molina, M. (2008). Relación espacial entre tipos de usos y coberturas de suelos e islas de calor en Santiago de Chile. *Anales Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas* 2007. 1(1): 223-230.
- Romero, H.; M. Molina; A. Vásquez y P. Smith (2008), "El clima urbano del Puerto de Valparaíso: construcción social del espacio en ciudades costeras". *Revista da Faculdade de Letras da Universidade do Porto - Geografia. II Série, Vol II*. Pp. 20.
- Romero, H., Salgado, M., Smith, P. (2010). Cambios climáticos y climas urbanos. Relaciones entre zonas termales y condiciones socioeconómicas de la población de Santiago de Chile. *INVI*, 25(70), 151-179.
- Romero, S., Morales, C. y Xanat A. (2011). Identificación de las islas de calor de verano e invierno en la ciudad de Toluca, Mex. *Revista de Climatología*, 1-10.

- Romero, H., Opazo, D; (2011). Ecología política de los espacios urbanos metropolitanos: geografía de la injusticia ambiental. *Revista Geográfica de América Central*, 2() 1-15. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=451744820578>
- Ruiz-Flaño, P., Romero, L., Máyer, P., Hernández, A. (2008). Las islas de calor en las Palmas de Gran Canaria: intensidad, distribución y factores condicionantes. *Boletín de la A.G.E*, 47: 157-173
- Running, K. (2015). Towards climate justice: How do the most vulnerable weigh environment–economy trade-offs?. *Social science research*, 50, 217-228.
- Sánchez, C. S. G., Peiró, M. N., & González, F. J. N. (2017). Urban heat island and vulnerable population. The case of Madrid. In *Sustainable Development and Renovation in Architecture, Urbanism and Engineering* (pp. 3-13). Springer, Cham.
- Santana Rivas, D. (2012). Explorando algunas trayectorias recientes de la justicia en la geografía humana contemporánea: de la justicia territorial a las justicias espaciales. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 21(2), 75 - 84. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/32214>
- Sarricolea P., Aliste E., Castro P., Escobedo C. (2008). Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos. *Revista de Climatología*, 71-84.
- Sarricolea, P., Martín-Vide J. (2014). El estudio de la isla de calor urbana de superficie del Área Metropolitana de Santiago de Chile con imágenes Terra-MODIS y análisis de componentes principales. *Revista de Geografía Norte Grande*, 57: 123-141.
- Sarricolea P, Romero H. (2010). Análisis de los factores condicionantes sobre las temperaturas de emisión superficial en el área metropolitana de Valparaíso Chile. *ACE* 14, 79-96.
- Sarricolea P, Romero H. (2011). Isla de calor urbana y temperaturas efectivas: hacia la comprensión de la justicia socio-ambiental de la ciudad de Valparaíso. En: *Socializar Conocimientos*, Ed. Icaria. España
- Sarokin, D. J. (1994). Environmental justice: co-evolution of environmental concerns and social justice. *Environmentalist*, 14(2), 121-129.
- Schneider W. (2012) *Regional Dialogues on Climate Change and Justice: A Synthesis*. In: Edenhofer O., Wallacher J., Lotze-Campen H., Reder M., Knopf B., Müller J. (eds) *Climate Change, Justice and Sustainability*. Springer, Dordrecht
- Schlosberg, David. (2011). Justicia ambiental y climática: De la equidad al funcionamiento comunitario. *Ecología Política*, (41), 25-35.
- SEDESOL, CONAPO, INEGI (2012) *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010*. México
- SEDESOL, CONAPO, INEGI (2018) *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015*. México
- Smith, P., & Henríquez, C. (2018). Calidad y justicia climática urbana en la ciudad de Chillán, Chile.

- Soja, E. (2014) En busca de la justicia espacial. Ed. Tirant Humanidades. Valencia
- SRC (Stockholm Resilience Centre) (n/d). ¿Qué es la resiliencia? Una introducción a la investigación sobre el sistema socio-ecológico. Stockholm University. Disponible en: www.stockholmresilience.se
- Stefanov, W.L., y Brazel, A.J. (2007) Challenges in characterizing and mitigating urban heat islands - a role for integrated approaches including remote sensing. En Netzband, M., Stefanov, W.L., y Redman, C. (eds.), *Applied Remote Sensing for Urban Planning, Governance and Sustainability*. Springer, Berlin, 117-135.
- Tejedor E, Cuadrat JM, Saz MA, Serrano-Notivoli R, López N, Aladrén N (2016). Islas de calor y confort térmico en Zaragoza durante la ola de calor de julio de 2015. *X Congreso Internacional AEC: Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio* DOI:<http://dx.doi.org/10.14198/XCongresoAECAlicante2016-13>
- UN (2014). World urbanization prospects. DESA. New York. Consultado en línea el 10 de abril de 2017: <https://esa.un.org/unpd/wup/publications/files/wup2014-highlights.Pdf>
- Vásquez, A y Salgado M (2009). Desigualdades socioeconómicas y distribución inequitativa de los riesgos ambientales en las comunas de Peñalolén y San Pedro de La Paz. *Revista de Geografía Norte Grande*. 43: 95–110.
- Verón, E. (2010). Estimación de la isla de calor en Santa Teresita, partido de la costa, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Geográfica de América Central*, 129-148.
- Vidal Molina, P. (2009). La teoría de la justicia social en Rawls. *Polis* [En línea], 23 | 2009, Publicado el 27 julio 2011, consultado el 05 noviembre 2017. URL: <http://polis.revues.org/1868>
- Vidal, J., Jáuregui, E. (1991). Evolución de la isla de calor en Toluca Mex. Obtenido de Observatorio geográfico América Latina: observatoriosgeograficoamericalatina.org.mx/egal3/Procesosambientales/Climatología
- Voogt, J. (2008). Islas de Calor en Zonas Urbanas: Ciudades Más Calientes. Obtenido de <http://www.actionbioscience.org/esp/ambiente/voogt.html#primer>
- Xiao-Ling Ch., Hong-Mei Z, Ping-Xiang L, Zhi-Yong Y. (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 133-146.
- Han-qiu Xe, Ben-qing Chen. (2004). Remote sensing of the urban heat island and its changes in Xiamen City of SE China. *Journal of environmental sciences*, 276-281. Zhang, J., Wang, Y. (2008) Study of the Relationships between the Spatial Extent of Surface Urban Heat Islands and Urban Characteristic Factors Based on Landsat ETM+ Data. *Sensors*, 8: 7453-7468.
- Zhao, L., Lee, X., Smith, R., Oleson K. (2014). Strong contributions of local background climate to urban heat islands. *Nature*. 511(7508), 216-219.